

การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM)  
สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น:  
การศึกษาค้นคว้าไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์

POLINY UNG

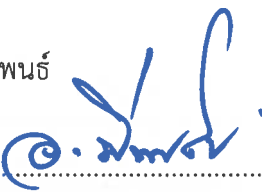
ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา  
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา  
กรกฎาคม 2560  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา


คณะกรรมการควบคุมคุณิพนธ์และคณะกรรมการสอบคุณิพนธ์ ได้พิจารณาคุณิพนธ์  
ของ POLINY UNG ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาคุณิ  
บัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

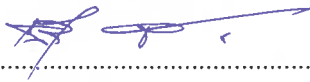
คณะกรรมการควบคุมคุณิพนธ์


  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี)

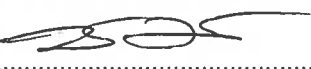
คณะกรรมการสอบคุณิพนธ์

  
..... ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอื้อน ปิ่นเงิน)


  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดเข้ม)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

  
..... กรรมการ  
(ดร.พีร วงศ์อุปราช)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับคุณิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาคุณิบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา  
ของมหาวิทยาลัยบูรพา

  
..... คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาณี) และวิทยาการปัญญา

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

คุษฎีนิพนธ์นี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา  
จากวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
ประจำปีงบประมาณ 2560

## กิตติกรรมประกาศ

ขอสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ทรงพระราชทานทุนแก่ข้าพเจ้าให้ได้ศึกษา ตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาถึงระดับปริญญาบัณฑิต ณ วิทยาลัย วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา ที่สนับสนุนทุนอุดหนุน การวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษาแก่ข้าพเจ้า สำหรับการดำเนินการวิจัยฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปानी อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดุษฎีนิพนธ์ ที่มีความเมตตากรุณา ให้ความช่วยเหลือ แนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้ดุษฎีนิพนธ์ ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความเหมาะสมของอัลกอริทึมและขั้นตอนการพัฒนา แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ นั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว.สมพร สุทัศนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ดวงสอาด ดร.กนก พานทอง ดร.ศราวิณ เทพสถิตภรณ์ ดร.พีร วงศ์อุปราช และนายศราวุธ ราชมณี ที่ให้ความกรุณาช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และเสนอแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์สำหรับการวิจัย ขอขอบคุณนางสาวจิราพร เวชวงศ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้ประโยค คำถูก คำผิด ในการเขียนดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ และที่สำคัญที่สุดการวิจัยนี้สำเร็จได้เนื่องจากความร่วมมือ อย่างดียิ่งจากผู้อำนวยการ รองผู้อำนวยการ คณะครู-อาจารย์ และนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างจาก โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ที่มีส่วนร่วมในการวิจัยและกรุณาสละเวลา ให้ข้อมูลที่มีคุณภาพ และขอขอบพระคุณนายสุรเชษฐ์ พิณจกิจ อดีตรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ โรงเรียนแสนสุข ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการโรงเรียนวัดหนองม่วงใหม่ ตำบลหนองขยาด อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์และร่วมมือเป็นอย่างดี

เหนือสิ่งอื่นใด ความสำเร็จในวันนี้ คงไม่อาจเกิดขึ้นได้ หากปราศจากความเมตตา กรุณา มุทิตา จากคุณแม่ Srey Lang และพี่สาว Sann Sophoan ซึ่งท่านทั้งสองให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งให้ความรักและกำลังใจกับผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยขอสำนึกในพระคุณที่กว้างใหญ่ไพศาล และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

POLINY UNG

55810198: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;

ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)

คำสำคัญ: ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์/ การติดตามหลายวัตถุ/ ศักยภาพสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์

POLINY UNG: การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น : การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (DEVELOPMENT OF A THREE-DIMENSIONAL MULTIPLE-MOVING BLOCK TRACKING MODEL (3D-MBTM) FOR ENHANCING SPATIAL ABILITY IN EARLY ADOLESCENCE: AN EVENT-RELATED POTENTIAL STUDY) คณะกรรมการควบคุมดุชนิพนธ์: สุชาดา กรเพชรปानी, Ph.D. 261 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นองค์ประกอบหนึ่งของสติปัญญามนุษย์ ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของแต่ละบุคคล และมีความแตกต่างกันระหว่างบุคคล อีกทั้งยังเป็นความสามารถที่อาจพัฒนาให้ทัดเทียมกันได้ด้วยการฝึกฝน โดยเฉพาะการฝึกด้วยกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) และศึกษาผลของการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น ด้วยการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแสนสุข ปีการศึกษา 2559 จำนวน 60 คน อาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัย จัดเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยวิธีการสุ่ม กลุ่มทดลองได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติผ่านหน้าจอทีวี วันละ 30 นาที จำนวน 12 วัน ส่วนกลุ่มควบคุมไม่ได้รับการฝึก เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบ Paper Folding & Form Board Test, Card Rotations Test และ Mental Rotations Test สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ *t*-test, Shapiro-Wilk และ MANOVA

ผลการวิจัยปรากฏว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดง การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การตอบ และการแสดงผล นอกจากนี้ผลการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง พบว่า หลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีคะแนนมิติสัมพันธ์สูงกว่า และใช้เวลาตอบน้อยกว่า เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < .05$ ) ในทำนองเดียวกัน หลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีความสูงของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 สูงกว่า และความกว้างของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 น้อยกว่า ในสมองส่วนพอนทอล ส่วนพาริทัส และส่วนเทมโปรัล เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และเทียบกับกลุ่มควบคุม สรุปได้ว่า การฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติอย่างต่อเนื่องสามารถช่วยเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้นได้

55810198: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE;

Ph.D. (RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE)

KEYWORDS: SPATIAL ABILITY/ MULTIPLE BLOCK TRACKING/ EVENT-RELATED POTENTIAL

POLINY UNG: DEVELOPMENT OF A THREE-DIMENSIONAL MULTIPLE-MOVING  
BLOCK TRACKING MODEL FOR ENHANCING SPATIAL ABILITY IN EARLY ADOLESCENCE:  
AN EVENT-RELATED POTENTIAL STUDY. ADVISORY COMMITTEE: SUCHADA  
KORNPETPANEE, Ph.D. 261 P. 2017.

Spatial ability is a component of human intelligence and an essential skill for everyday life. It can be learned by training, especially computer training, although there are some individual differences in this skill. This study aimed to develop a three-dimensional multiple-moving block tracking model (3D-MBTM), and to investigate the effect of the developed 3D-MBTM training for enhancing spatial ability in the early adolescence by comparing with a control group. Sixty junior high school students in the academic year 2016 from Saensuk High School took part in the study. They were randomly assigned to experimental and control groups. The experimental group underwent the 3D-MBTM training through 3D-LED TV for 30 minutes per day over twelve days, whereas the controls did not have this experience. The paper folding and form board test, the card rotations test, and the mental rotations test were used to collect the data. Data were analyzed by *t*-test, Shapiro-Wilk, and MANOVA.

The results showed that the 3D-MBTM was consisted of five steps, such as presentation, indexation, movement, identification, and feedback. After using the 3D-MBTM with the sample group, the results demonstrated that the accuracy scores on spatial ability test in the experimental group were significantly ( $p < .05$ ) increased after training and were exceeding scores in the control group. The response time on spatial ability test in the experimental group were significantly decreased after training and were below those in the control group. Furthermore, the P300 amplitude of ERP in the experimental group significantly increased after the training, increasing more than the control group. Meanwhile, the P300 latency of ERP in the experimental group significantly decreased after training, more so than the control group in the frontal lobe, the parietal lobe, and the temporal lobe. In conclusion, continuous practice with the 3D-MBTM can enhance spatial ability in early adolescence.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ .....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	7
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	8
กรอบแนวคิดในการวิจัย .....	8
สมมติฐานการวิจัย.....	10
ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย .....	11
ขอบเขตของการวิจัย .....	12
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	12
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
ตอนที่ 1 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ .....	16
ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ .....	16
แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ .....	19
ตอนที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการทางปัญญาและพัฒนาการทางสติปัญญา	
ของมนุษย์.....	29
ทฤษฎีกระบวนการรับรู้ (Perceptual Process) .....	29
การรับรู้โดยการมองเห็น (Visual Perception) .....	32
ความยืดหยุ่นของระบบประสาท (Neuroplasticity) .....	38
ทฤษฎีโครงสร้างสติปัญญาของ Guilford.....	38
ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget .....	40
ทฤษฎีพหุปัญญาของ Gardner.....	42

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)	
ตอนที่ 3 แนวทางการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
ทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น.....	44
การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุกับความจำภาพ.....	47
แนวคิดการสร้างมโนภาพในสมอง.....	47
การใช้กิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์.....	48
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์.....	49
ตอนที่ 4 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	52
วิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	52
การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองตามรูปแบบศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP).....	54
การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของสมองและการวัดด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	58
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	63
ระยะที่ 1 การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ...	65
ระยะที่ 2 การศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น.....	82
กลุ่มตัวอย่าง.....	82
แบบแผนการทดลอง.....	85
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	85
วิธีดำเนินการทดลอง.....	98
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	101
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	107
4 ผลการวิจัย.....	108
ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	110



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย (ต่อ)	
ส่วนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยม เคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	110
ส่วนที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตาม หลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	114
ส่วนที่ 3 ผลการศึกษานำร่อง.....	117
ตอนที่ 2 ผลของการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่ แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้.....	119
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง.....	120
ส่วนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและ เวลาตอบ) ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ....	122
ส่วนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์.....	141
5 สรุปและอภิปรายผล.....	164
สรุปผลการวิจัย.....	165
การอภิปรายผล.....	168
ข้อเสนอแนะ.....	173
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้.....	173
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป.....	174
บรรณานุกรม.....	175
ภาคผนวก.....	194
ภาคผนวก ก ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย.....	195
ภาคผนวก ข หนังสือขอความอนุญาตผู้ปกครอง ใบตอบรับและใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ..	197
ภาคผนวก ค แบบประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือวิจัย.....	201
ภาคผนวก ง ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ.....	208
ภาคผนวก จ เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย.....	211
ภาคผนวก ฉ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม.....	218

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก (ต่อ)

ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์เหลี่ยมเคลื่อนที่ แบบสามมิติ.....	227
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ) .....	244
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง .....	251
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	260

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ระยะเวลาแสดงของแต่ละขั้นตอนของกิจกรรม.....	68
3-2 ช่วงคะแนนดัชนี TONI-4 และระดับสติปัญญา .....	88
3-3 ผลการตรวจสอบเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม .....	95
3-4 วันและเวลาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับกลุ่มตัวอย่าง ก่อนการทดลอง (Pretest).....	99
3-5 วันและเวลาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับกลุ่มตัวอย่าง หลังการทดลอง (Posttest).....	100
4-1 รายละเอียดโครงสร้างของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	110
4-2 ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	114
4-3 รายละเอียดดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา.....	115
4-4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	116
4-5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนตอบถูก ของกลุ่มศึกษานำร่อง ระหว่างก่อนและหลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	117
4-6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาตอบ ของกลุ่มศึกษานำร่อง ระหว่างก่อนและหลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	117
4-7 จำนวนและร้อยละลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง .....	120
4-8 ผลการเปรียบเทียบความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ ก่อนการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม .....	121
4-9 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา ระยะการวัด และแบบทดสอบ .....	122
4-10 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา ระยะการวัด และแบบทดสอบ .....	124
4-11 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มทดลอง .....	127
4-12 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	128

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-13 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามแบบทดสอบ .....	128
4-14 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของเวลาตอบ ในการทำแบบ ทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ...	130
4-15 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	130
4-16 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถ ด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามแบบทดสอบ....	131
4-17 ผลการทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม .....	133
4-18 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของคะแนนตอบถูก ในการทำ แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม .....	134
4-19 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม .....	134
4-20 ผลการทดสอบความแปรปรวนของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่าง กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ .....	134
4-21 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ .....	135
4-22 ผลการทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม .....	136
4-23 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของเวลาตอบ ในการทำ แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม .....	137
4-24 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม .....	138

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-25 ผลการทดสอบความแปรปรวนของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่าง กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ .....	138
4-26 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ .....	139
4-27 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด .....	141
4-28 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด.....	143
4-29 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด .....	146
4-30 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด.....	148
4-31 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมอง ด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	151
4-32 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้น สมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	153
4-33 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมอง ด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม .....	158
4-34 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้น สมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม.....	160

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวในคิดการวิจัย .....	10
2-1 ตัวอย่างแบบทดสอบ Paper Folding Test.....	20
2-2 ภาพแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาในโจทย์ตัวอย่างแบบทดสอบ Paper Folding Test .....	21
2-3 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test แบบประกอบภาพมีหลายคำตอบ .....	21
2-4 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test แบบมีคำตอบเดียว.....	22
2-5 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test แบบประกอบภาพมีคำตอบเดียว.....	22
2-6 ตัวอย่างแบบทดสอบ Surface Development Test .....	23
2-7 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Card Rotations Test.....	23
2-8 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Cube Comparisons Test .....	24
2-9 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Guilfor-Zimmerman SO แบบสามตัวอย่าง.....	24
2-10 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบมุมมองลูกบาศก์.....	25
2-11 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ MRT แบบมีสองคำตอบ.....	26
2-12 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ MRT แบบมีสี่ตัวเลือกและคำตอบเดียว .....	26
2-13 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ MRT แบบมีสามตัวเลือกและคำตอบเดียว .....	27
2-14 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ DAT: SR ในรูปแบบประกอบกล่อง.....	28
2-15 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ DAT: SR ในรูปแบบคลี่กล่อง .....	28
2-16 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Three-Dimensional Dube Test.....	29
2-17 ลำดับขั้นในการพัฒนาทักษะกระบวนการรับรู้.....	34
2-18 ขั้นตอนการรับรู้แบบบูรณาการ .....	37
2-19 ภาพประกอบตัวอย่างของแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ.....	46
2-20 การวางขั้วไฟฟ้าตามรูปแบบระบบ 10-20 .....	53
2-21 การวางขั้วไฟฟ้าตามรูปแบบระบบ 10-10 .....	53
3-1 วิธีดำเนินการวิจัย .....	64
3-2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	65
3-3 ตัวกระตุ้นที่นำไปใช้ในกิจกรรมหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	69
3-4 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ.....	70

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-5 ภาพหน้าจอต้อนรับ .....	71
3-6 หน้าจอเลือกแบบฟอร์ม .....	71
3-7 หน้าจอกรอกข้อมูลส่วนตัว .....	72
3-8 หน้าจอกรอกรหัสประจำตัว .....	73
3-9 หน้าจอกรอกรหัสประจำตัว (แบบไม่ถูกต้อง).....	73
3-10 หน้าจอนับถอยหลัง .....	74
3-11 หน้าจอแสดงสิ่งเร้าในขอบเขตการมองเห็น พร้อมการระบุสิ่งเป้าหมาย .....	74
3-12 หน้าจอแสดงการเคลื่อนที่ของสิ่งเร้า .....	75
3-13 หน้าจอกำหนดสิ่งเป้าหมาย .....	76
3-14 หน้าจอแสดงการสะท้อนกลับ .....	76
3-15 หน้าจอแสดงผลคะแนนตอบถูก .....	77
3-16 ขั้นตอนการศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่ แบบสามมิติ .....	82
3-17 แบบแผนการทดลองแบบ Randomized Pretest-Posttest Control-Group Design .....	85
3-18 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ .....	90
3-19 ตัวอย่างแบบทดสอบ Paper Folding Test .....	91
3-20 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test.....	92
3-21 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Card Rotations Test .....	92
3-22 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Mental Rotations Test.....	93
3-23 ขั้นตอนการแสดงข้อความบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อวัดด้านพฤติกรรม .....	94
3-24 แผนผังขั้นตอนการสร้างกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ .....	95
3-25 เกณฑ์วิธีกิจกรรมกระตุ้นเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง .....	96
3-26 เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan .....	98
3-27 ระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้ามาตรฐานสากล 10-20 .....	103
3-28 หน้าจอแสดงค่าความต้านทานในแต่ละขั้วไฟฟ้า .....	104
4-1 ไอคอนนำสู่หน้าจอของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่ แบบสามมิติ .....	111

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-2 หน้าจอเริ่มต้นของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	112
4-3 หน้าจอหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	112
4-4 หน้าจอการกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้ฝึก ก่อนเริ่มฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	113
4-5 หน้าจอการกรอกรหัสประจำตัวของผู้ฝึก ก่อนฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	113
4-6 กราฟแห่งแสดงความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ย ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติในกลุ่มศึกษานำร่อง.....	118
4-7 กราฟแห่งแสดงความแตกต่างของเวลาตอบเฉลี่ย ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติในกลุ่มศึกษานำร่อง.....	119
4-8 แผนภาพกล่อง แสดงการแจกแจงของคะแนนตอบถูก ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองจำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา.....	124
4-9 แผนภาพกล่อง แสดงการแจกแจงของเวลาตอบ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองจำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา.....	126
4-10 กราฟแห่งแสดงความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ย ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง.....	129
4-11 กราฟแห่งแสดงความแตกต่างของเวลาตอบเฉลี่ย ระหว่างก่อนกับ หลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	132
4-12 กราฟแห่งแสดงความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ย หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม.....	136
4-13 กราฟแห่งแสดงเวลาตอบเฉลี่ย หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มที่ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ .....	140
4-14 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	153



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-15 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความกว้างเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	156
4-16 ภาพคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง .....	157
4-17 แผนภาพแสดงการกระตุ้นของสมอง ขณะ 425ms หลังสิ่งกระตุ้นเกิดขึ้น ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง.....	157
4-18 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลอง กับกลุ่มควบคุม.....	160
4-19 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความกว้างเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม .....	162
4-20 ภาพคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม .....	163
4-21 แผนภาพแสดงการกระตุ้นของสมอง ขณะ 425ms หลังสิ่งกระตุ้นเกิดขึ้น ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับ กลุ่มควบคุม.....	163

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประเมินนักเรียนร่วมกับนานาชาติ (Programme for International Student Assessment: PISA) มุ่งเน้นความสำคัญกับความรู้และทักษะที่ต้องใช้ในชีวิตจริงนอกโรงเรียนหลังจบการศึกษา และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ตลอดชีวิต ซึ่งเป็นตัวชี้วัดศักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจของประเทศ ได้แก่ การรู้เรื่องการอ่าน (Reading Literacy) การรู้เรื่องคณิตศาสตร์ (Mathematics Literacy) การรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) และทักษะเพิ่มเติมที่ต้องใช้ในกระบวนการการเรียนรู้ คือ การแก้ปัญหาและกระบวนการที่ต้องใช้ในการดำรงชีวิตประจำวัน ปรากฏว่า ตั้งแต่ PISA 2000 ถึง PISA 2015 นักเรียนไทยกลุ่มอายุ 15 ปี มีผลการประเมินต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานนานาชาติขององค์การเพื่อความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD) ทุกครั้ง (OECD, 2016) สอดคล้องกับการรายงานผลของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555-2559 ที่ว่า เด็กวัยเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำกว่าร้อยละ 50 และมาตรฐานความสามารถของผู้เรียนในเรื่องการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ และคิดสร้างสรรค์ค่อนข้างต่ำ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554)

ดังนั้นการส่งเสริมการเรียนรู้แบบบูรณาการจัดการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ ตั้งแต่ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน อาชีวศึกษา อุดมศึกษารวมทั้งการศึกษาตลอดชีวิต ที่เรียกว่า “สะเต็มศึกษา” (Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education) หรือการค้นคว้าและสร้างเป็นนวัตกรรมเพื่อส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ในทางสร้างสรรค์และความสามารถทางสมองของเด็ก ถือว่าเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง (Vasquez, Sneider, & Comer, 2013)

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability) เป็นความสามารถทางสมองและเป็นองค์ประกอบหนึ่งของสติปัญญามนุษย์ (General Intelligence) (Hunt, 2011, p. 101) เป็นความสามารถในการจินตนาการ หรือนึกภาพของวัตถุต่าง ๆ โดย Gardner (2011, pp. 182-185) นักจิตวิทยาการศึกษาด้านพัฒนาการพหุปัญญาของมนุษย์ ได้ให้นิยามความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไว้ว่า เป็นกระบวนการทำงานของสมองที่รับรู้ผ่านกระบวนการการมองเห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างวัตถุกับพื้นที่ที่วัตถุนั้นครองอยู่ โดยสามารถวาดภาพของวัตถุหรือความเชื่อมโยงให้เกิดขึ้นในสมองได้ และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของวัตถุนั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง ในปี ค.ศ. 2010 สาขาวิทยาศาสตร์

แห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Science Board: NSB) ได้เสนอให้เพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นรายชื่อทักษะที่สำคัญสำหรับส่งเสริมประสิทธิภาพและประสิทธิผลในสะเต็มศึกษา (NSB, 2010, p. 9) และจากผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลสำเร็จในการเรียนด้านสะเต็มศึกษา คือ ปัจจัยการพัฒนาระบบการคิดเชิงมิติสัมพันธ์ (Newcombe, 2010, p. 35; Uttal, Meadow et al., 2013) โดย Wai, Lubinski, and Benbow (2009) เสนอว่า ตัวแปรความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และตัวแปรประสิทธิผลในสะเต็มศึกษามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมีการจัดอิทธิพลของตัวแปรแทรกซ้อน เช่น ทักษะด้านคณิตศาสตร์และทักษะด้านภาษา โดยนักเรียนที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูง จะมีผลการศึกษาด้านสะเต็มศึกษาสูงเช่นกัน

นอกจากนี้ยังมีผลงานวิจัยจำนวนมากที่สนับสนุนว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในด้านการศึกษานักเรียน โดยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาในหลาย ๆ ด้าน ได้แก่ ด้านวิทยาศาสตร์ (Moreau, Mansy-Dannay, Clerc, & Guerrien, 2010; Ganley, Vasilyeva, & Dulaney, 2014) ด้านวิชาฟิสิกส์ (Shea, Lubinski, & Benbow, 2001; Boucheix & Schneider, 2009) ด้านการเข้าใจโครงสร้างโมเลกุลของสารเคมี (Harle & Towns, 2011) ด้านเทคโนโลยี ด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Samsudin, Rafi, & Hanif, 2011) ด้านคณิตศาสตร์ (Casey, Nuttall, & Pezaris, 2001; Kytala, Aunio, Lehto, Luit, & Hautamaki, 2003; Mix & Cheng, 2012; Zhang et al., 2014) ด้านกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์ (Spatial Thinking) (Verdine, Irwin, Golinkoff, & Hirsh-Pasek, 2014; Newcombe, Levine, & Mix, 2015) ทักษะด้านศิลปะ (Humphreys, Lubinski, & Yao, 1993) ความคิดสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ใหม่ (Coxon, 2012a; Kell, Lubinski, Benbow, & Steiger, 2013) และความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ยังเป็นทักษะที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการกระทำกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตประจำวันของแต่ละบุคคล (Davis, 2015, p. 3)

นอกเหนือจากความสำคัญต่อผลการเรียนในระดับขั้นพื้นฐานและการดำรงชีวิตประจำวันแล้ว ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ยังมีความสำคัญกับอาชีพที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญขั้นสูงด้วย เช่น ความเชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ (Wanzel et al., 2003; Brandt & Davies, 2006; Keehner, Lippa, Montello, Tendick, & Hegarty, 2006) ในสถาบันการแพทย์ แพทย์เฉพาะทางด้านการผ่าตัด ซึ่งต้องรับผิดชอบชีวิตคนที่ต้องรักษา และต้องเผชิญกับกระบวนการผ่าตัดที่ซับซ้อน ส่วนหนึ่งเกิดจากความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Keehner et al., 2006) นอกจากอาชีพด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์แล้ว อาชีพด้านวิศวกรรมศาสตร์ก็เป็นอีกอาชีพหนึ่งที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เนื่องจากผู้ที่ทำงานในด้านนี้ต้องมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์และจินตนาการภาพแบบสามมิติ (Olkun, 2003) ดังนั้น หากเด็กได้รับการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ก็จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้มีพัฒนาการด้านกระบวนการการเรียนรู้

การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ ทักษะด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ตลอดชีวิต

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถของสมองที่มีพัฒนาการตั้งแต่แรกเกิด และมีความแตกต่างกันระหว่างบุคคล (Jausovec & Jausovec, 2012) แต่ความสามารถด้านนี้สามารถพัฒนาให้ทัดเทียมกันได้โดยการฝึกฝน (Sorby, 1999; Uttal, Meadow et al., 2013) ดังข้อมูลเชิงประจักษ์จากผลงานวิจัยของ Hsi, Linn, and Bell (1997) ที่ปรากฏว่า เพศหญิงและเพศชายมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน หลังได้รับการฝึกโดยสื่อการสอนด้านกลยุทธ์มิติสัมพันธ์ (Spatial Strategy) ได้แก่ Block Stacking และ Display Object และผลงานวิจัยของ Feng, Spence, and Pratt (2007) ที่ปรากฏว่า นักศึกษาที่เล่น Action Video Game (3-D First-Person Shooter Game) ในระยะเวลา 12 วัน โดยเล่นวันละ 1 ชั่วโมง จะมีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น โดยเฉพาะนักศึกษาเพศหญิงนั้นได้ผลดีกว่านักศึกษาเพศชาย ขณะที่นักศึกษาในกลุ่มควบคุมที่เล่น Non-Action Game ไม่มีความแตกต่างของคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง

การศึกษาแบบวิเคราะห์เชิงอภิมาน (Meta-Analysis) จากผลงานวิจัยจำนวน 217 เรื่อง ที่เกี่ยวกับกิจกรรมการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งศึกษาโดย Uttal, Meadow et al. (2013) ปรากฏว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สามารถพัฒนาได้โดยการฝึกกับกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเล่นของเล่นที่มีลักษณะเป็นการประกอบโครงสร้าง (Construction Toy) การประกอบเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ การเล่นเกม การพัฒนาทักษะด้านคณิตศาสตร์ และการเล่นเกมหรือกิจกรรมการฝึกผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยกิจกรรมการเล่นของเล่นที่มีลักษณะเป็นการประกอบโครงสร้างนั้น เหมาะกับเด็กที่มีอายุไม่เกิน 6 ปี ส่วนกิจกรรมอื่นเหมาะกับวัยรุ่นหรือผู้ใหญ่ ในยุคปัจจุบันการสร้างเกมหรือกิจกรรมการฝึกผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นกิจกรรมส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีการนำมาศึกษามากที่สุด (Boot, Kramer, Simons, Fabiani, & Gratton, 2008; Hung, Hwang, Lee, & Su, 2012; Bisoglio, Michaels, Mervis, & Ashinoff, 2014) เช่น การศึกษาโดยให้กลุ่มตัวอย่างเล่นเกม Tetrominoes ซึ่งเป็นเกมที่ต้องใช้กระบวนการจัดกระทำเชิงมิติสัมพันธ์กับตัวกระตุ้นตลอดเวลา (Belchior et al., 2013) จะช่วยกระตุ้นต่อกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์และความสามารถด้านการแปลงรูปทรงเรขาคณิต (Clements, Battista, Sarama, & Sudha, 1997) และหากนักเรียนหญิงได้เล่นเกมที่มีลักษณะเป็นภาพเคลื่อนไหว เช่น Shooter Game ในเวลา 10 ชั่วโมง จะเกิดพัฒนาการด้านความสนใจเชิงมิติสัมพันธ์ (Spatial Attention) และทักษะการหมุนวัตถุในจินตนาการมากกว่านักเรียนชาย ขณะที่กลุ่มที่ไม่ได้เล่นเกม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสามารถทั้งสองด้านนี้ (Feng et al., 2007) นอกจากนี้การวาดภาพโครงสร้างของวัตถุผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่ช่วยเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (Mohler & Miller,

2008) และช่วยเพิ่มสมรรถภาพกลไกการทำงานของสมองส่วนบน (Parietal Mechanisms) ซึ่งเป็นส่วนของสมองที่สนับสนุนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เชิงการแปลงรูปทรงของวัตถุ (Spatial Transformation) และทักษะการคำนวณตัวเลข (Arithmetic Transformation) (Hubbard, Piazza, Pinel, & Dehaene, 2005; Didino, Knops, Vespignani, & Kornpetpanee, 2015)

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์นับเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการนำมาใช้เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของสมอง (Bera & Liu, 2006; Li & Liu, 2007; Tang et al., 2009) เนื่องจากกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้น เป็นกิจกรรมเพื่อส่งเสริมโครงสร้างทักษะของสมองหรือการเรียนรู้โดยใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นฐาน (Game-Based Learning) ดังนั้น กิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ จึงเป็นสื่อที่สำคัญสำหรับการพัฒนาการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ โดยทำให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียนและสนใจที่จะเรียนต่อ และทำให้เกิดการเรียนรู้ที่ยั่งยืน (Garris, Ahlers, & Driskell, 2002; de Freitas, 2006, p. 5; Gee, 2006; Papastergiou, 2009) การเรียนรู้ด้วยกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้สามารถพัฒนาวิธีการและแนวคิดขึ้นใหม่ที่จะสื่อสารกับสังคม

นอกจากนี้กิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้านการศึกษาที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญสำหรับกลุ่มวัยรุ่น ทำให้เกิดการส่งผ่านข้อมูล (Transfer Effect) ไปยังความจำขณะคิด (Working Memory) ได้เป็นอย่างดี (Alloway, Bibile, & Lau, 2013) จากการศึกษาเปรียบเทียบกิจกรรมการแสดงบริบทเสมือนจริงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์กับการออกแบบกิจกรรมการเดินในสนามฟุตบอลชี้ให้เห็นว่า ทั้งสองกิจกรรมเป็นกิจกรรมที่ช่วยกระตุ้นกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์ได้เช่นเดียวกัน โดยกลุ่มที่ทำกิจกรรมการแสดงบริบทเสมือนจริงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์มีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์หลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มที่ทำกิจกรรมการเดินในสนามฟุตบอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Gonzalez, Martín-Gutiérrez, Domínguez, HernanPérez, & Carrodegua, 2013)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์มากมายได้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นสื่อในการส่งเสริมทักษะการเรียนรู้ของสมอง ตัวอย่างเช่น Cabri-Geometer (Laborde, 2000) และ Cabri 3D (Kosa & Karakus, 2010) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความสามารถเชิงเรขาคณิต เนื่องจากผู้เรียนสามารถจัดการรูปทรงเรขาคณิตต่าง ๆ ได้โดยตรง แต่โปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านี้ยังมีข้อจำกัด คือต้องใช้ภาพในรูปแบบสองมิติบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Christou, Jones et al., 2007) แม้กระทั่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3DMath (Christou, Jones, Mousoulides, & Pittalis, 2006) ก็ยังใช้หน้าจอสองมิติเพื่อแสดงรูปทรงในรูปแบบสามมิติ ซึ่งยังไม่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจถึงรูปทรงแบบสามมิติได้อย่างสมบูรณ์ เหมือนกับการรับรู้ภาพของสิ่งเร้าแบบสามมิติผ่านหน้าจอแสดงผลแบบสามมิติ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เข้าใจถึงลักษณะ รูปทรง ของวัตถุ นั้น ๆ ได้อย่างชัดเจน อีกอย่างหนึ่ง คือการแสดงสิ่งเร้าแบบสามมิติผ่านหน้า

จอตแสดงผลแบบสามมิติ สอดคล้องกับกระบวนการคิดของคนที่ต้องใช้ความสามารถทางสมองเพื่อสร้างภาพของสิ่งเร้าในสมอง (Mental Image) ในรูปแบบสามมิติ (Christou, Jones et al., 2007)

การเข้าใจถึงรูปทรงของวัตถุในรูปแบบสามมิติเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและมีความซับซ้อนมาก เนื่องจาก 1) ผู้เรียนจะจัดกระทำกับมโนภาพของวัตถุในรูปแบบสามมิติได้ยาก หากผู้เรียนได้รับรู้โครงสร้างของวัตถุเพียงในรูปแบบสองมิติ (Gutiérrez, 1996) 2) ผู้เรียนไม่สามารถสร้างมโนภาพของวัตถุได้อย่างแม่นยำ 3) ผู้เรียนไม่สามารถมองเห็นมิติบางส่วนของวัตถุ และ 4) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมิติแต่ละด้านของวัตถุไม่เพียงพอ (Hauptman, 2010) การได้รับรู้หรือเห็นวัตถุในรูปแบบเคลื่อนไหวทำให้เกิดภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมองสมบูรณ์กว่าการได้รับรู้หรือเห็นวัตถุในรูปแบบนิ่ง รูปแบบสองมิติ หรือเป็นภาพในหนังสือ (Christou, Pittalis et al., 2007) กิจกรรมการฝึกที่ประกอบด้วยตัวกระตุ้นในรูปแบบสามมิติแบบเคลื่อนไหวบนหน้าจอแสดงผลสามมิติ เป็นสื่อที่ช่วยให้ผู้ที่ได้รับการฝึกเกิดการรับรู้หรือมองเห็นภาพของวัตถุได้ทุกด้าน และเกิดกระบวนการสร้างภาพในสมองได้ดีเพื่อนำภาพนั้น ๆ ไปจัดกระทำหรือแก้ปัญหาได้อย่างแม่นยำมากขึ้น (Yakimanskaya, 1991) นอกจากนี้ กิจกรรมผ่านหน้าจอแสดงผลแบบสามมิติเป็นสื่อที่ช่วยกระตุ้นโครงสร้างของสมองด้านการมองเห็น ที่จะทำให้เกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Connell, 1998) และช่วยกระตุ้นให้เกิดกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์ ซึ่งเป็นกระบวนการทำงานของสมองที่ส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Strong & Smith, 2002)

นอกจากปัจจัยการเคลื่อนไหวของสิ่งเร้าแบบสามมิติบนหน้าจอสามมิติ ตามแนวคิดของ Eliot and Hauptman (1981) ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นความสามารถในการรวบรวมข้อมูลของสิ่งเร้า โดยการสร้างภาพของสิ่งเร้าในสมอง เพื่อลงทะเบียนที่ไว้ในระบบความจำ และสามารถเรียกคืน (Retrieval) ภาพนั้น ๆ เพื่อที่จะจัดกระทำในตอนต่อไปได้ โดย Wright, Thompson, Ganis, Newcombe, and Kosslyn (2008) ได้เสนอว่า กิจกรรมการฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่มีลักษณะยั่งยืนถาวร (Durable) และครอบคลุม (Generalizable) ทุกองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ควรมีลักษณะเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยกระบวนการทำงานของสมองเป็นฐาน (Cognitive Process-Based Task) เช่น กระบวนการตั้งใจที่จะลงทะเบียนข้อมูลที่เกิดจากสิ่งเร้า เพื่อสร้างภาพสิ่งเร้าในระบบความจำขณะคิด เปลี่ยนแปลงภาพ และเปรียบเทียบภาพนั้น ๆ กับภาพในระบบความจำขณะคิดเพื่อยืนยันผล (Kornkasem & Black, 2015) จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ปรากฏว่า งานวิจัยส่วนมากยังไม่ได้มุ่งเน้นถึงทฤษฎีกระบวนการเรียนรู้ของสมองเพื่อนำมาออกแบบกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ในการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงนำทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการการเรียนรู้ของสมองมาเป็นแนวคิดในการพัฒนากิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นสื่อในการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Theory of Visual Indexing) ของ Pylyshyn (1972 cited in Pylyshyn & Storm, 1988) เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึงกระบวนการการเรียนรู้ของสมองที่อธิบายว่า เมื่อระบบการมองเห็น (Visual System) ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอก กลไกการจำแนกหรือคัดเลือก (Mechanism of Pick Out) ลักษณะจำเพาะ (Individuals) ของสิ่งเร้าจะเกิดขึ้นเป็นอันดับแรก เพื่อที่จะจำแนกลักษณะจำเพาะออกจากพื้นหลัง (Background) ต่อด้วยกลไกการติดตาม (Mechanism of Tracking) และกลไกการรักษาการติดตาม (Mechanism of Maintaining) ลักษณะจำเพาะนั้น แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสิ่งเร้าก็ตาม ในปี ค.ศ. 1988 Pylyshyn and Storm ได้พัฒนาแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ (Multiple Object Tracking: MOT) ขึ้น เพื่อใช้เป็นเทคนิคในการทดสอบทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น โดยลักษณะของแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ จะประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดง การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การกำหนดสิ่งเป้าหมาย และการแสดงผล (Pylyshyn, 2001)

แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ เป็นเทคนิคที่ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ของสมองที่มีการยอมรับกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1980 จนถึงปัจจุบัน และมีงานวิจัยจำนวนมากที่สนับสนุนว่า แบบจำลองนี้ มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของสมองด้านความสนใจ (Attention) ความจำขณะคิด (Working Memory) (Scholl & Pylyshyn, 1999; Sears & Pylyshyn, 2000; Viswanathan & Mingolla, 2002; Xu & Chun, 2009; Jahn, Wendt, Lotze, Papenmeier, & Huff, 2012; Parsons et al., 2014; Rehman, Kihara, Matsumoto, & Ohtsuka, 2015) กระบวนการรับรู้ด้านการมองเห็น (Visual Information Processing) (Pylyshyn & Storm, 1988; Pylyshyn et al., 1994; Scholl & Pylyshyn, 1999) และกระบวนการสร้างจินตภาพ (Imagery) (Pylyshyn, 1996) ดังจะเห็นความสำคัญของแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านจึงนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์เป็นกิจกรรมเพื่อช่วยกระตุ้นประสิทธิภาพการทำงานของสมอง (Cognitive Performance) (Faubert, 2001; Thornton, Bulthoff, Horowitz, Rynning, & Lee, 2014; Rehman et al., 2015)

จากการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของสมองโดยการบันทึกจากเครื่อง Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) ขณะทำกิจกรรมการติดตามการเคลื่อนที่หลายวัตถุ ปรากฏว่า มีการไหลเวียนของระดับออกซิเจนในเลือด (Blood Oxygen Level Dependent: BOLD) ในบริเวณส่วนต่าง ๆ ของสมองอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสมองส่วนท้ายทอยและสมองส่วนบน (Culham et al., 1998; Culham, Cavanagh, & Kanwisher, 2001; Jovicich et al., 2001; Tomasi, Ernst, Caparelli, & Chang, 2004; Howe, Horowitz, Morocz, Wolfe, &

Livingstone, 2009; Jahn et al., 2012) ซึ่งเป็นส่วนของสมองที่ประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งทิศทาง ระยะ ความลึก และมิติสัมพันธ์ (Schneck, 2010)

จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วยกิจกรรมที่อิงตามแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ และใช้ตัวกระตุ้นเป็นบล็อกทรงลูกบาศก์ในรูปแบบสามมิติที่จะแสดงบนหน้าจอแสดงผลแบบสามมิติ โดยผู้วิจัยจะกำหนดชื่อกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์นี้ว่าแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (Three-Dimensional Multiple-Moving Block Tracking Model: 3D-MBTM)

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ
2. เพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในประเด็นดังนี้
  - 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
  - 2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
  - 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
  - 2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
  - 2.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
  - 2.6 เปรียบเทียบความแตกต่างของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
  - 2.7 เปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม



2.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

### กรอบแนวคิดในการวิจัย

ทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Visual Indexing/ FINST Theory) (Pylyshyn & Storm, 1988; Pylyshyn, 2001) อธิบายว่า เมื่อระบบการมองเห็นได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอก กลไกการจำแนกหรือคัดเลือกลักษณะจำเพาะของสิ่งเร้า จะเกิดขึ้นเป็นอันดับแรก เพื่อที่จะจำแนกลักษณะจำเพาะนั้น ออกจากสิ่งเร้าอื่น ๆ และพื้นหลังของขอบเขตการมองเห็น ต่อด้วยกลไกการติดตาม และกลไกการรักษาการติดตามลักษณะจำเพาะนั้น แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสิ่งเร้าก็ตาม จากทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น แสดงให้เห็นว่า เมื่อภาพของสิ่งเร้าหลายตัวปรากฏขึ้นในขอบเขตการมองเห็น ก็จะทำให้เกิดการกระตุ้นต่อระบบการมองเห็น จากนั้นกระบวนการทำงานของสมองจะจำแนกลักษณะเหมือนและลักษณะต่างของสิ่งเร้า โดยยังคงติดตามและสนใจจดจ่อ (Focus Attention) กับลักษณะนั้น ๆ แม้สิ่งเร้าจะมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือมีการเคลื่อนที่ในขอบเขตการมองเห็นก็ตาม และความสามารถในการติดตามสิ่งเร้านั้นขึ้นอยู่กับความสนใจเกี่ยวกับการมองเห็นมิติ (Visuo-Spatial Attention) (Scholl, 2009) และความจำขณะคิด (Visual Working Memory) (Tomaso et al., 2004; Howe et al., 2009; Brown & Brockmole, 2010; Jahn et al., 2012) โดยอิงตามทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จึงพัฒนาขึ้นโดยมี 5 ขั้นตอน 1) การแสดง (Presentation) เป็นขั้นตอนการแสดงตัวกระตุ้นต่อระบบการมอง 2) การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย (Indexation) เป็นขั้นตอนที่บ่งบอกว่าตัวกระตุ้นใดเป็นตัวเป้าหมายที่ต้องติดตาม 3) การเคลื่อนที่ (Movement) เป็นขั้นตอนการรบกวนต่อกระบวนการติดตาม โดยตัวกระตุ้นทุกตัวจะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง ในขอบเขตการมองเห็น 4) การตอบ (Identification) เป็นขั้นตอนที่ต้องระบุว่า ตัวกระตุ้นใดเป็นตัวเป้าหมาย หลังมีการรบกวนด้วยการเคลื่อนที่ และ 5) การแสดงผล (Feedback) เป็นขั้นตอนที่แสดงให้เห็นสมองรับรู้ว่าการระบุตัวเป้าหมายนั้น ระบูกหรือผิด

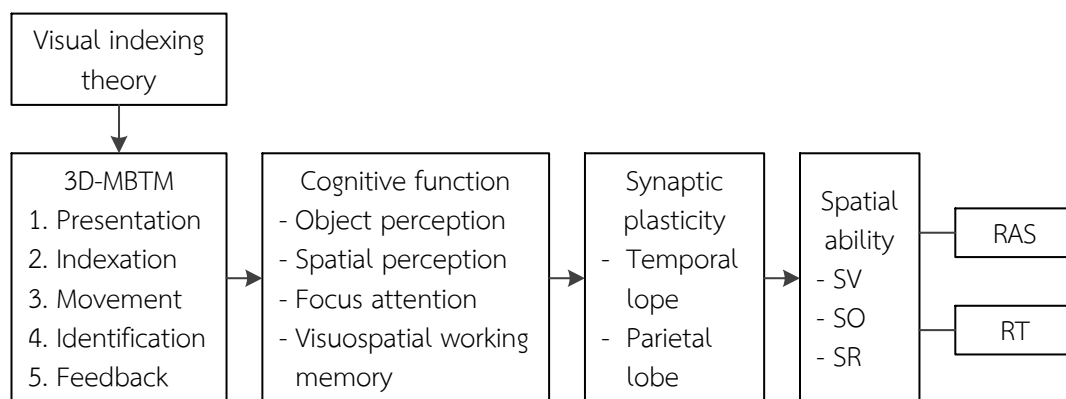
ตามทฤษฎีบูรณาการลักษณะของวัตถุ (Feature Integration Theory) (Treisman & Gelade, 1980; Treisman, 1998, 2002) เมื่อมีการแสดงของสิ่งเร้า (Targets Presentation) ต่อระบบการมองเห็น กระบวนการเรียนรู้จากภาพ (Visual Cognitive Function) จะแยกลักษณะของสิ่งเร้าเพื่ออธิบายลักษณะจำเพาะหรือความแตกต่างระหว่างสิ่งเร้า การรับรู้ลักษณะจำเพาะของวัตถุ (Object Perception) ได้แก่ สี (Color) ขนาด (Size) รูปทรง (Shape) และระดับต่างของสี (Shading) จะกระตุ้นไปยังบริเวณของสมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) ส่วนการรับรู้เกี่ยวกับ

มิติสัมพันธ์ (Spatial Perception) ได้แก่ ตำแหน่ง (Position) ทิศทาง (Orientation) ระยะ (Distance) ความลึก (Depth) มิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ (Spatial Relations) จะกระตุ้นไปยังบริเวณของสมองส่วนบน (Parietal Lobe) (Schneck, 2010) เมื่อสิ่งเป้าหมาย (Targets) มีการเคลื่อนที่พร้อมกับสิ่งเร้าอื่น ๆ ในขอบเขตการมองเห็น ก็จะเกิดการกระตุ้นพร้อมกันต่อระบบการมองเห็นและกระบวนการสนใจจดจ่อกับสิ่งเป้าหมาย และจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมกับกระบวนการยับยั้งที่จะสนใจจดจ่อกับสิ่งเร้าที่ไม่ใช่สิ่งเป้าหมาย (Nontargets) (Pylyshyn & Storm, 1988) เพื่อเชื่อมโยงกับระบบความจำ โดยเฉพาะความจำภาพขณะคิด (Visuospatial Working Memory) ซึ่งมีหน้าที่สร้างและจัดการกับมโนภาพของวัตถุ โดยการจัดเรียงลำดับความซับซ้อนของมโนภาพนั้น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ (Baddeley, 1992; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001, p. 638; C. A. Cohen & Hegarty, 2014) การสนใจจดจ่อ (Focus Attention) กับสิ่งเป้าหมายและความสามารถในการจัดเก็บรักษามโนภาพของสิ่งเร้าในระบบความจำเป็นส่วนประกอบที่ก่อให้เกิดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Miyake et al., 2001; Kosslyn, Shephard, & Thompson, 2007) เนื่องจากความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถที่ต้องอาศัยกระบวนการทำงานของหน่วยความจำเกี่ยวกับตำแหน่งและรูปร่างของสิ่งเร้า นอกจากนี้การศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของสมองโดยการบันทึกจากเครื่อง fMRI และเครื่อง EEG ปรากฏว่า มีการกระตุ้นในสมองส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อมูลด้านมิติสัมพันธ์ เช่น สมองส่วนขมับและสมองส่วนบนขณะทำกิจกรรมการติดตามการเคลื่อนที่หลายวัตถุ (Tomasi et al., 2004; Howe et al., 2009; Sternsheim, Agam, & Sekuler, 2011; Jahn et al., 2012; Alnaes et al., 2015)

ตามมุมมองของทฤษฎีความยืดหยุ่นของระบบประสาท (Neuroplasticity) หากสมองได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สมองจะมีการสร้างโครงข่ายประสาทให้มีการเชื่อมต่อกันมากขึ้น (Brain Rewiring) อย่างอัตโนมัติ เพื่อปรับตัวให้เข้ากับกิจกรรมที่เชื่อมกันของแบบจำลอง (Draganski & May, 2008; Ptito, Kupers, Lomber, & Pietrini, 2012) ดังข้อมูลเชิงประจักษ์จากภาพถ่ายของสมองโดยเครื่อง fMRI แสดงให้เห็นถึงการปรับโครงสร้างของระบบประสาท (Neural Reorganization) ที่ส่งผลต่อการทำงานของสมองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Mahncke et al., 2006; Kupers, Chebat, Madsen, Paulson, & Ptito, 2010) ซึ่งเป็นผลมาจากการกระตุ้นหรือฝึกอย่างสม่ำเสมอ (Malenka, 2002) ดังนั้นการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จะทำให้สมองบริเวณที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สร้างเครือข่ายเซลล์ประสาทให้เชื่อมต่อกันมากขึ้น ในบริเวณสมองส่วนบนและสมองส่วนขมับ ส่งผลให้ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีการพัฒนาดีขึ้น

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น (Spatial Visualization: SV) มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง (Spatial Orientation: SO) และมิติสัมพันธ์

เชิงสัมพันธ์ (Spatial Relation: SR) การวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แต่ละองค์ประกอบ สามารถวัดได้จาก 2 รูปแบบ ได้แก่ การวัดด้านพฤติกรรม และการวัดด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยการวัดด้านพฤติกรรม ประเมินจากคะแนนตอบถูก (Response Accuracy Score: RAS) และเวลาตอบ (Response Time: RT) ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ส่วนการวัดตัวแปรตามด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 (Event-Related Potential: ERP) ซึ่งประกอบด้วย ความสูง (Amplitude) และความกว้าง (Latency) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งสามารถกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

## สมมติฐานการวิจัย

การวิจัยนี้ จำแนกสมมติฐานการวิจัยเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. สมมติฐานการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ควรเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะ 3D จำลอง สามารถดำเนินการบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การแสดง การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การตอบ และการแสดงผล

2. สมมติฐานการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลของการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีดังนี้

2.1 กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูกในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง มากกว่าก่อนการทดลอง

2.2 กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง น้อยกว่าก่อนการทดลอง

2.3 กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูกในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง มากกว่ากลุ่มควบคุม

2.4 กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง น้อยกว่ากลุ่มควบคุม

2.5 กลุ่มทดลองมีความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำ กิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง สูงกว่าก่อนการทดลอง

2.6 กลุ่มทดลองมีความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะ ทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง น้อยกว่าก่อนการทดลอง

2.7 กลุ่มทดลองมีความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำ กิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม

2.8 กลุ่มทดลองมีความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะ ทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง น้อยกว่ากลุ่มควบคุม

### ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่มีลักษณะเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ดำเนินการบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่งบันทึกในแผ่น CD พร้อมกับคู่มือ การใช้งาน สามารถนำไปพัฒนาสมองของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านมิติสัมพันธ์ หรือมีความสามารถ ด้านมิติสัมพันธ์ในระดับต่ำ ในกลุ่มวัยรุ่นตอนต้น ซึ่งเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการพัฒนา ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

2. ได้รูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองเมื่อมีการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ ในการอ้างอิงต่อไปได้

3. สามารถนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปใช้เป็น ทางเลือกในการกระตุ้นสมองเพื่อพัฒนาความสามารถทางปัญญาด้านอื่น เช่น ความสามารถ ด้านเรขาคณิต ความสนใจ ความคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น

4. นักเรียนที่เข้าร่วมการวิจัยมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Pretest-Posttest Control-Group Design (McMillan & Schumacher, 2014, p. 274; Christensen, John, & Turner, 2015, p. 251) โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ประกอบด้วย เพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 13-16 ปี เรียนที่โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ประจำปีการศึกษา 2559 จำนวน 60 คน
2. ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย
  - 2.1 ตัวแปรต้น มี 1 ตัวแปร คือ วิธีการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ
  - 2.2 ตัวแปรตาม มี 1 ตัว ได้แก่ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์
3. การวัดตัวแปรตาม วัดใน 2 ด้าน ได้แก่ ด้านพฤติกรรม และด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง
  - 3.1 การวัดตัวแปรตามด้านพฤติกรรม วัดจาก
    - 3.1.1 คะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ทั้ง 3 แบบทดสอบ ได้แก่ 1) แบบทดสอบ Paper Folding & Form Board Test (PFT & FBT) ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ใช้ในการวัดมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น 2) แบบทดสอบ Card Rotations Test (CRT) ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ใช้ในการวัดมิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และ 3) แบบทดสอบ Mental Rotations Test (MRT) ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ใช้ในการวัดมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์
    - 3.1.2 เวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ทั้ง 3 แบบทดสอบ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT แบบทดสอบ CRT และแบบทดสอบ MRT
  - 3.2 การวัดตัวแปรตามด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ซึ่งประกอบด้วยความสูงและความกว้างของศักย์ไฟฟ้าสมอง ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

## นิยามศัพท์เฉพาะ

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ 3D จำลองที่ดำเนินการบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เพื่อเชื่อมต่อกับจอทีวีแบบ 3D โดยขณะเล่น ผู้เล่นต้องสวมแว่นตาสามมิติ เพื่อตอบสนองกิจกรรมในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ แต่ละกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดง การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การตอบ และการแสดงผล กิจกรรมที่ต้องเล่นมีลักษณะเช่นนี้

ทุกกิจกรรม รวมทั้งหมดมี 30 กิจกรรมเล่นต่อเนื่อง โดยจำแนกเป็น 3 ระดับการเล่น คือ ระดับการเล่น 1 มีตัวกระตุ้นเป้าหมาย 1 ตัว จำนวน 10 กิจกรรม ระดับการเล่น 2 มีตัวกระตุ้นเป้าหมาย 2 ตัว จำนวน 10 กิจกรรม และระดับการเล่น 3 มีตัวกระตุ้นเป้าหมาย 3 ตัว จำนวน 10 กิจกรรม

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability) หมายถึง ทักษะของสมองในการเข้าใจเกี่ยวกับรูปทรง รูปร่าง ตำแหน่ง และความเชื่อมโยงของมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้า และสามารถจัดการกับภาพของสิ่งเร้าโดยการแปลความหมายในสมองเกี่ยวข้องกับกรหมุน การเปลี่ยนรูปทรงพับหรือคลี่รูปทรง การแปลความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่มองเห็น โดยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สามารถแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์

มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น (Spatial Visualization) เป็นความสามารถในการรับรู้ เข้าใจ และมองเห็นลำดับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือลักษณะของวัตถุทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติ สามารถวัดได้จากแบบทดสอบ PFT & FBT

มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง (Spatial Orientation) เป็นความสามารถในการรับรู้ เข้าใจ และมองเห็นการเปลี่ยนตำแหน่ง ทิศทาง มุมมองของวัตถุ และความเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับตำแหน่งของวัตถุ สามารถวัดได้จากแบบทดสอบ CRT

มิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ (Spatial Relation) เป็นความสามารถในการรับรู้ เข้าใจ และมองเห็นภาพที่ได้จากการผสมกันระหว่างสองภาพ หรือความสามารถในการรับรู้ภาพหมุนของวัตถุได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ สามารถวัดได้จากแบบทดสอบ MRT

คะแนนตอบถูก (Response Accuracy Score) หมายถึง จำนวนข้อทั้งหมดที่กลุ่มตัวอย่างตอบถูกในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยการกดปุ่มเลือกคำตอบภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ CRT และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ MRT

เวลาตอบ (Response Time) หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่นักเรียนกดปุ่มตอบสนองถูกในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ คำนวณได้โดยการนำผลรวมของเวลาที่คิดตั้งแต่เริ่มต้นของแต่ละข้อที่ตอบถูกของแบบทดสอบจนมีการกดปุ่มตอบสนองจากกลุ่มตัวอย่าง มาหารด้วยจำนวนข้อที่ตอบถูกทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms) แบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ เวลาตอบในการทำแบบทดสอบ PFT & FBT เวลาตอบในการทำแบบทดสอบ CRT และเวลาตอบในการทำแบบทดสอบ MRT

คลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 (P300 ERP) หมายถึง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของคลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มตัวอย่าง ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบความสามารถ

ด้านมิติสัมพันธ์ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยการวัดองค์ประกอบของคลื่นไฟฟ้าสมองในด้านความกว้างและความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง อยู่ในช่วง 350ms ถึง 550ms

ความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 (P300 Latency) หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในกระบวนการทำงานของสมองของกลุ่มตัวอย่าง ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ คิดตั้งแต่ช่วงเวลาที่ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือจุดเริ่มต้นของกิจกรรมกระตุ้น (Stimulus Onset) จนถึงเวลาที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ที่อยู่ในช่วง 350ms ถึง 550ms โดยมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms)

ความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 (P300 Amplitude) หมายถึง ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดของคลื่นไฟฟ้าสมองที่อยู่ในช่วง 350ms ถึง 550ms ของกลุ่มตัวอย่าง ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์ ( $\mu\text{v}$ )

วัยรุ่นตอนต้น (Early Adolescent) หมายถึง เป็นระยะที่มีการพัฒนาทางจิตใจมาจากความเป็นเด็ก ไปสู่ความเป็นผู้ใหญ่ ซึ่งอยู่ในช่วงอายุระหว่าง 13 - 16 ปี

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำเสนอผลการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตอนที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการทางปัญญาและพัฒนาการทางสติปัญญาของมนุษย์

ทฤษฎีกระบวนการรับรู้ (Perceptual Process)

การรับรู้โดยการมองเห็น (Visual Perception)

ความยืดหยุ่นของระบบประสาท (Neuroplasticity)

ทฤษฎีโครงสร้างสติปัญญาของ Guilford

ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget

ทฤษฎีพหุปัญญาของ Gardner

ตอนที่ 3 แนวทางการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น

การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุกับความจำภาพ

แนวคิดการสร้างมโนภาพในสมอง

การใช้กิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตอนที่ 4 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองตามรูปแบบศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์

การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของสมองและการวัดด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง



## ตอนที่ 1 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

### ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถานได้ให้ความหมายคำว่า “มิติ” และ “สัมพันธ์” ไว้ดังนี้ มิติ ความหมายที่หนึ่ง หมายถึง การวัดขนาด (มักใช้ประกอบหลังศัพท์อื่น) เช่น ตรีโกณมิติ สัจคณิต ซึ่งวัดไปตามทิศทางหนึ่งโดยถือขนาดยาวเป็นมิติที่ 1 ขนาดกว้างเป็นมิติที่ 2 ความสูงเป็นมิติที่ 3 และถือว่าเวลาเป็นมิติที่ 4 ในทางศิลปะอาจใช้ หนา หรือ ลึก แทนกว้าง หรือ ยาว ส่วนความหมายที่สอง มิติ หมายถึง ด้าน มุมมอง เช่น เปิดมิติใหม่ของวงการภาพยนตร์ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2556, หน้า 907)

สัมพันธ์ หมายถึง ผูกพัน เกี่ยวข้อง เช่น เขากับฉันสัมพันธ์กันฉันญาติ ข้อความข้างหลังไม่สัมพันธ์กับข้อความข้างหน้า (ราชบัณฑิตยสถาน, 2556, หน้า 1210)

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษแตกต่างกัน อาทิ Spatial Ability, Visualization, Visual Reasoning, Imagination, Spatial Thinking, Imagery, Spatial Images (Gutiérrez, 1996) เป็นความสามารถส่วนบุคคล (Hoffler, 2010) และเป็นองค์ประกอบสำคัญอีกส่วนหนึ่งของเขาวนปัญญาทั่วไปของมนุษย์ที่มีลักษณะแตกต่างจากความสามารถด้านภาษา (Linguistic Ability) และความสามารถด้านตรรกะคณิตศาสตร์ (Logical-Mathematical Ability) (Gardner, 2011, p. 74) ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้นำมาศึกษาในการทำวิจัยทางด้านจิตวิทยาการศึกษา ตั้งแต่ทศวรรษ 1920 โดยนักจิตวิทยาหลายท่าน ซึ่งมีการกำหนดนิยามและโครงสร้างของความสามารถด้านนี้ในลักษณะที่ยังไม่สอดคล้องกัน (Sorby, 1999)

Eliot and Hauptman (1981) ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไว้ว่า เป็นความสามารถในการรวบรวมข้อมูลของสิ่งเร้าและสร้างมโนภาพของสิ่งเร้า นั้น ๆ เพื่อลงรหัสบันทึกไว้ในสมองและสามารถเรียกคืนมโนภาพนั้น ๆ เพื่อจัดการในตอนต่อไปได้ โดย McGee (1979, p. 893) ได้กำหนดโครงสร้างของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นสององค์ประกอบ ได้แก่ Spatial Visualization และ Spatial Orientation องค์ประกอบ Spatial Visualization เป็นความสามารถในการจัดการกับมโนภาพของวัตถุโดยการหมุน บิดเบือน หรือกลับด้านรูปทรง ที่ไม่มีการอิงถึงตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุอื่น และองค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรับรู้ การลงรหัสเก็บข้อมูลบันทึกในระบบความจำ และการเรียกคืนมโนภาพของวัตถุ ขณะที่มีการจัดกระทำโดยการเปลี่ยนรูปทรง การเคลื่อนที่ของรูปทรง การพับหรือการคลี่รูปทรง ส่วนองค์ประกอบ Spatial Orientation เป็นความสามารถในการสร้างมโนภาพการเปลี่ยนตำแหน่งหรือทิศทางของวัตถุที่มองเห็น ในความสามารถนี้ ตำแหน่งของบุคคลและตำแหน่งของวัตถุมีความสัมพันธ์กัน บุคคลสามารถใช้ Spatial Orientation เพื่อจินตนาการภาพการเปลี่ยนตำแหน่ง มุมมองหรือทิศทางของวัตถุทั้งใน

รูปแบบสองมิติและสามมิติ (Hegarty & Waller, 2005) ดังนั้น Spatial Orientation จึงมีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดทิศทางของสิ่งเร้าที่อยู่รอบตัว

Linn and Petersen (1985) ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไว้ว่า เป็นความสามารถในการอธิบาย การเปลี่ยนแปลง การสร้าง และการนี้ภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่มีในสมอง โดยไม่มีข้อมูลด้านภาษามาเกี่ยวข้อง ขณะที่ Tartre (1990) ก็ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ใกล้เคียงกันว่าเป็นทักษะของสมองที่เกี่ยวข้องกับการเข้าใจ การกระทำ การจัดระบบใหม่ หรือการแปลความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่มองเห็น Linn and Petersen ได้จำแนกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นสามองค์ประกอบ ได้แก่ 1) Mental Rotation เป็นความสามารถทางสมองของมนุษย์ในการสร้างมโนภาพแบบหมุนรูปทรงของวัตถุหรือสิ่งเร้าโดยไม่มี การบิดเบือนรูปทรง ในรูปแบบสองมิติหรือสามมิติได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว 2) Spatial Perception เป็นความสามารถทางสมองของมนุษย์ในการพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างมิติต่าง ๆ ของสิ่งเร้า และ 3) Spatial Visualization เป็นการจัดการกับมโนภาพสิ่งเร้า ที่มีลักษณะซับซ้อนหลายขั้นตอน เช่น การเปลี่ยนรูปร่างของสิ่งเร้า การตัดสิ่งเร้าเป็นชิ้นส่วน การประกอบชิ้นส่วนให้เป็นรูปทรงสมบูรณ์ เป็นต้น รวมทั้งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่าง ๆ ของสิ่งเร้าด้วย (Linn & Petersen, 1985)

Carroll (1993, p. 304) กล่าวว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นความสามารถเฉพาะตัวของแต่ละบุคคลในการสร้างมโนภาพของสิ่งเร้าเพื่อที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับรูปทรง รูปร่าง และตำแหน่งของสิ่งเร้านั้น ๆ และ Carroll ได้ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในลักษณะใกล้เคียงกันว่าเป็นความสามารถในการมองเห็นความสัมพันธ์ของมิติต่าง ๆ ไม่ว่าจะ เป็นพื้นที่ ที่ว่าง สถานที่และเวลา Carroll ได้สำรวจองค์ประกอบของความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์โดยกระบวนการทางสถิติ สามารถจำแนกองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็น 5 องค์ประกอบ ได้แก่ Spatial Visualization, Spatial Relations, Closure Speed, Flexibility of Closure และ Perceptual Speed องค์ประกอบ Spatial Visualization ได้รับการยอมรับมากมายจากนักจิตวิทยาและนักการศึกษาอื่น ๆ และได้นำองค์ประกอบนี้ไปเป็นประเด็นในการศึกษาต่อยอดอีกด้วย (Hegarty & Waller, 2005) Spatial Visualization เป็นกระบวนการทำความเข้าใจ วาดมโนภาพของมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมอง และจัดกระทำกับมโนภาพนั้น ๆ ให้เปลี่ยนสภาพจากรูปร่างเดิม โดยไม่จำกัดเวลา (Hoffler, 2010) ส่วน Spatial Relation เป็นกระบวนการจัดกระทำกับมโนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมองเช่นเดียวกับ Spatial Visualization แต่ Spatial Relation ใช้เพียงการหมุนมโนภาพของวัตถุในด้านเดียวหรือเพียงการหมุนรอบเดียวในเวลาอันสั้น โดยไม่มีการเปลี่ยนสภาพหรือรูปร่างของสิ่งเร้า ส่วนสามองค์ประกอบที่เหลือ เช่น Closure Speed และ Flexibility of Closure เป็นความสามารถที่ให้ความสำคัญกับเวลาในการทำ ความเข้าใจและกำหนดรูปแบบหรือลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่มองเห็น (Miyake et al., 2001)

โดย Flexibility of Closure เป็นความสามารถในการลกรหัสเพื่อบันทึกภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในระบบความจำขณะคิด ส่วน Closure Speed เป็นความสามารถในการเรียกคืนข้อมูลเกี่ยวกับภาพของวัตถุจากระบบความจำระยะยาว ซึ่ง Lohman (1979 cited in Hoffler, 2010) อธิบายว่า Closure Speed ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งวัดได้โดยแบบทดสอบความเร็วในการกำหนดภาพของวัตถุที่เหมือนกันหรือการกำหนดส่วนของภาพที่หายไป ส่วน Flexibility of Closure สามารถวัดได้โดยแบบทดสอบเกี่ยวกับการหาภาพที่มีรูปร่างง่าย ๆ เช่นเดียวกับรูปร่างเชิงเรขาคณิต ที่หายจากภาพที่ซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามแบบทดสอบนี้ ยังทำให้เกิดผลทับซ้อนกันกับองค์ประกอบอื่น โดยเฉพาะ Spatial Visualization และ Spatial Relations และองค์ประกอบสุดท้าย คือ Perceptual Speed เป็นองค์ประกอบที่มีความเกี่ยวข้องกับความเร็วในการรับรู้วัตถุหรือสิ่งเร้า เช่น การค้นหาภาพที่รู้จัก (Hoffler, 2010) ซึ่งกิจกรรมที่ใช้ในการทดสอบองค์ประกอบนี้ ไม่มีการใช้กระบวนการจัดกระทำกับมโนภาพของวัตถุแต่อย่างใด ใช้เพียงลักษณะการเปรียบเทียบรูปร่างของสิ่งเร้า ดังนั้นสามองค์ประกอบสุดท้ายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ตามแนวคิดของ Carroll ได้แก่ Closure Speed, Flexibility of Closure และ Perceptual Speed เป็นองค์ประกอบที่ต้องใช้กระบวนการมองเห็น (Visual Processing) มากกว่ากระบวนการคิดแบบมิติสัมพันธ์ (Spatial Processing) (Hegarty & Waller, 2005) และมีความเกี่ยวข้องกับสมองส่วนการควบคุมการเคลื่อนไหว เพื่อควบคุมการทำงานของลูกตาในการมองหาภาพของวัตถุหรือสิ่งเป้าหมาย (Carroll, 1993, p. 305)

Lohman (1996) ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นความสามารถของแต่ละบุคคลในการสร้าง จดจำ นึกภาพ และแปลงมโนภาพของวัตถุได้อย่างครบถ้วน โดย Lohman (1988) ได้จำแนกองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นสามองค์ประกอบ ได้แก่ 1) Spatial Relation เป็นความสามารถในการจินตนาการการหมุนรูปร่างของวัตถุหรือสิ่งเร้าในรูปแบบสองมิติได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว 2) Spatial Orientation เป็นความสามารถในการสร้างมโนภาพรูปร่างของวัตถุหรือสิ่งเร้าในมิติที่มองไม่เห็น และ 3) Spatial Visualization เป็นความสามารถในการจัดกระทำกับมโนภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้า โดยการแปลงรูปร่างของสิ่งเร้าในรูปแบบที่ซับซ้อนขึ้น เช่น การหมุนสร้างภาพสะท้อน การพับภาพที่ซับซ้อน หรือจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสิ่งเร้า (Ung, Ngowtrakul, Chotpradit, & Thavornwong, 2016)

Gardner (2011, p. 182) ได้อธิบายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่าเป็นความสามารถในการมองเห็นความเชื่อมโยงของมิติต่าง ๆ ของสิ่งเร้า และสามารถวาดภาพความเชื่อมโยงนั้น ๆ ให้เกิดขึ้นภายในสมอง พร้อมทั้งสามารถที่จะถ่ายทอดออกมาให้คนอื่นรับรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรม และ Gardner ได้นำแบบวัดองค์ประกอบมิติสัมพันธ์ (Space Factor) ของ Thurstone ซึ่งเป็นแบบวัดความเข้าใจเรื่องขนาดและมิติต่าง ๆ อันได้แก่ ความสั้น ยาว ใกล้เคียง ไกล และพื้นที่หรือทรวงทรงที่มี

ขนาดและปริมาตรที่แตกต่างกัน สามารถสร้างจินตนาการให้เห็นส่วนย่อยและส่วนผสมของวัตถุต่าง ๆ เมื่อนำมาซ้อนทับกัน และสามารถรู้ความสัมพันธ์ของรูปทรงเรขาคณิตเมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมาใช้เพื่อจำแนกองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยสามารถจำแนกเป็นสามองค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความสามารถในการกำหนดรูปร่างลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้า เมื่อวัตถุหรือสิ่งเร้า นั้น ๆ มีการเปลี่ยนทิศทางหรือมุมมอง 2) ความสามารถในการสร้างมโนภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งเร้า ในสมองในลักษณะเต็มรูปหรือไม่เต็มรูปของวัตถุ และ 3) ความสามารถในการสร้างมโนภาพเชื่อมโยงระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุกับตำแหน่งของตน

จากที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หมายถึง ทักษะของสมองที่เกี่ยวข้องกับการเข้าใจเกี่ยวกับรูปทรง รูปร่าง ตำแหน่ง และความเชื่อมโยงของมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้า และสามารถจัดกระทำกับภาพของสิ่งเร้าโดยการแปลความหมายในสมอง เกี่ยวข้องกับการหมุน การเปลี่ยนรูปทรง การเคลื่อนที่รูปทรง พับหรือคลี่รูปทรง หรือการแปลความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่มองเห็น ในการจำแนกองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ยังมีแนวคิดที่ไม่สอดคล้องกัน โดยองค์ประกอบ Spatial Visualization, Spatial Orientation และ Spatial Relation เป็นความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการจัดกระทำภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมอง โดยใช้กระบวนการทำงานของความจำภาพขณะคิด ขณะที่องค์ประกอบด้าน Flexibility of Closure และองค์ประกอบด้าน Closure Speed เป็นความสามารถที่ไม่เกี่ยวข้องกับการจัดกระทำภาพในสมองของสิ่งเร้าและไม่ต้องใช้กระบวนการทำงานของสมองด้านความจำภาพขณะคิด (Miyake et al., 2001) แต่บทบาทสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นการสร้างมโนภาพของสิ่งเร้าที่มองเห็นหรือรับรู้เพื่อลงรหัสบันทึกไว้ในระบบความจำ และสามารถเรียกคืนมโนภาพนั้น ๆ ขึ้นมาเพื่อที่จะจัดกระทำในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นจึงจำแนกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์

1. มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น เป็นความสามารถในการรับรู้ เข้าใจและมองเห็นลำดับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือลักษณะของวัตถุทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติ
2. มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง เป็นความสามารถในการรับรู้ เข้าใจและมองเห็นการเปลี่ยนตำแหน่ง ทิศทาง มุมมองของวัตถุ และความเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับตำแหน่งของวัตถุ
3. มิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ เป็นความสามารถในการรับรู้ เข้าใจและมองเห็นภาพที่ได้จากการผสมกันระหว่างสองภาพ หรือความสามารถในการรับรู้ภาพหมุนของวัตถุได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ

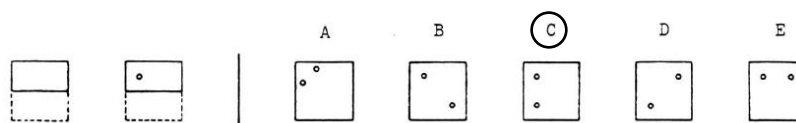
#### **แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์**

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถด้านเชาวน์ปัญญาทั่วไปของมนุษย์ ดังนั้นในการวัดความสามารถด้านนี้ จะต้องใช้แบบทดสอบความสามารถทางสติปัญญา (Intelligence Test) ประเภทหนึ่ง ที่เกี่ยวกับการมองเห็นหรือการวาดมโนภาพรูปร่าง รูปทรงของวัตถุหรือสิ่งเร้าใน

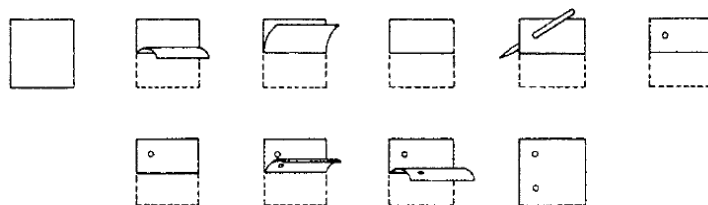
มิติต่าง ๆ ไม่ว่าจะ เป็นรูปที่มีความหมาย หรือไม่มีความหมาย ผู้ตอบแบบทดสอบจะต้องสร้าง  
 มโนภาพรูปทรงของวัตถุหรือสิ่งเร้าให้มีการเปลี่ยนทิศทางหรือเปลี่ยนสภาพไป นอกจากนั้นผู้ตอบ  
 จะต้องสามารถมองเห็นและเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้าได้  
 ปัจจุบันมีแบบทดสอบจำนวนมากที่ใช้ในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ดังนี้

#### 1. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น

มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็นสามารถทดสอบได้โดยใช้แบบทดสอบหลายรูปแบบ เช่น Paper  
 Folding Test, Form Board Test, Block Tasks และ Surface Development Tests (Eliot &  
 Smith, 1983, p. 321) แบบทดสอบที่นิยมใช้เพื่อทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น ได้แก่ Paper  
 Folding Test ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นโดย Ekstrom, French, Harman, and Dermen  
 (1976) ในแบบทดสอบกำหนดให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว โดยการพิจารณา  
 จากรูปการเคลื่อนที่ออกจากพับและเจาะรูกระดาษสี่เหลี่ยม ด้วยวงกลม (○) บนอักษร A, B, C, D  
 หรือ E ที่สอดคล้องกับคำตอบที่ถูกต้องอยู่ด้านขวามือ ดังภาพที่ 2-1 เป็นแบบทดสอบในรูปแบบสอง  
 มิติที่ใช้กระดาษกับปากกา มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .68 (Study,  
 2012) แบบทดสอบ Paper Folding Test เป็นแบบทดสอบที่ใช้กับเด็กอายุ 9 ถึง 16 ปี  
 ประกอบด้วย 20 ข้อ แบ่งเป็นสองหน้ากระดาษ แต่ละหน้ากระดาษมีจำนวน 10 ข้อ และมีความยาก  
 ง่ายไม่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้นักเรียนใช้เวลาตอบแต่ละหน้ากระดาษไม่เกิน 3 นาที  
 ในการแก้ปัญหาของแต่ละโจทย์ในแบบทดสอบ นักเรียนต้องจินตนาการภาพการจัดกระทำกับ  
 กระดาษโดยการพับกระดาษตามโจทย์กำหนด ต่อด้วยการเจาะรู และคลี่กระดาษออก แล้วทำ  
 การเปรียบเทียบผลจากจินตภาพกับภาพคำตอบตัวเลือก (Ekstrom, French, Harman, & Derman,  
 1976, p. 176) ดังภาพที่ 2-2



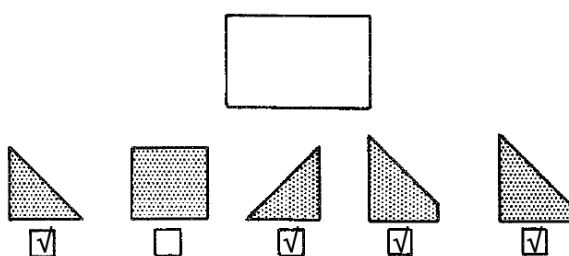
ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างแบบทดสอบ Paper Folding Test (Ekstrom, French, Harman, & Derman,  
 1976, p. 176)



ภาพที่ 2-2 ภาพแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาในโจทย์ตัวอย่างแบบทดสอบ Paper Folding Test (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 176)

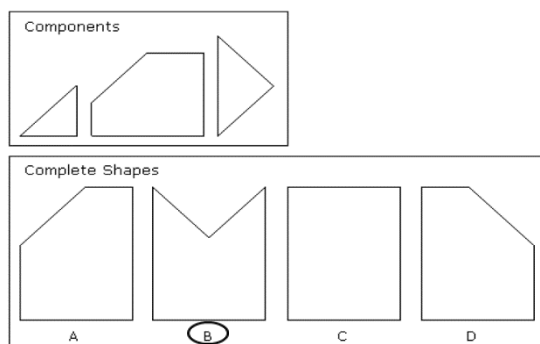
แบบทดสอบ Form Board Test เป็นแบบทดสอบในรูปแบบสองมิติที่ใช้กระดาษกับปากกาเช่นกัน สามารถออกโจทย์ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

แบบทดสอบ Form Board Test ในรูปแบบที่ 1 ดังภาพที่ 2-3 พัฒนาโดย Ekstrom, French, Harman, and Derman (1976) มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .61 (Study, 2012) โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาให้ 1 ภาพ ผู้ตอบจะต้องสร้างมโนภาพโดยจำแนกภาพปัญหาออกเป็นส่วน ๆ (อาจจะเป็น 2, 3 หรือ 4 ส่วน) และผู้ตอบจะต้องเลือกคำตอบที่มี 5 ตัวเลือก ในแต่ละตัวเลือกจะแสดงส่วนประกอบหนึ่งของภาพปัญหารวมกับภาพอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้ตอบสามารถเลือกได้หลายคำตอบ ตั้งแต่ 2 คำตอบถึง 4 คำตอบ แบบทดสอบ Paper Folding Tasks ประกอบด้วย 20 ข้อ และเป็นแบบทดสอบที่เหมาะสมกับเด็กอายุ 9 ถึง 16 ปี โดยกำหนดให้ตอบในเวลาไม่เกิน 8 นาที



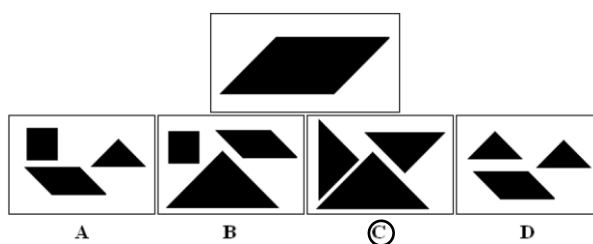
ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test แบบประกอบภาพมีหลายคำตอบ (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 175)

แบบทดสอบ Form Board Test ในรูปแบบที่ 2 ดังภาพที่ 2-4 พัฒนาโดย Newton (2009) โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาที่มีลักษณะเป็นส่วน ๆ ของภาพสมบูรณ์ ผู้ตอบจะต้องนำส่วนนั้น ๆ มาประกอบกันเพื่อให้ออกเป็นภาพที่สมบูรณ์ และผู้ตอบต้องเลือกภาพคำตอบที่ถูกต้องหนึ่งภาพจากภาพตัวเลือกจำนวน 4 ตัวเลือก



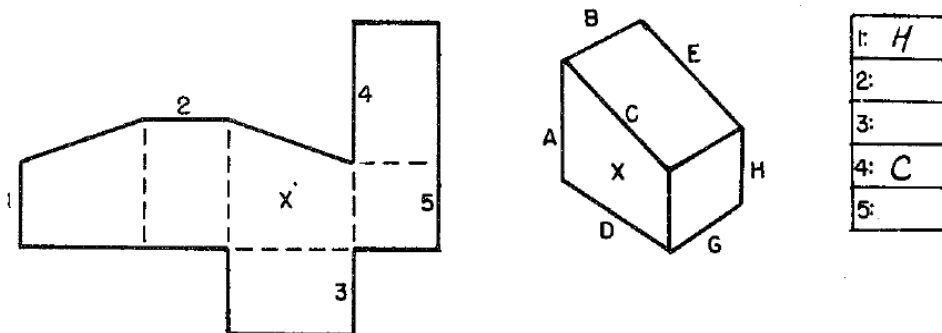
ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test แบบมีคำตอบเดียว (Newton, 2009, p. 15)

แบบทดสอบ Form Board Test ในรูปแบบที่ 3 ดังภาพที่ 2-5 พัฒนาโดย Newton (2009) โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาให้ 1 ภาพ ผู้ตอบจะต้องทำการมโนภาพโดยการประกอบชุดภาพแยกส่วนจากตัวคำตอบที่มี 4 ตัวเลือก



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test แบบประกอบภาพมีคำตอบเดียว (Newton, 2009, p. 3)

แบบทดสอบ Surface Development Test พัฒนาโดย Ekstrom, French, Harman, and Dermen (1976) เป็นแบบทดสอบที่เหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีจำนวน 12 ข้อ ใช้เวลาตอบไม่เกิน 6 นาที (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 177) มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .84 และเป็นแบบทดสอบที่กลุ่มตัวอย่างต้องจินตนาการการพับภาพของวัตถุจากรูปแบบสองมิติเป็นรูปแบบสามมิติ (Study, 2012) โจทย์ของแบบทดสอบ Surface Development Test โจทย์จะกำหนดภาพมาสองภาพ ภาพที่ 1 เป็นภาพสองมิติ ภาพที่ 2 เป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งภาพ 3 มิตินั้นเกิดจากการพับเป็นกล่องของภาพ 2 มิติ และกำหนดให้ผู้ตอบเปรียบเทียบตำแหน่งของหมายเลขบนภาพ 2 มิติ กับตัวอักษรบนภาพ 3 มิติ โดยเขียนคำตอบในตารางด้านขวามือ ดังภาพที่ 2-6



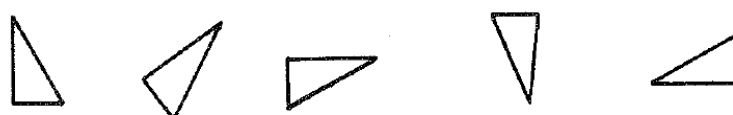
ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างแบบทดสอบ Surface Development Test (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 177)

จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบที่นิยมใช้ในการทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น ที่เหมาะกับวัยรุ่นตอนต้น มีจำนวน 2 แบบทดสอบ ได้แก่ Paper Folding Test และ Form Board Test โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .68 และ .61 ตามลำดับ ดังนั้นแบบทดสอบ Paper Folding Test และ Form Board Test จึงเหมาะที่นำไปประยุกต์เป็นแบบทดสอบบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็นของวัยรุ่นตอนต้น

## 2. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง

มิติสัมพันธ์เชิงทิศทางเป็นความสามารถในการคิดเกี่ยวกับความเชื่อมโยงระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุหรือสิ่งเร้าโดยอ้างอิงถึงตำแหน่งวัตถุอื่นหรือตำแหน่งของตน สามารถทดสอบได้โดยใช้แบบทดสอบหลายรูปแบบ เช่น Card Rotations Test, Cube Comparisons Test, และ Guilford-Zimmerman Spatial Orientation Test (Hegarty & Waller, 2005)

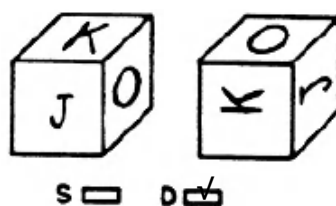
แบบทดสอบ Card Rotations Test พัฒนาโดย Ekstrom, French, Harman, and Derman (1976) โจทย์ของแบบทดสอบเป็นการแสดงภาพทรงเรขาคณิตจำนวน 5 ภาพ ดังภาพที่ 2-7 กำหนดให้ผู้ตอบเลือกภาพสองตัวที่เหมือนกัน ด้วยวงกลมบนภาพนั้น ๆ แบบทดสอบนี้เหมาะกับเด็กอายุ 8 ถึง 16 ปี มีจำนวน 60 ข้อ ใช้เวลาตอบไม่เกิน 3 นาที (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 150) ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .72 (Study, 2012)



ภาพที่ 2-7 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Card Rotations Test (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 151)

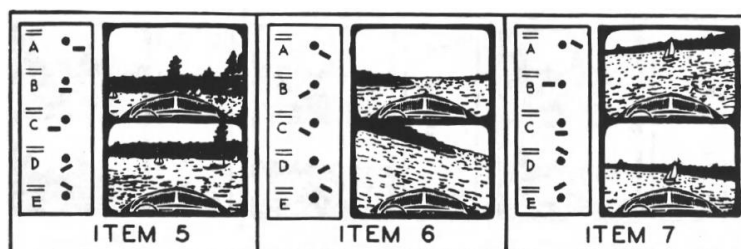


แบบทดสอบ Cube Comparisons Test พัฒนาโดย Ekstrom, French, Harman, and Dermen (1976) มีการกำหนดโจทย์โดยให้คู่ลูกบาศก์มาจำนวน 1 คู่ และให้ผู้ตอบแบบทดสอบเลือกตอบว่าลูกบาศก์คู่นั้นเหมือนกันหรือต่างกัน โดยเลือกจากคำตอบที่อยู่ใต้ภาพ ดังภาพที่ 2-8 แบบทดสอบนี้เหมาะสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีจำนวน 21 ข้อ ใช้เวลาตอบไม่เกิน 3 นาที (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 150) และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .80 (Kenney, 2009, p. 56)



ภาพที่ 2-8 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Cube Comparisons Test (Ekstrom, French, Harman, & Derman, 1976, p. 152)

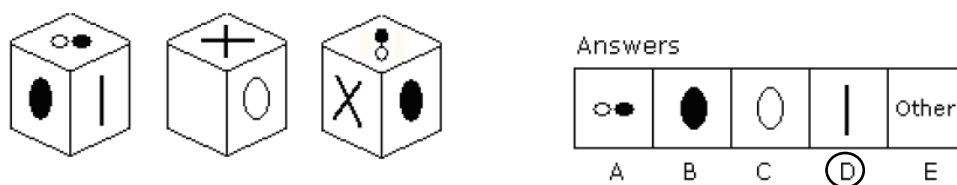
Guilford-Zimmerman Spatial Orientation Test (Guilford-Zimmerman SO) พัฒนาโดย Guilford-Zimmerman ในปี ค.ศ. 1948 เป็นแบบทดสอบที่ผู้ทำแบบทดสอบต้องกำหนดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหัวเรือโดยเปรียบเทียบภาพตำแหน่งของหัวเรือภาพข้างบน (แทนตำแหน่งที่ 1 ของเรือ) กับหัวเรือภาพข้างล่าง (แทนตำแหน่งที่ 2 ของเรือ) ว่าเรือเปลี่ยนทิศทางไปทางใด โดยเลือกจากคำตอบที่มี 5 ตัวเลือก ดังภาพที่ 2-9 (Hegarty & Waller, 2005)



ข้อที่ 5 คำตอบถูก C ข้อที่ 6 คำตอบถูก B ข้อที่ 7 คำตอบถูก E

ภาพที่ 2-9 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Guilford-Zimmerman SO แบบสามตัวอย่าง (Hegarty & Waller, 2005)

นอกจากแบบทดสอบ Card Rotations Test, Cube Comparisons Test แล้ว Guilford–Zimmerman Spatial Orientation Test เมื่อปี ค.ศ. 2009 Newton ได้พัฒนาแบบทดสอบ Cube View in 3-Dimensions เพื่อตรวจสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในด้านการกำหนดมุมมอง ทิศทาง หรือความเชื่อมโยงระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุในรูปแบบสามมิติ โดยโจทย์แสดง 3 มุมมองของลูกบาศก์ลูกเดียว เป็นภาพในรูปแบบสามมิติที่สามารถมองเห็นได้ 3 ด้าน แต่ละด้านกำหนดด้วยสัญลักษณ์ที่ไม่ซ้ำกัน และมีด้านหนึ่งของภาพลูกบาศก์ที่สัญลักษณ์หายไป ผู้ตอบต้องเลือกสัญลักษณ์จากตัวเลือกคำตอบที่มี 5 ตัวเลือก ให้สอดคล้องกับภาพที่แสดง Newton (2009) ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบมุมมองลูกบาศก์ (Newton, 2009, p. 16)

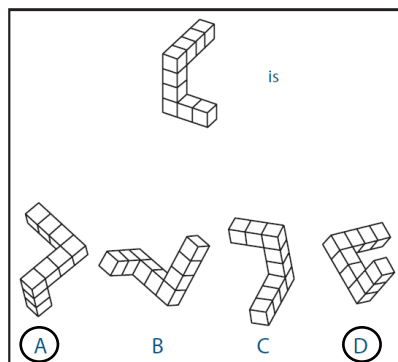
จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบที่นิยมใช้ในการทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง มี 5 แบบทดสอบ ได้แก่ Card Rotations Test, Cube Comparisons Test, Guilford–Zimmerman Spatial Orientation Test และ Cube View in 3-Dimensions แต่แบบทดสอบที่ระบุถึงค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายในและเหมาะสมกับเด็กวัยรุ่นตอนต้นมี 1 แบบทดสอบ ได้แก่ Card Rotations Test โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของ Kuder-Richardson เท่ากับ .72 ดังนั้นในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงนำแบบทดสอบ Card Rotations Test มาประยุกต์เป็นแบบทดสอบบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง เนื่องจากแบบทดสอบชนิดนี้มีค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายในค่อนข้างสูงและเหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

### 3. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์

มิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์สามารถทดสอบได้โดยใช้แบบทดสอบหลายรูปแบบ เช่น Mental Rotations Test, Differential Aptitude Test: Space Relations และ Three-Dimensional Cube Test ซึ่งเป็นแบบทดสอบเกี่ยวกับความสัมพันธ์แบบง่าย ๆ โดยให้ความสำคัญกับความเร็วในการหมุนหรือกลับด้านภาพของวัตถุเชิงจินตนาการ (Carroll, 1993, p. 327)

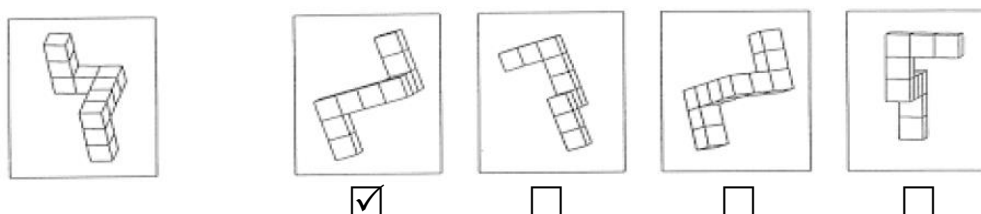
Mental Rotations Test (MRT) เป็นแบบทดสอบที่ใช้กระดาษกับปากกา มีจำนวน 20 ข้อ ใช้เวลาตอบไม่เกิน 8 นาที (Gorska & Sorby, 2008) พัฒนาโดย Vandenberg and Kuse (1978) มีลักษณะเป็นกิจกรรมการหมุนวัตถุหรือสิ่งเร้าเช่นกัน ซึ่งผู้ทำแบบทดสอบต้องกำหนดว่า

ภาพใดของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่แสดง มีลักษณะเหมือนกับภาพที่ให้ เมื่อมีการหมุนหรือเปลี่ยนทิศทาง (Eliot & Smith, 1983, p. 288) และมีภาพที่เป็นคำตอบทางเลือก จำนวน 4 ภาพ ประกอบด้วย ภาพที่ถูกต้องจำนวน 2 ภาพและภาพที่ไม่ถูกต้อง จำนวน 2 ภาพ ดังภาพตัวอย่างแบบทดสอบ ในภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ MRT แบบมีสองคำตอบ (Lieu & Sorby, 2009)

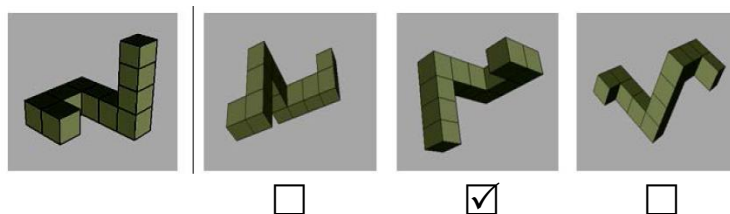
ในปี ค.ศ. 1995 Peters et al. (1995) ได้นำแบบทดสอบ MRT ของ Vandenberg and Kuse มาปรับเป็น 4 ตัวเลือกแต่มีคำตอบถูกเพียงข้อเดียว และมีจำนวน 24 ข้อ ใช้เวลาในการตอบไม่เกิน 6 นาที ดังภาพที่ 2-12 แบบทดสอบ MRT นำมาใช้เพื่อทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ โดยใช้ภาพในรูปแบบสามมิติ (Martin-Dorta, Saorin, & Contero, 2008) สามารถนำไปทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็นได้เช่นกัน (Gorska & Sorby, 2008) ส่วนองศาในการหมุนรอบควรอยู่ระหว่าง  $0^{\circ}$  ถึง  $180^{\circ}$  โดยเพิ่มขึ้นทีละ  $20^{\circ}$  (Yue, 2004)



ภาพที่ 2-12 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ MRT แบบมีสี่ตัวเลือกและคำตอบเดียว (Datta & Roy, 2016)

ในปี ค.ศ. 2016 Datta and Roy (2016) ได้นำแบบทดสอบ MRT ของ Vandenberg and Kuse มาปรับเป็น 3 ตัวเลือกแต่มีคำตอบถูกเพียงข้อเดียว ดังภาพที่ 2-13 เพื่อใช้กับ

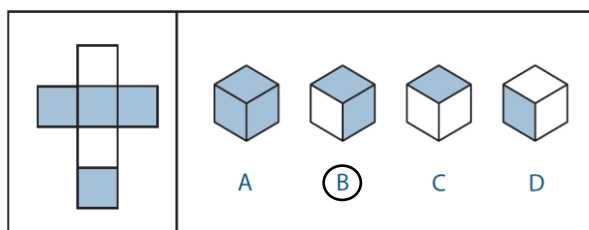
กลุ่มตัวอย่างที่มีอายุระหว่าง 11-16 ปี แบบทดสอบ Mental Rotation Test ที่ปรับโดย Datta และคณะ ซึ่งประกอบด้วยแบบทดสอบ จำนวน 20 ข้อ ใช้เวลาตอบไม่เกิน 6 นาที มีค่าเฉลี่ยความยากง่ายเท่ากับ .67 ค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายในเท่ากับ .71 และค่าความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) เท่ากับ .65 ขณะที่แบบทดสอบ MRT ที่ปรับโดย Peters และคณะมีค่าเฉลี่ยความยากง่ายเท่ากับ .22 ค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายในเท่ากับ .57 และค่าความตรงตามสภาพเท่ากับ .50 (Datta & Roy, 2016)



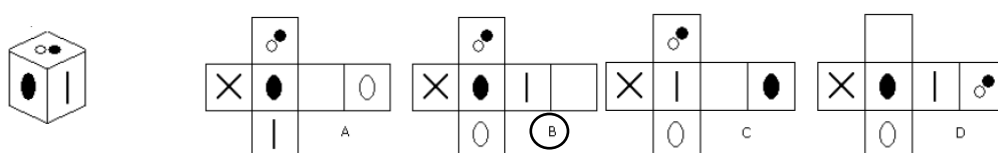
ภาพที่ 2-13 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ MRT แบบมีสามตัวเลือกและคำตอบเดียว (Datta & Roy, 2016)

Differential Aptitude Test: Space Relations เป็นแบบทดสอบที่ใช้กระดาษกับปากกา ประกอบด้วยแบบทดสอบ จำนวน 50 ข้อ พัฒนาโดย Bennett, Seashore, and Wesman ในปี 1973 (Sorby, 1999) ในการทดสอบ Differential Aptitude Test: Space Relations ผู้ทำแบบทดสอบต้องใช้จินตนาการในการพับกระดาษตามภาพของสิ่งเร้าในรูปแบบสองมิติให้เป็นรูปแบบสามมิติและคลี่ภาพของสิ่งเร้าในรูปแบบสามมิติให้เป็นรูปแบบสองมิติ (Gorska & Sorby, 2008) Differential Aptitude Test: Space Relations เป็นแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่ต้องใช้ความสามารถทางสมองสูง มีลักษณะซับซ้อนเหมาะกับผู้มีอายุตั้งแต่ 7 ปีขึ้นไป (Bartmans & Sorby, 1996, p. 9) มีค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายในเท่ากับ .68 เมื่อนำไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น (Gorska & Sorby, 2008) และเป็นแบบทดสอบที่เหมาะสมกับการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในองค์ประกอบด้านมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ (Sorby, 1999) โจทย์ของแบบทดสอบ Differential Aptitude Test: Space Relations มีสองแบบ โจทย์แบบที่ 1 เป็นโจทย์การประกอบกล่อง โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาให้ 1 ภาพ มีลักษณะเป็นภาพคล้ายกับกล่องกระดาษที่คลี่ออก ผู้ตอบจะต้องจินตนาการในการพับกระดาษตามรอยที่กำหนดให้ได้เป็นรูปกล่อง และเปรียบเทียบภาพในจินตนาการนั้น ๆ กับภาพคำตอบ ซึ่งมีลักษณะเป็นภาพคล้ายกับกล่องจำนวน 4 ตัวเลือก ดังภาพที่ 2-14 โจทย์แบบที่ 2 เป็นโจทย์การคลี่กล่อง โจทย์จะกำหนดภาพปัญหาให้ 1 ภาพ มีลักษณะเป็นภาพคล้ายกับกล่องกระดาษที่มีลวดลาย ผู้ตอบจะต้องจินตนาการคลี่กล่อง

กระดาษออก และเปรียบเทียบภาพในจินตนาการนั้น ๆ กับภาพคำตอบ ซึ่งมีลักษณะเป็นภาพคล้ายกับกล่องกระดาษที่คลี่ออก จำนวน 4 ตัวเลือก ดังภาพที่ 2-15

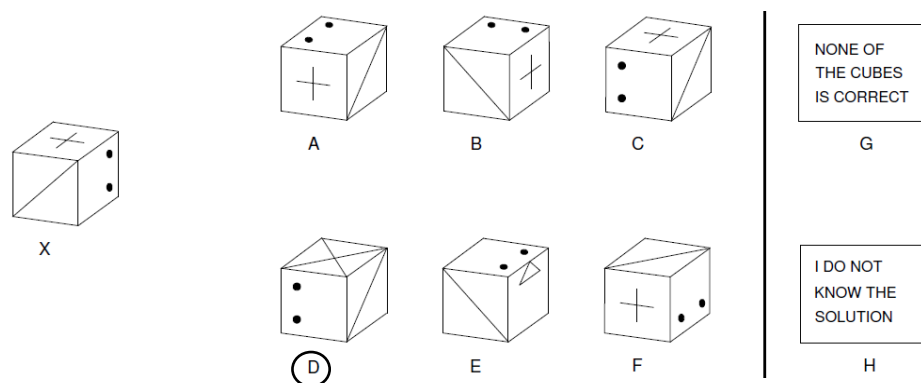


ภาพที่ 2-14 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ DAT: SR ในรูปแบบประกอบกล่อง (Lieu & Sorby, 2009, pp. 3-6)



ภาพที่ 2-15 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ DAT: SR ในรูปแบบคลี่กล่อง (Newton, 2009, p. 18)

Three-Dimensional Cube Test เป็นแบบทดสอบที่ใช้กระดาษกับปากกา มีจำนวน 18 ข้อ แบบทดสอบนี้พัฒนาโดย Gittler ในปี 1998 เพื่อทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ (Sorby, 1999) ของบุคคลที่มีอายุตั้งแต่ 13 ปีขึ้นไป (Gittler & Gluck, 1998) ในแต่ละข้อมีภาพลูกบาศก์ (Cube) จำนวน 7 ภาพ ลูกบาศก์หนึ่งเป็นลูกบาศก์เป้าหมาย (Target Cube) หรือลูกบาศก์ X และผู้ทำแบบทดสอบต้องเลือกคำตอบหนึ่งคำตอบที่ถูกต้อง จากคำตอบที่มี 8 ตัวเลือก ประกอบด้วย ภาพลูกบาศก์ 6 ภาพ (ลูกบาศก์ A ถึง F) รวมกับคำตอบทางเลือกอีกสองคำตอบ (G ไม่มีคำตอบที่ถูกต้อง และ H ไม่รู้คำตอบ) ในการเลือกคำตอบผู้ทำแบบทดสอบต้องเปรียบเทียบภาพคำตอบกับภาพลูกบาศก์เป้าหมาย ดังภาพตัวอย่างแบบทดสอบในภาพที่ 2-16 แบบทดสอบนี้ใช้เวลาในการตอบประมาณ 15 ถึง 40 นาที เมื่อผู้ทำแบบทดสอบตอบถูกหนึ่งข้อได้หนึ่งคะแนน ดังนั้นคะแนนรวมของแบบทดสอบคือ 17 คะแนน (Gittler & Gluck, 1998)



ภาพที่ 2-16 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Three-Dimensional Dube Test (Gittler & Gluck, 1998)

จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบที่นิยมใช้ในการทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ มี 3 แบบทดสอบ ได้แก่ Mental Rotations Test, Differential Aptitude Test: Space Relations และ Three-Dimensional Cube Test แต่แบบทดสอบที่ระบุถึงค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายใน และมีความเหมาะสมกับวัยรุ่นตอนต้นมี 1 แบบทดสอบ ได้แก่ Mental Rotations Test ซึ่งมีค่าความเที่ยงเชิงความสอดคล้องภายในค่อนข้างสูง ดังนั้นแบบทดสอบ Mental Rotations Test จึงเหมาะที่จะนำไปประยุกต์เป็นแบบทดสอบบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์

## ตอนที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการทางปัญญาและพัฒนาการทางสติปัญญาของมนุษย์

จากแนวคิดที่แตกต่างกันเกี่ยวกับสติปัญญาของมนุษย์ นักการศึกษาและนักจิตวิทยาได้พยายามศึกษาค้นคว้าข้อมูล เพื่อที่จะอธิบายให้เห็นถึงสภาพต่าง ๆ ในสมองของมนุษย์ว่าโครงสร้างทางสมองมีส่วนประกอบอย่างไร จากผลการศึกษาค้นคว้าดังกล่าว ทำให้เกิดทฤษฎีที่เกี่ยวกับกระบวนการทำงานของสมองมากมาย ดังนี้

### ทฤษฎีกระบวนการรับรู้ (Perceptual Process)

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ ผ่านการรับรู้ทางการมองเห็นที่ต้องใช้กระบวนการรับรู้ (Perception) และกระบวนการรู้คิด ซึ่งเป็นความสามารถทางสมองในการแปลความหมายสิ่งที่มองเห็นร่วมกับประสบการณ์ที่เคยได้รับมาก่อน

การรับรู้ (Perception) เป็นกระบวนการแปลความหมายจากการสัมผัส โดยเริ่มตั้งแต่มีสิ่งเร้ามากระทบกับอวัยวะรับสัมผัสทั้งห้า และส่งกระแสประสาทไปยังสมอง เพื่อแปลความหมายกระบวนการรับรู้การทำงานร่วมกันระหว่างประสบการณ์และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก

ซึ่งกระบวนการรับรู้ (Perceptual Process) แบ่งเป็น 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ตัวกระตุ้น (Stimulus) การส่งสัญญาณประสาท (Neural Signaling) หรือกระแสไฟฟ้า (Electricity) ประสบการณ์และ ปฏิกริยา (Experience and Action) และความรู้ (Knowledge) (Goldstein, 2010, pp. 5-8)

ตัวกระตุ้น (Stimulus)

ตัวกระตุ้น หมายถึง สิ่งที่อยู่ตามสภาพแวดล้อมรอบตัวที่เราให้ความสนใจและเป็นสิ่งที่ช่วย กระตุ้นตัวรับรู้ภายใน ประกอบด้วย ตัวกระตุ้นจากสภาพแวดล้อม ตัวกระตุ้นสร้างความสนใจ และ ตัวกระตุ้นภายใน ดังนี้

1. ตัวกระตุ้นจากสภาพแวดล้อม (Environmental Stimuli) หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ใน สภาพแวดล้อมรอบตัว ที่ทำให้เกิดการรับรู้

2. ตัวกระตุ้นสร้างความสนใจ (Attended Stimuli) หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ใน สภาพแวดล้อมรอบตัวที่เราสนใจ

3. ตัวกระตุ้นภายใน (Stimulus on the Receptors) หมายถึง การเปลี่ยนรูปแบบ ตัวกระตุ้นที่รับมาโดยตัวรับรู้ต่าง ๆ (Receptors)

ลักษณะของตัวกระตุ้นที่ทำให้เกิดการรับรู้ได้ทันที หรือเป็นตัวกระตุ้นที่สามารถดึงดูด ความสนใจได้เป็นอย่างดี ควรมีลักษณะต่อไปนี้ (Quinn, 1984, pp. 33-34)

ความเข้มและขนาด (Intensity and Size) เช่น เสียงดัง แสงสว่าง ขนาดใหญ่ ทำให้เรา เลือกรับรู้ได้มากกว่าสิ่งเร้าหรือตัวกระตุ้นที่มีลักษณะตรงกันข้าม

ความแตกต่าง (Contrast) ตัวอย่างการเขียนตัวหนังสืออยู่ในเครื่องหมายคำพูด “ ” หรือ เขียนตัวเอน ลักษณะที่แตกต่างดังกล่าวจะทำให้เราเลือกรับรู้ได้มากกว่าลักษณะปกติธรรมดา เพราะ ตัวหนังสือนั้นมีลักษณะเด่นกว่าตัวหนังสืออื่น

การกระทำซ้ำ (Repetition) การกระทำซ้ำ ๆ เช่น เรียกชื่อซ้ำเป็นครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 เราจะได้ยินชื่อเราได้ดีเมื่อถูกเรียกซ้ำ

การเคลื่อนที่ (Movement) สิ่งเร้าที่เคลื่อนไหวจะดึงดูดการรับรู้ได้ดีกว่าสิ่งเร้าที่ไม่ เคลื่อนไหว เช่น ป้ายโฆษณาที่มีตัวหนังสือเป็นไฟวิ่งเคลื่อนไหวหรือไฟกะพริบจะดึงดูดการรับรู้ได้ ดีกว่าป้ายโฆษณาที่ไม่มีตัวหนังสือเป็นไฟวิ่งเคลื่อนไหวหรือไฟกะพริบ หรือในกลุ่มคนที่นั่งนิ่งอยู่ถ้ามี ใครสักคนหนึ่งเคลื่อนไหวหรือลุกขึ้นยืนจะดึงดูดการรับรู้ขึ้นมาได้ทันที

ความแปลกใหม่ (Novelty) ความสนใจของบุคคลสามารถเปลี่ยนได้ด้วยการเสนอสิ่งเร้าที่ มีความแปลกใหม่ เช่น ขณะอ่านหนังสือ ได้ยินเสียงแตรไซเรนของรถดับเพลิงแล่นผ่าน ก็อาจทำให้ หยุดอ่าน และลุกไปที่หน้าบ้านได้

การใช้อิทธิพลทางสังคม (Social Insinuations) เป็นการใช้สิ่งของหรือบุคคลที่มีอิทธิพล ทางสังคมกระตุ้นให้เกิดความสนใจ ทั้งนี้เนื่องจาก การที่คน ๆ หนึ่งหรือสิ่ง ๆ หนึ่งได้รับความสนใจ

จากสิ่งคมอย่างมาก เช่น ในการโฆษณาสินค้า บ่อยครั้งที่เสนอข้อมูลว่า สินค้านั้นกำลังได้รับความนิยมอย่างมาก หรือได้รับรองมาตรฐานจากองค์กรต่าง ๆ หรือได้รับคำรับรองจากบุคคลที่มีชื่อเสียงบางคน เป็นต้น

การส่งสัญญาณประสาท (Neural Signaling)

การส่งสัญญาณประสาททำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณของการรับรู้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จะเกิดขึ้นที่ตัวรับรู้ โดยการเปลี่ยนรูปพลังงานจากสภาพแวดล้อมมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าในระบบประสาท กระบวนการเปลี่ยนรูปแบบนี้ประกอบด้วย

1. Transduction เป็นการเปลี่ยนรูปจากพลังงานหนึ่งไปเป็นอีกพลังงานหนึ่ง ที่เกิดขึ้นในระบบประสาท ตัวอย่างเช่น พลังงานแสง (Light Energy) แรงดันเชิงกล (Mechanical Pressure) หรือพลังงานเคมี (Chemical Energy) ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

2. Transmission เป็นการส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังสมองตามเส้นประสาท เพื่อแปลความหมายหลังพลังงานจากภายนอกถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

3. Processing เป็นกระบวนการส่งสัญญาณไฟฟ้าของเซลล์ประสาท (Neurons)

ประสบการณ์และปฏิกิริยา (Experience and Action)

ประสบการณ์และปฏิกิริยา หมายถึง ความสามารถรับรู้ จำแนก และเกิดปฏิกิริยาต่อตัวกระตุ้น ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. Perception หมายถึง Conscious Sensory Experience เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณไฟฟ้าที่รับจากตัวรับรู้ (Receptors) แล้วถูกแปลความหมายที่สมอง โดยประกอบกับประสบการณ์ที่ผ่านมา กับการพบเจอสิ่งเหล่านั้น

2. Recognition เป็นความสามารถในการพยายามที่จะจัดวางวัตถุในหมวดหมู่ต่าง ๆ ในสมอง

3. ปฏิกริยา (Action) เป็นการตอบสนองของร่างกายต่อตัวกระตุ้น โดยรวมทั้งการสั่งการในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเคลื่อนไหวของศีรษะ หรือ ดวงตา ตามสิ่งที่เกิดขึ้น

ความรู้ (Knowledge)

ความรู้ เป็นการนำข้อมูลต่าง ๆ จากการรับรู้มาปรับใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ถึงแม้ว่าข้อมูลเหล่านั้นเคยได้รับรู้มาหลายปีแล้วก็ตาม

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ สามารถที่จะสรุปได้ว่า การรับรู้เป็นการแปลความหมายจากการสัมผัส โดยเริ่มตั้งแต่การมีสิ่งเร้ามากระทบกับอวัยวะรับสัมผัสทั้งห้า และส่งกระแสประสาทไปยังสมอง เพื่อแปลความหมาย กระบวนการรับรู้เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างประสบการณ์และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าในสภาพแวดล้อม เป็นกระบวนการที่เชื่อมโยงสมองและสิ่งแวดล้อมทั้งจากภายในร่างกาย และภายนอกในร่างกายเข้าไว้ด้วยกัน การเกิดกระบวนการรับรู้ต้องประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ตัวกระตุ้น กระแสไฟฟ้า ประสบการณ์และปฏิกิริยา และความรู้



## การรับรู้โดยการมองเห็น (Visual Perception)

การรับรู้โดยการมองเห็น ประกอบด้วยกระบวนการรับภาพ (Visual Receptive Function) กระบวนการเรียนรู้ภาพ (Visual Cognitive Function) จินตภาพ (Imagery / Visualization) และสหสัมพันธ์การเคลื่อนไหวระหว่างตากับมือ (Eye-Hand Coordination / Visual Motor Integration) (Schneck, 2010)

1. กระบวนการรับภาพ เป็นกระบวนการได้มาและจัดการกับข้อมูลที่มาจากสิ่งแวดล้อม เพื่อให้สามารถแยกแยะสิ่งที่มองเห็นหรือความคมชัด (Acuity) เป็นการปรับความชัดของภาพที่เห็นได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง (Accommodation) รวมภาพที่ได้จากตาสองข้างมาเป็นภาพเดียว (Binocular Fusion) ลู่สายตาเข้าหากันเพื่อมองตรงไปยังวัตถุ (Convergence) ควบคุมทักษะการเคลื่อนไหวของลูกตา (Oculomotor Skills) รับรู้ความลึกของภาพทำให้สามารถมองภาพเป็นสามมิติได้ (Stereopsis) โดยผ่านลานสายตา (Visual Fields)

2. กระบวนการเรียนรู้ภาพ เป็นความสามารถในการแปลผล และนำข้อมูลที่ได้จากการมองเห็นไปใช้ ประกอบด้วย ความสามารถในการจดจำความสนใจไว้กับสิ่งที่มองเห็น (Visual Attention) ความสามารถในการจดจำสิ่งที่มองเห็นซึ่งเป็นการประมวลผลร่วมกันเป็นความจำจากการมองเห็น (Visual Memory) ความสามารถในการแยกแยะสิ่งที่มองเห็น (Visual Discrimination) ซึ่งสามารถแยกย่อยได้ดังนี้

Recognition เป็นการระลึกได้ว่าสิ่งที่เห็นนั้นคืออะไร

Matching เป็นการจับคู่สิ่งที่มองเห็น

Sorting เป็นการจัดกลุ่มสิ่งที่มองเห็น

กระบวนการเรียนรู้จากภาพ (Visual Cognitive Function) แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 Object Perception เกี่ยวกับการรับรู้เพื่อตอบว่าวัตถุหรือสิ่งเร้าที่รับรู้ นั้นเป็นอะไร Object Perception จะเกิดขึ้นในสมองส่วน Temporal Lobe และ Object Perception ประกอบด้วย Form-Constancy Perception, Visual-Closure Perception และ Figure-Ground Perception

Form-Constancy Perception เป็นความสามารถในการจดจำแยกแยะรูปทรงของวัตถุ ไม่ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพแวดล้อมใด มีทิศทางใด และไม่ว่าจะขนาดเท่าใด

Visual-Closure Perception เป็นความสามารถในการแยกแยะวัตถุได้ว่าสิ่งนั้นคืออะไร แม้ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์

Figure-Ground Perception เป็นความสามารถในการแยกแยะภาพ หรือวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลัง หรือสิ่งอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่

ส่วนที่ 2 Spatial Perception เป็นการรับรู้โดยการมองเห็นที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ตำแหน่งของวัตถุ ว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมรอบตัวอย่างไร เป็นการทำงานของสมองส่วน Parietal Lobe ประกอบด้วย Position in Space, Spatial Relations, Depth Perception และ Topographic Orientation

Position in Space เป็นความสามารถในการรับรู้ทิศทาง และตำแหน่งของวัตถุ ช่วยให้เข้าใจความหมายของคำว่า ใน-นอก บน-ล่าง หน้า-หลัง ซ้าย-ขวา

Spatial Relations เป็นความสามารถในการรับรู้รูปแบบความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น ช่วยให้เกิดการวางแผนการเคลื่อนไหวที่ถูกต้อง

Depth Perception เป็นความสามารถในการกะระยะ ความห่างระหว่างวัตถุกับสิ่งอื่น ๆ เช่น การรับรู้ความลึก การรับรู้ระยะที่จะเอื้อมมือออกไปคว้าสิ่งของ

Topographic Orientation เป็นความสามารถในการแยกแยะวัตถุ และเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ ไว้ด้วยกัน เช่น ความสามารถในการรับรู้เส้นทาง การคิดภาพแผนที่การเดินทาง เป็นต้น

กระบวนการทำงานของสมองขณะมองเห็นภาพแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 Object Processing หรือ Ventral Stream เป็นการทำงานของสมองเกี่ยวกับการรับรู้สี พื้นผิว ลักษณะรูปร่าง และขนาด เกิดขึ้นในสมองส่วน Temporal Lobe ส่วนที่ 2 Spatial Processing หรือ Dorsal Stream เป็นการทำงานของสมองเกี่ยวกับการรับรู้ตำแหน่ง การเคลื่อนไหว และมิติสัมพันธ์ เกิดขึ้นในสมองส่วน Parietal Lobe (Kravitz, Saleem, Baker, & Mishkim, 2011)

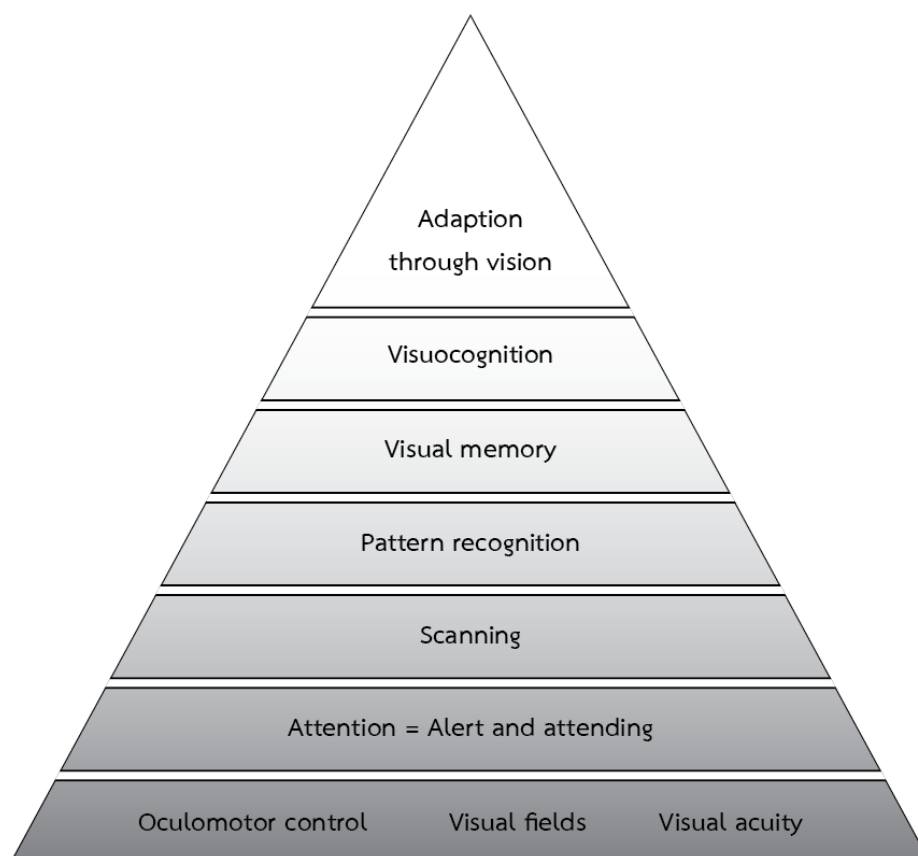
3. จินตภาพเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเรียนรู้ภาพ (Visual Cognitive Function) เป็นการสร้างภาพของสิ่งเร้าในสมอง จินตภาพมีความสำคัญมากต่อกระบวนการคิด เข้าใจ การวางแผน การแก้ปัญหา รวมถึงทักษะการจัดการอื่น ๆ

4. สหสัมพันธ์การเคลื่อนไหวระหว่างตากับมือ เป็นความสามารถด้านการเคลื่อนไหว ผสมกันระหว่างตากับมือ เป็นทักษะในการเคลื่อนไหวที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งเร้าที่มาจากการมองเห็น การรับรู้ทางการมองเห็นมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ดังนี้

1. ทฤษฎีการรับรู้แบบ Gestalt (Gestalt's Perceptual Theory) พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักจิตวิทยา Gestalt ระหว่างปี ค.ศ. 1910-1919 เน้นบทบาทของโครงสร้างที่มีมาโดยกำเนิดของประสบการณ์ในการรับรู้ โดยเฉพาะในเรื่องการจัดระบบข้อมูลตามธรรมชาติ นั่นคือ การรับรู้ของคนเรามีแนวโน้มที่จะจัดการกับสิ่งต่าง ๆ ที่เห็นออกเป็นกลุ่มหรือหมวดหมู่มากกว่าจะแยกออกเป็น ส่วน ๆ พื้นฐานของการจัดระบบหมวดหมู่หรือรูปร่าง คือ การแยกสนามการรับรู้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาพ (Figure) และพื้นหลัง (Ground) โดยภาพ หมายถึง สิ่งใดก็ตามที่ทำให้เกิดการสัมผัสก่อน เป็นจุดเน้นหรือจุดสำคัญต่อผู้รับรู้ หรือเป็นส่วนที่ลอยเด่นอยู่ข้างหน้า และออกจากพื้น มีลักษณะและ

ขอบเขตจำกัด หรือเป็นสิ่งที่มึรูปร่างเห็นชัดและรู้ได้ ส่วนพื้นหลังนั้นไม่มีลักษณะที่กล่าวมาแล้วในภาพพื้นหลัง หมายถึง สิ่งใดก็ตามที่สำคัญน้อยกว่าและให้ความหมายน้อยกว่า หรือให้ความรู้สึกที่ลางเลือน ดังนั้นส่วนที่เป็นพื้นจึงมองเห็นเลือนรางอยู่ข้างหลังภาพและเป็นส่วนที่ปรากฏติดต่อกันโดยไม่มีขอบเขตจำกัด (Matlin, 2014, pp. 37-41)

2. ทฤษฎีพัฒนาการ (Developmental Theory) บ่งบอกถึงพัฒนาการของทักษะที่เกิดขึ้นตามแบบลำดับขั้น พัฒนาการของทักษะมีการพัฒนาการไปตามอายุ โดย Warren ได้เสนอแผนภาพแสดงพัฒนาการด้านการรับรู้โดยการมองเห็นไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการประเมิน และทำการบำบัดตามลำดับที่ถูกต้อง ระบบการรับรู้โดยการมองเห็นประกอบด้วยองค์ประกอบในกระบวนการรับรู้โดยการมองเห็น (Visual-Perception Components) และองค์ประกอบในกระบวนการเรียนรู้จากการมองเห็น (Visual-Cognitive Components) ลำดับขั้นพัฒนาการด้านทักษะการรับรู้โดยการมองเห็นเกิดขึ้นในระบบประสาทกลาง (Central Nervous System) จะเริ่มต้นจากฐานด้านล่างแล้วจึงต่อยอดไปสู่ความสามารถที่สูงขึ้น (Schneck, 2010) ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 ลำดับขั้นในการพัฒนาทักษะกระบวนการรับรู้

Schneck (2010) ได้อธิบายความหมายของแต่ละลำดับชั้นในพัฒนาการอย่างละเอียด ดังนี้ ลำดับชั้นพื้นฐานในการรับรู้โดยการมองเห็นส่วนล่างสุดจะต้องใช้เป็นพื้นฐานสำหรับ พัฒนาการทักษะด้านการรับรู้โดยการมองเห็นในขั้นต่อ ๆ ไป มี 3 ประเภท ได้แก่ การควบคุม การเคลื่อนไหวของดวงตา ลานสายตา และสมรรถภาพสายตา

การควบคุมการเคลื่อนไหวของดวงตา (Oculomotor Control) เป็นความสามารถ ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตา เพื่อที่จะสามารถมองได้กว้างขึ้น

ลานสายตา (Visual Fields) เป็นมุมกว้างสุดของการมองเห็นภาพ

สมรรถภาพสายตา (Visual Acuity) เป็นความสามารถในการแยกภาพสองจุดที่ อยู่ชิดกันออกได้เป็นสองจุดได้อย่างชัดเจน

ลำดับชั้นต่อจากลำดับชั้นพื้นฐานมี ดังนี้

ความสนใจจากการมองเห็น (Visual Attention) เป็นความครบถ้วนในการมอง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสนใจในการมอง ภาวะความตื่นตัว และการมีสมาธิกับสิ่งที่มองเห็น

การจำแนกรูปแบบของสิ่งเร้า (Pattern Recognition) เป็นความสามารถในการ เก็บข้อมูลที่ได้จากการมองเห็นเกี่ยวกับรูปแบบต่าง ๆ ของสิ่งเร้าในระบบความจำ เป็นขั้นตอนที่ต้อง กำหนดลักษณะสำคัญของวัตถุหรือสิ่งเร้า รวมถึงโครงสร้างภายนอกของวัตถุหรือสิ่งเร้า (Configurable Aspects) เช่น รูปทรง เส้นขอบนอกที่แสดงถึงรูปร่าง และลักษณะทั่วไป (General Features) และลักษณะพิเศษของวัตถุหรือสิ่งเร้า (Specific Features) เช่น สี เงามหรือปริมาณสี ที่แตกต่างกัน และพื้นผิว

การมองภาพอย่างรวดเร็ว (Scanning) เป็นความสามารถในการกำหนดรูปแบบของ สิ่งเร้าโดยการรวบรวมลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งเร้า ที่ได้จากการมองเห็นในเวลาอย่างรวดเร็วจาก สภาพแวดล้อม และจอประสาทตาสามารถเก็บลักษณะภาพทั้งหมดที่เห็นอย่างเป็นระบบในช่วงเวลา นั้นได้ทันที

ความจำจากการมองเห็น (Visual Memory) เป็นการบันทึกสิ่งที่มองเห็นในสมอง เพื่อเกิดการรู้คิดจากภาพที่มองเห็นและต้องใช้ความสามารถในการจดจำและสามารถเรียกคืนภาพ ของวัตถุจากระบบความจำออกมาใช้ได้ในครั้งต่อไป

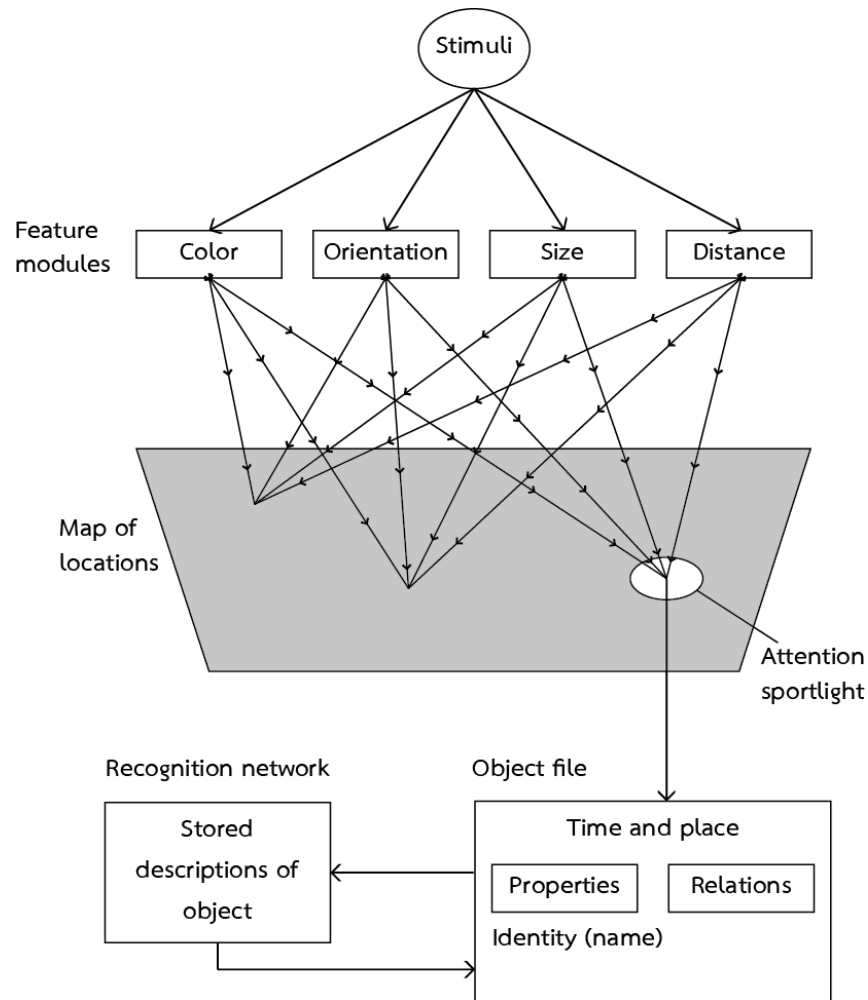
การรู้คิดจากการมองเห็น (Visual Cognition) เป็นความสามารถในการจัดการข้อมูล ที่ได้จากการมองเห็น โดยนำไปบูรณาการร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการรับรู้ในด้านอื่น ๆ เพื่อใช้ในการ วางแผนตัดสินใจหรือการแก้ปัญหา และทำให้เกิดพฤติกรรมปรับตัวจากภาพที่มองเห็น (Adaption Through Vision) ได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

3. ทฤษฎีพัฒนาการของทักษะ (Acquisitional Theories) (Schneck, 2010) เป็นทฤษฎี ที่ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ทักษะต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมภายนอก

ความสามารถขั้นพื้นฐานของสมองด้านการมองเห็น (Visual Cognitive Capacities) มีตั้งแต่แรกเกิด ส่วนความสามารถขั้นสูงของสมองด้านการมองเห็นนั้น ก็ต้องมีพัฒนาการไปเรื่อย ๆ จนถึงวัยรุ่น พัฒนาการนี้เกิดขึ้นโดยการเรียนรู้จากการรับรู้ (Perceptual Learning) ซึ่งเป็นกระบวนการทำความเข้าใจกับข้อมูล (Process of Extracting Information) จากสิ่งแวดล้อม Gibson (1969 cited in Schneck, 2010) ให้ความหมายการเรียนรู้จากการรับรู้ไว้ว่า เป็นพัฒนาการของความสามารถของระบบรับข้อมูลจากสิ่งแวดล้อม ที่เป็นผลมาจากการปฏิบัติซ้ำ หรือจากการลอกเลียนแบบตามข้อมูลที่ได้รับ โดยสามารถพูดได้ว่าพัฒนาการการเรียนรู้จากการมองเห็นจะเพิ่มขึ้นจากประสบการณ์ การปฏิบัติ และการลอกเลียนแบบจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เกิดพฤติกรรมสะท้อนกลับเพื่อเป็นการโต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมที่อยู่ ทั้งในรูปแบบทางบวกและทางลบ

การเรียนรู้จากการรับรู้สามารถอธิบายด้วยโมเดลกระบวนการการได้มาของข้อมูล (Information Processing Model) ซึ่งเป็นโมเดลที่ให้ความสำคัญกับพัฒนาการของความสามารถทางสมอง โดยเฉพาะความสามารถเกี่ยวกับความสนใจ ความจำ การคิด และการแก้ปัญหา กระบวนการได้รับข้อมูลจากการมองเห็น หมายถึง การไหลเวียนของข้อมูลตั้งแต่กระทบกับประสาทสัมผัส (Sensory) จนถึงเกิดการแสดงออก (Output) เมื่อบุคคลรับข้อมูลจากประสาทสัมผัสทางการมองเห็น จะเกิดกระบวนการสนใจ (Attend) และกระบวนการเปรียบเทียบ (Compare) กับประสบการณ์ก่อนที่จะแปลง (Transform) เป็นภาพแทนในสมอง (Mental Presentation) และกำหนดความหมายเพื่อบันทึกในระบบความจำ และเกิดพฤติกรรมโต้ตอบหรือพฤติกรรมที่แสดงถึงการเกิดการเรียนรู้

4. ทฤษฎีบูรณาการลักษณะของวัตถุ (Feature Integration Theory) ของ Treisman and Gelade (1980) แสดงให้เห็นว่า เมื่อใดก็ตามที่ลักษณะของสิ่งเร้ามีการเกิดขึ้นร่วมกัน ซึ่งสามารถแยกออกจากกันได้มากกว่าหนึ่ง เพื่อจำแนกลักษณะเฉพาะหรือแยกแยะความแตกต่างของวัตถุ โดย Treisman (1998, 2002) อธิบายถึงการเกิดการรับรู้ (Perception) เกี่ยวกับคุณลักษณะต่าง ๆ ของวัตถุ ซึ่งในขั้นแรกจะเป็นกระบวนการที่มองเห็นวัตถุ จะเกิดการวิเคราะห์และแยกแยะคุณลักษณะของวัตถุ เช่น สี (Color) ขนาด (Size) มุมมองหรือทิศทาง (Orientation) ตำแหน่งที่ตั้ง (Distance) และสมองที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น (Visual Area) มีหน้าที่ประมวลผลข้อมูลนั้น ๆ ในขั้นที่สองจะเป็นกระบวนการรวมคุณลักษณะต่าง ๆ ที่แยกจากกันเข้าด้วยกัน เมื่อคุณลักษณะของวัตถุทั้งหมดถูกรวบรวมเข้าด้วยกัน จะเกิดการรับรู้ (Perception) ขึ้น และ Treisman ได้สรุปทฤษฎีบูรณาการลักษณะของวัตถุเป็นแผนภาพดังภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 ขั้นตอนการรับรู้แบบบูรณาการ

สรุปได้ว่า เมื่อใดก็ตาม เมื่อวัตถุหรือสิ่งเร้าที่ประกอบด้วยหลาย ๆ ลักษณะ เช่น รูปทรง สี ขนาด ตำแหน่ง ทิศทาง กระตุ้นผ่านระบบการรับรู้โดยการมองเห็น กระบวนการเรียนรู้และมองเห็น (Visual Cognitive Function) ของสมองสามารถแยกลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าออกจากกันได้ เพื่อใช้อธิบายลักษณะเฉพาะหรือความแตกต่างของวัตถุ (Treisman & Gelade, 1980; Treisman, 1998, 2002) โดยการจำแนกรูปแบบของสิ่งเร้านั้นจะเกิดขึ้นในระบบประสาทกลาง (Central Nervous System) (Schneck, 2010) ที่มีหน้าที่กำหนดลักษณะสำคัญของวัตถุหรือสิ่งเร้า ลักษณะสำคัญของวัตถุที่เกี่ยวกับ รูปทรง เส้นขอบนอกที่แสดงถึงรูปร่าง สี เงามหรือปริมาณสีที่แตกต่างกัน และขนาด จะกระตุ้นไปยังสมองส่วนขมับ ซึ่งเป็นส่วนของสมองที่เกิดกระบวนการรับรู้วัตถุ (Object Perception) และมีหน้าที่ในการจดจำ แยกแยะรูปทรงของวัตถุ ไม่ว่าจะวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพแวดล้อมใด หันไปในทิศทางใด และไม่ว่าจะขนาดเท่าไร แม้ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ รวมทั้ง

สามารถแยกแยะภาพ หรือวัตถุเป้าหมายออกจากพื้นหลัง หรือสิ่งอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ได้ ส่วนลักษณะสำคัญของวัตถุที่เกี่ยวกับ ทิศทาง ตำแหน่ง ระยะกว้าง ระยะลึก มิติสัมพันธ์ จะกระตุ้นไปยังสมองส่วน Parietal Lobe ซึ่งเป็นส่วนของสมองที่เกิดกระบวนการรับรู้เกี่ยวกับมิติสัมพันธ์ (Spatial Perception) มีหน้าที่ในการรับรู้ตำแหน่งของวัตถุที่มีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมรอบตัว ทำให้สามารถรับรู้ ทิศทาง ตำแหน่งของวัตถุช่วยให้เข้าใจความหมายของคำว่า ใน-นอก บน-ล่าง หน้า-หลัง ซ้าย-ขวา สามารถรับรู้รูปแบบความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น ช่วยให้เกิดการวางแผน การเคลื่อนไหวที่ถูกต้อง สามารถ ระยะเวลาความห่างระหว่างวัตถุกับสิ่งอื่น ๆ รวมทั้งสามารถเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของ วัตถุต่าง ๆ ไว้ด้วยกันได้ (Schneck, 2010) หลังจากกระบวนการเรียนรู้และมองเห็น กระบวนการ จินตนาการภาพจะนำข้อมูลทั้งหมดมาประกอบกันเป็นมโนภาพของวัตถุและเก็บไว้ในระบบความ จำเป็นประสบการณ์

### **ความยืดหยุ่นของระบบประสาท (Neuroplasticity)**

ความยืดหยุ่นของระบบประสาท คือ การที่สมองมีการจัดระบบไฟฟ้าทางกายภาพขึ้นมา ใหม่ (Brain Rewiring) อย่างอัตโนมัติ โดยจะปรับตัวให้เข้ากับสภาพต่าง ๆ ของชุดการทดลอง (Draganski & May, 2008; Ptito et al., 2012) จากการศึกษาภาพถ่ายของสมองได้แสดงให้เห็นถึง การปรับโครงสร้างของระบบประสาท (Neural Reorganization) ที่มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผล มาจากการฝึกอย่างสม่ำเสมอ (Mahncke et al., 2006; Kupers et al., 2010) การสร้าง การเชื่อมโยงการสื่อสารนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเกิดจากกลไกการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย หนึ่ง คือการเรียนรู้และการฝึกฝน หากทักษะใดที่เราได้เรียนรู้ใหม่จนทำให้ เซลล์ประสาทจะมีการ ตอบสนองอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อผ่านการทำซ้ำ ๆ แต่หากไม่ได้ใช้ มันก็จะมีการสลาย ของประสิทธิภาพที่ลดลงตามวันเวลา ทั้งนี้มีหลักฐานเชิงประจักษ์จากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ของเซลล์ประสาทจาก Dendritic Spine รวมทั้งจุดประสานประสาท (Synapse) เปลี่ยนแปลง โครงสร้างได้ตลอดเวลา ตามสภาพการใช้งานนี้ เรียกว่า “Synaptic Plasticity” (Malenka, 2002)

### **ทฤษฎีโครงสร้างสติปัญญาของ Guilford**

Guilford (1967, p. 5) เป็นนักจิตวิทยาชาวอเมริกัน ที่มีชื่อเสียงในสมัยสงครามโลก ครั้งที่ 2 ได้พัฒนาความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างสติปัญญาของมนุษย์ โดยสร้างแบบจำลองขึ้นตั้งแต่ ปี ค.ศ.1950 เรียกว่า แบบจำลองโครงสร้างสติปัญญาของ Guilford (Guilford's Structure of the Intellect) พัฒนาการจากทฤษฎีหลายองค์ประกอบของ Thurstone ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบ แบบทดสอบการวัดสติปัญญาและเสนอเป็นทฤษฎีโครงสร้างสติปัญญาของ Guilford (Guilford's Structure-of-Intellect Theory) ในปี ค.ศ.1967 ได้อธิบายโครงสร้างสติปัญญาออกมาเป็นโมเดล ลูกบาศก์ มีมากถึง 120 องค์ประกอบ และมีลักษณะเป็น 3 มิติ (Three-Dimensional Model)

### 1. มิติด้านเนื้อหา (Content)

Guilford ได้เสนอว่า มนุษย์ให้ความสนใจและคิดเกี่ยวกับวัตถุหรือสิ่งเร้าต่าง ๆ ในลักษณะแตกต่างกัน และมนุษย์สามารถแยกแยะวัตถุหรือสิ่งเร้าที่ปรากฏด้วยระบบประสาทสัมผัสทั้งหลาย เพื่อที่จะรับรู้ มีลักษณะดังนี้

- 1.1 การมองเห็น (Visual)
- 1.2 การได้ยิน (Auditory)
- 1.3 สัญลักษณ์ (Symbolic)
- 1.4 ภาษาหรือความหมาย (Semantic)
- 1.5 พฤติกรรม (Behavior)

2. มิติด้านวิธีการคิด (Mental Operation) หมายถึง กระบวนการต่าง ๆ ที่มนุษย์ใช้ในการคิดแบ่งออกเป็น 5 ประการคือ

- 2.1 คิดแบบรู้และเข้าใจ (Cognitive)
- 2.2 คิดแบบจำ (Memory)
- 2.3 คิดแบบอเนกนัย (Divergent Thinking)
- 2.4 คิดแบบเอกนัย (Convergent Thinking)
- 2.5 คิดแบบประเมิน (Evaluation)

3. มิติด้านผลของการคิด (Cognitive Products) หมายถึง ผลผลิตของการคิดที่สมองรับรู้สิ่งเร้าภายนอกและใช้ระบบการคิดแบบต่าง ๆ เป็นผลจากการผสมผสานมิติด้านเนื้อหา และด้านปฏิบัติการเข้าด้วยกัน โดยผลของการคิดจะออกมาในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- 3.1 หน่วย (Unit)
- 3.2 จำพวก (Classes)
- 3.3 ความสัมพันธ์ (Relation)
- 3.4 ระบบ (System)
- 3.5 การแปลงรูป (Transformation)
- 3.6 การประยุกต์ (Implication)

สรุปได้ว่า ทฤษฎีโครงสร้างทางเชาว์ปัญญาของ Guilford นั้น วัดความสามารถย่อย ๆ ได้ถึง 180 หน่วย และมีหน่วยที่กล่าวถึงความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ด้วยวิธีวิเคราะห์ห้องประกอบแบบทดสอบการวัดสติปัญญา สามารถอธิบายโครงสร้างสติปัญญาของมนุษย์ในรูปแบบจำลองโมเดลลูกบาศก์สามมิติ มิติที่ 1 ด้านเนื้อหา มิติที่ 2 ด้านวิธีการคิด มิติที่ 3 ด้านผลของการคิด ถือว่าเป็นพื้นฐานของการพัฒนาทางด้านมิติสัมพันธ์



### ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget (Galotti, 2014, pp. 322-329)

Piaget เป็นหนึ่งในนักวิจัยด้านจิตวิทยาพัฒนาการ ที่มีชื่อเสียงมากที่สุดในศตวรรษที่ 20 Piaget ศึกษาเกี่ยวกับความแปรปรวนเชิงชีวภาพตั้งแต่ต้นมนุษย์เริ่มรับรู้จนถึงการกลายเป็นผู้ใหญ่ หนึ่งในทฤษฎีที่โดดเด่นของ Piaget คือทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของมนุษย์ โดย Piaget เชื่อว่า ช่วงวัยเด็กเป็นช่วงที่สำคัญต่อพัฒนาการทางสติปัญญา และการเรียนรู้ของเด็กเกิดจากการกระทำ โดยคนเราทุกคนตั้งแต่เกิดมีความพร้อมที่จะปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยธรรมชาติมนุษย์เป็นผู้เริ่มกระทำก่อน (Active) และมนุษย์มีกลไกอัตโนมัติภายในที่สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดสมดุลได้ สมภาวะนี้เป็นสภาพของการทำกิจกรรมทางสมองซึ่งประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ กระบวนการดูดซึม (Assimilation) และกระบวนการปรับให้เหมาะสม (Accommodation)

1. กระบวนการดูดซึม เป็นกระบวนการรับสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมให้เข้าไปอยู่ในโครงสร้างทางความรู้ที่มีอยู่ นั่นคือ เป็นกระบวนการที่อินทรีย์ผสมกลมกลืนสิ่งใหม่ ๆ ที่ได้จากโลกภายนอกให้เข้ากับความคิดหรือโครงสร้างเดิมที่มีอยู่

2. กระบวนการปรับให้เหมาะสม เป็นกระบวนการปรับโครงสร้างของความรู้ความเข้าใจที่มีอยู่หรือโครงสร้างทางความรู้ขึ้นใหม่เพื่อให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม นั่นคือ เป็นกระบวนการที่อินทรีย์ไม่อาจผสมกลมกลืนสิ่งใหม่ที่ได้จากโลกภายนอกให้เข้ากับความคิดหรือโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ได้ จำเป็นต้องปรับแต่งขยายโครงสร้างของประสบการณ์หรือความรู้เดิมเพื่อจะรับความรู้ใหม่ ๆ กระบวนการนี้ จะเกิดขึ้นหลังจากใช้กระบวนการปรับเข้าโครงสร้างแล้วไม่ประสบผลสำเร็จ การเรียนรู้ของเด็กวัยต่างกันหรือแม้แต่อยู่ในวัยไล่เลี่ยกันก็อาจแตกต่างกันเนื่องจากพัฒนาการทางสติปัญญาและอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่างกัน Piaget เชื่อว่า การเรียนรู้เป็นส่วนหนึ่งของพัฒนาการทางสติปัญญาที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ทุกคนทุกชาติทุกภาษาในลักษณะเดียวกัน แต่แตกต่างกันตามวัย ที่วัดไว้เป็นช่วงพัฒนาการแต่ละขั้นตอน สิ่งที่เกิดขึ้นควบคู่กับพัฒนาการคือการรับรู้เข้าใจหรือความสามารถในการเรียนรู้ที่ทำให้มนุษย์มีสติปัญญาเพิ่มขึ้น

Piaget ได้ศึกษากระบวนการเรียนรู้และพัฒนาการทางสติปัญญาโดยการสังเกตกับลูกทั้งสามคนของตัวเอง และพัฒนาเป็นทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาที่บ่งบอกเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของสมอง เช่น การรับรู้ การจดจำ ความเชื่อ และการให้เหตุผล โดยให้การให้เหตุผลเป็นประเด็นสำคัญที่พาไปสู่การกลายเป็นผู้ใหญ่ และ Piaget เชื่อว่าพัฒนาการทางสติปัญญาของมนุษย์เกิดจากการรวบรวมและการสะสมความรู้ ที่เกิดจากการเจริญเติบโตของร่างกายและการได้รับประสบการณ์ใหม่ ๆ (Singer & Revenson, 1996, p. 13) โดย Piaget ได้แบ่งลำดับขั้นพัฒนาการทางสติปัญญาออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ขั้นประสาทสัมผัสและการเคลื่อนไหว (Sensory-Motor Stage) ขั้นความคิดก่อนเกิดปฏิบัติการ (Intuitive or Preoperational Stage) ปฏิบัติการคิดแบบ

รูปธรรม (Stage of Concrete Operations) และขั้นปฏิบัติการคิดแบบนามธรรม (Stage of Formal Operations) (Piaget, 1973, p. 36) เด็กทุกคนต้องผ่านลำดับขั้นพัฒนาทั้งสี่ขั้นนี้ก่อนที่โตเต็มวัยกลายเป็นผู้ใหญ่ โดยไม่สามารถข้ามลำดับใดลำดับหนึ่ง ลำดับขั้นที่สองต้องเกิดต่อจากลำดับขั้นที่หนึ่ง ลำดับขั้นที่สามต้องเกิดต่อจากลำดับขั้นที่สอง และลำดับขั้นที่สี่ต้องเกิดต่อจากลำดับขั้นที่สาม (Singer & Revenson, 1996, p. 18)

1. ขั้นประสาทสัมผัสและการเคลื่อนไหว (Sensory-Motor Stage) มีตั้งแต่ระยะแรกเกิดถึงอายุประมาณ 2 ปี การรับรู้ ความสามารถในการตอบกลับโดยการเคลื่อนไหวทักษะทางกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหวของเด็กวัยนี้มีพัฒนาการอย่างรวดเร็ว ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานสำคัญของพัฒนาการทางสติปัญญา เด็กจะมีพัฒนาการการเคลื่อนไหวจากปฏิกิริยาสะท้อนไปสู่การเคลื่อนไหวที่ปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ในระยะสุดท้ายของขั้นนี้ เด็กสามารถสร้างภาพของวัตถุต่าง ๆ ในสมองและเข้าใจถึงการมีอยู่จริงของวัตถุ (Piaget, 1973, p. 36)

2. ขั้นความคิดก่อนเกิดปฏิบัติการ (Intuitive or Preoperational Stage) เกิดขึ้นเมื่อเด็กมีอายุ 2 ถึง 7 ปี เป็นวัยที่เข้าใจสัญลักษณ์ต่าง ๆ แต่การใช้สัญลักษณ์นั้นขึ้นอยู่กับความรู้และการหยั่งรู้ของตัวเอง และยังไม่สามารถใช้กระบวนการคิดแบบตรรกะ เด็กจะเรียนรู้ภาษาพูด สัญลักษณ์ เครื่องหมาย ท่าทางในการสื่อความหมาย รู้จักสิ่งที่เป็นตัวแทน (Representation) ดังนั้นเด็กจะมีความสนใจมากกับวัตถุและบุคคลที่อยู่รอบตัว แต่เด็กยังไม่สามารถมองเห็นรอบด้านของวัตถุได้ ในขั้นนี้ มีการสร้างโครงสร้างสติปัญญาแบบง่าย ๆ เด็กก็จะเริ่มใช้ประสบการณ์ที่มีข้อจำกัดของเขาในการสร้างคำอธิบาย เด็กมีความเชื่อในความคิดของตนเองอย่างมาก ยึดตัวเองเป็นศูนย์กลาง (Egocentric) เลียนแบบพฤติกรรมของผู้ใหญ่ และในขั้นนี้การคิดของเด็กแตกต่างจากการคิดของผู้ใหญ่อย่างเห็นได้ชัด (Piaget, 1973, p. 36)

3. ขั้นปฏิบัติการคิดเชิงรูปธรรม (Stage of Concrete Operations) เกิดขึ้นเมื่อเด็กมีอายุ 7 ถึง 12 ปี เด็กในช่วยวัยนี้สามารถใช้ปฏิบัติการเชิงจินตนาการ (Mental Operations) ในสมองได้ โดย Piaget ให้ความหมายปฏิบัติการเชิงจินตนาการไว้ว่า เป็นการจัดการกระทำภายในความคิดหรือในใจ ปฏิบัติการเชิงจินตนาการจะทำให้เด็กสามารถเข้าถึงประสบการณ์ในการกระทำก่อนนี้ได้ ในขั้นนี้เด็กสามารถคิดแบบกลับทิศทางได้ เช่น เด็กสามารถเพิ่มหรือถอนจำนวนของวัตถุได้ เด็กสามารถวาดเส้นทางจากบ้านไปโรงเรียนหรือจากโรงเรียนกลับบ้านได้ เด็กสามารถสร้างวัตถุจำลองด้วยของเล่นโดยไม่จำเป็นต้องเห็นของจริง ปฏิบัติการคิดเชิงรูปธรรม หมายถึง การอธิบายหรือแก้ปัญหาโดยอาศัยการกระทำกับวัตถุจริงหรือสิ่งเร้าที่เป็นรูปธรรม (Piaget, 1973, p. 36)

4. ขั้นปฏิบัติการคิดเชิงนามธรรม (Stage of Formal Operations) เกิดขึ้นกับเด็กที่มีอายุระหว่าง 12 ถึง 16 ปี ขั้นนี้เป็นขั้นที่เด็กจะมองเห็นความชัดเจนแบบนามธรรมได้ เด็กเริ่มเข้าใจเหตุผลโดยจะสามารถอาศัยหลักเกณฑ์ของความสัมพันธ์ต่าง ๆ มาประกอบกัน เพื่อใช้ในการ

แก้ปัญหา ช่วงนี้เป็นช่วงที่เด็กเริ่มคิดเชิงนามธรรมและให้เหตุผลเชิงอนุมาน เด็กสามารถคิดแก้ปัญหาอย่างมีระเบียบ มีเหตุผล โดยมีความยืดหยุ่นตามสถานการณ์ สามารถตั้งสมมติฐานโดยอาศัยจินตนาการหรือการสังเกตด้วยตนเองได้ และเป็นระยะที่โครงสร้างทางสติปัญญาพัฒนาสูงสุด ทำให้เด็กสามารถเข้าใจถึงทุกเส้นทางที่จะใช้ในการแก้ปัญหาและสามารถแก้ปัญหาได้หลากหลายมุม เด็กวัยนี้จึงมีความสามารถเชิงอุปมานและอนุมานมากขึ้น (Piaget, 1973, p. 36)

จากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget สรุปได้ว่า นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จะจัดอยู่ในขั้นที่ 4 คือ ขั้นปฏิบัติการคิดเชิงนามธรรม เป็นวัยที่ต้องอาศัยการสร้างจินตนาการ การเชื่อมโยงความคิดเชิงนามธรรมให้ปรากฏเป็นรูปธรรมได้อย่างชัดเจน และเป็นวัยที่การเรียนรู้ก้าวมาถึงจุดสุดท้ายของพัฒนาการ หรืออีกนัยหนึ่ง การทำงานของสมองเป็นระบบที่สมบูรณ์แล้ว แต่สมองไม่ได้ยุติการพัฒนาที่อายุ 12 ปี คือ สมองของเด็กวัยนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใหญ่และมีบทบาทในการเรียนรู้เหมือนกับวัยผู้ใหญ่ แต่แตกต่างจากวัยอนุบาล ดังข้อมูลเชิงประจักษ์จากผลงานวิจัยในปีใหม่ ๆ นี้ ปรากฏว่า ถึงแม้เด็กจะมีพัฒนาการความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ตั้งแต่วัยแรกเกิดก็ตาม แต่พัฒนาการนี้มีความแตกต่างกันระหว่างเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 11 ปี โดยเด็กที่มีอายุมากกว่า 11 ปี จะมีพัฒนาการความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มากกว่าเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 11 ปี และมีพัฒนาการความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ใกล้เคียงกับวัยผู้ใหญ่ (Uttal, Fisher, & Taylor, 2006; Coxon, 2012b) ดังนั้น นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้

### ทฤษฎีพหุปัญญาของ Gardner

Gardner (2011, pp. 73-74) กล่าวถึงความฉลาดทางสติปัญญาว่า เป็นความฉลาดที่วัดด้วยแบบทดสอบเกี่ยวกับเขาวัวไหวพริบ และความสามารถในการแก้ไขปัญหาด้านตรรกะ ตัวเลข ความจำ ความสามารถทางภาษา ความสามารถทางการคิดวิเคราะห์ ซึ่งก็ถูกวิพากษ์วิจารณ์ถึงข้อจำกัดกันมาก ปัจจุบันพบว่าความฉลาดของมนุษย์ไม่ได้แสดงออกมาเพียงแค่นั้น แต่เป็นความฉลาดที่มีความหลากหลายหรือที่เรียกว่า พหุปัญญา (Multiple Intelligence) ซึ่งนักจิตวิทยาชาวอเมริกัน Gardner ได้เสนอว่า มนุษย์เราทุกคน มีความสามารถทางสมองหลายด้านด้วยกัน โดยธรรมชาติแล้วมนุษย์ทุกคนจะมีความฉลาด 7 ด้าน และภายหลังได้เพิ่มเติมอีก 2 ด้าน รวมเป็นสติปัญญา 9 ด้าน ได้แก่

1. ปัญญาด้านภาษา (Linguistic Intelligence) เป็นความสามารถในการพูดจาโน้มน้าวผู้อื่น ผู้ที่มีความสามารถทางด้านภาษาสูง เช่น นักเล่านิทาน นักพูด นักการเมือง หรือด้านเขียน เช่น กวี นักเขียนบทละคร บรรณาธิการ นักหนังสือพิมพ์ เป็นต้น ซึ่งปัญญาด้านนี้ยังรวมถึงความสามารถในการจัดกระทำเกี่ยวกับโครงสร้างของภาษา เสียง และความหมาย

2. ปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ (Logical–Mathematical Intelligence) เป็นความสามารถในการใช้เหตุผล การคำนวณ ความสามารถด้านตัวเลข ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ความสามารถในการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ผู้ที่มีความสามารถสูงในการใช้ตัวเลข เช่น นักบัญชี นักคณิตศาสตร์ นักสถิติ และผู้ให้เหตุผลที่ดี เช่น นักวิทยาศาสตร์ นักตรรกศาสตร์ นักจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ปัญญาด้านนี้ยังรวมถึงความไวในการมองเห็นความสัมพันธ์แบบแผน ตรรกวิทยา การคิดเชิงนามธรรม การคิดที่เป็นเหตุผล และการคิดคาดการณ์ เป็นต้น

3. ปัญญาด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Intelligence) เป็นความสามารถในการสร้างภาพในสมอง ความสามารถในการสร้างจินตนาการภาพต่าง ๆ ที่ไม่เคยมีมาก่อน เช่น สถาปนิกสร้างภาพตึกหรือเมืองขึ้นจากภาพในจินตนาการ ความสามารถในการอ่านภาพแผนที่ แผนภูมิ ความสามารถในด้านจินตนาการสร้างสรรค์

4. ปัญญาด้านร่างกายและการเคลื่อนไหว (Bodily–Kinesthetic Intelligence) เป็นความสามารถในการใช้ร่างกายในการแสดงออก ความสามารถในการเล่นกีฬาที่ใช้สรีระร่างกายได้อย่างคล่องแคล่ว ความสามารถในการเต้นรำ การแสดงและรวมถึงความสามารถในด้านหัตถกรรม และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ การเคลื่อนไหว การสัมผัสและใช้ภาษาท่าทาง

5. ปัญญาด้านดนตรี (Musical Intelligence) เป็นความสามารถในด้านดนตรี ด้านการร้องเพลง จังหวะระดับเสียงที่มีความแตกต่างได้ดี ปัญญาี้รวมถึงความไวในเรื่องจังหวะ ทำนอง เสียงตลอดจนความสามารถในการเข้าใจและวิเคราะห์ดนตรี ผู้ที่มีความสามารถด้านนี้ ได้แก่ นักร้อง นักแต่งเพลง นักดนตรี นักวิจารณ์ดนตรี เป็นต้น

6. ปัญญาด้านทักษะสังคม (Interpersonal Intelligence) เป็นความสามารถในการเข้าสังคม การเข้าใจอารมณ์ความรู้สึก ความคิดและเจตนาของผู้อื่น การเป็นมิตรกับคนอื่นได้ง่าย ความสามารถเข้าใจความรู้สึกของผู้อื่น ความสามารถในการสื่อสารจัดการและความเป็นผู้นำ ชอบพูดคุยกับผู้อื่น มีมนุษยสัมพันธ์ดี สามารถบริหารความขัดแย้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. ปัญญาด้านบุคคล (Intrapersonal Intelligence) เป็นความสามารถของบุคคลในการเข้าใจตนเอง การรู้จักตนเองตามความเป็นจริง เช่น มีจุดอ่อน จุดแข็งในเรื่องใด มีความรู้เท่าทันอารมณ์ ความคิด ความปรารถนาของตน มีความสามารถในการฝึกฝนตนเองและเข้าใจตนเอง มีความมั่นใจในตนเอง เข้าใจถึงศักยภาพของตนเอง สามารถตั้งเป้าหมายในชีวิตได้อย่างเหมาะสม ใช้เวลาในการคิดใคร่ครวญ และทำตามความสนใจของตนเอง

8. ปัญญาด้านธรรมชาติ (Naturalist Intelligence) คือ ความสามารถในการเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติ และปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เข้าใจความสำคัญของตนเองกับสิ่งแวดล้อม มองเห็นความงาม ความสัมพันธ์ของสรรพสิ่งในธรรมชาติ ตระหนักถึงความสามารถของตนเองที่จะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์ธรรมชาติ

9. ปัญญาด้านอัตถิภาวนิยม จิตนิยม หรือการดำรงคงอยู่ของชีวิต (Existential Intelligence) คือ ความไวและความสามารถในการจับประเด็นคำถามที่เกี่ยวกับการดำรงอยู่ของมนุษย์ เช่น ความหมายของชีวิต ทำไมคนเราถึงตาย และเรามาอยู่ที่นี่ได้อย่างไร

สรุปได้ว่า ความฉลาดเป็นเรื่องเกี่ยวกับไหวพริบในการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่มีความเชื่อมโยง มีความซับซ้อน และมีการสอดประสานซึ่งกันและกันของระบบประสาท ทุกคนสามารถพัฒนาตนเองให้ถึงระดับสติปัญญาแต่ละประเภทได้ตามความถนัดและศักยภาพ สติปัญญาของคนไม่อาจวัดได้ด้วยมาตรฐานเดียว มีหลายวิธีที่จะเข้าถึงระดับสติปัญญาในแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับรูปแบบการเรียนรู้ของแต่ละคนที่จะนำปัญญาประเภทต่าง ๆ มาใช้ทำงานร่วมกัน สติปัญญาจึงเป็นสิ่งที่สร้างหรือปั้นได้ ซึ่งเป็นความเห็นที่ต่างจากแนวความคิดของ Piaget ที่เชื่อว่าความฉลาดเป็นสิ่งที่ติดตัวมาตั้งแต่เกิดและยากที่จะเปลี่ยนแปลง

### ตอนที่ 3 แนวทางการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของ Hegarty and Waller (2005) ปรากฏว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถที่ต่างจากความสามารถด้านพุทธิปัญญาทั่วไป และเป็นความสามารถที่มีหลายองค์ประกอบ เช่น Spatial Visualization, Flexibility of Closure, Spatial Memory และ Perceptual Speed ความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบเหล่านี้ ได้นำมาศึกษาอย่างต่อเนื่องตลอดทศวรรษที่ผ่านมา และงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการจำแนกความแตกต่างของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรลักษณะประชากรศาสตร์ การพัฒนาแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และการวิเคราะห์องค์ประกอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แต่การศึกษาที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์โดยอาศัยกระบวนการรับรู้ของสมองเกี่ยวกับภาพแบบเคลื่อนไหว (Dynamic Spatial Displays) และการเดินทางในพื้นที่ที่กว้างใหญ่ (Navigation in Large-Scale Space) ยังมีจำนวนน้อย Hegarty and Waller ได้เสนออีกว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของแต่ละบุคคลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความเร็วในการประมวลผล กลยุทธ์ที่ใช้สำหรับประมวลผล การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมิติสัมพันธ์ และกระบวนการบริหารของสมอง โดยการสร้างจินตนาการภาพในสมอง และความจำขณะคิดเป็นโครงสร้างที่สำคัญต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

#### ทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น

ทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Visual Indexing or FINST Theory) ของ Pylyshyn (1972 cited in Pylyshyn & Storm, 1988) FINST ย่อมาจากจาก Fingers of INSTantiation (Sears & Pylyshyn, 2000) มีสมมติฐานว่า กระบวนการจัดจ้อยโดยการมองเห็นกับสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมาย เกิดขึ้นโดยอิสระ หรือไม่เกี่ยวกับสิ่งเร้าอื่น และการจัดจ้อยกับสิ่งเร้าจะมีลักษณะ

เดียวกันเมื่อสิ่งเร้านั้น ๆ เกิดการเคลื่อนที่ และการพัฒนาครั้งแรกของแบบจำลองการติดตาม การเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ (MOT) ได้นำมาทดสอบสมมติฐานว่า มีการจดจำเดียวที่จะจดจำลำแสง ของตัวกระตุ้น เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง หรือ การจดจำ จะสามารถแบ่งการจดจำ เพื่อจะจดจำตัวกระตุ้นที่มีหลาย ๆ ตัว (Pylyshyn & Storm, 1988)

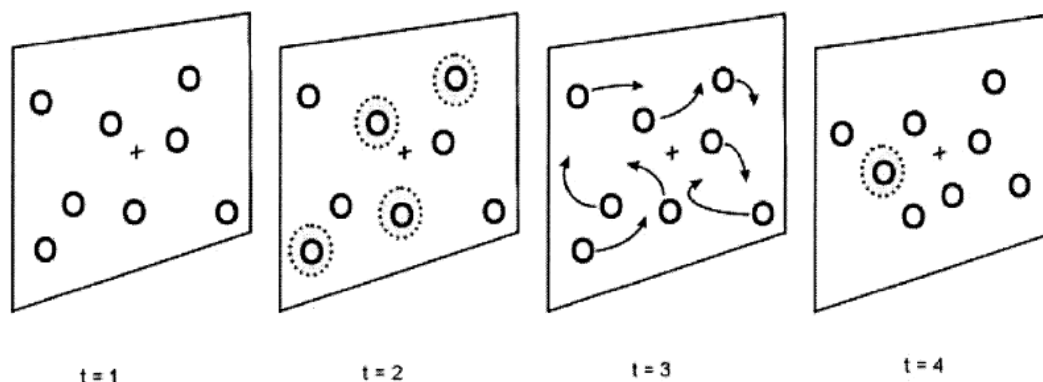
ในปี ค.ศ. 1988 Pylyshyn and Storm ได้พัฒนาแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของ หลายวัตถุขึ้น เพื่อเป็นเทคนิคการทดลองที่ใช้เพื่อทดสอบทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Pylyshyn, 2001) โดยขั้นตอนที่ใช้ในแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ ที่สรุปโดย Pylyshyn and Storm (1988) มีดังนี้

1. การจำแนกสิ่งเป้าหมาย เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้น โดยการสนใจจดจำ ไปยังสิ่งเป้าหมายหลังการได้รับการกระตุ้นที่บ่งถึงภาพที่เป็นสิ่งเป้าหมาย ขณะสนใจจดจำกับ สิ่งเป้าหมาย ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของสิ่งเป้าหมายทุกตัวถูกนำไปลงทะเบียนและเก็บไว้ในระบบ ความจำเกี่ยวกับตำแหน่ง ซึ่งเกิดขึ้นในสมองส่วน Hippocampus (Burgess, Maguire, & O'Keefe, 2002)
2. ขณะจดจำกับสิ่งเป้าหมาย จะมีการเรียกคืนข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของสิ่งเป้าหมาย เพื่อที่จะกำหนดลำดับ
3. เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากตำแหน่งเดิมไปเป็นตำแหน่งใหม่ของสิ่งเป้าหมาย ความจดจำกับเส้นทางในการเปลี่ยนตำแหน่งจะเกิดขึ้น
4. ขณะที่มีการเปลี่ยนความสนใจไปยังตำแหน่งใหม่ที่เรียกคืนจากระบบความจำ สิ่งเร้าที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่เลือก จะกลายเป็นสิ่งเป้าหมาย
5. ตำแหน่งปัจจุบันของสิ่งเร้ามีการลงทะเบียนและเก็บไว้ในระบบความจำ แต่จะมีการเปลี่ยน เมื่อมีการยอมรับว่าสิ่งนั้นเป็นสิ่งเป้าหมาย

6. ขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 จะทำซ้ำจนกว่ากิจกรรมการติดตามจะเสร็จสิ้น

แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ เป็นแบบจำลองที่มีการกำหนดและ การติดตามตัวกระตุ้นเป้าหมาย ขณะที่ทั้งตัวกระตุ้นเป้าหมายและตัวกระตุ้นไม่ใช่เป้าหมาย เคลื่อนไหวในพื้นที่ว่างที่จำกัดบริเวณและในระยะเวลาที่กำหนด ในกิจกรรมนี้ กลุ่มตัวอย่างต้องติดตาม ตัวกระตุ้นจำนวน 3 ถึง 6 ตัว ท่ามกลางตัวกระตุ้นจำนวนมาก ที่จะเคลื่อนไหวบนหน้าจอ ตัวกระตุ้น ที่ต้องติดตามเรียกว่า ตัวกระตุ้นเป้าหมาย (Targets Stimuli) จำนวนของตัวกระตุ้นเป้าหมาย ถูกกำหนดตั้งแต่ก่อนมีการเคลื่อนที่ โดยการแสดงลำแสงในการเปลี่ยนสีขอบรอบนอกของตัวกระตุ้น ในเวลาที่กำหนด ขณะมีการเคลื่อนที่ ตัวกระตุ้นเป้าหมายมีลักษณะเหมือนกับตัวกระตุ้นที่ไม่ใช่ เป้าหมาย ก่อนมีการเคลื่อนที่ตัวกระตุ้นจะแสดงบนหน้าจอในเวลา 7 ถึง 15 วินาที เพื่อให้ผู้ทดลอง กำหนดลักษณะของตัวกระตุ้นทั้งหมด ขณะกำหนดลักษณะของตัวกระตุ้น การแสดงลำแสงใน

การเปลี่ยนสีขอบรอบนอกของตัวกระตุ้นเป้าหมายก็เกิดขึ้นในเวลา 83 มิลลิวินาที (Pylyshyn et al., 1994) ดังภาพที่ 2-19 และในท้ายสุดกลุ่มตัวอย่างต้องตอบว่าตัวกระตุ้นตัวใดบ้างที่เป็นตัวกระตุ้นเป้าหมาย



ภาพที่ 2-19 ภาพประกอบตัวอย่างของแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ (Elsevier License Number: 4198071273639)

จากการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนตัวกระตุ้นเป้าหมายที่คนเราสามารถติดตามขณะมีการเคลื่อนที่ ปรากฏว่า ระหว่างการติดตามตัวกระตุ้นเป้าหมายที่มีจำนวนไม่เกิน 3 ตัว พร้อมกับความเร็วในการเคลื่อนที่เร็วกับการติดตามตัวกระตุ้นเป้าหมายที่มีจำนวนไม่เกิน 7 ตัวพร้อมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ช้ากว่า ปรากฏว่า ผู้ทดลองสามารถตอบโจทย์ของกิจกรรมในระดับการทำได้ผิดพลาดไม่ต่างกัน (Pylyshyn et al., 1994) โดย Pylyshyn และคณะได้เสนอว่า ตัวกระตุ้นเป้าหมายไม่ควรจะมีจำนวนมากกว่า 4 ตัว เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างได้แยกแยะและติดตามวัตถุเหล่านั้น และใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 10 วินาที (Pylyshyn, 2001)

การตรวจสอบการแบ่งการจดจ่อกับตัวกระตุ้นที่มีความลึกต่างกัน โดยกระบวนการติดตามหลายวัตถุของ Viswanathan and Mingolla (2002) ปรากฏว่า สิ่งเร้าที่ประกอบด้วยสองสีทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความสนใจน้อยกว่าสิ่งเร้าที่มีสีเดียว และกลุ่มตัวอย่างจำแนกลักษณะของสิ่งเร้าได้ยากขึ้นเมื่อสิ่งเร้ามีการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ หากกลุ่มตัวอย่างรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งเร้าไม่เพียงพอ หรือเห็นสิ่งเร้าเพียงในรูปแบบสองมิติ ก็จะทำให้กลุ่มตัวอย่างจำแนกลักษณะของสิ่งเร้าได้ยากกว่าการได้เห็นสิ่งเร้าในรูปแบบสามมิติ ส่วน Bahrami (2003) เสนอว่า กลุ่มตัวอย่างจะเกิดความสนใจกับสีหรือรูปร่างของสิ่งเร้าเป้าหมายมากกว่าลักษณะอื่น อีกอย่างหนึ่ง กลุ่มตัวอย่างจะจำแนกชนิดของสิ่งเร้าได้ยากขึ้น เมื่อลักษณะของสิ่งเร้ามีการเปลี่ยนแปลงในช่วงทำกิจกรรมการติดตามการเคลื่อนที่ของสิ่งเร้า ในปี ค.ศ. 2001 Scholl, Pylyshyn, and Feldman (2001)

ได้ศึกษาแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ เมื่อวัตถุหรือสิ่งเร้ามีลักษณะรูปทรงที่ต่างกัน ปรากฏว่า กลุ่มตัวอย่างสามารถติดตามตัวกระตุ้นได้เพียง 3 ตัว โดย Scholl และคณะให้เหตุผลว่า การเคลื่อนที่ของสิ่งเร้าที่มีลักษณะต่างกัมนั้น จะมีความซับซ้อนมากกว่าการเคลื่อนที่ของสิ่งเร้าที่มีลักษณะเดียวกัน และกลุ่มตัวอย่างไม่สามารถกำหนดลักษณะของสิ่งเร้าเป้าหมายได้เมื่อสิ่งเร้ามีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น

### **การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุกับความจำภาพ**

จากการใช้แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ ทำให้ค้นพบลักษณะบางอย่างของการติดตาม (Tracking) และความสนใจ (Attention) สิ่งเร้าเป้าหมายที่ถูกติดตามแม้มีการขัดขวางจากสิ่งอื่น (Scholl & Pylyshyn, 1999) หรือแม้แต่ในกรณีสิ่งเร้าหายไปจากจอแสดงผล (Keane & Pylyshyn, 2006) การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุกับความจำภาพมีความเกี่ยวข้องกันอย่างแน่นหนา โดยมีกระบวนการสนใจและความจำเหตุการณ์ (Episodic Memory) เป็นสะพานเชื่อม ส่วนความสนใจนั้นเปรียบเสมือนการจำภาพในเวลาศูนย์ ระบบความสนใจและระบบความจำจึงมีบทบาทหน้าที่ใกล้เคียงกัน จากผลการตรวจสอบโดย fMRI ปรากฏว่า การทำกิจกรรมการติดตามวัตถุและทำแบบทดสอบความจำระยะสั้น (Short-Term Memory) ทำให้เกิดการกระตุ้นสมองในส่วน Posterior Parietal Area เช่นเดียวกัน (Cavanagh & Alvarez, 2005)

แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ ได้รับการยอมรับจากนักวิจัยและนักจิตวิทยาจำนวนมาก โดยมีการนำไปประยุกต์ในหลายรูปแบบ เช่น การปรับเปลี่ยนจำนวน รูปทรง สี และขนาดของสิ่งเร้าที่เป็นเป้าหมายและไม่เป็นเป้าหมาย (Alvarez & Franconeri, 2007) พร้อมกันกับการปรับความเร็ว (Franconeri, Lin, Enns, Pylyshyn, & Fisher, 2008) ตำแหน่ง (Alvarez & Cavanagh, 2005) ทิศทาง (Alvarez & Cavanagh, 2005) และเวลาในการเคลื่อนที่ (Franconeri, Pylyshyn, & Scholl, 2006)

### **แนวคิดการสร้างมโนภาพในสมอง**

Gutiérrez (1996, pp. 9-11) ได้ศึกษาและสรุปทฤษฎีการสร้างจินตนาการในสมอง (Theory of Mental Images) ของ Kosslyn (1980); Premeg (1986) และ Yakimanskaya (1991) ไว้ว่า กระบวนการจินตนาการในสมอง (Visualization) เป็นกิจกรรมการให้เหตุผลที่ขึ้นอยู่กับการใช้องค์ประกอบของภาพหรือมิติต่าง ๆ ของสิ่งเร้า ทั้งในลักษณะที่เป็นภาพเชิงจินตนาการที่มีอยู่ในความจำหรือเป็นภาพจริงที่เห็น เพื่อมุ่งสู่การแก้ปัญหา กระบวนการสร้างจินตนาการในสมองเกิดจากองค์ประกอบสำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ภาพในสมอง (Mental Images) การปรากฏของสิ่งเร้าภายนอก (External Representation) และกระบวนการจินตนาการในสมอง (Process of Visualization) โดย Gutiérrez บรรยายรายละเอียดดังนี้



1. ภาพในสมอง เป็นภาพหรือลักษณะของวัตถุหรือสิ่งเร้าที่ปรากฏขึ้นในสมองเมื่อเห็นหรือรับรู้ภาพของสิ่งเร้าจากภายนอกหรือนึกถึงภาพของสิ่งเร้าต่าง ๆ ภาพในสมองเป็นองค์ประกอบสำคัญทำให้มีกระบวนการจินตนาการต่าง ๆ (Yakimanskaya, 1991)
2. การปรากฏของสิ่งเร้าภายนอก (External Representation) เป็นการแสดงขึ้นของวัตถุหรือสิ่งเร้าภายนอกในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นสิ่งกระตุ้นต่อสมอง ทำให้สมองสามารถสร้างภาพและให้เหตุผลเกี่ยวกับภาพของสิ่งนั้น ๆ ได้
3. กระบวนการจินตนาการในสมอง (Process of Visualization) เป็นกระบวนการทำงานของสมองในการสร้างภาพหรือลักษณะของวัตถุที่ได้รับรู้เป็นภาพในสมอง มีสองกระบวนการที่ทำให้เกิดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ การตีความข้อมูลที่เห็น ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างภาพของวัตถุในสมอง และการตีความภาพที่สร้างขึ้น เพื่อสร้างข้อมูล

ในการส่งเสริมจินตนาการของสมอง (Abilities of Visualization) ต้องพัฒนาความสามารถพื้นฐานดังนี้

1. การรับรู้ความแตกต่างระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง (Figure-Ground Perception) เป็นความสามารถในการกำหนดภาพจำเพาะของสิ่งเร้าโดยแยกภาพของวัตถุที่เห็นออกจากพื้นหลังที่มีลักษณะซับซ้อน
2. การรับรู้ความคงตัวของวัตถุ (Perceptual Constancy) เป็นความสามารถในการจำลักษณะต่าง ๆ ของวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้องกับความยาว สี พื้นผิว หรือตำแหน่ง และยังรับรู้ถึงลักษณะเดิมของวัตถุแม้แต่วัตถุแสดงในมุมต่างจากเดิมก็ตาม
3. การจินตนาการการหมุนวัตถุ เป็นความสามารถในการสร้างภาพแบบเคลื่อนไหวของวัตถุในสมองโดยจินตนาการถึงรูปทรงต่าง ๆ ของวัตถุในรูปแบบเคลื่อนไหว หรือในมุมมองต่าง ๆ
4. การรับรู้ตำแหน่งหรือมิติต่าง ๆ ของวัตถุ (Perception of Spatial Positions) เป็นความสามารถในการเชื่อมโยงวัตถุหรือสิ่งเร้าที่ได้รับรู้กับตำแหน่งของตน
5. การรับรู้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งหรือมิติต่าง ๆ ของวัตถุ (Perception of Spatial Relationships) เป็นความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างหลาย ๆ วัตถุหรือหลาย ๆ ภาพในสมอง
6. การจำแนกภาพที่มองเห็น (Visual Discrimination) เป็นความสามารถในการเปรียบเทียบหลาย ๆ วัตถุหรือสิ่งเร้าเพื่อที่จะกำหนดลักษณะเหมือนหรือต่างระหว่างวัตถุนั้น ๆ

#### **การใช้กิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์**

การใช้กิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาการเรียนรู้ของสมองมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Bera & Liu, 2006; Li & Liu, 2007; Tang et al., 2009) เนื่องจากกิจกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อส่งเสริมโครงสร้างทักษะของสมอง ช่วยพัฒนาการเรียนรู้โดยมีประสิทธิภาพ โดยทำให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้และสนใจที่จะเรียนรู้ต่อ ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่

ยั้งยืน (Garris et al., 2002; de Freitas, 2006; Papastergiou, 2009) จากการศึกษาที่ผ่านมา กิจกรรมผ่านหน้าจอบคอมพิวเตอร์ทางการศึกษาที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญอย่างมีคุณภาพและครอบคลุมเนื้อหาสำหรับกลุ่มวัยรุ่น ทำให้เกิดการส่งผ่านข้อมูล ไปยังความจำขณะคิด ได้เป็นอย่างดี (Alloway et al., 2013)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือกิจกรรมผ่านหน้าจอบคอมพิวเตอร์มากมายได้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นสื่อส่งเสริมทักษะทางสมอง ตัวอย่างเช่น Cabri-geometer (Laborde, 2000), Cabri 3D (Kosa & Karakus, 2010), 3DMath (Christou et al., 2006) และ Virtual Cube Block Puzzle (Kornkasem & Black, 2015) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความสามารถทางสมอง (Christou, Jones et al., 2007)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

Sorby (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะด้านมิติสัมพันธ์เชิง 3 มิติ (3-D Spatial Skills) สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสำคัญของความสามารถในการจินตนาการรูปทรงของวัตถุแบบ 3 มิติที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์และสาขาวิชาเทคโนโลยี ผลการวิจัยปรากฏว่า วิธีการสอนที่เอื้อต่อการจินตนาการรูปทรงของวัตถุแบบ 3 มิติ เป็นปัจจัยสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา โดยเฉพาะเพศหญิง

Wai et al. (2009) ได้ศึกษาระยะยาวโดยติดตามผลการศึกษาระยะเวลา 11 ปี เกี่ยวกับความสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในการเรียนกลุ่ม STEM เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และ STEM กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาเกรด 9 ถึง 12 จำนวน 400,000 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) ร่วมกับการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1957 ผลปรากฏว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของเด็กวัยรุ่นมีความโดดเด่น ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่จะทำให้บรรลุถึงการศึกษาระดับที่สูงต่อไป อีกอย่างหนึ่งบุคคลที่ประกอบอาชีพในกลุ่ม STEM เป็นบุคคลที่มีพัฒนาการทางด้าน STEM ตั้งแต่ช่วงเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา และผลการศึกษายังชี้ให้เห็นอีกว่าทักษะทางด้านมิติสัมพันธ์ที่ดีนั้นจะสามารถทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลสัมฤทธิ์ในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ได้อีกด้วย

Pittalis and Christou (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการให้เหตุผลเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติ และความสัมพันธ์ระหว่างการให้เหตุผลเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อบรรยายและวิเคราะห์โครงสร้างของการคิดเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติ โดยจำแนกตามประเภทในการให้เหตุผล และเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการให้เหตุผลเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้น

มัธยมศึกษา เกรด 5 ถึงเกรด 9 ผลปรากฏว่า การให้เหตุผลเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติ แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ การแสดงของวัตถุหรือสิ่งเร้าในรูปแบบเชิง 3 มิติ (Representation of 3D Objects) การสร้างโครงสร้างของมิติสัมพันธ์ (Spatial Structuring) แนวคิดที่เกิดจากคุณลักษณะของคณิตศาสตร์ (Conceptualization of Mathematical Properties) และแนวคิดที่เกิดจากการวัดทางคณิตศาสตร์ (Conceptualization of Mathematical Measurement) จาก การวิเคราะห์เห็นว่า โครงสร้างรูปแบบการให้เหตุผลเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติและความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่ประกอบด้วยมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์เป็นปัจจัยทำนายองค์ประกอบ ทั้ง 4 ตัวของรูปแบบการให้เหตุผลเชิงเรขาคณิตแบบ 3 มิติ

Baki, Kosa, and Guven (2011) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิตกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกายที่มีต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิตกับผลของกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกายที่มีต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ PSVT ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ทั้งระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง โดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 34 คน ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิต (Cabri 3D) กลุ่มที่ 2 มีจำนวน 32 คน ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกาย และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มควบคุม ผลการวิจัยปรากฏว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิต (Cabri 3D) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกายมีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่ากลุ่มควบคุม ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นอีกว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิต (Cabri 3D) มีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกาย

Geng, Zhang, and Zhang (2011) ได้ศึกษาเรื่องการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จาก Mindfulness กรณีศึกษาอิทธิพลที่มีต่อจินตนาการการหมุนวัตถุ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรการตั้งใจในการเรียนรู้ที่มีต่อกระบวนการคิดด้านมิติสัมพันธ์ กลุ่มตัวอย่างเป็น นักศึกษาในมหาวิทยาลัย Nanjing จำนวน 32 คน โดยออกแบบการทดลองแบบ Factorial Experiment Design 2 (Mindfulness/ Mindlessness) x 2 (Male/ Female) และใช้ MRT เป็นเครื่องมือในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ผลการวิจัยปรากฏว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกโดยกิจกรรมการเรียนรู้แบบ Mindfulness ตอบแบบทดสอบ MRT ได้ไวกว่ากลุ่มที่ทำกิจกรรมการเรียนรู้แบบ Mindlessness

David (2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์โดยเกมคอมพิวเตอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคะแนนของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของ นักศึกษาที่ได้รับการฝึกโดยเกมคอมพิวเตอร์ 3 ประเภทที่ต่างกัน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา จำนวน 286 คน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ถึงกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มทดลอง ซึ่งจะได้รับการฝึกโดยเกม คอมพิวเตอร์ที่จะสร้างประสบการณ์เกี่ยวกับมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็นและมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ใน เวลา 6 ชั่วโมง และฝึกสองครั้งต่อสัปดาห์ ส่วนกลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มควบคุม ซึ่งไม่ได้รับการฝึกโดยเกม คอมพิวเตอร์ กลุ่มทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มที่ต้องเล่นเกม Shapes ซึ่งเป็นเกมที่มีระดับความยากง่าย 50 ระดับ ในแต่ละระดับผู้เล่นต้องเติมช่องว่างโดยภาพของวัตถุสีดำที่มีรูปร่างเหมือนช่องว่างที่แสดงบน หน้าจอ ซึ่งภาพที่แสดงเป็นภาพในรูปแบบสองมิติ ในการเล่นเกมนี้ผู้เล่นต้องใช้ทักษะจินตนาการ การหมุนภาพและประกอบภาพ กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มที่ต้องเล่นเกม Block-Out ซึ่งเป็นเกมที่มี ลักษณะเหมือนเกม Shapes แต่สิ่งเร้าที่แสดงบนหน้าจอเป็นรูปแบบสามมิติ ส่วนกลุ่มทดลองที่ 3 ได้ เล่นเกม 4 ชนิด ได้แก่ 3D Block, Cram Jam, Cyclanoid และ Kiti the Nano Bot ซึ่งเป็นเกมที่ ผู้เล่นต้องคอยเลือกสิ่งเร้าที่เคลื่อนไหวแบบต่อเนื่อง เพื่อแก้ปัญหาให้ถูกต้อง ในการทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ผู้วิจัยใช้แบบทดสอบของ BTPAC ผลของการวิเคราะห์ข้อมูล ปรากฏว่า กลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์หลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมทั้งใน มิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์และมิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า กลุ่มที่เล่นเกมแบบผสมมี คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์หลังการทดลองสูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่เล่นเกม Block-out และกลุ่มที่เล่นเกม Shapes ผู้วิจัยได้เสนอว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ซึ่งเป็นความสามารถทาง สมองที่ซับซ้อน และมีความเกี่ยวข้องกับความคิดและความสนใจด้านภาพ มีความยากที่จะฝึก มีแนวโน้มที่จะพัฒนาได้ด้วยเกมคอมพิวเตอร์ แต่ตัวกระตุ้นในเกมต้องมีลักษณะไม่คล้ายคลึงกับ ตัวกระตุ้นในแบบทดสอบ อีกอย่างหนึ่งเกมที่ใช้ในการพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต้องใช้ รูปแบบการกระทำกับตัวกระตุ้นแบบซับซ้อน

Uttal, Miller, and Newcombe (2013) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะด้านมิติสัมพันธ์ที่ดี ของนักเรียนสามารถทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในกลุ่ม STEM ซึ่งการพัฒนาทักษะด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนมีความจำเป็นทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ว่าการฝึกและการจัดประสบการณ์ สามารถพัฒนาทักษะนี้ได้ จึงได้ทำการสังเคราะห์งานวิจัยทั้งหมด 217 เรื่อง ศึกษาขนาดอิทธิพล (Effect Size) ความน่าเชื่อถือของการดำเนินการ และความสามารถ ในการแปลผลของการฝึกทักษะด้านมิติสัมพันธ์ ผลที่ได้ปรากฏว่ากลุ่มทดลองมีความสัมพันธ์กับกลุ่ม ควบคุมมีค่าขนาดอิทธิพลโดยเฉลี่ยเท่ากับ .47 ผลของการฝึกมีความเสถียร ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์ผล ของการดำเนินการทั้ง เพศ อายุ ประเภทของกลุ่มควบคุม และประเภทของการฝึก ผลปรากฏว่า

ทักษะด้านมิติสัมพันธ์สามารถพัฒนาได้และเป็นส่วนที่สำคัญต่อการเรียนทั้งสาขา คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม

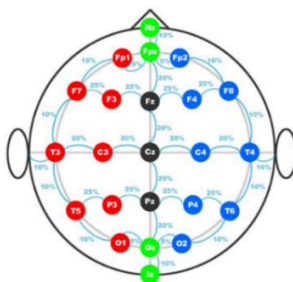
#### ตอนที่ 4 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทำงานของกลุ่มเซลล์ประสาท คลื่นที่บันทึกได้นำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น การวินิจฉัยโรคทางระบบประสาท ความผิดปกติเกี่ยวกับการนอนหลับ การวินิจฉัยภาวะสมองตาย นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยเฉพาะสาขาจิตวิทยาาระบบประสาท คลื่นไฟฟ้าสมองวัดได้จากการรวมกันของประจุที่บริเวณ Dendrite ซึ่งก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาท (Excitatory & Inhibitory Postsynaptic Potentials, EPSP & IPSP) ที่อยู่ติดผิวนอกของสมอง (Cortex) โดยปกติคลื่นไฟฟ้าสมองจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะ (Rhythmic) โดยเกิดจากประจุที่บริเวณ Dendrite ได้รับสัญญาณจากตัวกำเนิดจังหวะที่อยู่ใน Thalamus ผ่าน Projecting Fiber เข้ามาก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาทที่ Dendrite ของเซลล์ประสาทบริเวณเปลือกสมอง (Cortical Neuron) เป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจึงเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทำงานของกลุ่มเซลล์ในระบบประสาท (Dickter & Kieffaber, 2014) คลื่นไฟฟ้าสมองที่ปกติ (Normal EEG) เป็นคลื่นที่ไม่มีลักษณะของคลื่นที่ผิดปกติ จำพวก Spikes and Sharp Waves, Polyspikes เป็นต้น คลื่นไฟฟ้าสมองที่ปกติอาจมีความแตกต่างได้ในแต่ละบุคคล อายุ หรือในภาวะการตื่นตัวหรือนอนหลับ (Sanei & Chambers, 2007, p. 10) คลื่นไฟฟ้าสมองสามารถบ่งชี้ถึงสภาพการทำงานของสมองในภาวะปกติหรือการมีพยาธิ และสามารถแสดงถึงการทำงานของสมองขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยที่ส่งผลให้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เช่น ปริมาตรของเนื้อเยื่อสมอง ความหนาของเปลือกสมอง และปริมาตรของน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (Schomer & da Silva, 2012)

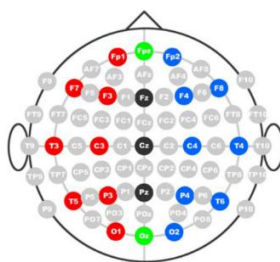
##### วิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองมีหน่วยขยายสัญญาณแยกจากกันต่างหาก เพื่อให้สามารถบันทึกจากหนังศีรษะหลาย ๆ จุดไปพร้อม ๆ กัน ขั้วไฟฟ้าที่ใช้มักเป็น Silver Chloride Disks ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร วางติดกับหนังศีรษะโดยไม่ต้องโกนผม หรือใช้หมวกสำเร็จรูป ตามมาตรฐานสากล ระบบวางขั้วไฟฟ้ามี่ดังนี้ ระบบ 10-20 (10/20 Electrode Placement System) ใช้ขั้วไฟฟ้า จำนวน 16 ขั้ว โดยการวางขั้วไฟฟ้าในตำแหน่งตามภาพที่ 2-20 ระบบ 10-10 (10/10 Electrode Placement System) ใช้ขั้วไฟฟ้า จำนวน 64 ขั้ว โดยการวางขั้วไฟฟ้าในตำแหน่งตามภาพที่ 2-21 และก็มีกรวางขั้วไฟฟ้าในรูปแบบอื่น ๆ ที่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้ามกกว่านี้ เช่น การวาง

ขั้วไฟฟ้าในรูปแบบของระบบ 10-5 (10/5 Electrode Placement System) เป็นต้น และการวางขั้วไฟฟ้าของแต่ละระบบจะแบ่งสี่ระยะเป็น 6 ส่วน คือ Frontal Pole (FP) Frontal (F) Central (C) Parietal (P) Temporal (T) และ Occipital (O) มีการวางขั้วไฟฟ้าตามสัดส่วนอยู่รอบความโค้งของสมอง (Dickter & Kieffaber, 2014)



ภาพที่ 2-20 การวางขั้วไฟฟ้าตามรูปแบบระบบ 10-20



ภาพที่ 2-21 การวางขั้วไฟฟ้าตามรูปแบบระบบ 10-10

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองทำได้ 2 วิธี คือบันทึกแบบสองขั้ว (Bipolar Recording) และแบบขั้วเดียว (Monopolar หรือ Unipolar Recording) การบันทึกแบบสองขั้วเป็นการบันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งขั้วไฟฟ้า 2 อันบนหนังศีรษะ ส่วนการบันทึกแบบขั้วเดียวเป็นการบันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งบนหนังศีรษะกับตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) ที่วางไกลออกไปจากกะโหลกศีรษะ ปกตินิยมวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ติ่งหูทั้งสองข้าง ( $A_1$  และ  $A_2$ ) และกลางกะหม่อม (Vertex) ของกะโหลกศีรษะ ( $Cz$ ) ส่วนการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าทำได้โดยการพิจารณาเกี่ยวกับ แขนความถี่ (Frequency) และแขนความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมองตั้งแต่ระยะเริ่มกระตุ้นจนเริ่มตอบสนองหรือระยะแฝง (Latency) การกระจายของคลื่นไฟฟ้าสมอง การวิเคราะห์ในปัจจุบันมักใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทำให้มีความสะดวกมากขึ้น

### การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองตามรูปแบบศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP)

การวัด EEG เป็นที่นิยมกันมากขึ้นในยุค ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เพื่อบันทึกรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นบางอย่าง และต่อการประมวลผลความคิดในรูปแบบเฉพาะ Vaughan (1974) เรียกรูปแบบคลื่นเหล่านี้ว่าศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ งานวิจัยเกี่ยวกับ ERP ที่ต่อยอดจากการศึกษาทางสรีรวิทยาของสมอง โดยการพัฒนาวิธีการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกับเวลาระหว่างสิ่งกระตุ้นที่ต้องอาศัยการประมวลผลบางรูปแบบ กับการตอบสนองที่สัมพันธ์กัน ในขณะที่งานวิจัย EEG ให้ความสำคัญต่อการอธิบายสภาวะทางประสาทสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับรูปแบบต่าง ๆ กับความคิดและพฤติกรรม เทคนิค ERP ให้ข้อพิสูจน์เกี่ยวกับการตอบสนองทางประสาทสรีรวิทยาบางอย่างต่อสิ่งกระตุ้นและการทำงานของสมอง การวัดด้วยเทคนิค ERP เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการระบุว่าคุณคณตอบสนองอย่างไรต่อสิ่งกระตุ้นแต่ละชนิด

รูปแบบคลื่น ERP ระบุได้จากแกนความสูงของคลื่นและแกนเวลา โดยความสูงของคลื่นมีค่าเป็นบวกแทนด้วยสัญลักษณ์ “P” ในขณะที่ความสูงของคลื่นมีค่าเป็นลบแทนด้วยสัญลักษณ์ “N” ส่วนแกนเวลามีหน่วยเป็นมิลลิวินาที ซึ่งหมายถึงเวลาตั้งแต่เริ่มการกระตุ้นไปจนถึงการปรากฏของรูปแบบที่กำหนดให้ ดังนั้นเมื่อรูปแบบของคลื่น ระบุเป็น P300 หมายความว่า คลื่นไฟฟ้าสมองมีความสูงของคลื่น เป็นบวกเกิดขึ้นตรงเฉลี่ยประมาณ 300 มิลลิวินาที หลังเริ่มการกระตุ้น ลักษณะพื้นฐานบางประการของรูปแบบคลื่น ERP ที่สำคัญมีดังนี้

P100 หรือ P1 เป็นรูปแบบคลื่นบวกที่เกิดระหว่าง 65-100 มิลลิวินาที หลังเริ่มการกระตุ้น เป็นคลื่นที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางการรับรู้ด้านการมองเห็น (Visual) ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าชนิดแสงที่มีลักษณะเป็นไฟกระพริบของแสงสีขาว (Flash) P100 หรือ P1 ปรากฏชัดเจนที่สมองบริเวณส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) แสดงให้เห็นถึงการทำงานครั้งแรกของสมองในการให้ความสนใจ (Pay Attention) ไปยังสิ่งกระตุ้น หมายความว่าสมองมีการรับรู้โดยอัตโนมัติจากสิ่งเร้าที่เป็นแสง ได้เร็วสุดที่เวลา 65 มิลลิวินาทีที่บริเวณสมองส่วนท้ายทอยหรือที่บริเวณ Brodmann Area (BA) ตำแหน่ง 17-18-19 (Lee, Kim, Kim, & Bae, 2010)

N100 หรือ N1 เป็นรูปแบบคลื่นลบที่เกิดระหว่าง 80-200 มิลลิวินาที หลังเริ่มการกระตุ้น (Sur & Sinha, 2009) เป็นรูปแบบคลื่นแรกๆที่พบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ERP สามารถใช้เพื่อศึกษาเรื่องความสนใจ (Attention) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นไฟฟ้าสมองช่วง N100 ของสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) มีความสัมพันธ์กับการเลือกให้ความสนใจ (Selective Attention) เมื่อคลื่น N100 มียอดของคลื่นสูง (High Amplitude) แสดงว่าเกิดความสนใจกับตัวกระตุ้น แต่หากว่าคลื่น N100 มียอดของคลื่นต่ำ (Low Amplitude) แสดงว่าไม่เกิดความสนใจกับตัวกระตุ้น (Hamilton, Baskin-Sommers,

& Newman, 2014) คลื่น N100 แบ่งเป็นสองชนิด คือ N100 ที่แสดงถึงการสนใจเสียง และ N100 ที่แสดงถึงการสนใจภาพ

N100 ที่แสดงถึงการสนใจเสียง เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่ปรากฏในเวลา 80-120 มิลลิวินาที เกิดจากการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าชนิดเสียง เป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่ชี้ถึงการรับรู้เสียง ปรากฏชัดเจนนที่สมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) สมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) และสมองส่วนบน (Parietal Lobe) และพบในสมองด้านขวามากกว่าด้านซ้าย การใช้งานทางคลินิก N100 ที่แสดงถึงการสนใจเสียง ใช้เพื่อทดสอบความผิดปกติในการได้ยิน หากมีการกระตุ้นด้วยเสียง แล้วไม่ปรากฏคลื่นนี้ แสดงว่าบุคคลนั้นมีปัญหาทางการได้ยิน หรือมีอาการ Dyslexia ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการเรียนรู้ด้านภาษาและใช้เพื่อทดสอบอาการโคม่าของสมอง (Coma) นอกจากนี้ N100 ยังใช้ในการทดสอบการได้ยินในประเภท Mismatch Negativity (MMN) โดยการศึกษาการปรากฏของคลื่น N100 ขณะให้สิ่งเร้าแบบ Go/No go task ที่มีลักษณะเป็นเสียง (Daltrozzo, Wioland, Mutschler, & Kotchoubey, 2007)

N100 ที่แสดงถึงการสนใจภาพ เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่ปรากฏในเวลา 150-200 มิลลิวินาที เกิดจากการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าผ่านการมองเห็น ปรากฏชัดเจนนที่สมองส่วนท้ายทอย สมองส่วนบน สมองส่วนขมับและพบบ้างในสมองส่วนหน้า การใช้งานทางคลินิก คลื่น N100 ที่แสดงถึงการสนใจภาพ นิยมใช้ในการทดสอบความผิดปกติในการมองเห็น หากไม่ปรากฏคลื่นนี้ขณะมีการกระตุ้นด้วยภาพ แสดงว่ามีปัญหาทางสายตาและการมองเห็น (Daltrozzo et al., 2007)

N170 เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์เชิงลบ ปรากฏที่เวลา 150-200 มิลลิวินาที แสดงถึงการรับรู้ภาพใบหน้าของบุคคล (Face Perception) โดยเฉพาะการรับรู้ภาพดวงตาของบุคคล ปรากฏชัดเจนนเมื่อเทียบกับการให้สิ่งเร้าอื่น ที่ไม่ใช่ใบหน้าบุคคล เช่น ภาพดอกไม้ ภาพบ้านภาพธรรมชาติ หากนำเสนอสิ่งเร้าที่เป็นภาพใบหน้าบุคคล จะปรากฏคลื่น N170 แสดงการทำงานชัดเจนนที่สมองส่วนท้ายทอย สมองส่วนท้ายทอย - บน (Occipital-Parietal Lobe) สมองส่วนท้ายทอย - ขมับ (Occipital-Temporal Lobe) และปรากฏบ้างในสมองส่วนหน้า และพบในสมองทางด้านขวามากกว่าด้านซ้าย (Luck & Kappenman, 2011, pp. 115-118)

N200 หรือ N2 เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์เชิงลบ ปรากฏที่เวลา 200-350 มิลลิวินาที แสดงถึงการประมวลผลทางปัญญา เช่น การบริหารจัดการของสมอง (Executive Function) ความจำขณะคิด การรับรู้ (Perception) ความสนใจ (Attention) ความจำ (Memory) และภาษา (Language) ทั้งในด้านภาพและด้านเสียง โดยการแสดงตัวกระตุ้นแบบ Mismatch Negativity, Target/Nontarget) และ Go/No-go Task ที่นำเสนอแบบสลับกันอย่างรวดเร็ว เพื่อทดสอบ ความสนใจ ความจำและการเลือกตอบสนอง (Response Selection) กำหนดให้สนใจกับสิ่งเร้าเป้าหมายหรือเป็นสิ่งเร้าใหม่ (Novelty) เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเลือกตอบสนองให้ถูกต้อง N200



ปรากฏชัดเจนที่บริเวณสมองส่วนหน้า สมองส่วนบน และสมองส่วนขมับ (Petit, Kornreich, Noel, Verbanck, & Campanella, 2012)

P200 หรือ P2 เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์เชิงบวก ปรากฏที่เวลา 160-275 มิลลิวินาที แสดงถึงการประมวลผลที่หลากหลายทางปัญญา (Cognitive) เช่น การรับรู้ ความสนใจ ความจำ และภาษา ทั้งในด้านภาพและด้านเสียง โดยนิยมใช้ในการทดลองโดยให้กลุ่มตัวอย่างตรวจสอบสิ่งเร้าที่จะแสดงเป็น Target/Nontarget และมีลักษณะเป็นภาพ 2 มิติ ภาพ 3 มิติ สิ่งเร้าที่เป็นคำ หรือเป็นเสียง คลื่น P200 ปรากฏการทำงานของสมองที่ชัดเจนบริเวณสมองส่วนหน้า สมองส่วนท้ายทอย สมองส่วนบน และสมองส่วนขมับมีบ้างเล็กน้อย การประยุกต์ใช้คลื่น P200 ในทางคลินิก ใช้ในการวินิจฉัยโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's Disease) และโรคสมองเสื่อม (Dementia) โดยให้ผู้ป่วย ได้รับสิ่งเร้าที่เป็นแสงไฟกระพริบ หากคลื่น P100 และ P200 มีช่วงความกว้างของคลื่นที่ห่างกันมากแสดงถึงความบกพร่องในการส่งสัญญาณประสาทภายในสมอง (Qiu et al., 2008; Lee et al., 2010)

P300 หรือ P3 พบเป็นครั้งแรกโดย Sutton, Braren, Zubin, and John (1965) เป็นหนึ่งในรูปแบบคลื่นที่มีการศึกษามากที่สุดเกี่ยวกับการทำหน้าที่เกี่ยวกับการคิด เป็นรูปแบบคลื่นเชิงบวกที่เกิดระหว่าง 250-550 มิลลิวินาที หลังเริ่มการกระตุ้น (Lee et al., 2010) ค่าความสูงของคลื่นสูงสุดสำหรับ P300 โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นช้ากว่า 300 มิลลิวินาที เพราะเป็นรูปแบบคลื่นที่กว้าง (Fabiani, Gratton, Karis, & Donchin, 1987) คลื่น P300 ปรากฏระหว่างกิจกรรมที่ให้กลุ่มตัวอย่างมุ่งความสนใจไปที่สิ่งกระตุ้นที่ปรากฏที่ละภาพ คลื่น P300 มีความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างพยายามให้ความสนใจกับสิ่งกระตุ้นเป้าหมายที่จะปรากฏแบบนาน ๆ ครั้งหรือสิ่งกระตุ้นที่ต้องใช้การคิด (Thinking) การตัดสินใจ (Decision Making) การประเมิน (Evaluation) การแก้ปัญหา (Problem Solving) และการจัดหมวดหมู่ (Categorization) และคลื่น P300 จะพบชัดเจนบริเวณสมองส่วน Parietal-Temporal Lobe (Andreassi, 2000) คลื่น P300 แบ่งเป็นสองชนิดได้แก่ P3a และ P3b

P3a เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ปรากฏที่ช่วงเวลา 250-350 มิลลิวินาที แสดงถึงการทำงานของสมองในด้านความจำขณะคิด การประมวลผลด้านตัดสินใจ การประเมิน การจัดหมวดหมู่ ความสนใจ (Attention) และการพิจารณาว่าเป็นสิ่งใหม่หรือเก่า (Novelty) คลื่น P3a แสดงการทำงานที่ชัดเจนบริเวณสมองส่วนหน้ามากที่สุด โดยเฉพาะ Prefrontal Lobe นอกจากนี้มีปรากฏเล็กน้อยที่สมองส่วนบน และสมองส่วนขมับ (Luck & Kappenman, 2011)

P3b เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ปรากฏที่ช่วงเวลา 350-550 มิลลิวินาที แสดงถึงการทำงานของสมองในด้านกระบวนการรู้คิด (Cognitive Process) ความจำขณะคิด การเรียกคืนข้อมูลจากความจำระยะยาว (Long-Term Memory) การคิดประมวลผลในด้านการ

ตัดสินใจ การประเมิน การจัดหมวดหมู่ การแก้ปัญหา คลื่น P3b ปรากฏชัดเจนที่บริเวณสมองส่วนหน้า สมองส่วนบน และสมองส่วนขมับ (Luck & Kappenman, 2011)

กิจกรรมที่ใช้เพื่อกระตุ้นให้เกิดคลื่น P300 ต้องเป็นกิจกรรมที่ใช้สิ่งกระตุ้นที่มีลักษณะแปลกใหม่ และรูปแบบของกิจกรรมต้องประกอบด้วยสิ่งกระตุ้นอย่างน้อย 2 หรือ 3 ตัว ได้แก่ สิ่งเป้าหมาย สิ่งรบกวน และสิ่งแปลกใหม่ สิ่งเป้าหมาย เป็นสิ่งที่กลุ่มตัวอย่างรู้จัก คาดคะเนได้และต้องตรวจสอบหรือติดตาม โดยการนับจำนวนครั้งที่สิ่งกระตุ้นปรากฏในหนึ่งชุดแบบทดสอบ สิ่งรบกวน เป็นสิ่งที่กลุ่มตัวอย่างรู้จักและคาดคะเนได้ แต่กลุ่มตัวอย่างไม่ต้องตรวจสอบหรือติดตาม ส่วนสิ่งแปลกใหม่ เป็นสิ่งที่กลุ่มตัวอย่างอาจจะไม่รู้จักและคาดคะเนไม่ได้ จึงไม่กำหนดให้ตรวจสอบ สิ่งเป้าหมายและสิ่งแปลกใหม่จะแสดงความถี่ต่ำกว่าสิ่งรบกวน โดยทั่วไปคลื่น P300 มีความสูงเพิ่มขึ้นสำหรับสิ่งเป้าหมายและสิ่งแปลกใหม่ ในขณะที่ความกว้างของคลื่น P300 อธิบายถึงเวลาการประเมินต่อสิ่งกระตุ้นของระบบการทำงานของสมอง การใช้เวลามากขึ้นเพื่อประเมินสิ่งกระตุ้น ก็จะทำให้คลื่น P300 มี Latency สูงขึ้น (Coles, Gratton, & Fabiani, 1990)

N400 เป็นรูปแบบคลื่นลบที่เกิดระหว่าง 280-500 มิลลิวินาที แสดงถึงการประมวลผลทางด้านภาษา การจำแนกความหมาย (Semantics) ตัวกระตุ้นที่ใช้กิจกรรมเพื่อทำให้เกิดคลื่น N400 สามารถนำเสนอได้ทั้งชนิดภาพและเสียง และแสดงถึงการตอบสนองของสมองต่อคำใหม่ (Novelty Words) หรือคำที่ไม่คาดคิด (Unexpected Words) ของประโยคคำพูด ตัวอย่างประโยคที่เหมาะสม/ไม่ค่อยเหมาะสม เช่น "ฉันต้องการไปว่ายน้ำใน" คำสุดท้ายอาจเป็น "สระว่ายน้ำ" (เหมาะสม) "บ่อน้ำ" (ไม่ค่อยเหมาะสม) "ภูเขา" (ไม่เหมาะสม) เมื่อรับรู้สิ่งเร้าหรือคำพูดที่ไม่ค่อยเหมาะสม จะปรากฏคลื่น N400 ชัดเจนบริเวณสมองส่วนขมับและปรากฏเล็กน้อยที่สมองส่วนบน และสมองส่วนท้ายทอย คลื่น N400 นิยมใช้ในการวิจัย Neurolinguistic แสดงให้เห็นถึงการทำงานที่ชัดเจนของสมองกับความสามารถทางภาษาที่สมองส่วนขมับ (Kutas & Hillyard, 1980; Kutas & Federmeier, 2011)

P600 เป็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์เชิงบวก ปรากฏที่เวลา 500-650 มิลลิวินาที แสดงถึงการประมวลผลทางภาษา เป็นการทำงานของสมองและระบบประสาททางด้านภาษา (Neurolinguistic) ที่กระตุ้นโดยสิ่งเร้าที่เป็นคำพูดที่มีลักษณะเป็นภาพและเสียง เพื่อตอบสนองต่อไวยากรณ์ (Grammatical) หรือความสัมพันธ์ระหว่างถ้อยคำในประโยค จึงกล่าวได้ว่าคลื่น P600 เกี่ยวข้องกับการทำงานของสมองในด้านการประมวลผลเกี่ยวกับการสร้างประโยค (Sentence Processing) การสร้างวลี (Phrase Processing) การตอบสนองของสมองต่อประโยคใหม่ (Novelty Sentence) ประโยคที่ไม่คาดคิด (Unexpected Sentence) ความขัดแย้งของประโยค (Disagreement) และการตีความ (Interpretation) ของสิ่งเร้าที่เป็นประโยคหรือวลี คำพูด นอกจากนี้ คลื่น P600 ยังใช้ในการศึกษาทางดนตรี เกี่ยวกับการฟังเสียงดนตรีเป็นสิ่งเร้าที่ผิดคีย์

(Key) สำหรับการศึกษาด้านภาษา แสดงตัวอย่างของประโยคที่ ปกติ/ผิดปกติ เช่น อาหารที่อร่อยได้  
 รับประทานเด็ก (ผิดปกติ) อาหารที่อร่อยได้รับประทานโดยเด็ก (ปกติ) เมื่อกลุ่มตัวอย่าง ได้รับสิ่งเร้า  
 ไวยากรณ์หรือประโยคที่ผิดปกติ จะปรากฏคลื่น P600 แสดงการทำงานชัดเจนที่บริเวณสมอง  
 ส่วนขมับ บริเวณ Wernicke's Area และ Broca's Area และปรากฏเล็กน้อยที่สมองส่วนบน และ  
 ส่วนท้ายทอย (Luck & Kappenman, 2011, pp. 27-30)

### การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของสมองและการวัดด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง

เทคนิคการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองได้นำมาประยุกต์ใช้กับการทำวิจัยทางด้านชีวปัญญาของ  
 มนุษย์โดยนักวิจัยทางการศึกษาและจิตวิทยา เช่น ในปี ค.ศ. 1995 Arce, Ramos, Guevara,  
 and Corsi-Cabrera (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และ  
 ตัวแปรส่วนบุคคลกับศักย์ไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีวัตถุประสงค์  
 เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างเพศหญิงและเพศชายในการแก้ปัญหาด้านชีวปัญญา โดยพิจารณา  
 จากคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มตัวอย่างมีอายุระหว่าง 17 ถึง 21 ปี แบ่งเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีมิติ  
 สัมพันธ์สูง (คะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่า 80%) และกลุ่มที่มีมิติสัมพันธ์ต่ำ (คะแนน  
 ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำกว่า 30%) วัดโดยแบบทดสอบ DAT เพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจาก  
 นักเรียนอาสาสมัคร จำนวน 800 คน อาสาสมัครที่เลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างมี จำนวน 40 คน แบ่งเป็น  
 กลุ่มที่มีมิติสัมพันธ์สูง จำนวน 20 คน (เพศหญิง 10 คน และเพศชาย 10 คน) และกลุ่มที่มีมิติสัมพันธ์  
 ต่ำ จำนวน 20 คน (เพศหญิง 10 คน และเพศชาย 10 คน) ผลการวิจัยปรากฏว่า กลุ่มที่มีมิติสัมพันธ์  
 ต่ำมีค่าพลังงานสมบูรณ์ (Absolute Power) ทุกส่วนของสมอง สูงกว่ากลุ่มที่มีมิติสัมพันธ์สูง แต่เพศ  
 ไม่มีผลต่อศักย์ไฟฟ้าสมอง เมื่อพิจารณาถึงพลังงานสัมพันธ์ของคลื่นต่าง ๆ ปรากฏว่า กลุ่มที่มีมิติ  
 สัมพันธ์ต่ำมีค่าพลังงานสัมพันธ์ของคลื่น Alpha ในทุกส่วนของสมอง สูงกว่ากลุ่มที่มีมิติสัมพันธ์สูง  
 ขณะที่เพศหญิงมีค่าพลังงานสัมพันธ์ของคลื่น Beta1 ทุกส่วนของสมอง เว้นตำแหน่ง T3 และ T4  
 และค่าพลังงานสัมพันธ์ของคลื่น Beta2 ทุกส่วนของสมองด้านข้างสูงกว่าเพศชาย

สรุปได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าสมองของเพศหญิงและเพศชายมีความสัมพันธ์กับคะแนน  
 ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในส่วน of ค่าพลังงานสัมพันธ์ของคลื่น Alpha และ Beta หมายความว่า  
 ศักย์ไฟฟ้าสมองสามารถจำแนกชีวปัญญาของมนุษย์ส่วนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์โดย  
 พิจารณาจากค่าพลังงานสัมพันธ์และพลังงานสมบูรณ์ของคลื่น Alpha และ Beta (Arce et al.,  
 1995) โดยผู้ที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำใช้พลังงานของคลื่นที่มีความถี่ต่ำในระดับสูง  
 โดยเฉพาะสมองส่วนข้างด้านขวา ขณะที่มีการใช้พลังงานต่ำในสมองส่วนกลางและสมองส่วนหลัง  
 ถึงแม้ว่าคลื่นไฟฟ้าสมองมีลักษณะใกล้เคียงกันในทั้งสองซีกของสมองก็ตาม แต่ก็เห็นว่าการเกิดขึ้น  
 ของคลื่นที่มีความถี่ต่ำในสมองซีกขวาขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ บ่งชี้ถึงบุคคล  
 คนนั้นมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ

กนก พานทอง, เสรี ชัดแจ้ง และกาญจนา พิทักษ์วัฒนานนท์ (2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมองโดยการศึกษาศีกษาไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทดสอบด้านเลขคณิต มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ขณะทดสอบด้านเลขคณิตโดยจำแนกตามความยากของข้อสอบ และความสามารถของผู้สอบ และศึกษาผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบที่มีต่อความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ขณะทดสอบด้านเลขคณิต กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนปรีชาสุศาสตร์ ได้มาโดยการรับสมัครอาสาสมัครจำนวน 30 คน จำแนกเป็นกลุ่มย่อย จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน ได้แก่ กลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณรบกวน EEG 100C, MP150 BIOPAC และหมวกอิเล็กทรอนิกส์ที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS ผลการวิจัยหลักปรากฏว่า ความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ขณะทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ถ้าจำแนกตามความยากของข้อสอบ ปรากฏว่า ข้อสอบที่มีความยากมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบที่มีความยากปานกลางและข้อสอบที่ง่าย และข้อสอบที่ยากปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบที่ง่าย แต่เมื่อจำแนกตามความสามารถของผู้สอบ ปรากฏว่า ผู้สอบกลุ่มอ่อน และกลุ่มปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มเก่ง ส่วนผู้สอบกลุ่มอ่อนมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มปานกลาง และกลุ่มเก่ง ในบริเวณจุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp1, Fp2, F3, F4, C3, P3, P4, O1, O2, F7, Fz, Cz และ Pz ที่มีความสูงและความกว้างของคลื่น P300 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางยังชี้ให้เห็นว่ามีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบต่อความกว้างของคลื่น P300 ที่จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp2 และ Pz

Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, and Perrig (2008) เสนอรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการฝึกสมองทางคอมพิวเตอร์ที่ช่วยปรับปรุงความสามารถในการแก้ปัญหาทั่วไป กับกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุเฉลี่ย 19 ปี แบ่งกลุ่มอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งฝึกทางคอมพิวเตอร์ 25 นาทีต่อวัน โปรแกรมการฝึกนั้นมีการฟังเสียงอ่านเป็นชุด ๆ แล้วให้ฟันความจำว่าเป็นชุดเดียวกับที่เคยฟังในขั้นตอนก่อน ๆ มาแล้วหรือไม่ ขณะเดียวกันก็มีการจับคู่ชุดสี่เหลี่ยมจัตุรัสในรูปแบบต่าง ๆ ให้เข้ากับชุดก่อน ๆ ที่เคยดูผ่านมา ส่วนอีกกลุ่มไม่ได้ฝึกอะไรเลย การฝึกนั้นทำซ้ำ ๆ ทุกวันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วให้กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มทำแบบทดสอบ 2 ชุด คือแบบทดสอบการใช้เหตุผล และแบบทดสอบเชิงเลื่อนไหล Advanced Progressive Matrices (APM) ของ Raven จากการเปรียบเทียบผลการ

ทดสอบปรากฏว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกโดยกิจกรรมบนจอคอมพิวเตอร์ทำคะแนนจากแบบทดสอบการใช้เหตุผล และแบบทดสอบ APM ได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก

Karbach and Kray (2009) ศึกษาผลของการฝึกด้วยกิจกรรมที่ต้องอาศัยการปรับเปลี่ยนการทำงานของสมองตามสถานการณ์หรือสิ่งกระตุ้นที่เปลี่ยนไป (Task-Switch Training) ซึ่งความสามารถทางด้านนี้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของหน้าที่บริหารจัดการของสมอง (Executive Function) กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 126 คน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยเด็ก (อายุเฉลี่ย 9 ปี) กลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ตอนต้น (อายุเฉลี่ย 22 ปี) และกลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ตอนปลาย (อายุเฉลี่ย 69 ปี) ส่วนกลุ่มควบคุมนั้นประกอบด้วยกันทั้งสามช่วงวัย กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มที่เป็นกลุ่มทดลองได้รับการฝึกโดย Task-Switch Training ทางหน้าจคอมพิวเตอร์สัปดาห์ละ 4 วัน วันละ 30-40 นาที กลุ่มตัวอย่างทุกคนได้รับการทดสอบเชาวน์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว (Fluid Intelligence) ด้วยแบบทดสอบ Standard Progressive Matrices (SPM) ของ Raven ก่อนฝึกและหลังฝึก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองมีคะแนนการทดสอบ SPM เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและขณะก่อนได้รับการฝึก

Neubauer, Bergner, and Schatz (2010) ได้ศึกษาอิทธิพลของเพศและการฝึกที่มีต่อจินตนาการการหมุน และการกระตุ้นของสมอง (Brain Activation) โดยเปรียบเทียบระหว่างกิจกรรมการทดสอบในรูปแบบบนจอ 2 มิติ และ 3 มิติ กับกลุ่มตัวอย่างที่ถนัดมือขวา จำนวน 77 คน (เพศชาย 38 คน และเพศหญิง 39 คน) มีอายุเฉลี่ย 15 ปี ในการทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการการหมุนก่อนและหลังฝึก ผู้วิจัยใช้แบบทดสอบสติปัญญา Intelligenz-Struktur-Analyse ที่พัฒนาจากโมเดลสติปัญญาของ Thurstone และขณะทำกิจกรรมทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการการหมุนทั้งสองชนิดมีการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองพร้อมกันไปด้วย ในแต่ละรูปแบบของแบบทดสอบ (รูปแบบบนจอ 2 มิติ และ 3 มิติ) ประกอบด้วย 45 กิจกรรมแบบทดสอบที่ใช้ภาพกระตุ้นเหมือนกัน ต่างกันตรงการแสดงผลบนจอ 2 มิติ และ 3 มิติ แต่ละกิจกรรมเครื่องหมายบวก (Fixation Cross) จะแสดงในเวลา 3000 มิลลิวินาที ต่อด้วยรูปภาพตัวกระตุ้นที่จะแสดงในเวลาสูงที่สุด 8000 มิลลิวินาที ขณะนั้นกลุ่มตัวอย่างต้องตอบโดยกดปุ่ม Yes หรือ No กด Yes เมื่อภาพตัวกระตุ้นเป็นภาพเดียวกัน และกด No เมื่อภาพตัวกระตุ้นไม่ใช่ภาพเดียวกัน ขณะฝึกกลุ่มตัวอย่างจะต้องเล่นกิจกรรม 7 ชนิดในเวลา 14 วัน แต่ละกิจกรรมประกอบด้วย Cube Tasks, Brick Tasks และเกม Tetris และทั้ง 7 กิจกรรมต่างกันตรงความยากของกิจกรรม ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางคลื่นไฟฟ้าสมองผู้วิจัยใช้เทคนิค ERD (Event-Related Desynchronization Approach) ของคลื่น Alpha ผลของการวิจัยส่วนความแม่นยำในการตอบแบบทดสอบ ปรากฏว่า เพศชายมีคะแนนจากแบบทดสอบความสามารถเชิงจินตนาการการหมุนในรูปแบบ 2 มิติสูงกว่าเพศหญิง แต่ไม่สามารถจำแนกได้ว่า เพศชายมีคะแนนความสามารถเชิงจินตนาการการหมุนสูงกว่าเพศหญิง เมื่อทดสอบด้วยแบบทดสอบในรูปแบบ 3 มิติ

อย่างไรก็ตาม คะแนนทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นเช่นกันหลังได้รับการฝึก ไม่ว่าจะทดสอบด้วยแบบทดสอบในรูปแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นอีกว่า เพศหญิงได้รับอิทธิพลจากการฝึกมากกว่าเพศชาย ส่วนผลเกี่ยวกับเวลาตอบแบบทดสอบ ปรากฏว่า หลังการทดลองกลุ่มทดลองใช้เวลาทำแบบทดสอบไววกว่าก่อนการทดลอง อีกอย่างหนึ่งกลุ่มทดลองใช้เวลาในการทำกิจกรรมในรูปแบบ 3 มิติน้อยกว่าการทำกิจกรรมในรูปแบบ 2 มิติ เมื่อพิจารณาถึงการกระตุ้นของสมอง ปรากฏว่า สมองของกลุ่มทดลองที่เป็นเพศชายมีการกระตุ้นน้อยลงเมื่อเทียบระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ขณะที่สมองของกลุ่มทดลองที่เป็นเพศหญิงมีการกระตุ้นน้อยลงเมื่อเทียบระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกรณีทดสอบด้วยแบบทดสอบในรูปแบบ 3 มิติ

สรุปได้ว่า การแสดงภาพตัวกระตุ้นหรือสิ่งเร้าของกิจกรรมบนจอ 3 มิติ ทำให้ผู้ทดลองสามารถมองเห็นภาพได้คมชัดและเห็นทุกมุมของภาพ ซึ่งมีผลดีต่อประสิทธิภาพในการจัดกระทำกับตัวกระตุ้นหรือสิ่งเร้า นั้น ๆ ที่จะทำให้ผู้ทดลองสามารถทำกิจกรรมที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติได้คะแนนดี และใช้เวลาน้อยกว่าการทำกิจกรรมที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ รูปแบบการแสดงภาพตัวกระตุ้นหรือสิ่งเร้านี้ก็เป็นปัจจัยที่ช่วยลดความแตกต่างระหว่างเพศในความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

นอกจากการศึกษากับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคคลทั่วไปแล้ว ก็ยังมีการศึกษากับกลุ่มตัวอย่างที่มีความบกพร่องในการทำงานของสมองโดย Klingberg, Forsberg, and Westerberg (2002) ใช้โปรแกรมการฝึกที่อาศัยกระบวนการทางสมองที่เกี่ยวข้องกับความจำขณะคิดประกอบด้วยกิจกรรม 4 กิจกรรม ได้แก่ Visual Span Task, Backward Span Task, Letter-Span Task และ Go/ Nogo Task โดยศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีปัญหาทางด้านสมาธิสั้น (Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder: ADHD ) ฝึกทางหน้าจอตลอดทุกวัน ครั้งละ 25 นาที เป็นเวลา 5-6 สัปดาห์ คณะผู้วิจัยได้มีการวัดเชาวน์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลโดยใช้แบบทดสอบ Advanced Progressive Matrices (APM) ก่อนและหลังฝึก ผลการวิจัยปรากฏว่าคะแนนจากการทำแบบสอบ APM หลังการฝึกสูงกว่าก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญ และ Guilleminault, Lee, and Chan (2005) ศึกษาเกี่ยวกับการเดินละเมอเรื้อรังของผู้ใหญ่ โดยการตรวจการนอนหลับ (Polysomnography) ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใหญ่อายุ 50 ปีที่เดินละเมอ จากการประเมินทางคลินิก ผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของการนอน และการตรวจการนอนหลับ โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า ความวิตกกังวล ความเครียดและอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของการนอนหลับ (Sleep Disorders) ส่วนการเดินละเมอที่เกิดจากความผิดปกติจากโรคทางจิตเวชรักษาด้วยยา และความผิดปกติของการนอนหลับอื่น ๆ รักษาตามอาการเท่านั้น

Gentile, Swing, Lim, and Khoo (2012) ได้ศึกษาอิทธิพลของการดูโทรทัศน์และการเล่นเกมวิดีโอที่มีต่อการพัฒนาของสมองด้านการใส่ใจ โดยศึกษากับวัยรุ่นตอนปลายและผู้ใหญ่ตอนต้น จำนวน 1,323 คน เป็นเวลา 13 เดือน ปรากฏว่าการดูโทรทัศน์และเล่นเกม มีความเกี่ยวข้องกับ

ปัญหาความใส่ใจที่เพิ่มขึ้น โดยใช้แบบประเมินของครูผู้สอนและการประเมินตนเอง ผลการศึกษาปรากฏว่าเนื้อหาของเกมส์ที่มีความรุนแรง จะมีผลกระทบเป็นพิเศษเกี่ยวกับปัญหาความใส่ใจและความหุนหันพลันแล่น แต่สิ่งที่สำคัญคือเวลาที่อยู่กับวิดีโอเกมนั้น จะเป็นตัวทำนายที่สอดคล้องกันมากยิ่งขึ้น

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

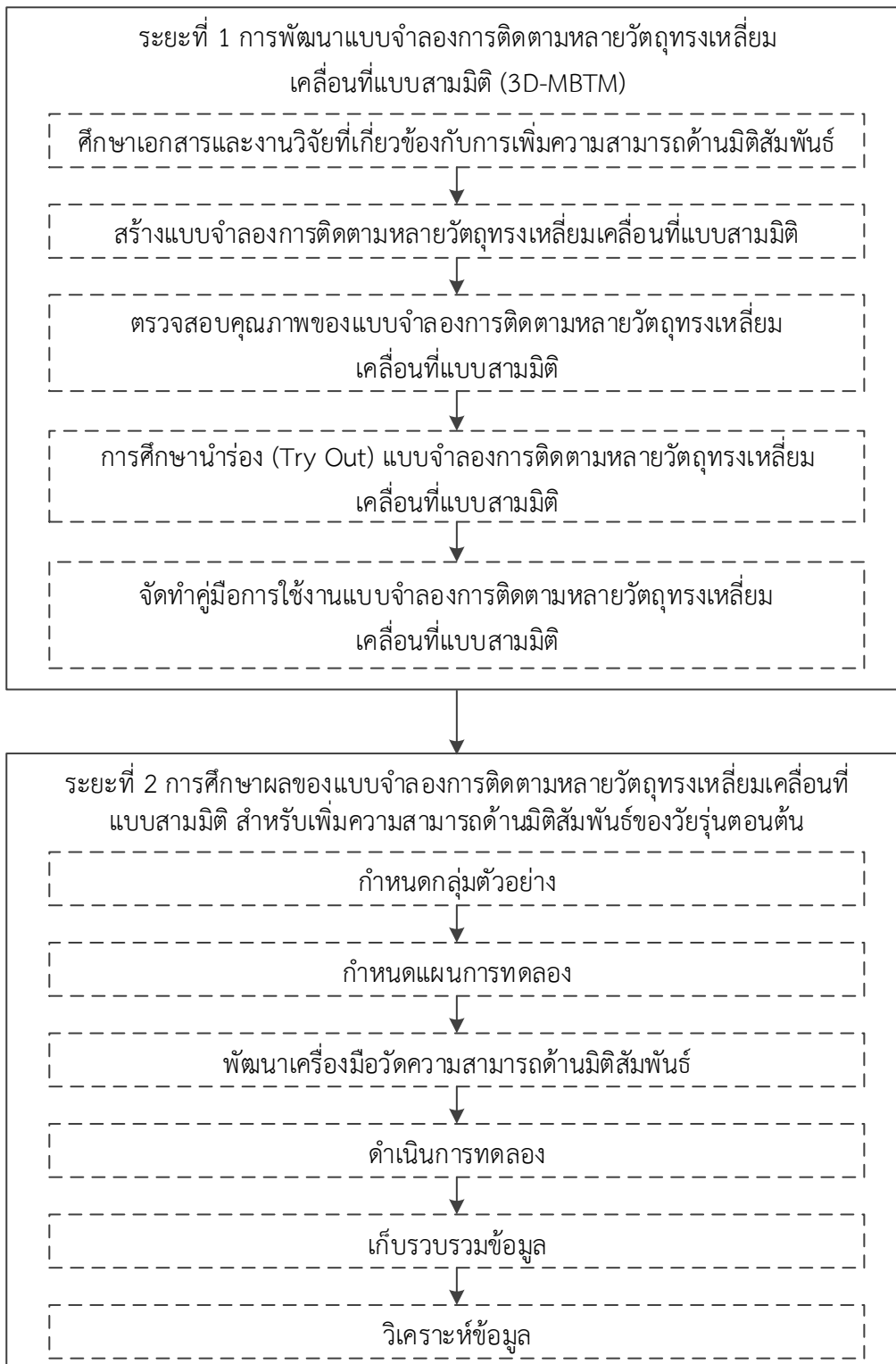
การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) และเพื่อศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่พัฒนาขึ้น สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น โดยพิจารณาจากความแตกต่างของคะแนนตอบถูก เวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และผลของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มที่ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ตามลำดับดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ระยะที่ 2 การศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น

วิธีดำเนินการวิจัยสามารถแสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 3-1

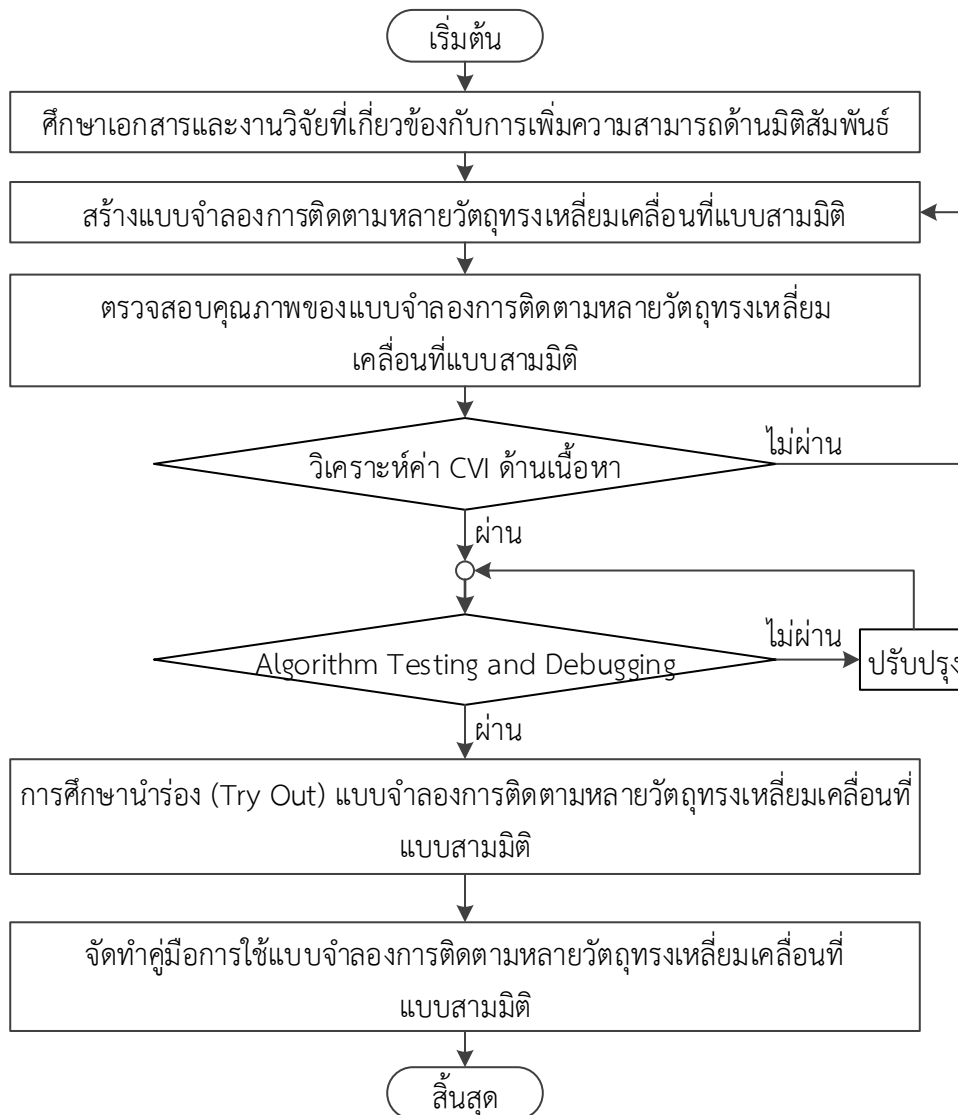




ภาพที่ 3-1 วิธีดำเนินการวิจัย

## ระยะที่ 1 การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินการ (Flow Chart) ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ดังภาพที่ 3-2 มีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

1.1 Uttal, Meadow et al. (2013) เสนอว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของแต่ละบุคคลสามารถพัฒนาได้ด้วยการสร้างประสบการณ์ด้านมิติสัมพันธ์จากการฝึกหรือปฏิบัติตามกิจกรรมเฉพาะด้านมิติสัมพันธ์ การวาดรูปหรือการเล่นเกมนจอคอมพิวเตอร์

1.2 Huffman (2011) เสนอว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงสามมิติช่วยให้บุคคลสามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดและลึกถึงทุกมิติ ซึ่งทำให้บุคคลสามารถรับรู้เกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบวัตถุ ที่จะกระตุ้นให้เกิดการแทนภาพของวัตถุในสมองได้อย่างถูกต้อง และเก็บไว้ในระบบความจำ ทำให้เกิดการหยั่งรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุ อีกอย่างหนึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงสามมิติเป็นโปรแกรมที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถรับรู้ถึงการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงมุมมองของสิ่งเร้า ซึ่งทำให้เกิดจินตนาการโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่าง ๆ ของวัตถุที่จะนำไปสู่การพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

1.3 Christou, Pittalis et al. (2007) เสนอว่า การได้รับรู้หรือเห็นวัตถุในรูปแบบสามมิติแบบเคลื่อนไหวบนหน้าจอแสดงผลแบบสามมิติ ทำให้เกิดภาพของวัตถุหรือสิ่งเร้าในสมองสมบูรณ์กว่าการได้รับรู้หรือเห็นวัตถุในรูปแบบนิ่ง หรือในรูปแบบสองมิติ

1.4 Connell (1998) เสนอว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่แสดงภาพสามมิติบนจอแสดงผลสามมิติสามารถเป็นสื่อที่ช่วยกระตุ้นโครงสร้างของสมองด้านการมองเห็น และทำให้เกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และช่วยกระตุ้นให้เกิดกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์

1.5 Wright et al. (2008) เสนอว่า กิจกรรมการฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ควรมีลักษณะที่ยั่งยืนถาวร และสามารถอ้างอิงไปยังทักษะต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ ลักษณะทั้งหมดนี้เกิดขึ้นได้เมื่อกิจกรรมที่นำมาพัฒนาเป็นแบบฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นกิจกรรมที่อาศัยกระบวนการทำงานของสมองเป็นฐาน

1.6 Kornkasem and Black (2015) เสนอว่า กระบวนการทำงานของสมองนั้นต้องเป็นกระบวนการสร้างความสนใจที่จะเรียนรู้ในการรับรู้ภาพของสิ่งเร้าเพื่อไปสู่การสร้างภาพสิ่งเร้าในระบบความจำขณะคิด และจัดการกับภาพนั้น ๆ โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือมุมมอง และนำไปเปรียบเทียบกับภาพในระบบความจำขณะคิดเพื่อยืนยันผล

1.7 แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ พัฒนาขึ้นโดย Pylyshyn and Storm ในปี ค.ศ. 1988 เป็นเทคนิคการทดลองที่ใช้เพื่อทดสอบทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Theory of Visual Indexing or FINST) ของ Pylyshyn ปี ค.ศ. 1972 (Pylyshyn &

Storm, 1988) มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของสมอง (Scholl & Pylyshyn, 1999; Sears & Pylyshyn, 2000; Viswanathan & Mingolla, 2002; Xu & Chun, 2009; Jahn et al., 2012; Parsons et al., 2014; Rehman et al., 2015) เช่น การทำงานของสมองด้านความสนใจ ความจำขณะคิด กระบวนการทำงานของสมองด้านการมองเห็น (Visual Information Processing) (Pylyshyn & Storm, 1988; Pylyshyn et al., 1994; Scholl & Pylyshyn, 1999) เช่น กระบวนการรับรู้มิติสัมพันธ์ (Spatial Perception) และกระบวนการจินตภาพ (Pylyshyn, 1996) แบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของหลายวัตถุ เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดงสิ่งเร้า การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การกำหนดสิ่งเป้าหมาย และการแสดงผล (Pylyshyn, 2001)

## 2. การสร้างแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

การสร้างแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีขั้นตอนดังนี้

### 2.1 กำหนดกิจกรรมหลักที่ต้องมีในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

กิจกรรมหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การแสดง (Presentation) เป็นขั้นตอนที่แสดงตัวกระตุ้นต่อระบบการมอง 2) การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย (Indexation) เป็นขั้นตอนที่บ่งบอกว่าตัวกระตุ้นใดเป็นเป้าหมายที่ต้องติดตาม 3) การเคลื่อนที่ (Movement) เป็นขั้นตอนที่สร้างการรบกวนต่อกระบวนการติดตาม โดยตัวกระตุ้นทุกตัวจะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 4) การตอบ (Identification) เป็นขั้นตอนที่ต้องระบุว่าตัวกระตุ้นใดเป็นตัวเป้าหมาย หลังมีการรบกวนด้วยการเคลื่อนที่ และ 5) การแสดงผล (Feedback) เป็นขั้นตอนแสดงผล เพื่อให้สมองรับรู้ว่าการระบุตัวกระตุ้นเป้าหมายนั้น ระบุถูกหรือผิด

### 2.2 กำหนดตัวกระตุ้นและจำนวนตัวกระตุ้นที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม

ตัวกระตุ้นที่ใช้ในกิจกรรมหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีลักษณะเป็นบล็อกทรงลูกบาศก์ (Cube Block) โดยความกว้างและความยาวของแต่ละบล็อกประกอบจากลูกบาศก์ 3 ตัว ส่วนความสูงของแต่ละบล็อกประกอบจากลูกบาศก์ 2 ตัว โดยรวมแล้ว 1 บล็อกจะมีลูกบาศก์จำนวน 7 ตัว

### 2.3 ระยะเวลาแสดงของแต่ละขั้นตอน

ในแต่ละกิจกรรมหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนมีระยะเวลาแสดงของสิ่งเร้า ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ระยะเวลาแสดงของแต่ละขั้นตอนของกิจกรรม

ขั้นตอนของกิจกรรม	ระยะเวลาแสดง (วินาที)	หมายเหตุ
การแสดง	15	} แสดงพร้อมกัน
การระบุเป้าหมาย	15	
การเคลื่อนที่	25	
การตอบ	ไม่เกิน 15	
การแสดงผล	5	
รวมเวลาทั้งสิ้น	ไม่เกิน 60	

แต่ละกิจกรรมหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ใช้ระยะเวลาไม่เกิน 60 วินาที

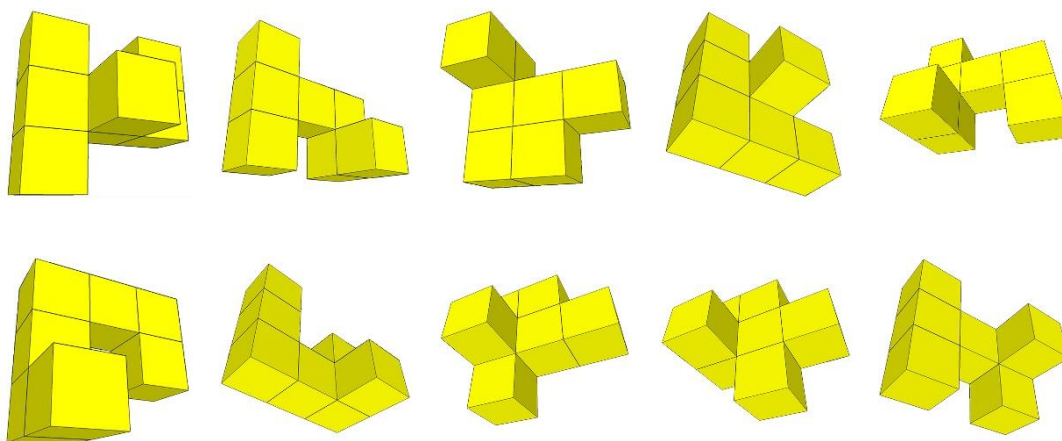
#### 2.4 กำหนดจำนวนกิจกรรมที่ต้องฝึกแต่ละครั้ง

กิจกรรมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ แบ่งเป็น 3 ระดับการเล่น ได้แก่ ระดับการเล่น 1 ประกอบด้วย 10 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมมีการแสดงสิ่งเร้าในขอบเขตการมองเห็น จำนวน 6 ตัว และสิ่งเป้าหมายที่ต้องติดตาม จำนวน 1 ตัว ระดับการเล่น 2 ประกอบด้วย 10 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมมีการแสดงสิ่งเร้าในขอบเขตการมองเห็น จำนวน 6 ตัว และสิ่งเป้าหมายที่ต้องติดตาม จำนวน 2 ตัว และระดับการเล่น 3 ประกอบด้วย 10 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมมีการแสดงสิ่งเร้าในขอบเขตการมองเห็น จำนวน 6 ตัว และสิ่งเป้าหมายที่ต้องติดตาม จำนวน 3 ตัว รวมเป็น 30 กิจกรรมการฝึก

2.5 การสร้างแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

2.5.1 การสร้างตัวกระตุ้นในรูปแบบสามมิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SketchUp Pro 2015 Version 15.3.331

ในการสร้างตัวกระตุ้นในรูปแบบสามมิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SketchUp Pro 2015 Version 15.3.331 ได้ตัวกระตุ้นที่มีลักษณะเป็นบล็อกทรงลูกบาศก์แบบสามมิติ เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 10 ตัว ดังภาพที่ 3-3

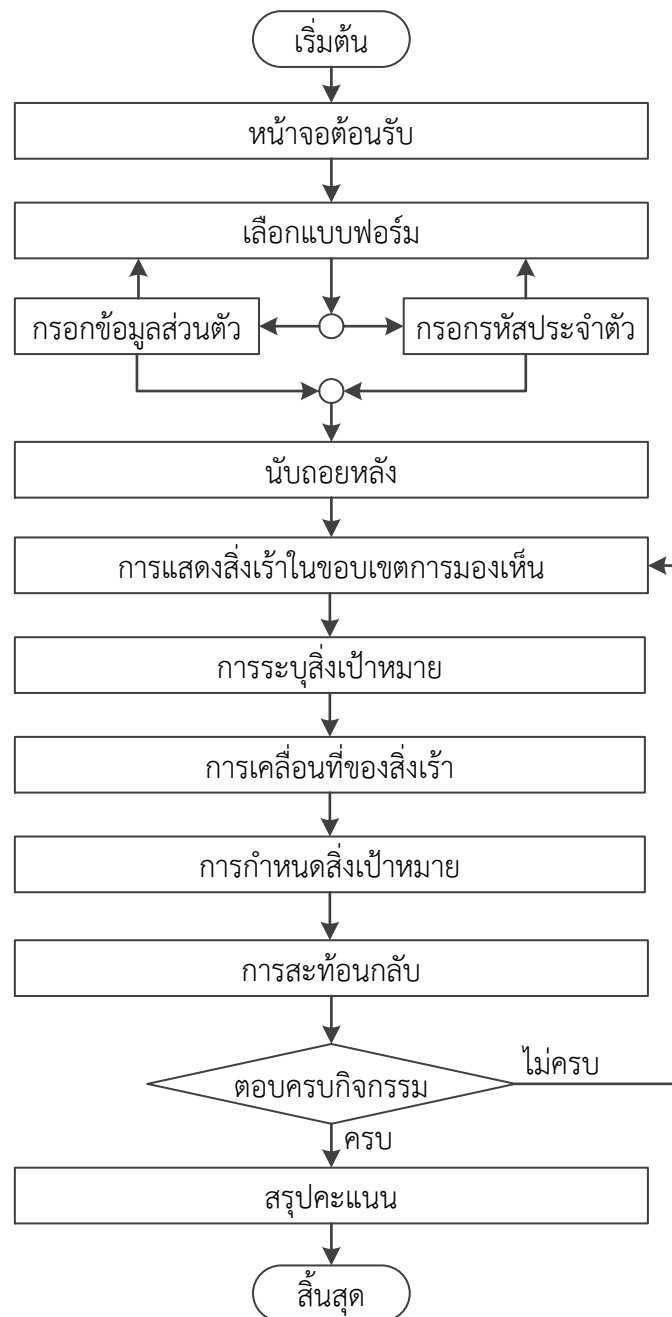


ภาพที่ 3-3 ตัวกระตุ้นที่นำไปใช้ในกิจกรรมหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

สีของตัวกระตุ้นในกิจกรรมแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สร้างขึ้นตามเกณฑ์ของการแยกสีจากสีพื้นฐาน สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) จำนวน 4 สี ได้แก่ สีดำ (R, G, B =0, 0, 0) สีเหลือง (R, G, B=255, 255, 0) สีแดง (R, G, B=255, 0, 0) และสีเขียว (R, G, B=255, 255, 255)

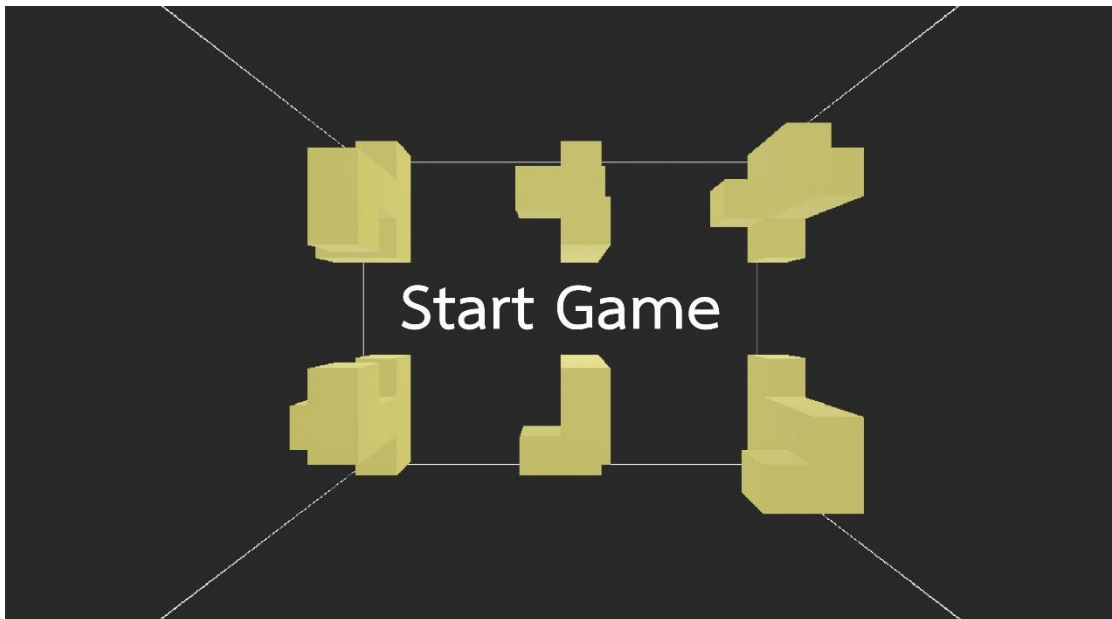
2.5.2 การสร้างแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ  
สร้างจากโปรแกรมสำเร็จรูป Unity Personal Edition Version 5.3.2

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Unity Personal Edition Version 5.3.2 ประกอบกับการใช้ภาษา C# ในการเชื่อมโยงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยดำเนินการตามแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flowchart) ดังภาพที่ 3-4



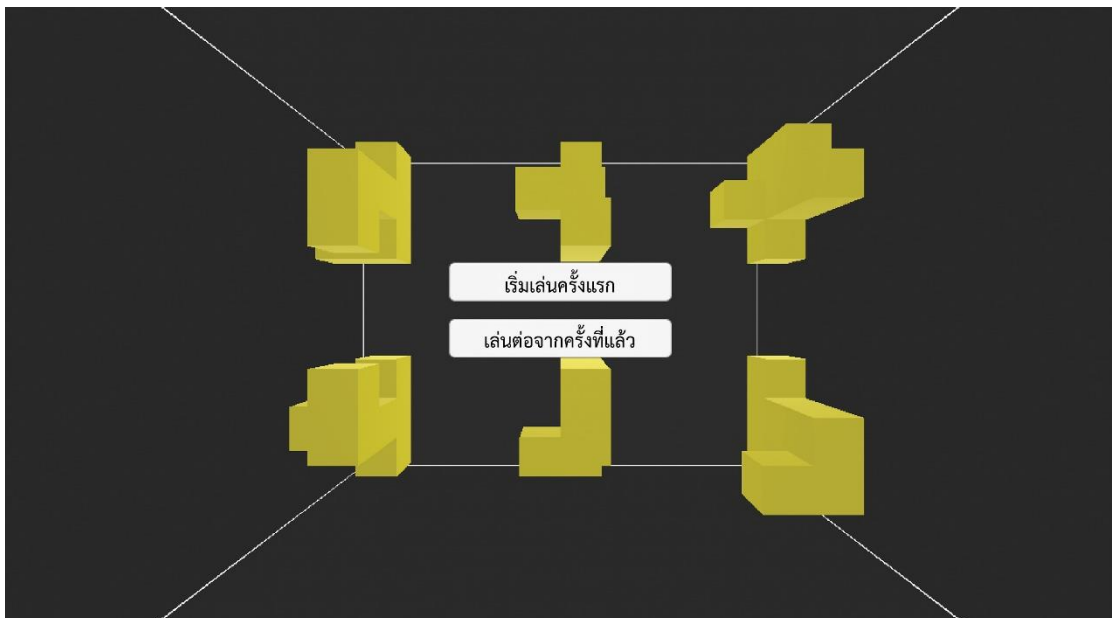
ภาพที่ 3-4 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

หน้าจอต้อนรับ เป็นการแสดงคำว่า “Start Game” โดยพื้นหลังเป็นบล็อกทรงลูกบาศก์จำนวน 6 ตัว บนพื้นสีดำ ในระยะเวลา 3 วินาที ดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ภาพหน้าจอต้อนรับ

การเลือกแบบฟอร์ม เป็นการเลือกว่า เริ่มเล่นครั้งแรก หรือเล่นต่อจากครั้งที่แล้ว โดยในหน้าจอมีการแสดงปุ่มทางเลือกจำนวนสองปุ่ม ดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 หน้าจอเลือกแบบฟอร์ม



การกรอกข้อมูลส่วนตัว เป็นการบันทึก ชื่อ นามสกุล เพศ อายุ และรหัสประจำตัวของผู้ฝึก โดยข้อมูล ชื่อ นามสกุล อายุ และรหัสประจำตัวของผู้ฝึก มีลักษณะเป็นการป้อนข้อมูลเข้า ส่วนข้อมูล เพศ มีลักษณะเป็นทางเลือก หญิง หรือ ชาย

ในหน้าจอนี้ มีปุ่มกด 2 ปุ่ม ได้แก่ ปุ่ม “Save” เป็นปุ่มที่ใช้เพื่อบันทึกข้อมูลไว้ที่ฐานข้อมูล ของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และปุ่ม “Back” เป็นปุ่มที่ใช้ เพื่อกลับไปหน้าจอเลือกแบบฟอร์มอีกครั้ง ดังภาพที่ 3-7

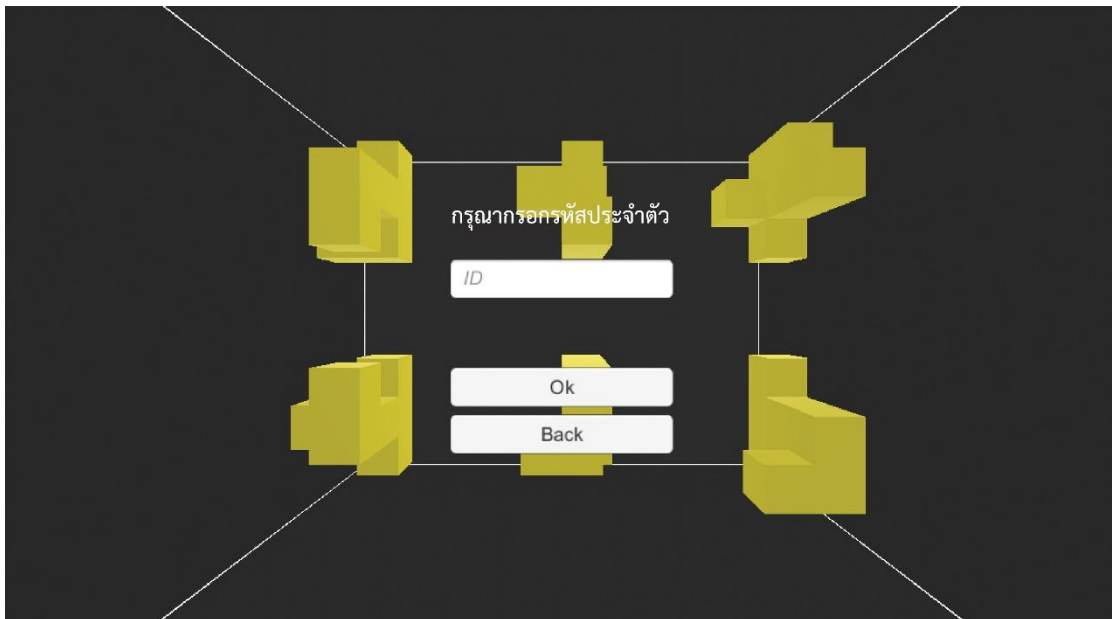
The image shows a user registration form with the following fields and buttons:

- Name
- Surname
- Sex (dropdown menu)
- Age
- ID
- Save
- Back

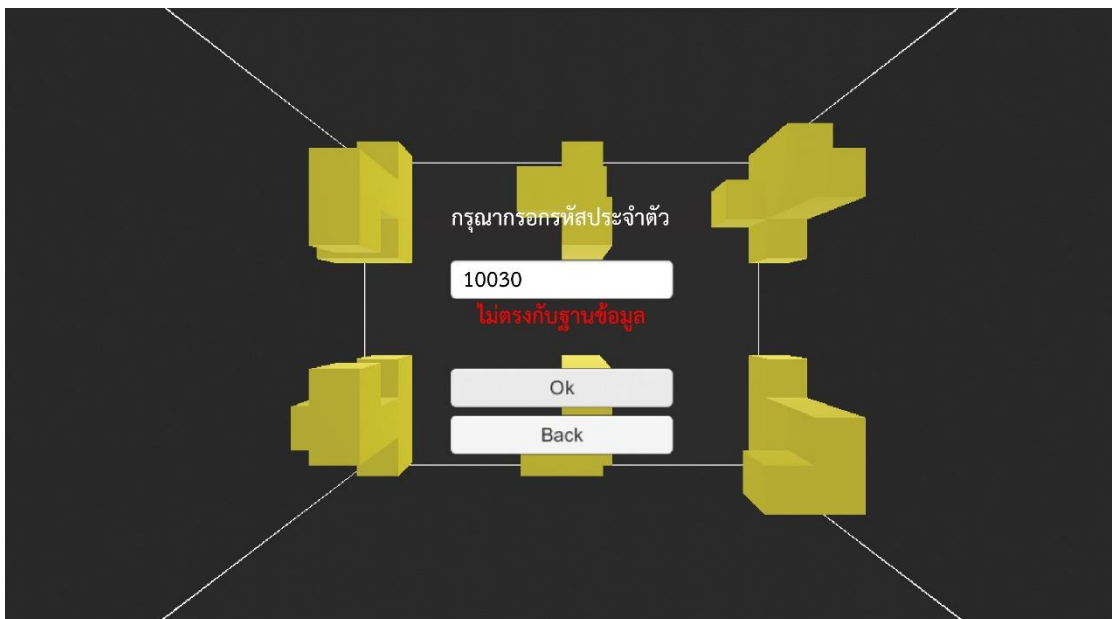
ภาพที่ 3-7 หน้าจอกรอกข้อมูลส่วนตัว

การกรอกรหัสประจำตัว เป็นการกรอกรหัสประจำตัวของแต่ละบุคคล ที่กำหนดด้วยครู หรือผู้แนะนำ หรือเป็นรหัสบัตรประจำตัวประชาชน ก่อนเข้าฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ในหน้าจอนี้ มีปุ่มกด 2 ปุ่ม ได้แก่ ปุ่ม “Ok” เป็นปุ่มที่ใช้เพื่อเข้าฝึกด้วยแบบจำลองการ ติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และปุ่ม “Back” เป็นปุ่มที่ใช้เพื่อกลับไปหน้าจอ เลือกแบบฟอร์มอีกครั้ง ดังภาพที่ 3-8 หากผู้ฝึกกรอกข้อมูลผิด หรือไม่ตรงกับข้อมูลที่มีอยู่ใน ฐานข้อมูลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ หน้าจอจะแสดง ข้อความว่า “รหัสประจำตัวไม่ถูกต้อง” ดังภาพที่ 3-9

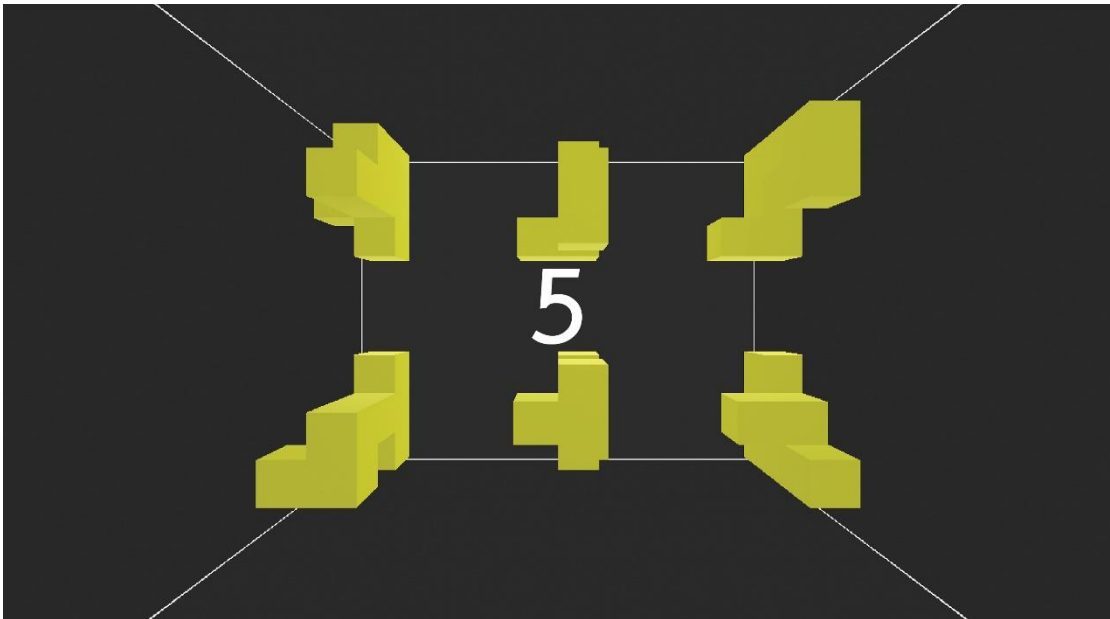


ภาพที่ 3-8 หน้าจอกรอกรหัสประจำตัว



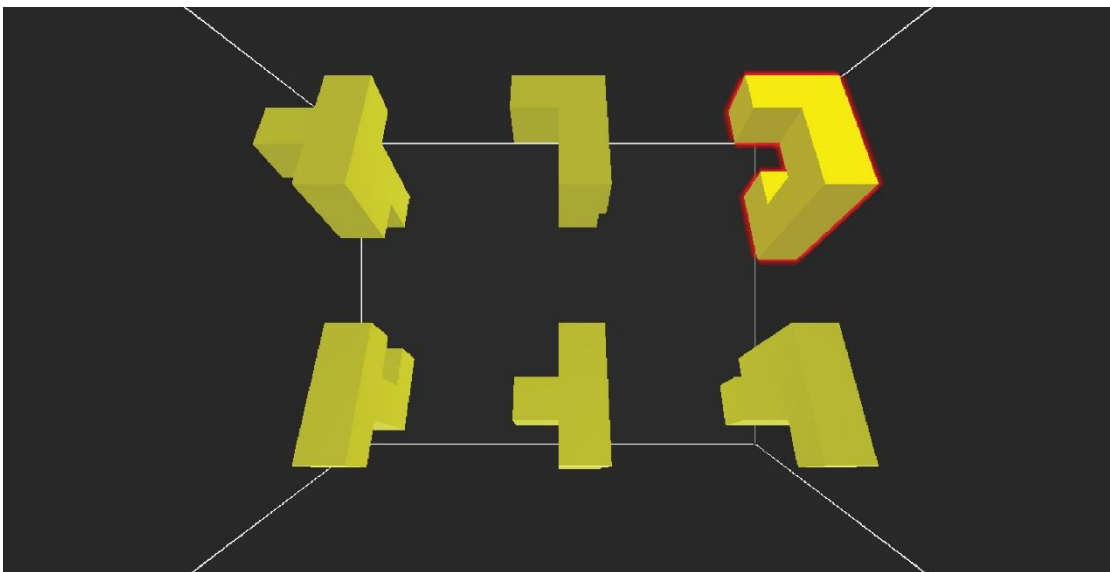
ภาพที่ 3-9 หน้าจอกรอกรหัสประจำตัว (แบบไม่ถูกต้อง)

นับถอยหลัง เป็นหน้าจอแสดงหมายเลขนับถอยหลังจาก 5 ก่อนที่จะเข้าไปยังหน้าจอการแสดงผลสำเร็จในขอบเขตการมองเห็น ดังภาพที่ 3-10



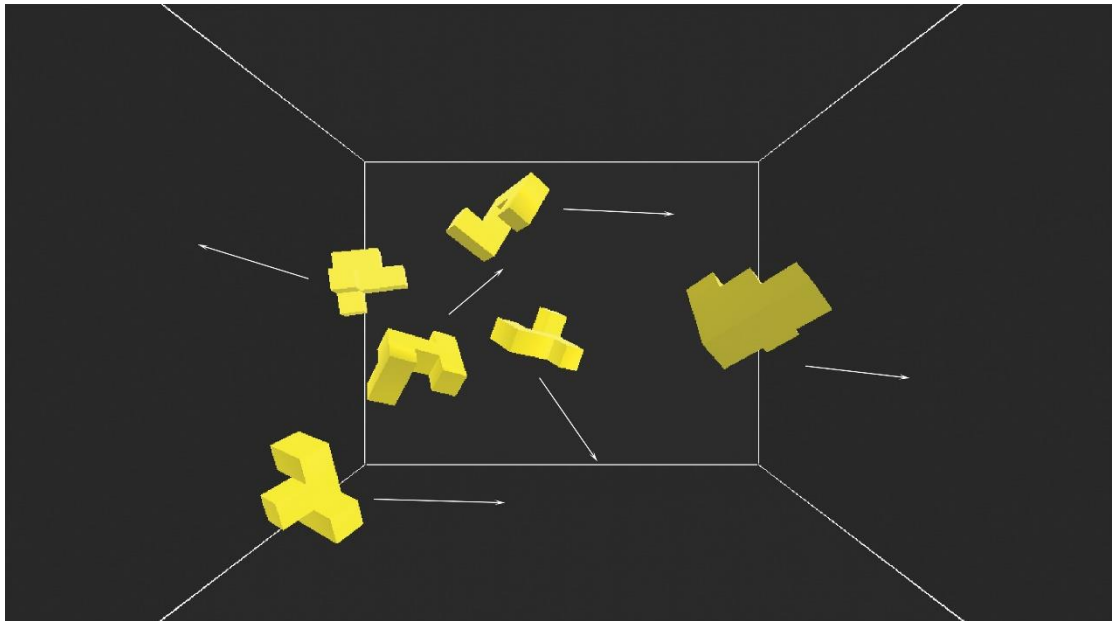
ภาพที่ 3-10 หน้าจอนับถอยหลัง

การแสดงสิ่งเร้าในขอบเขตการมองเห็นและการระบุสิ่งเป้าหมาย เป็นการแสดงบล็อกทรงลูกบาศก์ จำนวน 6 ตัว เป็นสีเหลือง โดยการสุ่มจากบล็อกทรงลูกบาศก์ทั้งหมดที่อยู่ในคลังตัวกระตุ้นของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระยะเวลา 15 วินาที โดยสิ่งเป้าหมายที่ต้องติดตามเป็นบล็อกที่มีขอบสีแดง ดังภาพที่ 3-11



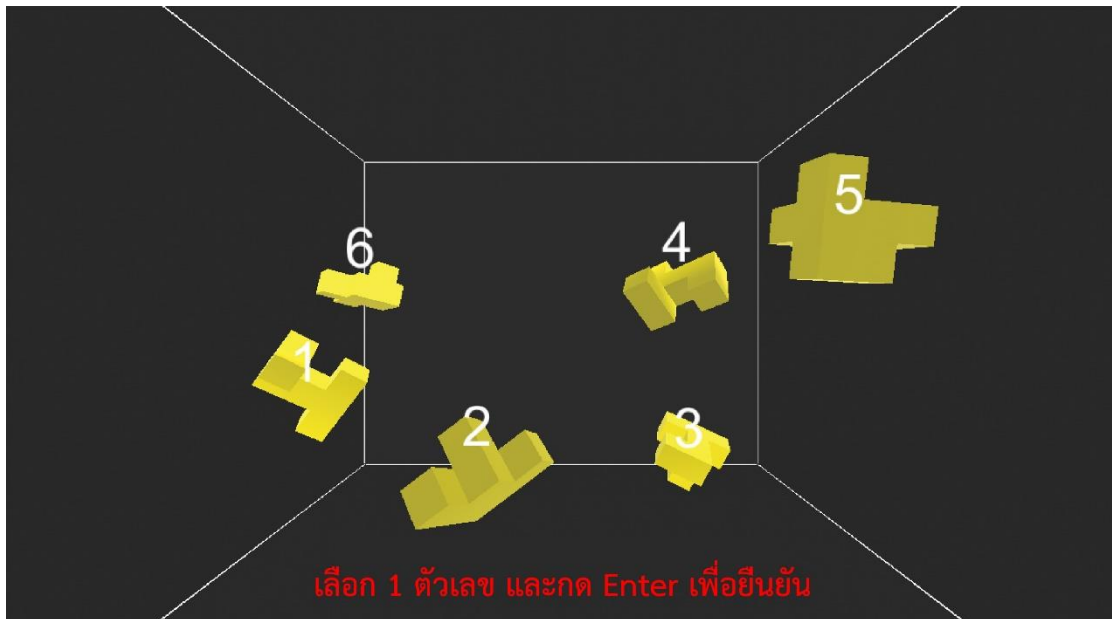
ภาพที่ 3-11 หน้าจอแสดงสิ่งเร้าในขอบเขตการมองเห็น พร้อมการระบุสิ่งเป้าหมาย

การเคลื่อนที่ของสิ่งเร้า จะเปลี่ยนสีจากสีที่แตกต่างกันของบล็อกทรงลูกบาศก์ในขั้นตอนการระบุสิ่งเป้าหมาย ให้เป็นสีเหลืองเหมือนกัน และบล็อกทรงลูกบาศก์ทั้ง 6 ตัว เคลื่อนตัวแบบทางตรงในระดับความเร็ว ภายในขอบเขตที่กำหนดไว้ เป็นระยะเวลา 25 วินาที ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 หน้าจอแสดงการเคลื่อนที่ของสิ่งเร้า

การกำหนดสิ่งเป้าหมาย เป็นการเลือกตัวเลขที่ตรงตามบล็อกทรงลูกบาศก์เป้าหมาย ดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 หน้าจอกำหนดสิ่งเป้าหมาย

การสะท้อนกลับ เป็นการบ่งบอกว่าบล็อกทรงลูกบาศก์ตัวใด ที่เป็นตัวที่ต้องติดตาม แสดง โดยการเปลี่ยนสี เพื่อให้ผู้ฝึกเรียนรู้ ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 หน้าจอแสดงการสะท้อนกลับ

เมื่อผู้ฝึก ได้ฝึกครบทั้ง 3 ระดับการเล่น รวมเป็น 30 กิจกรรมแล้ว หน้าจอจะแสดงผลคะแนนที่ตอบถูก จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ดังภาพที่ 3-15



ภาพที่ 3-15 หน้าจอแสดงผลคะแนนตอบถูก

2.6 จัดทำคู่มือการใช้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติฉบับร่าง

ในคู่มือการใช้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติฉบับร่าง ประกอบด้วย 6 ส่วน ได้แก่ แนะนำแบบจำลอง วัตถุประสงค์ของการฝึกด้วยแบบจำลอง ประโยชน์ที่ได้รับ อุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับแบบจำลอง ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ก่อนฝึกด้วยแบบจำลอง วิธีการเล่นกิจกรรมในแบบจำลอง และระดับการเล่นของแบบจำลอง โดยผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือฉบับร่าง เพื่อเสนอผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความเหมาะสมของคู่มือการใช้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ พร้อมกันกับการตรวจสอบคุณภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ

3. การตรวจสอบคุณภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ

3.1 การตรวจสอบคุณภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

นำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้น และคู่มือการใช้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติฉบับร่าง เสนอผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 6 คน เพื่อประเมินความเหมาะสมด้านเนื้อหา และด้านลำดับขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ ก่อนที่จะนำไปใช้สำหรับเพิ่มความสามรถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความเหมาะสมด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน ดังนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.สมพร สุทัศน์ีย์  
อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
2. ดร.พีร วงศ์อุปราช  
อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
3. ดร.ศราวิน เทพสถิตภรณ์  
อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความเหมาะสมด้านลำดับขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ จำนวน 3 คน ดังนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ดวงสอาด  
อาจารย์ประจำวิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ดร. กนก พานทอง  
อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
3. นายศราวุธ ราชมนี  
อาจารย์ประจำคณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม

การประเมินความเหมาะสมด้านเนื้อหาของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ ประเมินใน 4 ประเด็นหลัก ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ ลักษณะของตัวอักษร ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น ความชัดเจนของคู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค

แบบประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิมีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scales) โดยมีคะแนนการประเมิน ดังนี้

- 5 หมายถึง แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับมากที่สุด
- 4 หมายถึง แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับมาก

- 3 หมายถึง แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับน้อย
- 1 หมายถึง แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับน้อยที่สุด

การแปลผลการตรวจสอบความเหมาะสมด้านเนื้อหา

นำผลการประเมินรายด้านไปคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและนำค่าเฉลี่ยมาเทียบกับเกณฑ์

โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

- |                 |         |  |
|-----------------|---------|--|
| คะแนน 4.50–5.00 | หมายถึง | แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับมากที่สุด  |
| คะแนน 3.50–4.49 | หมายถึง | แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับมาก        |
| คะแนน 2.50–3.49 | หมายถึง | แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับปานกลาง    |
| คะแนน 1.50–2.49 | หมายถึง | แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับน้อย       |
| คะแนน 1.00–1.49 | หมายถึง | แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในระดับน้อยที่สุด |

การคำนวณค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI)

เกณฑ์การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา จะพิจารณาจากค่า CVI ต้องมีค่าตั้งแต่ .80 ขึ้นไป

(Soeken, 2010, p. 165) โดยมีสูตรการคำนวณค่า CVI ดังนี้

$$CVI = \frac{\text{จำนวนข้อที่ผู้ทรงคุณวุฒิทุกคนให้ความคิดเห็นในระดับ 4 และ 5}}{\text{จำนวนรายการทั้งหมด}}$$



3.2 การตรวจสอบคุณภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ใช้งาน

หลังจากปรับปรุงแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ พร้อมคู่มือการใช้งานตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ นำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี จำนวน 35 คน โดยแต่ละคน จะต้องเล่นแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 3 ครั้ง ต่อเนื่องกัน เพื่อตรวจสอบความเสถียรของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เมื่อนำไปใช้งานจริง โดยการสังเกตข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดจาก Syntax Error, Run-Time Error หรือ Logical Error และนำข้อผิดพลาดนั้น ๆ มาปรับปรุงเพื่อให้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีลักษณะสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

หลังจากนักเรียนได้เล่นแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เสร็จสิ้น ผู้วิจัยให้นักเรียนทั้ง 35 คน ตอบแบบประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ดังภาคผนวก ค และนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงเป็นแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติฉบับสมบูรณ์

แบบประเมินความพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scales) โดยมีคะแนนการประเมิน ดังนี้

- 5 หมายถึง นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับมากที่สุด
- 4 หมายถึง นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับมาก
- 3 หมายถึง นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับน้อย
- 1 หมายถึง นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับน้อยที่สุด

การแปลผลความพึงพอใจ

นำผลการประเมินรายด้านไปคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและนำค่าเฉลี่ยมาเทียบกับเกณฑ์ โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

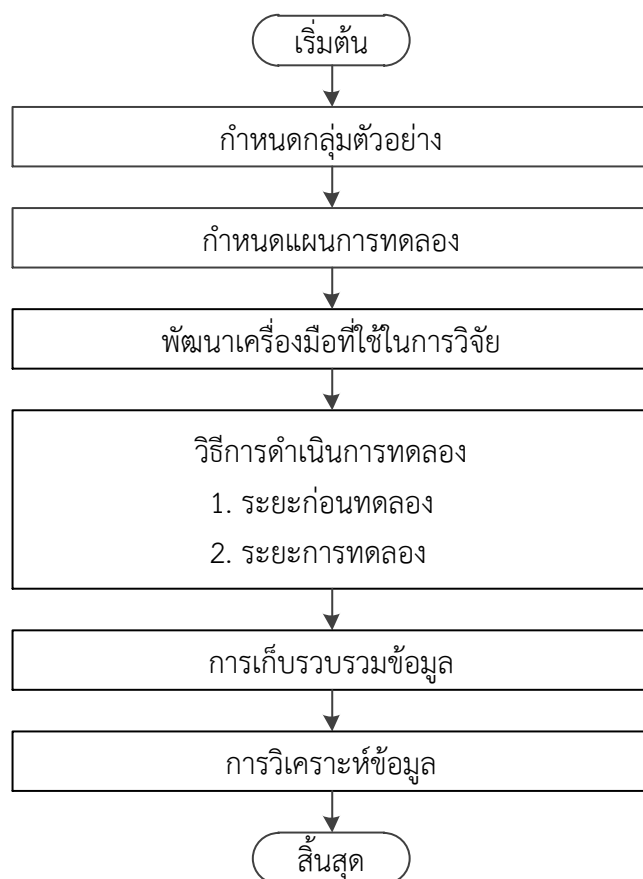
คะแนน 4.50–5.00	หมายถึง	นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับมากที่สุด
คะแนน 3.50–4.49	หมายถึง	นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับมาก
คะแนน 2.50–3.49	หมายถึง	นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับปานกลาง
คะแนน 1.50–2.49	หมายถึง	นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับน้อย
คะแนน 1.00–1.49	หมายถึง	นักเรียนรู้สึกพึงพอใจกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในระดับน้อยที่สุด

#### 4. การศึกษานำร่อง

หลังจากปรับปรุงแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ใช้งานแล้ว นำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปทดลองใช้ (Pilot Study) กับวัยรุ่นตอนต้นที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 6 คน เป็นเวลา 12 วัน วันละ 30 นาที เพื่อศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยการเปรียบเทียบคะแนนตอบถูกและเวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

5. จัดทำคู่มือการใช้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติฉบับสมบูรณ์

ระยะที่ 2 การศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น



ภาพที่ 3-16 ขั้นตอนการศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

จากภาพที่ 3-16 ขั้นตอนการศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น มีรายละเอียดดังนี้

#### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ประจำปีการศึกษา 2559 ซึ่งเป็นอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยที่ได้รับการอนุญาตจากผู้ปกครอง กลุ่มตัวอย่างทุกคนมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งพิจารณาจากแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusions Criteria) เป็นกลุ่มตัวอย่าง

1. มีอายุระหว่าง 13 - 16 ปี
2. ไม่มีภาวะซึมเศร้า ประเมินโดยใช้แบบคัดกรองภาวะซึมเศร้า (Center for Epidemiologic Studies-Depression Scale: CES-D) โดยกลุ่มตัวอย่างต้องเป็นผู้ที่มีคะแนนจากการประเมินต่ำกว่า 22 ถือว่า เป็นผู้ที่ไม่มีความซึมเศร้า (Trangkasombat & Rujiradarporn, 2012)
3. มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวหรือรับประทายารักษาโรคเป็นประจำ ไม่เคยมีประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะหรือประวัติการได้รับอุบัติเหตุอย่างรุนแรง
4. ถนัดมือขวา ประเมินจากแบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ (Edinburgh Handedness Inventory) ของ Oldfield (1971) โดยคัดเลือกเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่มีคะแนนความถนัดการใช้มือข้างขวามากกว่า 80 คะแนนขึ้นไป
5. มีการมองเห็นที่ระยะใกล้ (Near Vision) (สวมแว่นสายตาได้) ทดสอบได้โดยใช้แผ่นทดสอบที่ระยะใกล้แบบพกพาที่เรียกว่า Near Chart หรือ Rosenbaum Pocket Vision Screener (Richmond Products, n.d.)
6. ไม่มีความบกพร่องในการรับรู้สี ประเมินได้จากแผ่นทดสอบตาบอดสี (Test of Colour-Deficiency) มาตรฐานชนิดตัวเลขของภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล โดยพิจารณาจากการอ่านตัวเลขถูกต้องตั้งแต่ 13 แผ่นขึ้นไป
7. มีความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพในระดับปกติ โดยพิจารณาจากคะแนนดัชนี TONI-4 (TONI-4 Index Scores) ที่อยู่ระหว่าง 90-110 (Brown, Sherbenou, & Johnsen, 2010b, p. 17)
8. มีความเต็มใจเข้าร่วมการทดลองตามเวลาที่กำหนด และได้รับการยินยอมจากผู้ปกครอง

เกณฑ์การคัดออก (Exclusions Criteria) จากกลุ่มตัวอย่าง

1. มีปัญหาทางสายตา ระหว่างการเข้าร่วมการทดลอง
2. ไม่สามารถเข้าร่วมการทดลองได้อย่างต่อเนื่อง
3. มีปัญหาสุขภาพหรืออาการเจ็บป่วย ที่ต้องเข้ารับการรักษา ระหว่างเข้าร่วมการทดลอง ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

ตามหลักทั่วไป (Rules of Thumb) ในการประมาณขนาดกลุ่มตัวอย่าง ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับการวิจัยเชิงทดลองควรมีจำนวนอย่างน้อย 15 คน ต่อกลุ่มที่ศึกษา แต่เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำมากขึ้น ขนาดกลุ่มตัวอย่างจึงควรมีจำนวน 20 คน ต่อกลุ่มที่ศึกษา (McMillan & Schumacher, 2014, p. 272) สอดคล้องตามเกณฑ์การพิจารณาขนาดกลุ่มตัวอย่างตามหลักทางสถิติสำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่ม

โดยการกำหนดค่าขนาดอิทธิพล (Effect Size: ES) เท่ากับ .80 ค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการทดสอบแบบทางเดียวประเภทที่หนึ่ง (Type I Error หรือค่านัยสำคัญทางสถิติ)  $\alpha_1=.05$  และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ .80 จากตารางขนาดอิทธิพล (Power Tables for T-Test) ของ J. Cohen (1988, p. 54) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวนอย่างน้อย 20 คนต่อกลุ่มที่ศึกษา (J. Cohen, 1992, p. 157; L. Cohen, Manion, & Morrison, 2007, p. 521; Kellar & Kelvin, 2013, p. 110) เพื่อป้องกันการขาดหายไปของกลุ่มตัวอย่าง (Dropout) ระหว่างการทดลอง ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็นจำนวน 30 คน ต่อกลุ่มที่ศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้มีสองกลุ่มที่ศึกษา ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้จึงมีจำนวนเท่ากับ 60 คน

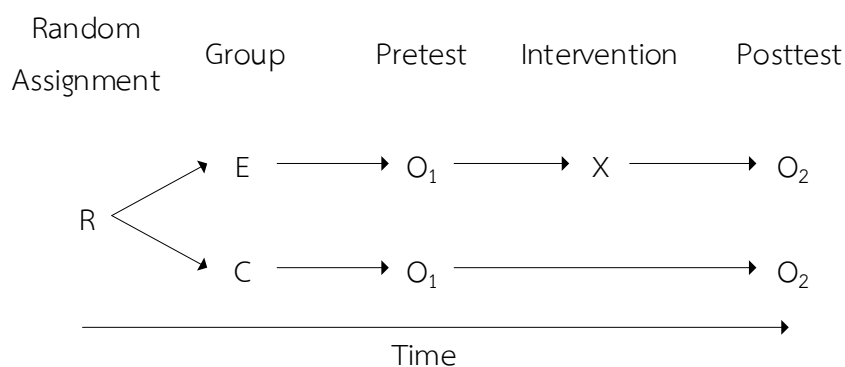
#### การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

รับนักเรียนอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยที่โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี โดยให้นักเรียนอาสาสมัครกรอกข้อมูลส่วนตัวและทำแบบทดสอบที่มีอยู่ในเกณฑ์การคัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่าง และนำข้อมูลของนักเรียนอาสาสมัครมาทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดโควตาจำนวนนักเรียนเพศชายและนักเรียนเพศหญิงต้องมีจำนวนใกล้เคียงกัน และจำนวนนักเรียนรวมที่เป็นอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยมีจำนวน 60 คน การที่เลือกนักเรียนเพศชายและเพศหญิงมีจำนวนใกล้เคียงกัน เนื่องจากตัวแปรเพศมีอิทธิพลต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Halpern, 2012, p. 129; Uttal, Meadow et al., 2013; Ganley et al., 2014) จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 60 คน มาสุ่มเข้ากลุ่มโดยใช้หลักการสุ่มเข้ากลุ่มแบบจับคู่ (Random Assignment with Matching) ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) แบบการจับฉลากรายชื่อคู่เพศเดียวกัน (Genders Matching) แบบไม่คืนที่ แล้วสุ่มแยกคู่เข้ากลุ่ม (McMillan & Schumacher, 2014, p. 273) หลังจากสุ่มเข้ากลุ่ม ได้กลุ่มตัวอย่างที่แบ่งเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ จำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ จำนวน 30 คน โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวนเพศหญิงและเพศชายใกล้เคียงกัน

ผลการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ได้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 60 คน เพศชาย 27 คน (ร้อยละ 45.00) และเพศหญิง 33 คน (ร้อยละ 55.00) โดยกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ มีจำนวน 30 คน เป็นเพศชาย 13 คน (ร้อยละ 43.33) และเป็นเพศหญิง 17 คน (ร้อยละ 56.67) และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ มีจำนวน 30 คน เป็นเพศชาย 14 คน (ร้อยละ 46.67) และเป็นเพศหญิง 16 คน (ร้อยละ 53.33)

### แบบแผนการทดลอง

การศึกษาผลของการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Pretest-Posttest Control-Group Design (McMillan & Schumacher, 2014, p. 274; Christensen et al., 2015, p. 251) โดยมีขั้นตอนของแผนการทดลอง ดังแผนภาพที่ 3-17



ภาพที่ 3-17 แบบแผนการทดลองแบบ Randomized Pretest-Posttest Control-Group Design

#### ความหมายของสัญลักษณ์

- R หมายถึง การสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (Random Assignment)
- E หมายถึง กลุ่มทดลอง (Experimental Group) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ
- C หมายถึง กลุ่มควบคุม (Control Group) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ
- X หมายถึง การฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ
- O<sub>1</sub> หมายถึง การวัดตัวแปรตาม ก่อนการทดลอง
- O<sub>2</sub> หมายถึง การวัดตัวแปรตาม หลังการทดลอง

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้คัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย เครื่องมือที่ใช้ทดลอง และเครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. เครื่องมือที่ใช้คัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ประกอบด้วย

1.1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ชั้นปีการศึกษา โรคประจำตัว การเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อตา การมองเห็น การใช้คอมพิวเตอร์ ดังภาคผนวก จ

1.2 แบบคัดกรองภาวะซึมเศร้า (CES-D) แสดงในภาคผนวก จ เป็นแบบประเมินตนเองเกี่ยวกับระดับความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับอาการและการแสดงของภาวะซึมเศร้าในช่วง 1 สัปดาห์ที่ผ่านมา ใช้กับกลุ่มวัยรุ่นที่มีอายุไม่เกิน 18 ปี พัฒนาโดย Radloff (1977) แปลเป็นภาษาไทยโดย อุมภาพร ตรังคสมบัติ, วชิระ ลาภบุญทรัพย์ และปิยลัมพร หะวานนท์ (2540) มีจำนวน 20 ข้อ มีค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's Alpha เท่ากับ .86 ลักษณะคำตอบเป็นมาตราประมาณค่า 4 ระดับ จาก 0 (ไม่เลย) ถึง 3 (ตลอดเวลา) พิสัยของคะแนนอยู่ในช่วง 0-60 คะแนน และคะแนนที่ 22 เป็นจุดตัดระหว่างคะแนนที่บ่งชี้ถึงการมีภาวะซึมเศร้าและไม่มีภาวะซึมเศร้า โดยผู้ที่มีคะแนนต่ำกว่า 22 ถือว่าเป็นผู้มีภาวะซึมเศร้า (Trangkasombat & Rujiradarporn, 2012)

1.3 แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ (Edinburgh Handedness Inventory) แสดงในภาคผนวก จ พัฒนาโดย Oldfield (1971) เป็นแบบประเมินความชอบในการใช้มือเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น การเขียนหนังสือ การวาดรูป การจับช้อนขณะรับประทานอาหาร การแปรงฟัน หรือการจับมีด เป็นต้น มีจำนวน 20 ข้อ โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างเลือกตอบว่าใช้มือใดในการปฏิบัติแต่ละกิจกรรมที่กำหนดให้ หากกลุ่มตัวอย่างไม่แน่ใจว่าใช้มือใดในการปฏิบัติกิจกรรมนั้น ๆ สามารถเลือกตอบได้ทั้งสองตัวเลือก การศึกษานี้เลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีความถนัดในการใช้มือขวาเพื่อทำกิจกรรม โดยพิจารณาจากคะแนนความถนัดในการใช้มือที่มากกว่า 80 คะแนน ซึ่งคำนวณหาความถนัดในการใช้มือตามสูตร ดังนี้

$$H = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{20} X(i, R) - \sum_{i=1}^{20} X(i, L)}{\sum_{i=1}^{20} X(i, R) + \sum_{i=1}^{20} X(i, L)} \quad \text{โดยที่ } -100 \leq H \leq 100$$

เมื่อ  $X(i, R)$  แทน ข้อที่ชอบใช้มือข้างขวาทำกิจกรรม

$X(i, L)$  แทน ข้อที่ชอบใช้มือข้างซ้ายทำกิจกรรม

การแปลผล หาก  $H > 0$  หมายความว่า กลุ่มตัวอย่างใช้มือขวาในการทำกิจกรรมมากกว่ามือซ้าย

หาก  $H < 0$  หมายความว่า กลุ่มตัวอย่างใช้มือซ้ายในการทำกิจกรรมมากกว่ามือขวา

1.4 แผ่นวัดระดับการมองเห็นในระยะใกล้ (Near Vision) แสดงในภาคผนวก จ ทดสอบได้โดยใช้แผ่นทดสอบที่ระยะใกล้ ซึ่งเรียกว่า Near Chart มีขนาด 6.375”x3.5” (Richmond Products, n.d.) บน Chart มีตัวเลขหรือตัวอักษรที่มีขนาดลดหลั่นกันลงมา และในแต่ละแถวจะมี เลขกำกับ เช่น 20/20, 20/25, 20/100 เป็นต้น การวัดทำในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอและทำการวัด โดยการปิดตาทีละข้าง จากนั้นกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างอ่านที่ระยะ 33 เซนติเมตร หรือ 14 นิ้ว ตั้งแต่ แถวที่อยู่บนสุดจนถึงแถวที่ตัวเลขเล็กที่สุดที่สามารถอ่านได้ แล้วบันทึกผลระดับการมองเห็นตามเลขที่ กำกับแต่ละแถว หากกลุ่มตัวอย่างสามารถอ่านได้ถึงแถวที่มีเลขกำกับ 20/25 หรือ J1 ถือว่ากลุ่ม ตัวอย่างมีระดับมองเห็นที่ระยะใกล้ปกติ (Schwiegerling, 2004, p. 19)

1.5 แผ่นทดสอบตาบอดสี (Test of Colour-Deficiency) เป็นแบบทดสอบการรับรู้สี พัฒนาโดย Ishihara ใช้เพื่อทดสอบผู้ที่มีความบกพร่องในการรับรู้สี (Test of Color Blindness) มี ลักษณะเป็นแผนภาพที่พิมพ์จุดสีหลายจุดหลายสีเข้าด้วยกัน โดยใช้หลายสีมาเรียงเป็นตัวเลขอารบิก หรือเป็นเส้นขาดไปมา และมีพื้นเป็นจุดสีต่าง ๆ ปะปนกัน ชุดแผนภาพทดสอบตาบอดสีมีจำนวน 24 แผ่น ประกอบด้วย แผ่นทดสอบที่เป็นตัวเลข จำนวน 17 แผ่น ดังภาคผนวก จ ใช้สำหรับผู้ที่อ่าน ตัวเลขได้ โดยแผนภาพที่ 16 และ 17 จะใช้เฉพาะวินิจฉัยแยกชนิดตาบอดสีเท่านั้น และแผนภาพ ทดสอบที่ทำเป็นลายเส้น จำนวน 7 แผ่น ใช้สำหรับผู้ที่อ่านหนังสือไม่ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้กลุ่ม ตัวอย่างสามารถอ่านตัวเลขได้ จึงใช้แผ่นทดสอบตาบอดสีที่เป็นตัวเลข จำนวน 15 แผ่น โดยพิจารณา จากความถูกต้องในการอ่านตัวเลขบนแผนภาพ ตามเกณฑ์ของภาควิชาจักษุวิทยา คณะ แพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กำหนดว่า ผู้ที่ไม่มีความบกพร่องในการรับรู้สี จะสามารถอ่านแผ่นทดสอบตาบอดสีได้ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 13 แผ่น ส่วนผู้ที่มีความบกพร่อง ในการรับรู้สี จะสามารถอ่านแผ่นภาพทดสอบตาบอดสีได้ถูกต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 9 แผ่น

1.6 แบบทดสอบ TONI-4 (Test of Nonverbal Intelligence - Fourth Edition) พัฒนาโดย Brown, Sherbenou, and Johnsen (2010a) ใช้สำหรับทดสอบความสามารถทาง สติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ โดยการแก้ปัญหาที่ไม่ต้องใช้ความสามารถในการใช้ภาษาและ ความสามารถด้านร่างกายและการเคลื่อนไหว ใช้เพียงความสามารถในการให้เหตุผลจากการรับรู้ด้วย การมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างภาพ แบบทดสอบนี้เหมาะกับผู้มีอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

แบบทดสอบ TONI-4 มีสองแบบคู่ขนานกัน ได้แก่ แบบ A และ แบบ B โดยแต่ละแบบ ประกอบด้วยแบบทดสอบ 60 ข้อ เรียงตามลำดับจากแบบง่ายไปหายาก มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง เชิงความสอดคล้องภายใน (Internal Consistency Reliability) เท่ากับ .96 (เท่ากันทั้งสองแบบ) และ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงจากการทดสอบซ้ำ (Test-Retest Reliability) เท่ากับ .86 และ .89 สำหรับ แบบ A และแบบ B ตามลำดับ แบบทดสอบ TONI-4 มีลักษณะเป็นการเลือกตอบแบบ 6 ตัวเลือก โดย



กำหนดให้ผู้ทดสอบต้องชี้คำตอบที่ถูกบนแผ่นแบบทดสอบ ดังภาพแบบทดสอบตัวอย่างในภาคผนวก จ และผู้ทดสอบจะใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที ในการทำแบบทดสอบ (Brown et al., 2010b)

ในการใช้แบบทดสอบ ผู้ทดสอบต้องฝึกการตอบแบบทดสอบด้วยการทำแบบทดสอบเชิงปฏิบัติจำนวน 6 ข้อ ก่อนเริ่มทดสอบจริง สำหรับกลุ่มผู้ทดสอบที่มีอายุระหว่าง 6 -9 ปี ต้องเริ่มทำแบบทดสอบตั้งแต่ข้อที่ 1 ขึ้นไป ส่วนกลุ่มผู้ทดสอบที่มีอายุตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ต้องเริ่มทำแบบทดสอบตั้งแต่ข้อที่ 20 ขึ้นไป และทำแบบทดสอบอย่างต่อเนื่องตามลำดับจนถึงข้อที่ 60 แต่หากผู้ทดสอบทำแบบทดสอบผิด 3 ข้อจาก 5 ข้อติดกัน จะยุติการทำแบบทดสอบทันที (Brown et al., 2010b)

การคำนวณคะแนนดัชนี TONI-4

ค่าคะแนนดัชนี TONI-4 สามารถดูได้จากตารางแสดงการแปลงคะแนนดิบ (Raw Scores) เป็นคะแนนดัชนี (Index Scores) ใน Brown et al. (2010b, pp. 75-81) โดยคะแนนดิบสามารถคำนวณได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Raw Score} = \text{Basal Item} + \text{Number of Correct Responses Between Basal and Ceiling}$$

เมื่อ Basal Item เป็นลำดับข้อสูงสุดที่ผู้ทดสอบสามารถตอบถูกติดต่อกัน 5 ข้อ  
Ceiling Item เป็นลำดับข้อสูงสุดที่ผู้ทดสอบตอบผิด 3 ครั้งจากการตอบแบบทดสอบ 5 ข้อติดต่อกัน

การอธิบายความหมายของคะแนนดัชนี TONI-4

คะแนนดัชนี TONI-4 สามารถอธิบายความหมายเป็นระดับสติปัญญาได้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ช่วงคะแนนดัชนี TONI-4 และระดับสติปัญญา (Brown et al., 2010b, p. 17)

ช่วงคะแนนดัชนี TONI-4	สติปัญญา	
มากกว่า 130	ระดับยอดเยี่ยม	Very Superior
121-130	ระดับเยี่ยม	Superior
111-120	ระดับสูงกว่าปกติ	Above Average
90-110	ระดับปกติ	Average
80-89	ระดับต่ำกว่าปกติ	Below Average
70-79	ระดับต่ำ	Poor
น้อยกว่า 70	ระดับต่ำมาก	Very Poor

การศึกษานี้ กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลที่มีระดับสติปัญญาปานกลางหรือเท่า ๆ กับบุคคลทั่วไป ดังนั้นในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะนักเรียนที่มีช่วงคะแนนดัชนี TONI-4 ระหว่าง 90 - 110

## 2. เครื่องมือที่ใช้ทดลอง

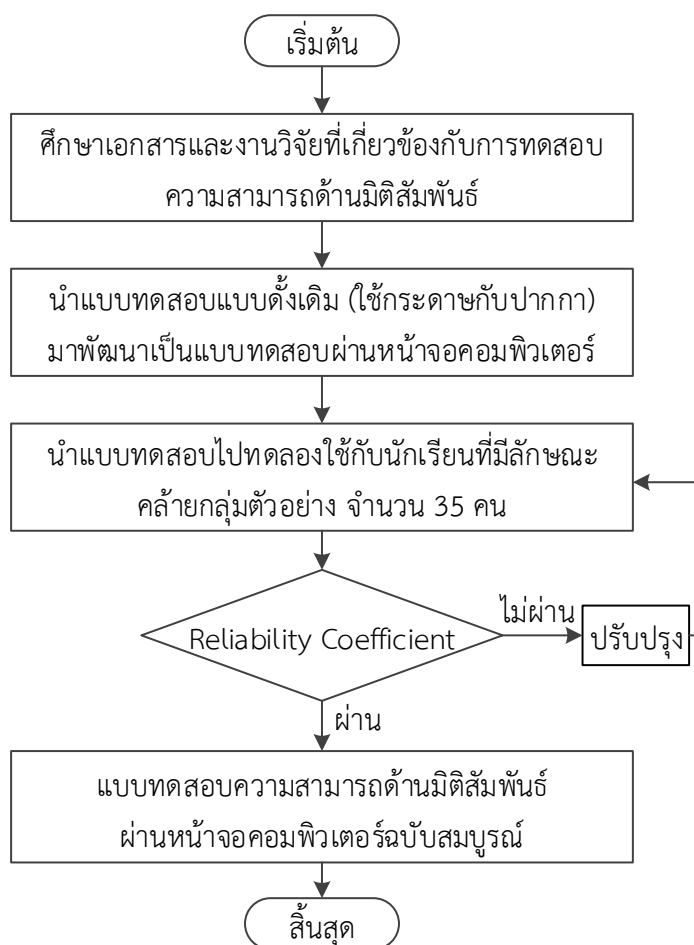
เครื่องมือที่ใช้ทดลอง ได้แก่ แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้ว มีลักษณะเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ 3D จำลอง (3D Simulation) ดำเนินการบนระบบปฏิบัติการ Windows โดยเชื่อมต่อกับจอทีวีแบบ 3D ขนาด 32 นิ้ว พร้อมกับแว่นตาสามมิติ

## 3. เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม

เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1) เครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม คือ แบบทดสอบด้วยวัดคะแนนตอบถูกและเวลาตอบ และ 2) เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

### 3.1 เครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม

การสร้างเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานเป็นผังงาน ดังภาพที่ 3-18



ภาพที่ 3-18 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์

### 3.1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

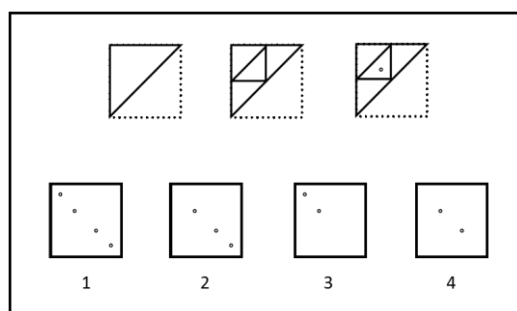
จากการทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แบบทดสอบ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ 1) แบบทดสอบ Paper Folding Test (PFT) และ 2) แบบทดสอบ Form Board Test (FBT) ใช้เพื่อทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น 3) แบบทดสอบ Card Rotations Test (CRT) ใช้เพื่อทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง แบบทดสอบทั้ง 3 แบบนี้พัฒนาขึ้นโดย Ekstrom, French, Harman, and Derman (1976) และ 4) แบบทดสอบ Mental Rotations Test (MRT) ใช้เพื่อทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ พัฒนาขึ้นโดย Ganis and Kievit (2015)

### 3.1.2 การนำแบบทดสอบที่ใช้กระดาษพับปากกามาสร้างเป็นแบบทดสอบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินผลคะแนนตอบถูกและเวลาตอบของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบที่ใช้กระดาษพับปากกามาสร้างเป็นแบบทดสอบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PsychoPy v. 1.83 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ Open-Source ที่รองรับภาษาทางคอมพิวเตอร์ชนิด Python และดำเนินการบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Peirce, 2007, 2009)

#### 3.1.2.1 แบบทดสอบ Paper Folding Test

แบบทดสอบ Paper Folding Test มีจำนวน 20 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนบนเป็นภาพแสดงโจทย์ปัญหา มีลักษณะเป็นขั้นตอนการพับกระดาษสี่เหลี่ยมและเจาะรู ส่วนล่างเป็นคำตอบที่มี 4 ตัวเลือก กำกับด้วยหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ดังภาพที่ 3-19 และกลุ่มตัวอย่างต้องเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียวภายในเวลาที่กำหนด โดยกดหมายเลขบนแป้นพิมพ์ (Keyboard) ให้ตรงตามตัวเลือกที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

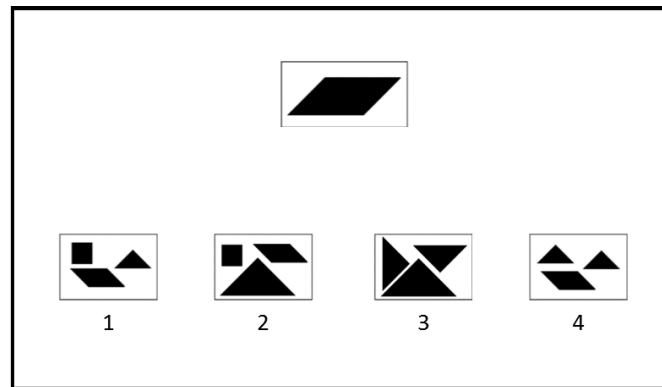


(คำตอบ 2)

ภาพที่ 3-19 ตัวอย่างแบบทดสอบ Paper Folding Test

#### 3.1.2.2 แบบทดสอบ Form Board Test

แบบทดสอบ Form Board Test มีจำนวน 20 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนบนเป็นภาพแสดงโจทย์ปัญหา ซึ่งเป็นภาพเรขาคณิตแบบสองมิติ ส่วนล่างเป็นคำตอบที่มี 4 ตัวเลือก กำกับด้วยหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 แต่ละตัวเลือกประกอบด้วยภาพเรขาคณิตแบบสองมิติจำนวน 3 หรือ 4 ภาพ และกลุ่มตัวอย่างต้องเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว โดยจินตนาการแยกภาพในโจทย์ปัญหาเป็นชิ้นส่วนให้สอดคล้องกับคำตอบ ดังภาพที่ 3-20

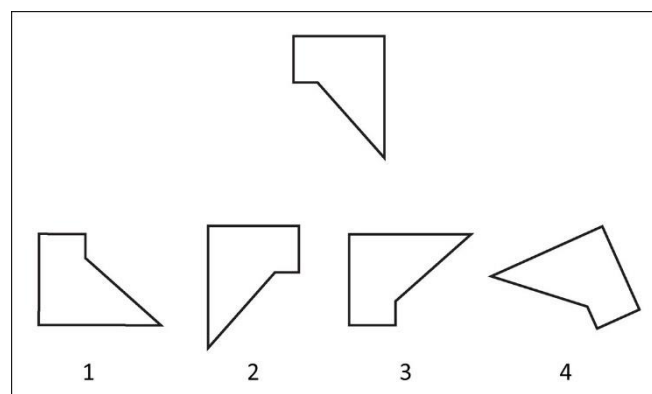


(คำตอบ 3)

ภาพที่ 3-20 ตัวอย่างแบบทดสอบ Form Board Test

## 3.1.2.3 Card Rotations Test

แบบทดสอบ Card Rotations Test มีจำนวน 60 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนบนเป็นภาพแสดงโจทย์ปัญหา ซึ่งเป็นภาพเรขาคณิตปกติหรือไม่ปกติต่าง ๆ ส่วนล่างเป็นคำตอบที่มี 4 ตัวเลือก กำกับด้วยหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 กลุ่มตัวอย่างต้องเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว โดยจินตนาการเปลี่ยนทิศทางหรือหมุนภาพโจทย์ปัญหา ตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้สอดคล้องกับคำตอบ ดังภาพที่ 3-21

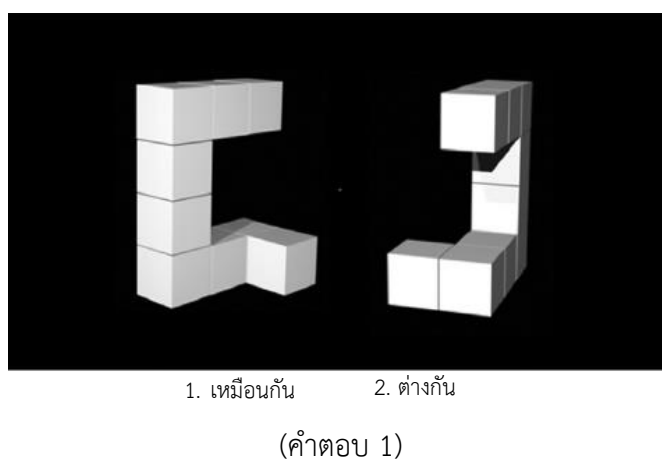


(คำตอบ 3)

ภาพที่ 3-21 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Card Rotations Test

### 3.1.2.4 Mental Rotations Test

แบบทดสอบ Mental Rotations Test มีจำนวน 60 ข้อ แต่ละข้อประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนบนเป็นภาพแสดงโจทย์ปัญหา มีลักษณะเป็นภาพบล็อกแสดงทีละสองตัว ซึ่งกลุ่มตัวอย่างต้องเลือกว่าทั้งสองภาพนี้เหมือนกันหรือต่างกัน โดยการกดหมายเลข “1” ถ้าเป็นบล็อกเหมือนกัน หรือกดหมายเลข “2” ถ้าเป็นบล็อกต่างกัน ดังภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-22 ภาพตัวอย่างแบบทดสอบ Mental Rotations Test

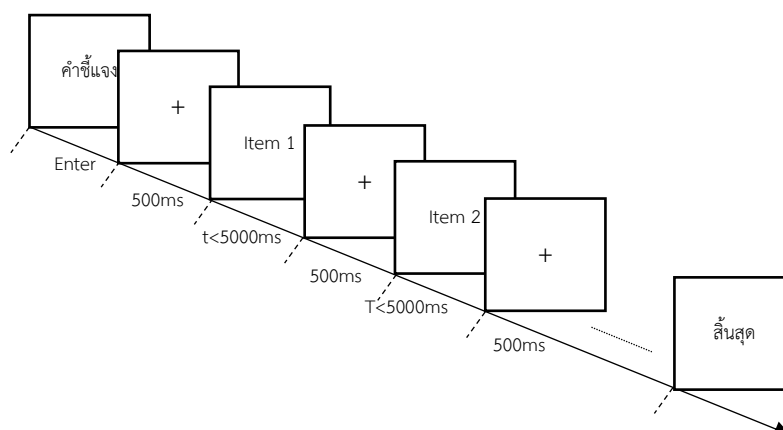
การสร้างแบบทดสอบ PFT, FBT, CRT และ MRT เป็นแบบทดสอบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อวัดด้านพฤติกรรม จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PsychoPy v. 1.83 โดยจำแนกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เป็นการรวมกันระหว่างแบบทดสอบ PFT และ แบบทดสอบ FBT เนื่องจากแบบทดสอบทั้งสองอย่างนี้ เป็นแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็นเช่นเดียวกัน ต่อจากนี้เพื่อง่ายที่จะเข้าใจในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยกำหนดชื่อว่า แบบทดสอบ PFT & FBT ซึ่งมีจำนวน 40 ข้อ มีเกณฑ์การให้คะแนน 1 ข้อต่อ 1 คะแนน และมีคะแนนเต็มเท่ากับ 40

ตอนที่ 2 ประกอบด้วยแบบทดสอบ CRT มีจำนวน 60 ข้อ มีเกณฑ์การให้คะแนน 1 ข้อต่อ 1 คะแนน ซึ่งจะมีคะแนนเต็มเท่ากับ 60

ตอนที่ 3 ประกอบด้วยแบบทดสอบ MRT มีจำนวน 60 ข้อ มีเกณฑ์การให้คะแนน 1 ข้อต่อ 1 คะแนน ซึ่งจะมีคะแนนเต็มเท่ากับ 60

ขั้นตอนการแสดงข้อความบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ของแต่ละ Block มีลักษณะเหมือนกัน ดังภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 ขั้นตอนการแสดงผลข้อความบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อวัดด้านพฤติกรรม

ขั้นตอนการแสดงผลข้อความเพื่อวัดด้านพฤติกรรมมีขั้นตอนการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ดังนี้ เริ่มต้นจากคำชี้แจงของแต่ละแบบทดสอบ และได้คำชี้แจงเขียนประโยคด้วยตัวหนาสีแดงว่า “ถ้านักเรียนพร้อมที่จะทำแบบทดสอบ กรุณากดปุ่ม Enter” จากนั้นเครื่องหมาย + สีดำบนพื้นหลังสีขาวจะแสดงในระยะเวลา 500 มิลลิวินาที ต่อด้วยข้อความในแบบทดสอบนั้น ๆ ในระหว่างแต่ละข้อความเครื่องหมาย + จะปรากฏในระยะเวลา 500 มิลลิวินาทีทุกครั้ง เพื่อกระตุ้นให้กลุ่มตัวอย่างรับรู้ว่าสิ้นสุดการตอบข้อความปัจจุบัน และจะเริ่มข้อความถัดไป

### 3.1.3 การตรวจสอบเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม

ในการสร้างเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม ผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบซึ่งมีลักษณะเป็นแผนภาพที่มีการตรวจสอบคุณภาพทางการวัดมาเรียบร้อยแล้วมาใช้ในการวิจัย โดยผู้วิจัยเพียงปรับจากแบบทดสอบที่ใช้กระดาษกับปากกามาเป็นแบบทดสอบบนจอคอมพิวเตอร์ โดยรักษารูปร่าง ขนาด สี ไว้เหมือนเดิม ผู้วิจัยจึงดำเนินการตรวจสอบเพียงคุณสมบัติด้านความเที่ยงของเครื่องมือวิจัยในบริบทของการวัดกับวัยรุ่นตอนต้น โดยนำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี จำนวน 35 คน เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง KR-20 และนำค่าความเที่ยงนั้น ๆ ไปเปรียบเทียบกับค่าความเที่ยงของแบบทดสอบเดิม โดยจำแนกตามประเภทของแบบทดสอบ

ผลการตรวจสอบเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม จำแนกตามแบบทดสอบ แสดงในตารางที่ 3-3

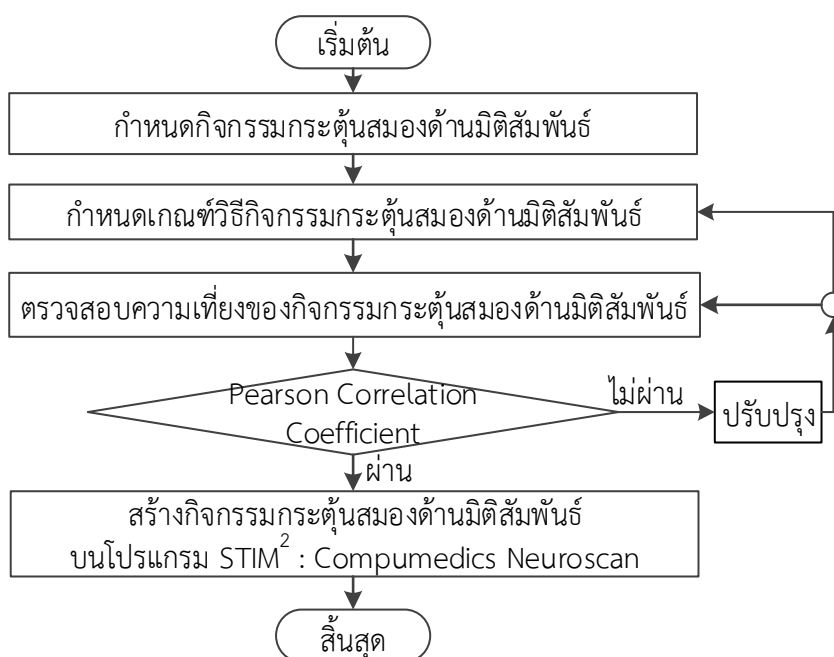
ตารางที่ 3-3 ผลการตรวจสอบเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม

แบบทดสอบ	ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง KR-20	
	แบบทดสอบบนจอคอมพิวเตอร์	แบบใช้กระดาษ
PFT	.75	.68
FBT	.72	.61
CRT	.86	.72
MRT	.90	.71

ผลการตรวจสอบเครื่องมือวัดด้านพฤติกรรมจากตารางที่ 3-3 ปรากฏว่า แบบทดสอบ PFT, FBT, CRT และ MRT ที่พัฒนาขึ้น โดยทดสอบผ่านหน้าจคอมพิวเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง KR-20 เท่ากับ .75, .72, .86 และ .90 ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่า แบบทดสอบ PFT, FBT, CRT และ MRT มีความเที่ยงค่อนข้างสูง และมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง KR-20 ในรูปแบบการใช้กระดาษกับปากกา

### 3.2 เครื่องมือวัดด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง

การสร้างกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Task) เพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานเป็นผังงาน ดังภาพที่ 3-24



ภาพที่ 3-24 แผนผังขั้นตอนการสร้างกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์



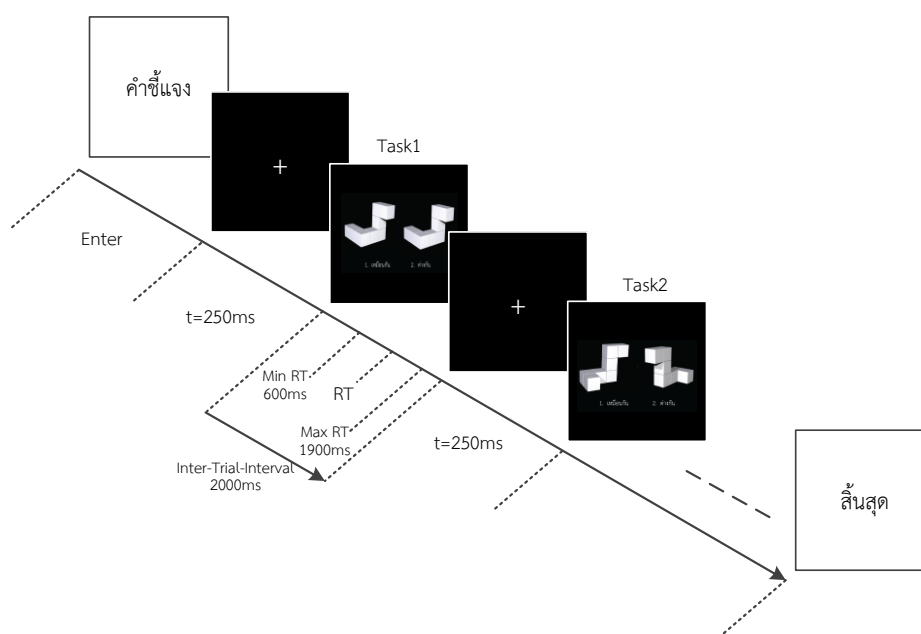
### 3.2.1 การกำหนดกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

กิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ พัฒนาโดยใช้ตัวกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์แบบ 3D Shepard and Metzler (Shephard & Metzler, 1971) จากฐานข้อมูลของ Ganis and Kievit (2015) ที่มีตัวกระตุ้น จำนวน 60 ตัว โดยผู้วิจัยนำมาใช้เพียง 30 ตัว โดยแต่ละตัวสามารถนำมาสร้างเป็นกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ได้เป็น 8 กิจกรรม ได้แก่ 1) การแสดงคู่ภาพเหมือนกันในมุมเดียวกัน 2) การแสดงคู่ภาพเหมือนกันในมุมต่างกัน 50 องศา 3) การแสดงคู่ภาพเหมือนกันในมุมต่างกัน 100 องศา 4) การแสดงคู่ภาพเหมือนกันในมุมต่างกัน 150 องศา 5) การแสดงคู่ภาพสะท้อนกัน ในมุมเดียวกัน 6) การแสดงคู่ภาพสะท้อนกัน ในมุมต่างกัน 50 องศา 7) การแสดงคู่ภาพสะท้อนกัน ในมุมต่างกัน 100 องศา และ 8) การแสดงคู่ภาพสะท้อนกัน ในมุมต่างกัน 150 องศา ดังนั้นจากตัวกระตุ้น จำนวน 30 ตัว สามารถสร้างเป็นกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ จำนวน 240 กิจกรรม

กิจกรรมที่ใช้คู่ภาพเหมือนกัน จำนวน 120 กิจกรรม กำหนดเป็นกิจกรรมเป้าหมาย (Target Task) ส่วนกิจกรรมที่ใช้คู่ภาพสะท้อนกัน กำหนดเป็นกิจกรรมไม่ใช่เป้าหมาย (Non-Target Task)

### 3.2.2 การกำหนดเกณฑ์วิธี (Protocol) กิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

การสร้างกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ เพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ มีเกณฑ์วิธีกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ดังภาพที่ 3-25



ภาพที่ 3-25 เกณฑ์วิธีกิจกรรมกระตุ้นเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

ในเกณฑ์วิธีกิจกรรมกระตุ้นเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง เริ่มต้นด้วยคำชี้แจง ในส่วนนี้ กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างอ่านและทำความเข้าใจ หากกลุ่มตัวอย่างพร้อมที่จะเริ่มทดสอบ ให้กลุ่มตัวอย่างกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งจาก Stim<sup>2</sup> Response Pad ต่อด้วยการแสดงเครื่องหมาย + (Fixation Cross) เป็นเวลา 250ms และต่อด้วยรูปภาพตัวกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างกดตอบ โดยการกดปุ่ม “เหมือน” หรือ “ไม่เหมือน” จาก Stim<sup>2</sup> Response Pad โดยเวลาตอบต่ำสุดที่ 600ms และสูงสุดที่ 1900ms หลังจากกลุ่มตัวอย่างกดตอบ หรือเกินเวลาตอบ รูปภาพตัวกระตุ้นถัดไปจะแสดงขึ้น โดยเริ่มต้นจากเครื่องหมาย + เป็นเวลา 250ms ทุกครั้ง

### 3.2.3 การตรวจสอบความเที่ยงของกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

ในการตรวจสอบความเที่ยงของกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ผู้วิจัยนำเกณฑ์วิธีกิจกรรมกระตุ้นเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองด้านมิติสัมพันธ์ ไปสร้างโดยโปรแกรมสำเร็จรูป PsychoPy v. 1.83 เพื่อนำไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี จำนวน 35 คน เพื่อตรวจสอบว่า ระหว่างช่วงเวลาที่กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างตอบ กลุ่มตัวอย่างสามารถตอบทันหรือไม่ และนำผลคะแนนการตอบถูก ไปตรวจสอบความตรงเชิงเหมือนของกิจกรรม (Convergent Validity) โดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของ Pearson ระหว่างคะแนนตอบถูกที่ได้จากกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ กับคะแนนตอบถูกที่ได้จากการตอบแบบทดสอบโดยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในข้อ 3.1

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเหมือนของกิจกรรม โดยสถิติ Pearson's Product-Moment Correlation ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของ Pearson เท่ากับ .87 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า กิจกรรมกระตุ้นเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองด้านมิติสัมพันธ์มีความตรงเชิงเหมือนค่อนข้างสูง และสามารถนำไปสร้างเป็นกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ขณะบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองฉบับสมบูรณ์ได้

### 3.2.4 การนำเกณฑ์วิธีไปสร้างเป็นกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

หลังจากตรวจสอบความตรงเชิงเหมือนของกิจกรรมแล้ว จึงนำเกณฑ์วิธีไปสร้างเป็นกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ โดยโปรแกรม STIM<sup>2</sup> : Compumedics Neuroscan เพื่อนำไปบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองโดยเครื่อง Neuroscan โดยจำแนกเป็น 2 ตอน ในแต่ละตอน ประกอบด้วย 120 กิจกรรม ที่มีสัดส่วนของกิจกรรมเป้าหมายและกิจกรรมไม่ใช่เป้าหมายเท่ากัน และในระหว่างตอน กำหนดเวลาพัก 2 นาที

### 3.2.5 การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง บันทึกโดยเครื่อง Neuroscan จากประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ประกอบด้วย โปรแกรม STIM<sup>2</sup> : Compumedics Neuroscan ซึ่งเป็นโปรแกรมสร้างกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ และโปรแกรม Curry Neuroimaging Suit 7.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมบันทึกและคัดกรองคลื่นไฟฟ้าสมอง แสดงดังภาพที่ 3-26

หมวกอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้สำหรับรับสัญญาณไฟฟ้าสมองจากหนังศีรษะ เป็นหมวกสำเร็จรูป ตามมาตรฐานสากล eci (E1 Electro Cap) ระบบวางขั้วไฟฟ้าแบบ 10-20 โดยมีขั้วไฟฟ้า จำนวน 19 ขั้ว ได้แก่ Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2, Cz, Fz และ Pz



ภาพที่ 3-26 เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan

### วิธีดำเนินการทดลอง

#### 1. การวัดผลของตัวแปรตามก่อนการทดลอง (Pretest)

การวัดผลของตัวแปรตามก่อนการทดลอง กับกลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการที่ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ตามตารางวัน เวลาที่นัดหมายไว้ โดยผู้วิจัยได้ชี้แจงกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และอธิบายการใช้งานเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan พร้อมทั้งให้กลุ่มตัวอย่างฝึกทำแบบทดสอบตัวอย่าง ก่อนที่จะทำการวัดผลของตัวแปรตาม

ในการวัดผลของตัวแปรตาม กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อน และต่อด้วยการทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม โดยระยะเวลาบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองในห้องปฏิบัติการฯ ต้องใช้เวลา 30 นาที ต่อกลุ่มตัวอย่าง 1 คน และภายใน 1 วัน สามารถบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม ได้จำนวน 10 คน โดยรวมกลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 60 คน ใช้เวลาบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม จำนวน 6 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 8 ถึง 12 และ 15 สิงหาคม 2559 ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 วันและเวลาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับกลุ่มตัวอย่าง ก่อนการทดลอง (Pretest)

วันที่	กลุ่มตัวอย่างที่บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง
8 สิงหาคม 2559	E001 ถึง E010
9 สิงหาคม 2559	E010 ถึง E011
10 สิงหาคม 2559	E021 ถึง E030
11 สิงหาคม 2559	C001 ถึง C010
12 สิงหาคม 2559	C010 ถึง C011
15 สิงหาคม 2559	C021 ถึง C030

หมายเหตุ E แทน กลุ่มทดลอง

C แทน กลุ่มควบคุม

## 2. การฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จะดำเนินการฝึก ที่โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ระหว่างวันที่ 11 สิงหาคม 2559 ถึงวันที่ 13 กันยายน 2559 โดยแต่ละคนจะได้รับการฝึก จำนวน 12 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที ใน 1 วัน สามารถฝึกได้ 15 คน โดยรวมต้องใช้เวลาฝึก จำนวน 24 วัน ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จะดำเนินชีวิตการเรียนตามปกติ

อุปกรณ์ที่ต้องใช้ขณะฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Windows 10 Pro 64bit, Intel Core i7-5500, Memory 8192MB RAM, NVIDIA 900 Series Graphic Card) จอทีวีสามมิติขนาด 32 นิ้ว (3D Monitor) และแว่นตา 3 มิติ (3D Glasses)

ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ก่อนฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

1. เชื่อมต่อจอทีวีสามมิติกับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย HDMI
2. กำหนดให้นักเรียนนั่งบนเก้าอี้ตรงหน้าจอ โดยกำหนดให้ดวงตาของผู้เล่นอยู่ในระนาบเดียวกันกับจุดศูนย์กลางของจอทีวี และห่างจากจอ 120 เซนติเมตร (จอทีวีขนาด 32 นิ้ว)
3. เปิดใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยกดสองครั้งบนไอคอน 3D-MBTM.exe รอจนหน้าจอ Start Game แสดงขึ้น จากนั้นดำเนินการกรอก

ข้อมูลส่วนตัวของนักเรียนในฐานะข้อมูลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

4. ก่อนที่จะเริ่มกิจกรรมการฝึก เปลี่ยนโหมดของจอทีวีเป็น Simulated 3D กำหนดให้นักเรียนสวมแว่นตา 3 มิติ และตรวจสอบความคมชัดในการรับรู้ภาพ และกดปุ่ม “Enter” เพื่อเริ่มการฝึก

เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่เกิดจากการกดแป้นพิมพ์ของนักเรียน ในการฝึกแต่ละครั้ง ผู้วิจัยหรือผู้ช่วยผู้วิจัยทำหน้าที่กดแทน โดยฟังจากคำตอบของนักเรียน

### 3. การวัดผลของตัวแปรตามหลังการทดลอง (Posttest)

การวัดผลของตัวแปรตามหลังการทดลอง กับกลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการที่ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา ตามตารางวันเวลาที่นัดหมายไว้ โดยใช้แบบทดสอบเดิม (การวัดผลของตัวแปรตามก่อนการทดลอง) ทั้งการทดสอบด้านพฤติกรรมและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยกลุ่มตัวอย่างได้ฝึกทำแบบทดสอบตัวอย่าง ก่อนที่จะทำการวัดผลของตัวแปรตาม

ในการวัดผลของตัวแปรตาม กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อน และต่อด้วยการทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม ดำเนินการวัดระหว่างวันที่ 14 ถึง 16 และ 19 ถึง 21 กันยายน 2559 ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 วันและเวลาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับกลุ่มตัวอย่าง หลังการทดลอง (Posttest)

วันที่	กลุ่มตัวอย่างที่บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง
14 กันยายน 2559	E001 ถึง E010
15 กันยายน 2559	E010 ถึง E011
16 กันยายน 2559	E021 ถึง E030
19 กันยายน 2559	C001 ถึง C010
20 กันยายน 2559	C010 ถึง C011
21 กันยายน 2559	C021 ถึง C030

หมายเหตุ E แทน กลุ่มทดลอง

C แทน กลุ่มควบคุม

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ มีขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ยื่นเสนอขอรับการพิจารณาจริยธรรมในการทำวิจัยกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ไปยังคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน ของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
2. ขอหนังสือจากวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ไปยังผู้อำนวยการโรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี เพื่อขอความอนุเคราะห์ให้นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น เป็นกลุ่มทดลองเครื่องมือวิจัย และเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย
3. หลังได้รับอนุญาตจากผู้อำนวยการโรงเรียน ได้มีการนัดหมายกับครูประจำชั้นและดำเนินการประชุมนักเรียน เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย พร้อมสอบถามความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2559 ได้นักเรียนอาสาสมัคร จำนวน 68 คน
4. ให้อาสาสมัครกรอกแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบคัดกรองภาวะซึมเศร้าแบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ แผ่นทดสอบที่ระยะใกล้ แบบทดสอบ TONI-4 และแผ่นทดสอบตาบอดสี ในวันที่ 6 ถึง 8 กรกฎาคม 2559 เพื่อนำข้อมูลไปคัดกรองนักเรียน ได้นักเรียนที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด จำนวน 62 คน นักเรียน 4 คน ถนัดการใช้มือซ้าย และนักเรียนอีก 2 คน มีคะแนนจากแบบทดสอบ TONI-4 ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
5. เมื่อได้นักเรียนอาสาสมัครที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์แล้ว จึงดำเนินการส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์จากวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ไปยังผู้ปกครองของนักเรียนอาสาสมัคร เพื่อขออนุญาตให้นักเรียนเข้าร่วมโครงการวิจัย และให้กรอกแบบฟอร์มแสดงความยินยอมจากผู้ปกครอง หากผู้ปกครองอนุญาตให้นักเรียนเข้าร่วมโครงการวิจัย ในขั้นตอนนี้ ได้นักเรียนอาสาสมัครที่ได้รับการอนุญาตจากผู้ปกครอง จำนวน 60 คน มีนักเรียน 2 คนที่ไม่ได้รับการอนุญาตจากผู้ปกครอง
6. เมื่อได้นักเรียนอาสาสมัครทั้ง 60 คนแล้ว ดำเนินสุ่มแบ่งกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองโดยใช้หลักการสุ่มเข้ากลุ่มแบบจับคู่ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย โดยการจับฉลากรายชื่อคู่เพศเดียวกันแบบไม่คืนที่ แล้วสุ่มแยกคู่เข้ากลุ่ม เพื่อให้เพศหญิงและเพศชาย มีจำนวนใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่ม ได้กลุ่มตัวอย่างเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 30 คน เพศชาย 13 คน เพศหญิง 17 คน และกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 30 คน เพศชาย 14 คน เพศหญิง 16 คน จากนั้นดำเนินการจัดทำตารางนัดหมายกลุ่มตัวอย่างเพื่อมาดำเนินการตามขั้นตอนการทดลอง

7. หลังจากได้การรับรองการพิจารณาจริยธรรมในการทำวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน ของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา จัดทำตารางนัดหมายนักเรียนเพื่อมาดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา ที่วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา และฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

8. นัดประชุมนักเรียนกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่จะฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในวันที่ 13 กรกฎาคม 2559 เพื่อชี้แจงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง การเตรียมตัวก่อนเข้ารับการทดลอง และนัดหมายตามวันเวลา ดังนี้

วันที่ 8 ถึง 10 สิงหาคม 2559 ดำเนินการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบวัดด้านพฤติกรรม ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา (วัดก่อนการทดลอง)

วันที่ 11 สิงหาคม ถึง วันที่ 13 กันยายน 2559 ดำเนินการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

วันที่ 14 ถึง 16 กันยายน 2559 ดำเนินการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบวัดด้านพฤติกรรม ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา ที่วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา (วัดหลังการทดลอง)

9. นัดประชุมนักเรียนกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในวันที่ 14 กรกฎาคม 2559 เพื่อชี้แจงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง การเตรียมตัวก่อนเข้ารับการทดลอง และนัดหมายตามวันเวลา ดังนี้

วันที่ 11, 12 และ 15 สิงหาคม 2559 ดำเนินการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบวัดด้านพฤติกรรม ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา ที่วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

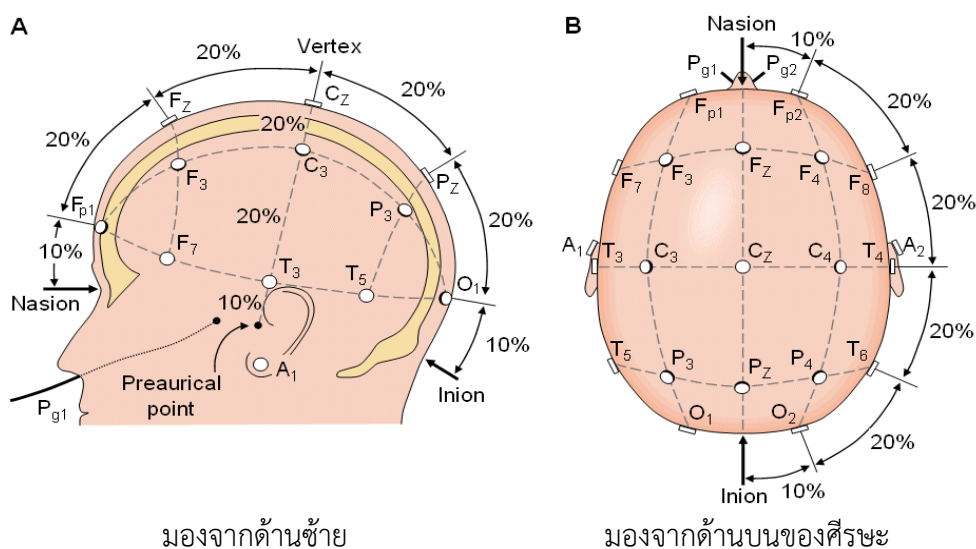
วันที่ 19 ถึง 21 กันยายน 2559 ดำเนินการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบวัดด้านพฤติกรรม ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา ที่วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

10. ทำหนังสือเสนอคณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อขออนุญาตใช้ห้องศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา ระหว่างวันที่ 8 ถึง 15 สิงหาคม 2559 และระหว่างวันที่ 14 ถึง 21 กันยายน 2559 เพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

11. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามตารางนัดหมาย ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางปัญญา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

12. ดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนการทดลอง (Pretest) ระหว่างวันที่ 8 ถึง 12 และ 15 สิงหาคม 2559 โดยมีขั้นตอนสำหรับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังนี้

12.1 ทำความสะอาดหนังศีรษะด้วยสาลีชุบแอลกอฮอล์ 75% เพื่อขจัดเซลล์ที่ตายแล้ว และลดความต้านทานบริเวณหนังศีรษะ จากนั้นวัดขนาดศีรษะเพื่อเลือกขนาดหมวกอิเล็กโทรดให้เหมาะสมกับขนาดศีรษะ โดยหมวกขนาดเล็กสำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 50-54 เซนติเมตร ขนาดกลางสำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 54-58 เซนติเมตร และขนาดใหญ่สำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 58-62 เซนติเมตร ด้วยการใช้แถบวัดความยาวจากจุดรอยต่อระหว่างกระดูกหน้าผากและกระดูกจุก (จุด Nasion) ไปจนถึงรอยนูนด้านหลังศีรษะ (จุด Inion) ต่อด้วยการกำหนดตำแหน่งขั้วไฟฟ้า Fp1 และ Fp2 ให้อยู่ระหว่างจุดที่วัดจาก Nasion ขึ้นมา 10% ของความยาวที่วัดได้ ด้วยการใช้นิ้วชี้แบบบออกได้ทำเครื่องหมายบนศีรษะเพื่อระบุตำแหน่ง จากนั้นใช้แถบวัดเส้นรอบศีรษะให้ผ่านจุดทั้งสอง (จุด Nasion และ Inion) ว่ามีความยาวเท่ากับกี่เซนติเมตร แล้วเลือกขนาดของหมวกให้ตรงกับ ความยาวที่วัดได้ ดังภาพที่ 3-27



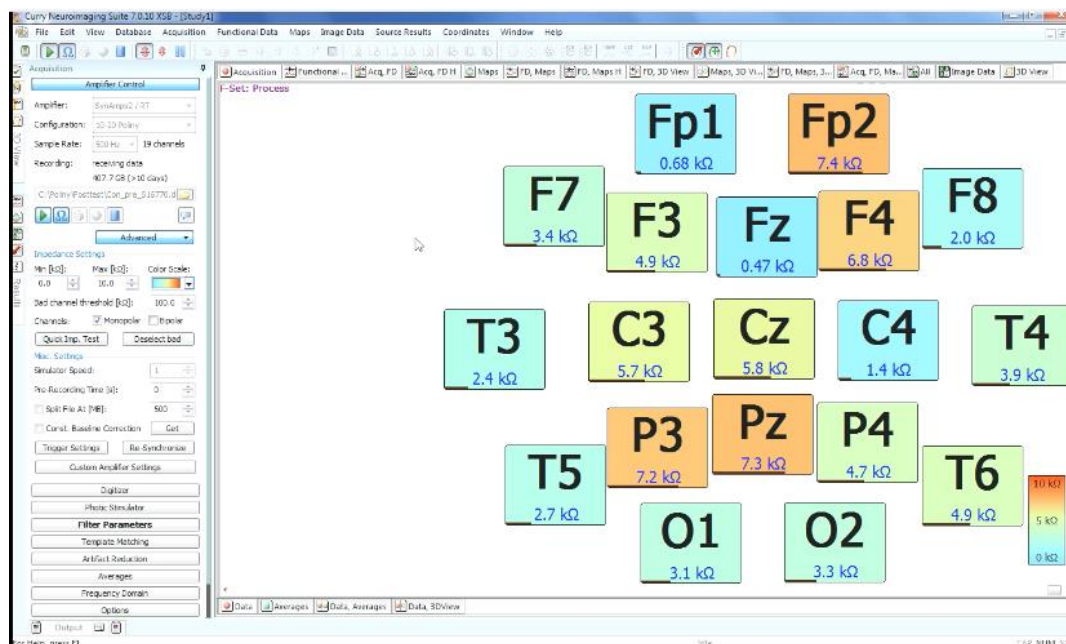
ภาพที่ 3-27 ระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้ามาตรฐานสากล 10-20 (Sharbrough et al., 1991)



12.2 เลือกหมวกอิเล็กโทรดตามขนาดที่พอดีกับศีรษะของกลุ่มตัวอย่าง และสวมหมวกอิเล็กโทรดบนศีรษะของกลุ่มตัวอย่าง โดยให้ตำแหน่งขั้วไฟฟ้า Fp1 และ Fp2 อยู่ตรงตำแหน่งที่ระบุไว้ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่อยู่ภายในหมวกอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยเฉพาะขั้วไฟฟ้าที่ต้องอยู่ในแนวกลางศีรษะ คือ Fz, Cz และ Pz รวมทั้งตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอื่น ๆ และติดตั้งขั้วไฟฟ้าที่บริเวณหลังใบหู (Mastoid) ด้านซ้าย-ขวา (M1, M2) เพื่อเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) จำนวน 2 ขั้ว

12.3 บรรจุเจลนำสัญญาณไฟฟ้า (Electrode Gel) โดยใช้เข็มฉีดยาแบบปลายทู่ (Blunt Needle) คูดเจลนำสัญญาณไฟฟ้าที่เตรียมไว้ เข้าไปในหลอดฉีดยา (Syringe) เพื่อนำไปใส่ลงในตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับขั้วไฟฟ้าที่อยู่ข้างใต้หมวกจนครบทุกขั้วไฟฟ้า

12.4 การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalograms Recording) ด้วยเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan ทำการบันทึกแบบ Real-Time Recorder โดยใช้หมวกสำเร็จรูปตามมาตรฐานสากล ระบบวางขั้วไฟฟ้าแบบ 10-20 ที่มีขั้วไฟฟ้า จำนวน 19 ขั้ว ได้แก่ Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2, Cz, Fz และ Pz พร้อมกับตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิงจำนวน 2 ขั้ว ในแต่ละตำแหน่งขั้วไฟฟ้า จะมีความต้านทานไฟฟ้า (Impedance) ไม่เกิน 10 K $\Omega$  คลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึก จะได้รับการแปลงสัญญาณจากอนาล็อก (Analog Signal) เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) ด้วยอัตราการสุ่ม 500Hz ดังภาพที่ 3-28



ภาพที่ 3-28 หน้าจอแสดงค่าความต้านทานในแต่ละขั้วไฟฟ้า

12.5 กลุ่มตัวอย่างนั่งบนเก้าอี้แบบมีพนักพิง ตรงหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในท่าที่สบาย ไม่เกร็งกล้ามเนื้อ ห่างจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ 60 เซนติเมตร (Cona, Panozzo, & Semenza, 2016) โดยต่อสายจากขั้วไฟฟ้าเข้ากับระบบบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง เมื่อพร้อมแล้วให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จนครบทั้ง 3 ตอน (Block) พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง โดยมีผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมและให้การดูแลตลอดระยะเวลาขณะทำการทดลอง

12.6 เมื่อเสร็จสิ้นการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มตัวอย่างได้รับการทำความสะอาดศีรษะในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้ และต่อด้วยการทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม

12.7 ดำเนินการทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทดลองครั้งต่อไป

13. หลังจากการวัดตัวแปรตามก่อนการทดลองในกลุ่มตัวอย่างเสร็จสิ้น กลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ตั้งแต่วันที่ 11 สิงหาคม 2559 ถึงวันที่ 13 กันยายน 2559 โดยแต่ละคนได้รับการฝึก จำนวน 12 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที ที่โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มควบคุม จะดำเนินชีวิตตามปกติ

14. หลังจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลองได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติเสร็จสิ้น กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจะได้รับการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา อีกครั้ง (Posttest) ตามวันเวลาที่กำหนดไว้

15. จัดเก็บรวบรวมข้อมูลด้านพฤติกรรม เช่น คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ จากโปรแกรมสำเร็จรูป PsychoPy v. 1.83 และข้อมูลทางคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Curry 7 เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

16. ทำการคัดกรองคลื่นไฟฟ้าสมองและตัดคลื่นตามช่วงที่กระตุ้นด้วยกิจกรรมกระตุ้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Curry 7 เพื่อนำออกเป็นข้อมูลตัวเลขและนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

16.1 การกรองสัญญาณ (Offline Filter) คลื่นไฟฟ้าสมอง โดยกำหนด Baseline/Bad Block ที่ Constant และ Band Pass Filter มีความถี่อยู่ในช่วง 0.1-30 Hz

16.2 นำเพิ่มข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง (Continuous EEG Data) ที่บันทึกได้จากโปรแกรม Curry 7 ออก ด้วยการบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .cnt เพื่อเป็นเพิ่มข้อมูล

นำเข้าไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป EEGLAB v13.5.4b (Delorme & Makeig, 2004; Lopez-Calderon & Luck, 2014) เพื่อทำการวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์

16.3 นำเข้าแฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล .cnt (ครึ่งละ 1 แฟ้มข้อมูล) ซึ่งเป็นข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง และทำการกรองความถี่ (Offline Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสิ่งรบกวนเบื้องต้นออก เช่น สัญญาณจากไฟฟ้าในบ้านเรือน การเคลื่อนไหวของผู้รับการทดลอง เป็นต้น ซึ่งเป็นการกรองสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Filter) โดยวิธี Finite Impulse Response (FIR) ด้วยการกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) ที่ 30 Hz ซึ่งเป็นการจำกัดความถี่สูง ยอมให้ความถี่ต่ำกว่า 30 Hz ผ่านไปได้ และกรองผ่านความถี่สูง (High Pass Filter: HPF) ที่ 0.5 Hz ซึ่งเป็นการจำกัดความถี่ต่ำ ยอมให้ความถี่สูงกว่า 0.5 Hz ผ่านไปได้

16.4 ทำการตัดข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง (Continuous EEG Data) ออกเป็นส่วน ๆ (Segmentation) หรือเรียกว่า การสกัดเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา (Extracting Epochs) ซึ่งกำหนดช่วงเวลาให้ตรงกับเหตุการณ์ (Epoch) ที่สนใจศึกษาใน 1 เหตุการณ์ เท่ากับ 1,000 มิลลิวินาที นับจาก 200 มิลลิวินาทีก่อน (Baseline) และหลังจากที่สิ่งเร้าปรากฏ 800 มิลลิวินาที

16.5 Baseline Correction ทุก ๆ เหตุการณ์จะถูกลบออกจาก Baseline เท่ากับ 200 มิลลิวินาที ก่อนที่สิ่งเร้าปรากฏ โดยการนำค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (Mean Voltage) ในช่วงนี้ ลบออกจากรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสำหรับแต่ละเหตุการณ์

16.6 Artifact Rejection เป็นการกำจัดสัญญาณที่ปนเปื้อน เช่น การกระพริบตา การเคลื่อนไหวลูกตาและกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า และคลื่นที่มีรูปแบบต่างไปจากคลื่นปกติ โดยใช้วิธีการทั้งการดูด้วยสายตาและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งกำหนดให้กำจัด Epoch ที่มีค่าสูงเกิน  $\pm 75 \mu\text{V}$  และหลังจาก Remove or Reject Epoch ทำ Baseline Correction อีกครั้ง

16.7 การขจัดสิ่งรบกวน (Artifact Correction) เช่น สัญญาณที่เกิดจากการเคลื่อนไหวลูกตา การกรอกตา และการกระพริบตา รวมทั้งการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้าและศีรษะ โดยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (Independent Components Analysis: ICA) เพื่อแยกสัญญาณไฟฟ้าสมองออกมาเป็นหลาย ๆ องค์ประกอบ (Component) โดยแต่ละองค์ประกอบที่แยกได้เป็นสัญญาณที่มีความเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นทำการลบองค์ประกอบที่เป็นสัญญาณรบกวนออก และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระอีกครั้ง เพื่อให้แฟ้มข้อมูลที่นำไปหาค่าเฉลี่ยในรูปศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Averaging ERP) มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลของแต่ละคนมาเฉลี่ยรวมกันได้

16.8 นำคลื่นไฟฟ้าสมองที่ปราศจากสัญญาณรบกวนในทุก ๆ Epoch (Artifact-Free Epoch) มาเฉลี่ยในรูปแบบศักยภาพไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Averaging ERP) เป็นรายคน โดยการรวมแฟ้มข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน เป็นแฟ้มข้อมูลนามสกุล .study

ในขั้นตอนนี้จะคำนวณ Positive Peaks ของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ระหว่างช่วงเวลาเริ่มต้น (Start Latency) ที่ 350ms และช่วงเวลาสิ้นสุด (End Latency) ที่ 550ms (Luck & Kappenman, 2011) จะได้ค่าความสูงและค่าความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ทุกตำแหน่งอิเล็กโทรดของสมองที่กำหนด และสามารถนำออกข้อมูลที่บันทึกไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 2016 เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ค่าการแจกแจงความถี่ และค่าร้อยละ
2. เปรียบเทียบความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ ระหว่างกลุ่มที่ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ก่อนการทดลอง โดยสถิติทดสอบ t-test
3. เปรียบเทียบคะแนนตอบถูกและเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยสถิติทดสอบ One-Way Repeated MANOVA
4. เปรียบเทียบคะแนนตอบถูกและเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มที่ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ หลังการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยสถิติทดสอบ One-Way MANOVA
5. เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความกว้างและความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ในกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ด้วยสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk
6. เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความกว้างและความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง หลังการทดลอง โดยสถิติทดสอบ Independent Sample t-test

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น โดยการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และเพื่อศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่พัฒนาขึ้นไปใช้สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น โดยการเปรียบเทียบในประเด็น 1) ความแตกต่างของคะแนนตอบถูกและเวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ 2) ความแตกต่างของคะแนนตอบถูกและเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มที่ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ 3) ความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้าสมอง ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และ 4) ความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้าสมองหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มที่ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ นำเสนอผลการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ส่วนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ส่วนที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ส่วนที่ 3 ผลการศึกษานำร่อง

ตอนที่ 2 ผลของการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่พัฒนาขึ้นไปใช้สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ) ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ส่วนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

เพื่อให้การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการทำความเข้าใจผลการวิเคราะห์ข้อมูลตรงกัน ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และความหมายแทนค่าสถิติต่าง ๆ ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์มีดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
$n$	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
$M$	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean)
$SD$	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
$CV$	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation)
$t$	ค่าสถิติทดสอบ $t$
$F$	ค่าสถิติทดสอบ $F$
$df$	ค่าองศาอิสระ (Degrees of Freedom)
$SS$	ค่าผลรวมยกกำลังสอง (Sum of Square)
$MS$	ค่าเฉลี่ยผลรวมยกกำลังสอง (Mean of Square)
$p$	ค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ
$\eta^2$	ขนาดอิทธิพลอีต่ายกกำลังสอง (Eta Square)
$\chi^2$	ค่าสถิติไค-สแควร์ (Chi-Square)
$Z_{Wilcoxon}$	ค่าสถิติทดสอบ Wilcoxon Signed Ranks Test
Shapiro-Wilk	ค่าสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk
Min	คะแนนต่ำสุด
Max	คะแนนสูงสุด
$SK$	ค่าความเบ้ของข้อมูล (Skewness)
$KU$	ค่าความโด่งของข้อมูล (Kurtosis)
$H_{df}$	ค่า Hypothesis $df$
$E_{df}$	ค่า Error $df$
PFT & FBT	Paper Folding & Form Board Test
CRT	Cube Rotations Test
MRT	Mental Rotations Test
*	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

### ส่วนที่ 1 ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

1. ผลการกำหนดโครงสร้างของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ออกแบบเป็นกิจกรรมผ่านหน้าจอแสดงผลในรูปแบบสามมิติ โดยอิงตามทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Pylyshyn, 2001) จึงได้กำหนดโครงสร้างแต่ละกิจกรรมในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การแสดง (Presentation) เป็นขั้นตอนที่แสดงตัวกระตุ้นต่อระบบการมอง 2) การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย (Indexation) เป็นขั้นตอนที่บ่งบอกว่าตัวกระตุ้นใดเป็นเป้าหมายที่ต้องติดตาม 3) การเคลื่อนที่ (Movement) เป็นขั้นตอนที่สร้างการรบกวนต่อกระบวนการติดตาม โดยตัวกระตุ้นทุกตัวจะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 4) การตอบ (Identification) เป็นขั้นตอนที่ต้องระบุว่า ตัวกระตุ้นใดเป็นตัวเป้าหมาย หลังมีการรบกวนด้วยการเคลื่อนที่ และ 5) การแสดงผล (Feedback) เป็นขั้นตอนแสดงผล เพื่อให้สมองรับรู้ว่าการระบุตัวกระตุ้นเป้าหมายนั้น ระบุถูกหรือผิด

โครงสร้างกิจกรรมในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ แบ่งเป็น 3 ระดับการเล่น แต่ละระดับการเล่นมี 10 กิจกรรม รวมเป็น 30 กิจกรรม ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดโครงสร้างของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ระดับการเล่น	กิจกรรม	จำนวน (ตัว)		
		สิ่งเร้าที่แสดง	สิ่งเร้าเป้าหมาย	สิ่งเร้ารบกวน
1	จาก 1 ถึง 10	6	1	5
2	จาก 11 ถึง 20	6	2	4
3	จาก 21 ถึง 30	6	3	3

จากตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 3 ระดับการเล่น โดยที่ระดับการเล่นที่ 1 เริ่มจากกิจกรรมที่ 1 ถึงกิจกรรมที่ 10 สิ่งเร้าที่ต้องแสดงในแต่ละกิจกรรมมีจำนวน 6 ตัว สิ่งเร้าเป้าหมาย

ที่ต้องติดตามมีจำนวน 1 ตัว และสิ่งเร้ารบกวนมีจำนวน 5 ตัว ระดับการเล่นที่ 2 เริ่มจากกิจกรรมที่ 11 ถึงกิจกรรมที่ 20 สิ่งเร้าที่ต้องแสดงในแต่ละกิจกรรมมีจำนวน 6 ตัว สิ่งเร้าเป้าหมายที่ต้องติดตามมีจำนวน 2 ตัว และสิ่งเร้ารบกวนมีจำนวน 4 ตัว และระดับการเล่นที่ 3 เริ่มจากกิจกรรมที่ 21 ถึงกิจกรรมที่ 30 สิ่งเร้าที่ต้องแสดงในแต่ละกิจกรรมมีจำนวน 6 ตัว สิ่งเร้าเป้าหมายที่ต้องติดตามมีจำนวน 3 ตัว และสิ่งเร้ารบกวนมีจำนวน 4 ตัว

ผู้ฝึกโดยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ต้องฝึกผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ 3 มิติ 1 เครื่อง ต่อผู้ฝึก 1 คน โดยกำหนดให้ผู้ฝึกต้องเริ่มฝึกตั้งแต่กิจกรรมที่ 1 ถึงกิจกรรมที่ 30 อย่างต่อเนื่อง

2. ผลการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

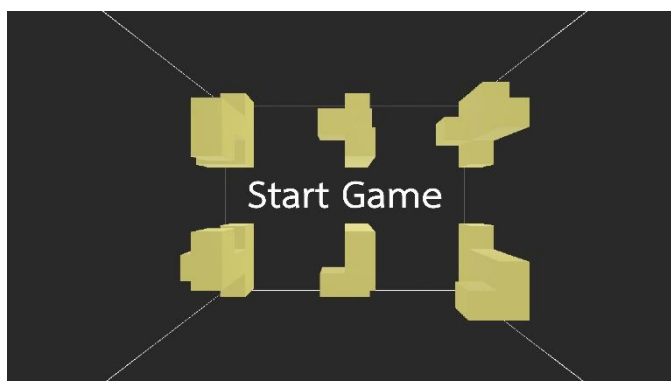
แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีรูปแบบเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะเป็น 3D จำลอง ดำเนินการบนระบบปฏิบัติการ Windows 7 โดยเชื่อมต่อกับจอทีวีแบบ 3D และในขณะที่ฝึกผู้ฝึกจะต้องสวมแว่นตาสามมิติ ไอคอนนำสู่หน้าจอของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ไอคอนนำสู่หน้าจอของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

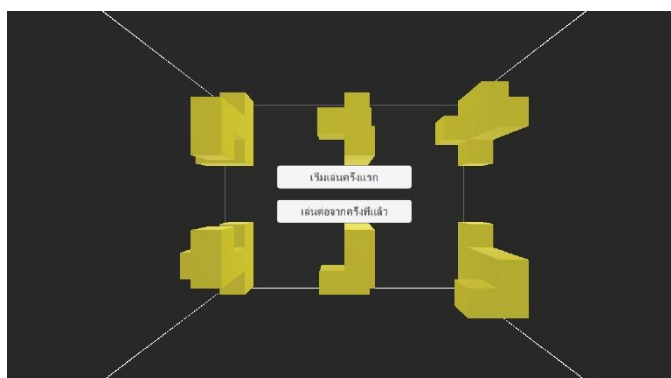
หน้าจอเริ่มต้นของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วยภาพตัวกระตุ้นสีเหลืองจำนวน 6 ตัว พร้อมกับคำว่า “Start Game” ดังภาพที่ 4-2 ซึ่งแสดงว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ พร้อมทั้งจะดำเนินการต่อไปในหน้าจอถัดไปหลังจากผู้ฝึกกดปุ่ม Enter บนแป้นพิมพ์





ภาพที่ 4-2 หน้าจอเริ่มต้นของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

หลังจากผู้ฝึกกดปุ่ม Enter บนแป้นพิมพ์ หน้าจอหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จะปรากฏขึ้นในหน้าจอนี้ และจะแสดงปุ่มกดสองปุ่ม ได้แก่ ปุ่ม “เริ่มเล่นครั้งแรก” และปุ่ม “เล่นต่อจากครั้งที่แล้ว” ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 หน้าจอหลักของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ปุ่ม “เริ่มเล่นครั้งแรก” เป็นปุ่มที่นำผู้ฝึกสู่หน้าจอการกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้ฝึกก่อนเริ่มฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เมื่อผู้ฝึกกดปุ่ม “เริ่มเล่นครั้งแรก” จะปรากฏหน้าจอหน้าจกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้ฝึก ดังภาพที่ 4-4

A registration form with the following fields and buttons:

- Name
- Surname
- Sex (dropdown menu)
- Age
- ID
- Save
- Back

ภาพที่ 4-4 หน้าจอการกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้ฝึก ก่อนเริ่มฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

ปุ่ม “เล่นต่อจากครั้งที่แล้ว” เป็นปุ่มที่นำผู้ฝึกสู่หน้าจอการกรอกรหัสประจำตัวของผู้ฝึก ก่อน และฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยไม่จำเป็นต้องกรอกข้อมูลส่วนตัวอีกครั้ง ดังภาพที่ 4-5

A login form with the following fields and buttons:

- กรุณากรอกรหัสประจำตัว (Please enter your ID)
- ID
- Ok
- Back

ภาพที่ 4-5 หน้าจอการกรอกรหัสประจำตัวของผู้ฝึก ก่อนฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

3. ผลการจัดทำคู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

คู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 7 ส่วน ดังนี้

1. แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ คืออะไร
2. ทำไมต้องฝึกด้วยแบบจำลองฯ

3. ประโยชน์ที่ได้รับ
4. อุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับแบบจำลองฯ
5. ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์ก่อนฝึกด้วยแบบจำลองฯ
6. วิธีการเล่นกิจกรรมในแบบจำลองฯ
7. ระดับการเล่นในแบบจำลองฯ

ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือเป็นรูปเล่มขนาด A5 (148x210mm) มีจำนวน 11 หน้า (รายละเอียดคู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ แสดงในภาคผนวก ช)

### ส่วนที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ได้รับการประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้โดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และด้านกระบวนการเรียนรู้ของสมอง อีกทั้งยังได้รับการประเมินโดยผู้ใช้งาน ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

#### 1. ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 6 คน ใน 4 ประเด็น ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของแบบจำลอง ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้ในแบบจำลอง ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น และความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน ได้ผลการประเมินดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

ประเด็นที่ประเมิน	<i>M</i>	<i>SD</i>	ระดับความเหมาะสม
1. ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ	4.57	0.19	มากที่สุด
2. ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้ในแบบจำลอง	4.50	0.17	มากที่สุด
3. ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น	4.55	0.13	มากที่สุด
4. ความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน	4.42	0.29	มาก
ภาพรวม	4.51	0.20	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-2 ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ ปรากฏว่า ในภาพรวม ผลการประเมินความเหมาะสม

ของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมมากที่สุด ( $M=4.51$ ) โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1. ฉากหลังยังไม่เป็น 3D เท่าที่ควร ควรแสดงให้เห็นถึงความเป็น 3D ด้วยการใส่เฉดสีที่ต่างกันในแต่ละด้าน
2. ภาพรอบคำสั่งทุกชนิด ยังไม่ชัดเจน ควรแสดงให้เห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น จัดวางไม่ให้ทับกับเส้นขอบหรือภาพอื่น เน้นภาพให้ชัดเจนด้วยสี หรือทำพื้นหลังเบลอ เป็นต้น
3. เปลี่ยนจากคำว่ามิลลิวินาทีเป็นวินาที เพราะคนทั่วไปมักไม่เข้าใจคำนี้
4. คำอธิบายการเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นยังคงคลุมเครือ ผู้อ่านอาจไม่เข้าใจว่าเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด ด้วยเวลาเท่าไร ควรระบุให้ชัดเจน
5. พิจารณาภาพที่แสดงการสะท้อนกลับผิวด/ถูก เส้นขอบมีขนาดค่อนข้างเล็ก จะเป็นไปได้หรือไม่ ที่จะเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งรูป เมื่อตอบผิดหรือสีเขียวทั้งรูปเมื่อตอบถูก
6. สามารถให้ข้อมูลแก่ผู้ร่วมการทดลองเพิ่มเติมนอกจาก Response Accuracy Score
7. ขนาดตัวอักษรจากแผนภาพค่อนข้างเล็ก
8. ควรระบุรายละเอียดขั้นต่ำของโปรแกรมที่ใช้รองรับ Software และ Hardware
9. ระบุระยะเวลาในการใช้โปรแกรม
10. การเขียนคู่มือไม่ควรอิงภาษาที่ใช้ในการทำวิจัยมากเกินไป ควรเขียนด้วยคำกลาง ๆ เช่น เลือกบล็อกลำดับที่ 1 หรือ 2 หรือกดเลือกบล็อกที่ต้องการ เพื่อให้ผู้อ่านที่ไม่ใช่นักวิจัยเข้าใจได้มากขึ้น

ดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (CVI) นำเสนอโดยจำแนกตามประเด็นที่ประเมิน แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 รายละเอียดดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิด้าน วิทยาการปัญญา	ผู้ทรงคุณวุฒิด้าน วิทยาการคอมพิวเตอร์	ภาพรวม
ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ	.80	1.00	.80
ลักษณะของตัวอักษร	1.00	.80	.80
ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น	1.00	1.00	1.00
ความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน	.83	1.00	.83
ภาพรวม	.91	.96	.87

จากตารางที่ 4-3 ปรากฏว่า ค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหาที่คำนวณจากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งสองด้าน โดยรวมมีค่าเท่ากับ .87 ซึ่งให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความตรงเชิงเนื้อหาค่อนข้างสูง เหมาะที่นำไปเป็นเครื่องมือฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น

## 2. ผลการประเมินโดยผู้ใช้งาน

การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี จำนวน 35 คน ซึ่งคุณสมบัติคล้ายกลุ่มตัวอย่าง ได้ผลการประเมินดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ใช้งาน

ประเด็นที่ประเมิน	<i>M</i>	<i>SD</i>	ระดับความพึงพอใจ
ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ	4.23	0.49	มาก
ลักษณะของตัวอักษรที่ใช้ในแบบจำลอง	4.05	0.57	มาก
ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น	4.22	0.57	มาก
ความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน	3.94	0.55	มาก
สรุปผลโดยรวม	4.11	0.42	มาก

จากตารางที่ 4-4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ใช้งาน ปรากฏว่า ภาพรวมผู้ใช้งานรู้สึกพึงพอใจในระดับมาก ( $M=4.11$ ) ต่อแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และผู้ใช้งานเสนอข้อคิดเห็น ดังนี้

1. ขณะทดลองเล่นแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ บางครั้งหน้าจอค้างอยู่ ไม่เปลี่ยนเป็นหน้าจอต่อไป
2. ระยะเวลาในบางเกมน้อยเกินไปควรปรับเวลาให้เหมาะสม

จากผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ใช้งาน ผู้วิจัยได้นำข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ไปปรับปรุงเพื่อให้แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

### ส่วนที่ 3 ผลการศึกษานำร่อง

ในการศึกษานำร่อง ได้นำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่เหลื่อมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปทดลองฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์กับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่างจำนวน 6 คน เป็นเวลา 14 วัน

ผลการทดสอบฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์กับกลุ่มศึกษานำร่องแสดงดังตารางที่ 4-5 และตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในกลุ่มศึกษานำร่อง ระหว่างก่อนและหลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่เหลื่อมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

แบบทดสอบ	ระยะการวัด	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Z</i> <sub>Wilcoxon</sub>	<i>p</i>
PFT & FBT	ก่อนฝึก	28.67	1.03	-2.21*	.03
	หลังฝึก	35.83	1.72		
CRT	ก่อนฝึก	39.17	3.49	-2.03*	.04
	หลังฝึก	42.83	1.94		
MRT	ก่อนฝึก	42.67	8.04	-2.21*	.03
	หลังฝึก	51.83	8.28		

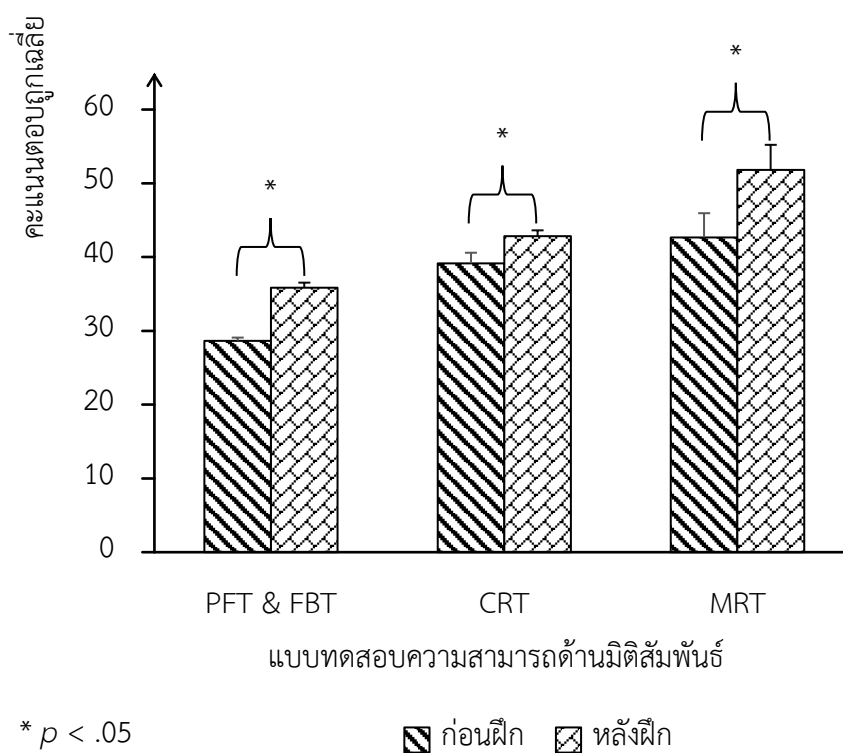
\*  $p < .05$

ตารางที่ 4-6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาตอบแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในกลุ่มศึกษานำร่อง ระหว่างก่อนและหลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่เหลื่อมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

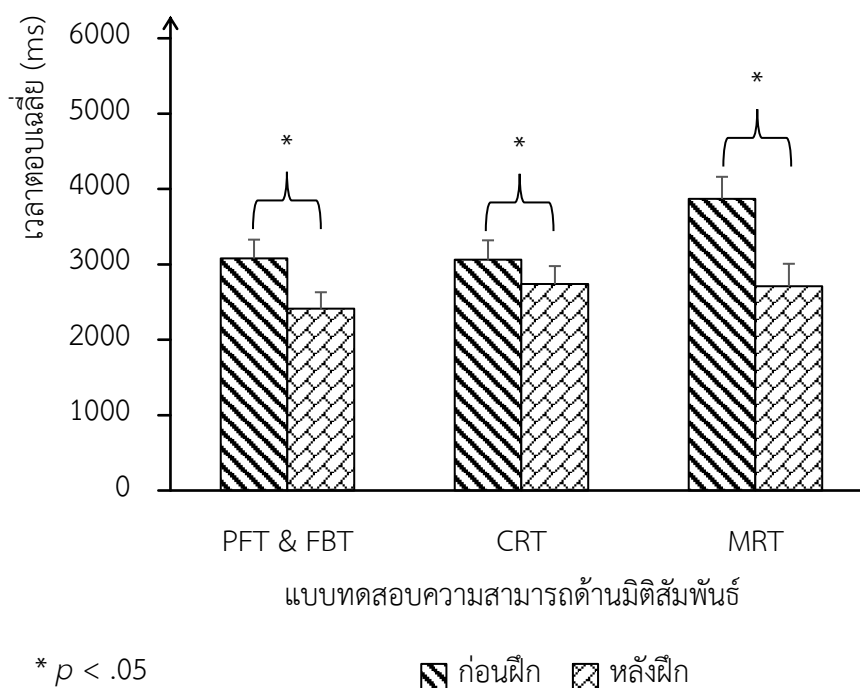
แบบทดสอบ	ระยะการวัด	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Z</i> <sub>Wilcoxon</sub>	<i>p</i>
PFT & FBT	ก่อนฝึก	3869.08	717.39	-2.20*	.03
	หลังฝึก	2708.48	733.62		
CRT	ก่อนฝึก	3077.85	613.47	-2.20*	.03
	หลังฝึก	2412.08	534.63		
MRT	ก่อนฝึก	3061.73	630.71	-2.20*	.03
	หลังฝึก	2737.87	586.70		

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-5 และตารางที่ 4-6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มศึกษานำร่อง ระหว่างก่อนกับหลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยสถิติทดสอบ Wilcoxon Signed Ranks Test ปรากฏว่า ระหว่างก่อนและหลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ กลุ่มศึกษานำร่องมีมิติสัมพันธ์ดีขึ้น โดยพิจารณาจากคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น และเวลาตอบแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สามารถแสดงความแตกต่างเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-6 กราฟแท่งแสดงความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ยจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในกลุ่มศึกษานำร่อง



ภาพที่ 4-7 กราฟแท่งแสดงความแตกต่างของเวลาตอบเฉลี่ยแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในกลุ่มศึกษานำร่อง

ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ใช้งาน และผลจากการศึกษานำร่อง ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นกิจกรรมผ่านหน้าจอทีวีที่มีความเหมาะสมในการนำไปฝึกทักษะทางสมองของคน เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

## ตอนที่ 2 ผลของการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น

การนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น โดยวิธีการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ใช้แบบแผนการทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองแบบมีกลุ่มควบคุม (Randomized Pretest-Posttest Control Group-Design) ในประเด็นคะแนนตอบถูก เวลาตอบ และคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT แบ่งการนำเสนอผลการศึกษาเป็นดังนี้



### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ โรคประจำตัว การเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อตา ภาวะซีมเศร้า การมองเห็น ความถนัดในการใช้มือ และการใช้คอมพิวเตอร์ ความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ แบ่งการนำเสนอเป็น 2 ตาราง ได้แก่ จำนวนและร้อยละ ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4-7 และผลการเปรียบเทียบความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง แสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 จำนวนและร้อยละลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไป	กลุ่มทดลอง (n=30 คน)		กลุ่มควบคุม (n=30 คน)		รวม (n=60 คน)	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ						
ชาย	13	43.33	14	46.67	27	45.00
หญิง	17	56.67	16	53.33	33	55.00
อายุ (ปี)						
14	7	23.33	6	20.00	13	21.67
15	22	73.34	23	76.67	45	75.00
16	1	3.33	1	3.33	2	3.33
โรคประจำตัว						
ไม่มี	30	100.00	30	100.00	60	100.00
การเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อตา						
ไม่มี	30	100.00	30	100.00	60	100.00
ภาวะซีมเศร้า						
ไม่มี	30	100.00	30	100.00	60	100.00
การมองเห็น						
ปกติ	30	100.00	30	100.00	60	100.00
ความบกพร่องในการรับรู้สี						
ไม่มี	30	100.00	30	100.00	60	100.00
ความถนัดในการใช้มือ						
มือขวา	30	100.00	30	100.00	60	100.00
การใช้คอมพิวเตอร์						
เป็น	30	100.00	30	100.00	60	100.00

จากตารางที่ 4-7 กลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 60 คน ประกอบด้วยเพศชายจำนวน 27 คน (45.00%) และเพศหญิงจำนวน 33 คน (55.00%) โดยมีอายุตั้งแต่ 14 ถึง 16 ปี ผู้ที่มีอายุ 14 ปี มีจำนวน 13 คน (21.67%) อายุ 15 ปี มีจำนวน 45 คน (75.00%) และอายุ 16 ปี มีจำนวน 2 คน (3.33%) จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 60 คน จำแนกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองจำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุมจำนวน 30 คน ในกลุ่มทดลองประกอบด้วยเพศชายจำนวน 13 คน (43.33%) และเพศหญิงจำนวน 17 คน (56.67%) โดยมีอายุตั้งแต่ 14 ถึง 16 ปี ผู้ที่มีอายุ 14 ปี มีจำนวน 7 คน (23.33%) อายุ 15 ปี มีจำนวน 22 คน (73.34%) และอายุ 16 ปี มีจำนวน 1 คน (3.33%) ส่วนกลุ่มควบคุมประกอบด้วยเพศชาย จำนวน 14 คน (46.67%) และเพศหญิง จำนวน 16 คน (53.33%) โดยมีอายุตั้งแต่ 14 ถึง 16 ปี ผู้ที่มีอายุ 14 ปี มีจำนวน 6 คน (20.00%) อายุ 15 ปี มีจำนวน 23 คน (76.67%) และอายุ 16 ปี มีจำนวน 1 คน (3.33%) นอกจากนี้ กลุ่มตัวอย่างทั้ง 60 คน (100%) ไม่มีประวัติโรคประจำตัวและการเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อตา ไม่มีภาวะซึมเศร้า มีการมองเห็นปกติ ไม่มี ความบกพร่องในการรับรู้สี ถนัดในการใช้มือขวา และสามารถใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ได้

ตารางที่ 4-8 ผลการเปรียบเทียบความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ ก่อนการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

กลุ่ม	ความสามารถทางสติปัญญา					สถิติทดสอบ	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	ระดับ	<i>t</i>	<i>p</i>
กลุ่มทดลอง	96.87	5.65	90	113	ปกติ	0.58	.56
กลุ่มควบคุม	96.10	4.47	90	106	ปกติ		
รวม	96.48	5.07	90	113	ปกติ		

จากตารางที่ 4-8 ผลการเปรียบเทียบความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ ก่อนการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพในระดับปกติ โดยกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยเลขคณิตของความสามารถทางสติปัญญาเท่ากับ 96.87 ( $SD=5.65$ ) และ 96.10 ( $SD=4.47$ ) ตามลำดับ เมื่อนำคะแนนเฉลี่ยความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพของทั้งสองกลุ่มไปเปรียบเทียบกับด้วยสถิติทดสอบ *t* ได้ค่าสถิติทดสอบ  $t=0.58$  ( $p=.56$ ) แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพไม่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ) ใน  
การทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

1. ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูก  
และเวลาตอบ) ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

1.1 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของคะแนนตอบถูก ในการทำ  
แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตารางที่ 4-9 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ  
ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา ระยะการวัด และแบบทดสอบ

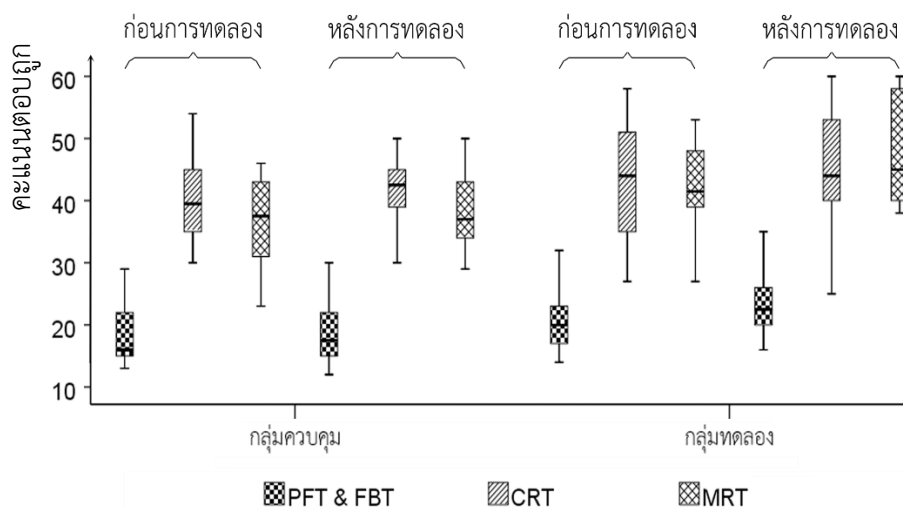
	คะแนนตอบถูก				Shapiro-Wilk	<i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>		
กลุ่มทดลอง						
ก่อนการทดลอง						
PFT & FBT	20.60	4.72	0.60	-0.06	0.95	.20
CRT	43.23	8.46	-0.12	-1.05	0.96	.40
MRT	41.67	7.25	-0.51	-0.43	0.95	.13
หลังการทดลอง						
PFT & FBT	23.53	4.49	0.72	0.31	0.95	.20
CRT	45.00	8.80	-0.25	-0.55	0.97	.65
MRT	48.30	8.51	0.30	-1.73	0.82*	<.01
กลุ่มควบคุม						
ก่อนการทดลอง						
PFT & FBT	18.50	4.49	0.93	-0.23	0.88*	<.01
CRT	41.73	7.18	0.23	-0.52	0.97	.58
MRT	39.37	6.98	-0.45	-0.41	0.96	.41
หลังการทดลอง						
PFT & FBT	18.93	4.62	0.92	0.22	0.92*	.02
CRT	43.20	7.20	0.05	0.19	0.96	.34
MRT	40.77	7.07	0.17	-1.49	0.88*	<.01

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-9 การนำเสนอแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ CRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ CRT หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ MRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ MRT มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ MRT หลังการทดลอง ของกลุ่มทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ของกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ CRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ CRT หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT ก่อนการทดลอง และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT ก่อนการทดลอง และคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT หลังการทดลอง มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า คะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT ก่อนการทดลองและคะแนนตอบถูกจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT หลังการทดลอง ของกลุ่มควบคุม มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้ สามารถสรุปเป็นแผนภาพกล่อง ดังภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 แผนภาพกล่องแสดงการกระจายของคะแนนตอบถูก ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง จำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา

แผนภาพกล่องแสดงการกระจายของคะแนนตอบถูกในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ทั้งสามประเภท ได้แก่ PFT & FBT, CRT และ MRT ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ปรากฏว่า หลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีแนวโน้มของคะแนนตอบถูกสูงขึ้น

1.2 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติของเวลาตอบแบบทดสอบ  
ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตารางที่ 4-10 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ  
ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา ระยะการวัด และแบบทดสอบ

	เวลาตอบ				Shapiro-Wilk	p
	M	SD	SK	KU		
กลุ่มทดลอง						
ก่อนการทดลอง						
PFT & FBT	2255.18	327.22	-0.90	1.36	0.95	.18
CRT	1673.45	272.81	0.47	-0.92	0.93	.07
MRT	1903.44	291.79	-0.49	-0.31	0.97	.42

ตารางที่ 4-10 (ต่อ)

	เวลาตอบ				Shapiro-Wilk	<i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>		
หลังการทดลอง						
PFT & FBT	1576.29	349.07	1.02	1.57	0.93	.05
CRT	1200.41	245.05	0.27	1.19	0.96	.31
MRT	1316.23	276.90	1.35	1.15	0.84*	<.01
กลุ่มควบคุม						
ก่อนการทดลอง						
PFT & FBT	2234.99	393.90	-0.05	-0.83	0.97	.61
CRT	1559.69	278.69	0.18	-1.08	0.96	.28
MRT	1781.54	246.99	-0.43	-0.44	0.96	.30
หลังการทดลอง						
PFT & FBT	2198.78	428.46	-0.20	-0.68	0.96	.40
CRT	1694.93	292.98	0.05	-1.16	0.95	.13
MRT	1536.58	298.56	0.22	-1.34	0.92*	.03

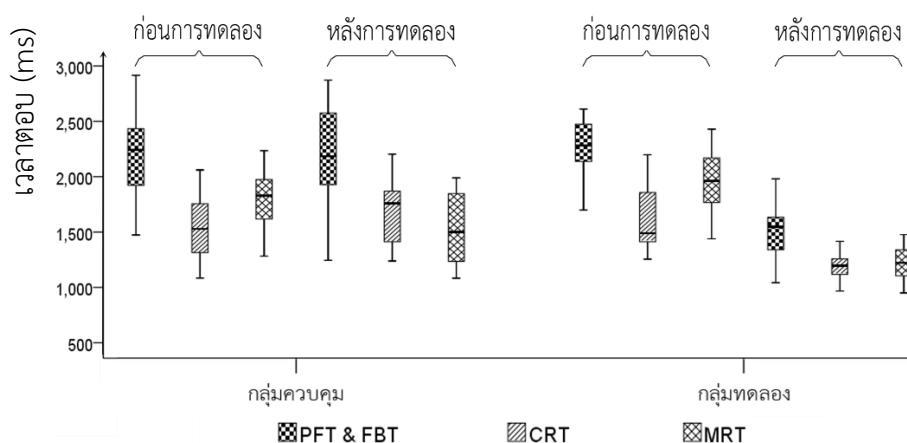
\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-10 การนำเสนอแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ของกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า เวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และเวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ CRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งให้เห็นว่า เวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และเวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ CRT หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนเวลาตอบจากแบบทดสอบ MRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของเวลาตอบจากแบบทดสอบ MRT มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งให้เห็นว่า เวลาตอบจากแบบทดสอบ MRT หลังการทดลอง ของกลุ่มทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ของกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า เวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และเวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ CRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ก่อนการทดลอง และเวลาตอบจากแบบทดสอบ PFT & FBT และ CRT หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนเวลาตอบจากแบบทดสอบ MRT หลังการทดลอง มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของเวลาตอบจากแบบทดสอบ MRT มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เวลาตอบจากแบบทดสอบ MRT หลังการทดลอง ของกลุ่มควบคุม มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

โดยรวม ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของคะแนนตอบถูกก่อนการทดลอง เวลาตอบก่อนการทดลอง คะแนนตอบถูกหลังการทดลอง และเวลาตอบหลังการทดลอง ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จากแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT มีลักษณะการแจกแจงใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นสามารถนำคะแนนตอบถูกก่อนการทดลอง เวลาตอบก่อนการทดลอง คะแนนตอบถูกหลังการทดลอง และเวลาตอบหลังการทดลอง ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไปเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม โดยสถิติ Repeated MANOVA และ One-Way MANOVA ในขั้นตอนต่อไปได้ สามารถสรุปเป็นแผนภาพกล่อง ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 แผนภาพกล่องแสดงการกระจายของเวลาตอบ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง จำแนกตามกลุ่มที่ศึกษา

แผนภาพกล่องแสดงการกระจายของเวลาตอบแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ทั้งสามประเภท ได้แก่ PFT & FBT, CRT และ MRT ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมระหว่างก่อนกับ หลังการทดลอง ปรากฏว่า หลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีแนวโน้มของใช้เวลาตอบแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์นี้ลดลง

2. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ) ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

2.1 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง โดยสถิติ Repeated MANOVA แสดงดังนี้

ตารางที่ 4-11 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

Statistical Test	Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	<i>p</i>
Bartlett's Test	0.00	19.36*	<.01

\*  $p < .05$

จากตาราง 4-11 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Likelihood Ratio ของ Bartlett's test มีค่าเท่ากับ 0.00 และสถิติทดสอบไค-สแควร์ มีค่าเท่ากับ 19.36 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  เท่ากับ .00 ซึ่งให้เห็นว่า เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง แตกต่างจากเมทริกซ์เอกลักษณ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หมายความว่า คะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์เพียงพอที่จะนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง โดยสถิติ Repeated MANOVA ในขั้นต่อไปได้



ผลการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.1 แสดงดังตารางที่ 4-12 ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-10

ตารางที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ  
ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

Statistical Test	Value	$F_{Wilks' \text{ Lambda}}$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
Wilks' Lambda	0.37	15.48*	<.01	.63	1.00

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ด้วยสถิติ Wilks' Lambda ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ 0.37 และค่าสถิติทดสอบ  $F_{Wilks' \text{ Lambda}}$  เท่ากับ 15.48 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  น้อยกว่า .05 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .63 และค่า Observed Power เท่ากับ 1.00 ซึ่งให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูก จากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงขึ้น หลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติเป็นจำนวน 12 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2.1

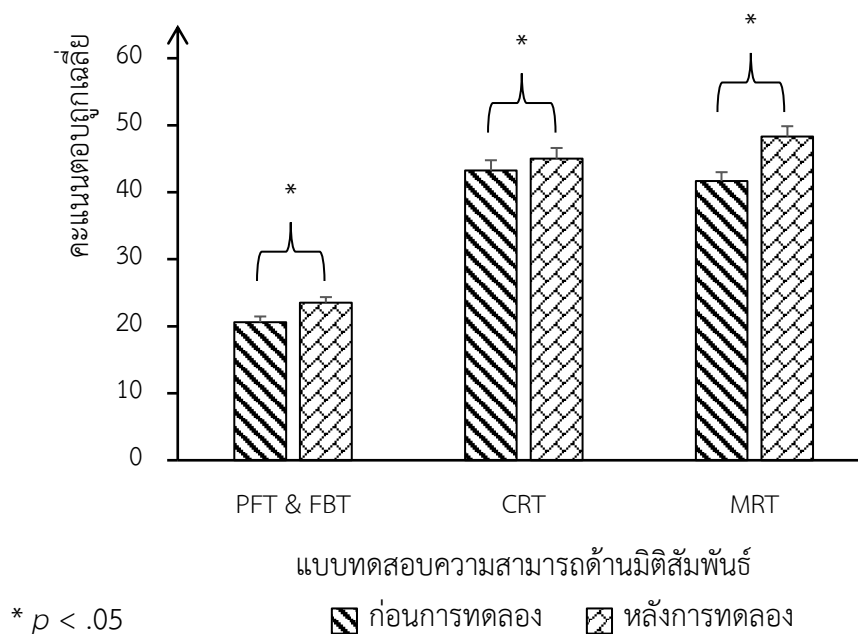
ตารางที่ 4-13 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ  
ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง  
จำแนกตามแบบทดสอบ

แบบทดสอบ	คะแนนตอบถูกเฉลี่ย		$F$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง				
PFT & FBT	20.60	23.53	22.97*	<.01	.44	1.00
CRT	43.23	45.00	5.69*	.02	.16	.64
MRT	41.67	48.30	26.49*	<.01	.48	1.00

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-13 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามแบบทดสอบ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ได้ค่าสถิติ  $F$  เท่ากับ 22.97 ( $p < .01$ ), 5.69 ( $p = .02$ ) และ 26.49 ( $p < .01$ ) ตามลำดับ แสดงว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูกของแต่ละแบบทดสอบ หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .44, .16 และ .48 และค่า Observed Power เท่ากับ 1.00, .64 และ 1.00 ตามลำดับของแบบทดสอบชี้ให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูกของแต่ละแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงขึ้น หลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง

ผลความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง แสดงเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 กราฟแท่งแสดงความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ยจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

2.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ  
 ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง  
 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถ  
 ด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง  
 ในกลุ่มทดลอง โดยสถิติ Repeated MANOVA แสดงดังนี้

ตารางที่ 4-14 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของเวลาตอบ ในการทำ  
 แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง  
 ในกลุ่มทดลอง

Statistical Test	Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	<i>p</i>
Bartlett's Test	0.00	11.69*	.04

\*  $p < .05$

จากตาราง 4-14 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ปรากฏว่า สถิติ  
 ทดสอบ Likelihood Ratio ของ Bartlett's Test มีค่าเท่ากับ 0.00 และค่าสถิติทดสอบไค-สแควร์  
 มีค่าเท่ากับ 11.69 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  เท่ากับ .04 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมทริกซ์ความสัมพันธ์  
 ของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT,  
 CRT และ MRT ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง แตกต่างจากเมทริกซ์เอกลักษณ์ อย่างมีนัยสำคัญ  
 ทางสถิติที่ระดับ .05 หมายความว่า เวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์  
 มีความสัมพันธ์เพียงพอที่จะนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ระหว่างก่อนและหลัง  
 การทดลอง ในกลุ่มทดลอง โดยสถิติ Repeated MANOVA ในขั้นต่อไปได้

ผลการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.2 แสดงดังตารางที่ 4-15 ตารางที่ 4-16 และภาพที่ 4-11

ตารางที่ 4-15 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถ  
 ด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

Statistical Test	Value	$F_{Wilks' \text{ Lambda}}$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
Wilks' Lambda	0.09	94.95*	<.01	.91	1.00

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-15 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ด้วยสถิติ Wilks' Lambda ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ .09 และค่าสถิติทดสอบ  $F_{Wilks' Lambda}$  เท่ากับ 94.95 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p < .01$  แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .91 และค่า Observed Power เท่ากับ 1.00 ซึ่งให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลอง ทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยใช้เวลาน้อยลง หลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2.2

ตารางที่ 4-16 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามแบบทดสอบ

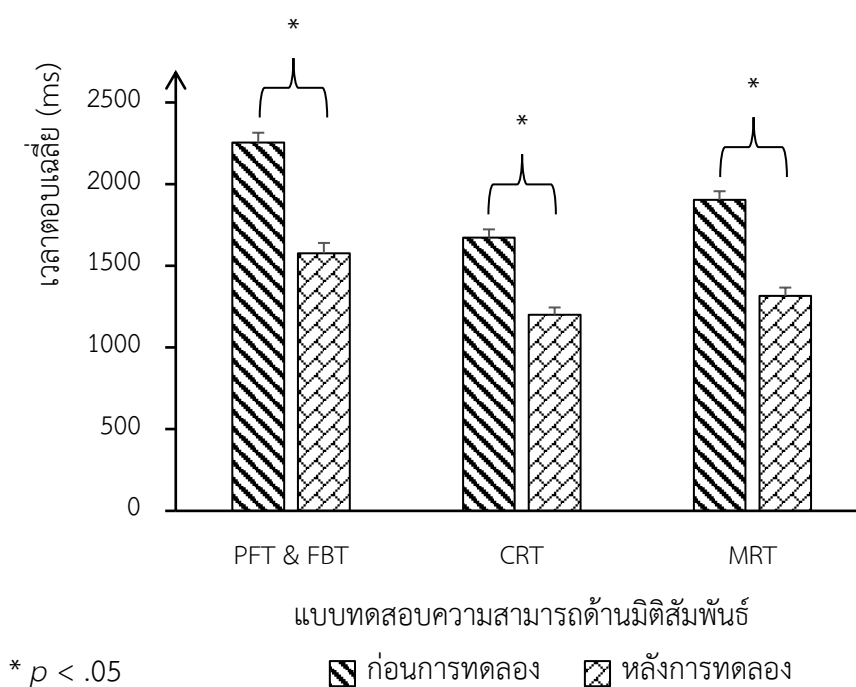
แบบทดสอบ	เวลาตอบเฉลี่ย (ms)		F	p	$\eta^2$	Observed Power
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง				
PFT & FBT	2255.18	1576.29	180.35*	<.01	.86	1.00
CRT	1673.45	1200.41	62.80*	<.01	.68	1.00
MRT	1903.44	1316.23	47.01*	<.01	.62	1.00

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-16 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามแบบทดสอบ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 180.35 ( $p < .01$ ), 62.80 ( $p < .01$ ) และ 47.01 ( $p < .01$ ) ตามลำดับ แสดงว่า กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบของแต่ละแบบทดสอบ หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .86, .68 และ .62 และค่า Observed Power เท่ากับ 1.00, 1.00 และ 1.00 ตามลำดับของแบบทดสอบ ซึ่งให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลอง

ใช้เวลาตอบในแต่ละแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์น้อยลง หลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง

ผลความแตกต่างของเวลาตอบเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง แสดงเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 กราฟแท่งแสดงความแตกต่างของเวลาตอบเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

3. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ) ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

3.1 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยสถิติ One-Way MANOVA แสดงดังนี้

ตารางที่ 4-17 ผลการทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Statistical Test	Value	$F_{Box's M}$	$p$
Box's M Test	6.35	1.00	.42

จากตารางที่ 4-17 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุแบบทางเดียว (One-Way MANOVA) โดยการทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ได้ค่าสถิติทดสอบ Box's M เท่ากับ 6.35 และค่าสถิติทดสอบ  $F_{Box's M}$  เท่ากับ 1.00 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  เท่ากับ .42 แสดงให้เห็นว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-18 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Statistical Test	Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	$p$
Bartlett's Test	0.00	36.55*	<.01

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-18 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Likelihood Ratio ของ Bartlett's Test มีค่าเท่ากับ 0.00 และสถิติทดสอบไค-สแควร์ มีค่าเท่ากับ 36.55 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p < .01$  ซึ่งให้เห็นว่า เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แตกต่างจากเมทริกซ์เอกลักษณ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หมายความว่า เวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีความสัมพันธ์เพียงพอที่จะนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก โดยสถิติ One-Way MANOVA ในขั้นต่อไปได้

ผลการศึกษาในตารางที่ 4-17 และตารางที่ 4-18 ชี้ให้เห็นว่า เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุ จึงสามารถทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุแบบทางเดียวได้ในขั้นต่อไป

ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2.3 แสดงในตารางที่ 4-19 ตารางที่ 4-21 และภาพที่ 4-12

ตารางที่ 4-19 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Statistical Test	Value	$F_{\text{Wilks' Lambda}}$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
Wilks' Lambda	0.70	7.82*	<.01	.30	.98

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-19 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยสถิติ Wilks' Lambda ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ 0.70 และค่าสถิติทดสอบ  $F_{\text{Wilks' Lambda}}$  เท่ากับ 7.82 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p < .01$  แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูกในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .30 และค่า Observed Power เท่ากับ .98 ชี้ให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลองทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ได้คะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุม หลังได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2.3

ตารางที่ 4-20 ผลการทดสอบความแปรปรวนของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ

แบบทดสอบ	$F_{\text{Levene's test}}$	$df1$	$df2$	$p$
PFT & FBT	0.00	1.00	58.00	.95
CRT	2.68	1.00	58.00	.11
MRT	3.38	1.00	58.00	.07

จากตารางที่ 4-20 ผลการทดสอบความแปรปรวนของคะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ ด้วยสถิติ Levene's Test ปรากฏว่า คะแนนตอบถูกหลังการทดลอง ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ให้ค่าสถิติ  $F_{\text{Levene's test}}$  เท่ากับ 0.00 ( $p=.95$ ), 2.68 ( $p=.11$ ) และ 3.38 ( $p=.07$ ) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า คะแนนตอบถูก หลังการทดลอง ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนระหว่างกลุ่ม ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-21 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ

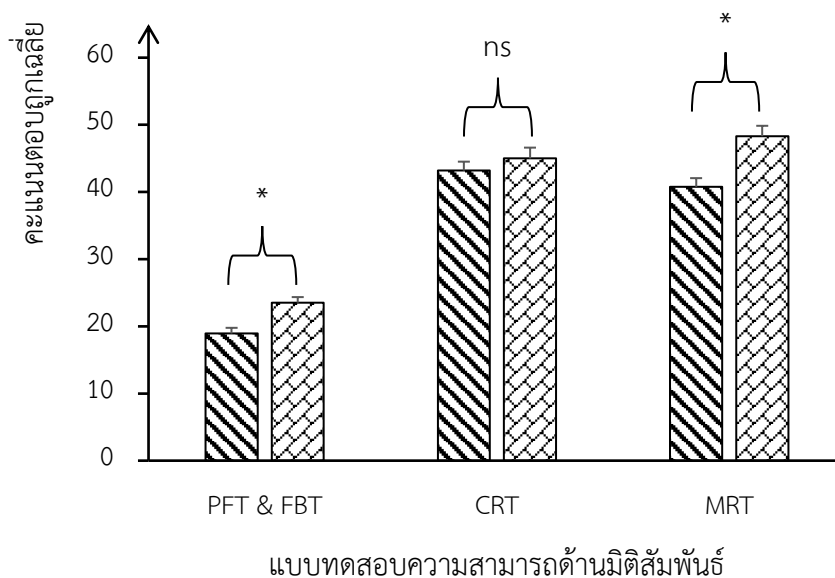
แบบทดสอบ	คะแนนตอบถูกเฉลี่ย		$F$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม				
PFT & FBT	23.53	18.93	15.27*	<.01	.21	.97
CRT	45.00	43.20	0.75	.39	.01	.14
MRT	48.30	40.77	13.90*	<.01	.19	.96

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-21 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ได้ค่าสถิติ  $F$  เท่ากับ 15.27 ( $p<.01$ ), 0.75 ( $p=.39$ ) และ 13.90 ( $p<.01$ ) ตามลำดับ แสดงว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูก หลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .21 และ .19 และค่า Observed Power เท่ากับ .97 และ .96 ตามลำดับของแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT ซึ่งให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลอง มีคะแนนตอบถูกหลังการทดลอง จากแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT สูงกว่ากลุ่มควบคุม หลังได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2.3 ส่วนคะแนนตอบถูกที่ได้จากแบบทดสอบ CRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน



ผลความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ย หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แสดงเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4-12



\*  $p < .05$

▨ กลุ่มควบคุม

▩ กลุ่มทดลอง

ns ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 4-12 กราฟแท่งแสดงความแตกต่างของคะแนนตอบถูกเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

3.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยสถิติ One-Way MANOVA แสดงดังนี้

ตารางที่ 4-22 ผลการทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Statistical Test	Value	$F_{Box's M}$	$p$
Box's M Test	9.65	1.52	.17

จากตารางที่ 4-22 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุแบบทางเดียว โดยการทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ได้ค่าสถิติทดสอบ Box's M เท่ากับ 9.65 และค่าสถิติทดสอบ  $F_{Box's M}$  เท่ากับ 1.52 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  เท่ากับ .17 แสดงให้เห็นว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-23 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Statistical Test	Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	$p$
Bartlett's Test	0.00	10.94*	<.05

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-23 ผลการตรวจสอบ Bartlett's Test of Sphericity ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Likelihood Ratio ของ Bartlett's Test มีค่าเท่ากับ 0.00 และสถิติทดสอบไค-สแควร์ มีค่าเท่ากับ 10.94 โดยมีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p < .05$  ซึ่งให้เห็นว่า เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แตกต่างจากเมทริกซ์เอกลักษณ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หมายความว่า เวลาตอบในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีความสัมพันธ์เพียงพอที่จะนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ โดยสถิติ One-Way MANOVA ในขั้นต่อไปได้

ผลการศึกษาในตารางที่ 4-22 และตารางที่ 4-23 ซึ่งให้เห็นว่า เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุ จึงสามารถทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุแบบทางเดียวได้ในขั้นต่อไป

ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2.4 แสดงในตารางที่ 4-24 ตารางที่ 4-26 และภาพที่ 4-13

ตารางที่ 4-24 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถ ด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Statistical Test	Value	$F_{\text{Wilks' Lambda}}$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
Wilks' Lambda	0.40	27.67*	<.01	.60	1.00

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-24 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยสถิติ Wilks' Lambda ปรากฏว่า สถิติทดสอบ Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ 0.40 และค่าสถิติทดสอบ  $F_{\text{Wilks' Lambda}}$  เท่ากับ 27.67 โดยมีค่าความน่าจะเป็น ทางสถิติ  $p < .01$  แสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้าน มิติสัมพันธ์ หลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผล การวิเคราะห์ที่ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .60 และค่า Observed Power เท่ากับ 1.00 ซึ่งให้เห็นว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลอง ทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ใช้เวลาน้อย กว่ากลุ่มควบคุม หลังได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็น จำนวน 12 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2.4

ตารางที่ 4-25 ผลการทดสอบความแปรปรวนของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ

แบบทดสอบ	$F_{\text{Levene's test}}$	$df1$	$df2$	$p$
PFT & FBT	2.95	1	58	.09
CRT	4.25*	1	58	.04
MRT	1.21	1	58	.28

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-25 ผลการทดสอบความแปรปรวนของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่าง กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ ด้วยสถิติ Levene's Test ปรากฏว่า เวลา ตอบ หลังการทดลอง จากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT,

CRT และ MRT ให้ค่าสถิติ  $F_{Levene's\ test}$  เท่ากับ 2.95 ( $p=.09$ ), 4.25 ( $p=.04$ ) และ 1.21 ( $p=.28$ ) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เวลาตอบหลังการทดลอง จากแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน ส่วนเวลาตอบหลังการทดลองจากแบบทดสอบ CRT มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนระหว่างกลุ่มแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีจำนวนเท่ากัน ดังนั้น ลักษณะความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของเวลาตอบ ระหว่างกลุ่ม ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2014)

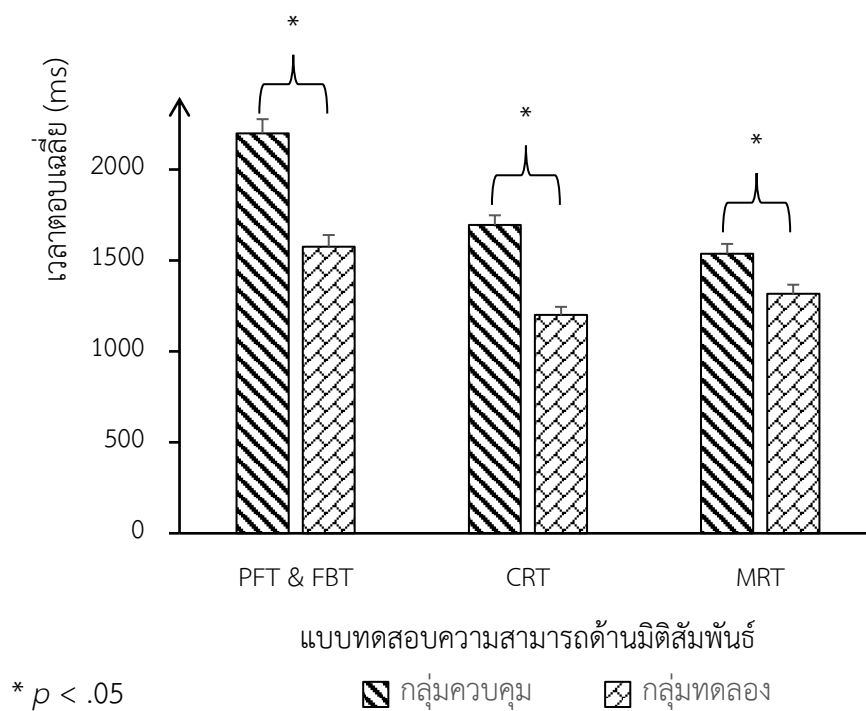
ตารางที่ 4-26 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ

แบบทดสอบ	เวลาตอบเฉลี่ย (ms)		$F$	$p$	$\eta^2$	Observed Power
	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม				
PFT & FBT	1576.29	2198.78	38.06*	<.01	.40	1.00
CRT	1200.41	1694.93	50.29*	<.01	.46	1.00
MRT	1316.23	1536.58	8.78*	<.01	.13	.83

\*  $p < .05$

จากตารางที่ 4-26 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามแบบทดสอบ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ได้ค่าสถิติ  $F$  เท่ากับ 38.06 ( $p=.00$ ), 50.29 ( $p=.00$ ) และ 8.78 ( $p=.00$ ) ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่า กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบหลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ปรากฏค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .40, .46 และ .13 และค่า Observed Power เท่ากับ 1.00, 1.00 และ .83 ตามลำดับของแบบทดสอบ PFT & FBT, CRT และ MRT ซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้กลุ่มทดลอง ใช้เวลาตอบหลังการทดลอง จากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ น้อยกว่ากลุ่มควบคุม หลังได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2.4

ผลการเปรียบเทียบเวลาตอบเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์  
หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แสดงเป็นกราฟแท่ง ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 กราฟแท่งแสดงความแตกต่างของเวลาตอบเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ส่วนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์

1. ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของข้อมูลด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง P300

1.1 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง

P300

ตารางที่ 4-27 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามระยะการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
ก่อนการทดลอง						
Fp1	0.67	0.56	0.22	-0.38	0.98	.70
Fp2	2.89	1.74	-0.22	-0.92	0.96	.29
F3	1.07	0.93	0.44	-0.01	0.97	.60
F4	0.95	0.82	0.89	0.02	0.90*	.01
C3	1.30	0.71	0.44	0.18	0.97	.66
C4	1.50	0.89	0.44	-0.02	0.96	.37
P3	2.20	0.75	0.57	0.23	0.96	.34
P4	2.64	0.99	0.47	-0.63	0.95	.16
T6	2.74	1.20	0.50	0.36	0.96	.23
T5	2.36	1.00	0.44	-0.57	0.97	.41
T4	1.87	1.12	0.15	-0.09	0.98	.91
T3	3.41	0.91	-0.04	0.90	0.98	.90
F8	1.50	1.33	-0.39	0.63	0.98	.90
F7	2.26	1.51	0.55	0.23	0.97	.54
O2	1.86	1.13	1.36	3.22	0.90*	.01
O1	3.12	0.85	0.59	0.27	0.96	.36
Cz	1.20	0.73	0.34	-0.13	0.98	.73
Fz	0.99	1.00	1.18	1.77	0.92*	.02
Pz	2.77	1.01	0.48	-0.56	0.95	.18

ตารางที่ 4-27 (ต่อ)

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
หลังการทดลอง						
Fp1	1.72	1.61	1.51	4.02	0.90*	.01
Fp2	2.68	1.95	-0.11	0.84	0.98	.91
F3	1.95	1.61	0.37	-0.74	0.96	.35
F4	1.63	1.15	0.59	-0.95	0.90*	.01
C3	1.64	0.65	0.30	0.58	0.98	.94
C4	2.22	1.03	0.92	3.69	0.93*	.04
P3	3.08	0.93	0.72	0.30	0.96	.24
P4	3.65	1.09	0.61	-0.17	0.94	.12
T6	3.61	1.24	0.01	0.18	0.98	.89
T5	2.95	1.11	0.38	0.58	0.98	.90
T4	2.62	1.05	0.02	-0.87	0.98	.71
T3	4.11	1.32	0.43	-0.26	0.98	.77
F8	2.53	1.69	0.80	-0.66	0.88*	<.01
F7	2.09	1.87	-0.63	2.24	0.95	.21
O2	2.10	1.01	-0.02	1.14	0.97	.62
O1	3.42	0.98	0.67	-0.26	0.94	.10
Cz	1.61	0.96	0.30	-0.37	0.98	.74
Fz	1.03	0.95	1.12	1.31	0.91*	.02
Pz	3.70	1.17	0.22	-0.70	0.98	.74

\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-27 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามระยะการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า ก่อนการทดลองข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, C3, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F8, F7, O1, Cz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, C3, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F8, F7, O1, Cz และ Pz ในกลุ่มทดลอง ก่อนการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูล

แบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง F4, O2 และ Fz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง F4, O2 และ Fz มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง F4, O2 และ Fz ในกลุ่มทดลอง ก่อนการทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า หลังการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp2, F3, C3, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp2, F3, C3, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz และ Pz ในกลุ่มทดลอง หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, F4, C4, F8 และ Fz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, F4, C4, F8 และ Fz มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, F4, C4, F8 และ Fz ในกลุ่มทดลอง หลังการทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

สรุปได้ว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ซึ่งให้เห็นว่า สามารถนำข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง ไปทดสอบด้วยสถิติอื่นในขั้นตอนต่อไปได้

ตารางที่ 4-28 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามระยะเวลาการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	$M$ ( $\mu v$ )	$SD$	$SK$	$KU$	Shapiro-Wilk	$p$
ก่อนการทดลอง						
Fp1	2.78	1.89	0.74	0.47	0.95	.13
Fp2	2.98	1.76	-0.31	-0.74	0.97	.46
F3	2.74	1.93	0.51	-0.11	0.96	.35
F4	0.96	0.81	0.49	-0.09	0.97	.46
C3	0.94	0.65	0.26	0.18	0.98	.83
C4	1.42	0.50	0.35	-0.74	0.96	.36



ตารางที่ 4-28 (ต่อ)

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
P3	2.23	0.75	1.86	3.92	0.81*	<.01
P4	2.88	0.75	0.57	-0.36	0.95	.19
T6	3.08	0.85	1.83	6.95	0.84*	<.01
T5	2.37	0.92	1.09	1.06	0.91*	.02
T4	2.08	1.05	1.08	2.88	0.93*	.05
T3	3.26	0.93	0.64	-0.24	0.94	.10
F8	2.20	0.93	0.25	1.26	0.95	.21
F7	1.61	1.23	0.04	-0.79	0.98	.71
O2	1.32	0.90	0.09	-0.59	0.98	.74
O1	3.11	0.91	0.14	-0.54	0.97	.66
Cz	1.11	0.59	0.29	-0.87	0.96	.41
Fz	0.67	0.74	0.25	-0.85	0.96	.39
Pz	2.74	0.72	0.17	-0.14	0.98	.90
หลังการทดลอง						
Fp1	0.76	0.77	0.23	-0.11	0.98	.75
Fp2	2.40	1.59	0.72	0.07	0.95	.14
F3	1.20	1.17	0.72	0.37	0.95	.21
F4	1.01	0.60	-0.19	-0.45	0.97	.66
C3	1.06	0.64	0.46	-0.65	0.96	.29
C4	1.89	0.69	0.67	0.08	0.94	.10
P3	2.51	0.64	-0.67	0.38	0.95	.16
P4	3.29	0.82	0.05	-0.37	0.97	.50
T6	3.47	0.88	0.56	-0.76	0.91*	.02
T5	2.63	0.95	-0.43	-0.33	0.96	.30
T4	2.27	0.62	-0.11	-0.34	0.96	.40
T3	3.51	0.90	0.67	0.90	0.96	.29
F8	2.47	1.41	0.38	-1.11	0.93*	.04
F7	1.97	2.13	0.23	0.13	0.98	.72

ตารางที่ 4-28 (ต่อ)

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
O2	1.81	1.49	0.39	0.53	0.98	.85
O1	3.86	1.12	0.76	0.60	0.95	.19
Cz	1.43	0.88	0.25	-0.57	0.97	.48
Fz	0.83	0.66	0.08	-0.57	0.96	.35
Pz	3.20	0.79	-0.05	-0.72	0.97	.61

\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-28 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามระยะการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า ก่อนการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P4, T3, F8, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P4, T3, F8, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz ในกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง P3, T6, T5 และ T4 มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง P3, T6, T5 และ T4 มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง P3, T6, T5 และ T4 ในกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความสูง P300 ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า หลังการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz ในกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง T6 และ F8 มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง T6 และ F8 มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง T6 และ F8 ในกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง มีลักษณะการแจก

แรงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

สรุปได้ว่า ข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มควบคุม มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ซึ่งให้เห็นว่า สามารถนำข้อมูลความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม ไปทดสอบด้วยสถิติอื่น ในขั้นตอนต่อไปได้

1.2 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300

ตารางที่ 4-29 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามระยะการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
ก่อนการทดลอง						
Fp1	487.16	43.45	-0.46	-0.55	0.96	.32
Fp2	479.42	44.35	0.12	-1.13	0.94	.12
F3	466.24	47.74	-0.35	-0.37	0.97	.41
F4	455.26	44.06	-0.72	0.81	0.94	.11
C3	468.11	43.09	-0.11	-0.64	0.98	.89
C4	450.73	44.48	0.19	-0.83	0.97	.48
P3	455.40	41.15	0.29	-0.60	0.97	.53
P4	433.67	37.31	0.33	-0.86	0.96	.26
T6	412.71	41.61	0.42	-1.04	0.93	.06
T5	415.00	41.06	0.34	0.16	0.96	.27
T4	465.33	44.18	-0.18	-0.68	0.98	.74
T3	432.98	51.41	0.52	-0.32	0.95	.21
F8	490.73	43.89	-0.89	-0.39	0.88*	<.01
F7	460.53	40.91	0.35	-0.50	0.95	.22
O2	428.22	43.94	0.15	-0.63	0.98	.87
O1	429.78	46.01	0.02	-1.16	0.95	.15
Cz	472.24	47.77	-0.50	-0.37	0.95	.16
Fz	455.60	52.68	-0.29	-0.58	0.95	.18
Pz	440.56	43.10	0.27	0.28	0.99	.98

ตารางที่ 4-29 (ต่อ)

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
หลังการทดลอง						
Fp1	473.98	39.22	-0.13	-0.19	0.99	.98
Fp2	477.38	42.02	-0.28	0.03	0.97	.60
F3	443.29	50.78	0.37	-0.83	0.94	.08
F4	434.02	44.54	0.31	-0.66	0.96	.39
C3	441.09	43.97	-0.05	-1.16	0.95	.19
C4	430.76	44.15	0.06	-0.67	0.97	.62
P3	407.89	38.67	0.79	0.05	0.94	.10
P4	415.04	42.56	0.17	-1.21	0.94	.07
T6	411.56	33.25	0.35	-0.27	0.98	.77
T5	427.73	40.53	0.91	0.43	0.92*	.03
T4	444.56	41.57	0.56	-0.43	0.94	.10
T3	416.51	35.83	0.33	0.05	0.98	.80
F8	473.84	39.99	-0.21	0.00	0.97	.50
F7	417.64	41.67	0.97	1.17	0.94	.08
O2	445.51	38.94	0.31	0.67	0.98	.74
O1	438.84	40.98	0.62	0.64	0.97	.51
Cz	446.98	40.64	-0.15	-0.37	0.97	.50
Fz	456.69	58.64	0.08	-1.42	0.92*	.02
Pz	419.07	44.02	0.56	0.17	0.97	.42

\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-29 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามระยะการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า ก่อนการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz ในกลุ่มทดลอง ก่อน

การทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง F8 มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง F8 มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง F8 ในกลุ่มทดลอง ก่อนการทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า หลังการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T6, T4, T3, F8, F7, O2, O1, Cz, และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T6, T4, T3, F8, F7, O2, O1, Cz, และ Pz ในกลุ่มทดลอง หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง T5 และ Fz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง T5 และ Fz มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง T5 และ Fz ในกลุ่มทดลอง หลังการทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

สรุปได้ว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ซึ่งให้เห็นว่า สามารถนำข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มทดลอง ไปทดสอบด้วยสถิติอื่นในขั้นตอนต่อไปได้

ตารางที่ 4-30 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามระยะเวลาการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	$M$ (ms)	$SD$	$SK$	$KU$	Shapiro-Wilk	$p$
ก่อนการทดลอง						
Fp1	465.84	47.24	0.13	-1.31	0.94	.07
Fp2	465.42	44.60	0.17	-0.90	0.97	.41
F3	459.27	42.85	-0.64	0.82	0.95	.20
F4	442.07	46.67	-0.15	-0.58	0.98	.91
C3	438.07	48.60	-0.18	-0.50	0.96	.38
C4	446.96	45.30	-0.11	-0.73	0.98	.82

ตารางที่ 4-30 (ต่อ)

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
P3	464.24	47.05	-0.72	-0.19	0.94	.09
P4	425.62	47.19	-0.06	-0.84	0.96	.24
T6	427.84	44.16	0.47	0.49	0.97	.43
T5	437.42	47.79	0.24	-0.06	0.95	.20
T4	435.53	51.52	0.17	-0.88	0.96	.38
T3	424.82	46.74	0.21	-0.63	0.96	.36
F8	455.07	38.55	0.17	0.01	0.97	.57
F7	463.58	37.96	0.29	-0.54	0.97	.41
O2	426.38	42.55	0.88	1.27	0.94	.11
O1	421.20	40.44	0.43	1.41	0.95	.15
Cz	452.98	53.69	-0.04	-1.09	0.96	.30
Fz	445.36	50.06	0.02	-0.79	0.98	.71
Pz	430.18	50.28	0.01	-1.30	0.94	.08
หลังการทดลอง						
Fp1	471.22	35.73	-0.07	-0.69	0.96	.31
Fp2	472.69	37.80	-0.50	-0.06	0.97	.56
F3	461.98	36.57	0.36	-1.10	0.93	.06
F4	444.31	47.40	-0.26	-0.29	0.95	.20
C3	448.82	51.66	-0.61	-1.03	0.89*	.01
C4	453.62	54.32	-0.16	-0.55	0.97	.45
P3	459.58	48.62	0.08	-1.05	0.95	.18
P4	419.00	40.70	0.46	0.03	0.97	.60
T6	426.18	39.55	0.12	-0.93	0.97	.42
T5	434.00	42.74	0.05	-0.87	0.97	.63
T4	456.07	46.44	-0.03	-0.73	0.97	.65
T3	413.67	39.67	0.28	-0.24	0.96	.39
F8	493.16	39.66	-1.03	1.00	0.90*	.01
F7	437.60	38.57	-0.20	-0.95	0.96	.33

ตารางที่ 4-30 (ต่อ)

เวลาวัด/ อิเล็กโทรด	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	<i>SK</i>	<i>KU</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
O2	434.11	42.93	0.92	1.00	0.94	.07
O1	432.56	34.98	0.68	0.53	0.95	.21
Cz	462.69	52.46	-0.45	-0.95	0.94	.07
Fz	463.62	55.88	-0.62	-0.93	0.90*	.01
Pz	432.96	45.34	0.02	-1.06	0.97	.45

\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-30 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม จำแนกตามระยะการวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า ก่อนการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F8, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F8, F7, O2, O1, Cz, Fz และ Pz ในกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ

นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ของความกว้าง P300 ของคลื่นไฟฟ้าสมอง จำแนกตามเวลาวัดและตำแหน่งอิเล็กโทรด ปรากฏว่า หลังการทดลอง ข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz และ Pz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk มากกว่า .05 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง Fp1, Fp2, F3, F4, C4, P3, P4, T6, T5, T4, T3, F7, O2, O1, Cz และ Pz ในกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ส่วนข้อมูลจากอิเล็กโทรดตำแหน่ง C3, F8 และ Fz มีค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ  $p$  ของสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk น้อยกว่า .05 และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเบ้และความโด่งของข้อมูล จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง C3, F8 และ Fz มีค่ายกกำลังสองไม่เกิน 6 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากอิเล็กโทรดตำแหน่ง C3, F8 และ Fz ในกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลใกล้เคียงกับโค้งปกติที่สามารถยอมรับได้

สรุปได้ว่า ข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในกลุ่มควบคุม มีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ซึ่งให้เห็นว่า สามารถนำข้อมูลความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในกลุ่มควบคุม ไปทดสอบด้วยสถิติอื่น ในขั้นตอนต่อไปได้

2. ผลการเปรียบเทียบด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

2.1 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

ผลการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.5 แสดงดังตารางที่ 4-31 และภาพที่ 4-14

ตารางที่ 4-31 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

อิเล็กโทรด	ระยะเวลาวัด	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
Fp1	หลังการทดลอง	1.72	1.61	-2.87*	<.01
	ก่อนการทดลอง	0.67	0.56		
Fp2	หลังการทดลอง	2.68	1.95	-0.46	.32
	ก่อนการทดลอง	2.89	1.74		
F3	หลังการทดลอง	1.95	1.61	-1.96*	.02
	ก่อนการทดลอง	1.07	0.93		
F4	หลังการทดลอง	1.63	1.15	-2.66*	.01
	ก่อนการทดลอง	0.95	0.82		
C3	หลังการทดลอง	1.64	0.65	-1.84*	.04
	ก่อนการทดลอง	1.30	0.71		
C4	หลังการทดลอง	2.22	1.03	-3.03*	<.01
	ก่อนการทดลอง	1.50	0.89		
P3	หลังการทดลอง	3.08	0.93	-3.84*	<.01
	ก่อนการทดลอง	2.20	0.75		
P4	หลังการทดลอง	3.65	1.09	-4.04*	<.01
	ก่อนการทดลอง	2.64	0.99		
T6	หลังการทดลอง	3.61	1.24	-3.55*	<.01
	ก่อนการทดลอง	2.74	1.20		
T5	หลังการทดลอง	2.95	1.11	-2.50*	.01
	ก่อนการทดลอง	2.36	1.00		



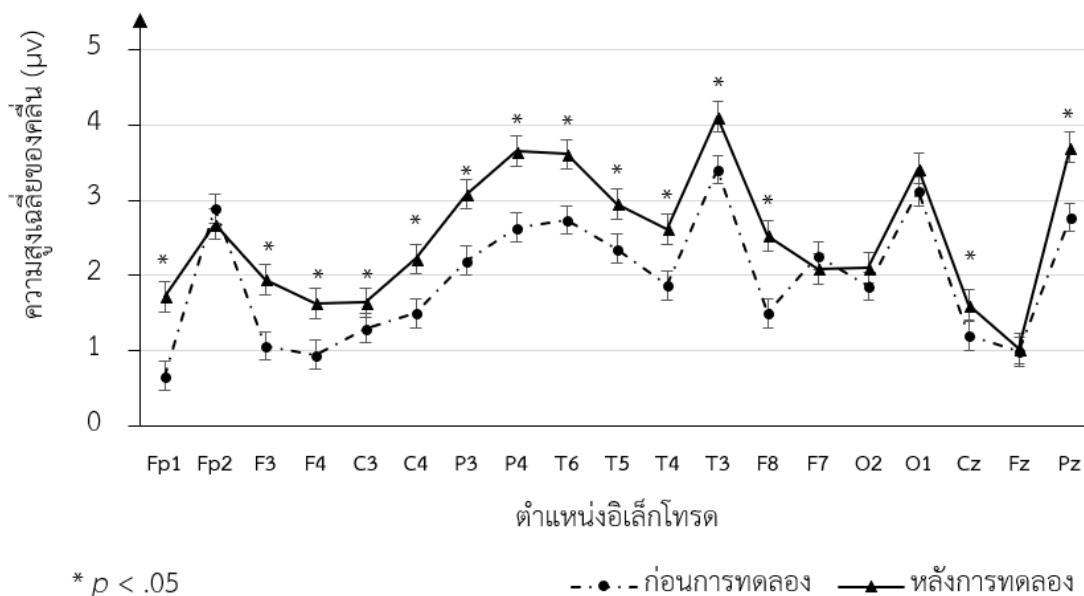
ตารางที่ 4-31 (ต่อ)

อิเล็กโทรด	ระยะการวัด	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
T4	หลังการทดลอง	2.62	1.05	-3.40*	<.01
	ก่อนการทดลอง	1.87	1.12		
T3	หลังการทดลอง	4.11	1.32	-2.46*	.01
	ก่อนการทดลอง	3.41	0.91		
F8	หลังการทดลอง	2.53	1.69	-2.44*	.01
	ก่อนการทดลอง	1.50	1.33		
F7	หลังการทดลอง	2.09	1.87	-0.36	.36
	ก่อนการทดลอง	2.26	1.51		
O2	หลังการทดลอง	2.10	1.01	-1.49	.07
	ก่อนการทดลอง	1.86	1.13		
O1	หลังการทดลอง	3.42	0.98	-1.43	.08
	ก่อนการทดลอง	3.12	0.85		
Cz	หลังการทดลอง	1.61	0.96	-2.15*	.02
	ก่อนการทดลอง	1.20	0.73		
Fz	หลังการทดลอง	1.03	0.95	-0.55	.30
	ก่อนการทดลอง	0.99	1.00		
Pz	หลังการทดลอง	3.70	1.17	-3.45*	<.01
	ก่อนการทดลอง	2.77	1.01		

\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-31 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ที่ตำแหน่ง Fp1, F3, F4 และ F8 บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal Lobe) ที่ตำแหน่ง C3, C4, P3, P4, Cz และ Pz บริเวณเปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) ที่ตำแหน่ง T3, T4, T5 และ T6 ความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ในกลุ่มทดลอง หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.5 โดยมีรายละเอียดความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมอง

ด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ตามตำแหน่งอิเล็กโทรด  
 ดังภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-14 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

2.2 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

ผลการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.6 แสดงดังตารางที่ 4-32 และภาพที่ 4-15

ตารางที่ 4-32 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

อิเล็กโทรด	ระยะการวัด	$M$ (ms)	$SD$	Shapiro-Wilk	$p$
Fp1	หลังการทดลอง	473.98	39.22	-1.33	.09
	ก่อนการทดลอง	487.16	43.45		
Fp2	หลังการทดลอง	477.38	42.02	-0.06	.48
	ก่อนการทดลอง	479.42	44.35		

ตารางที่ 4-32 (ต่อ)

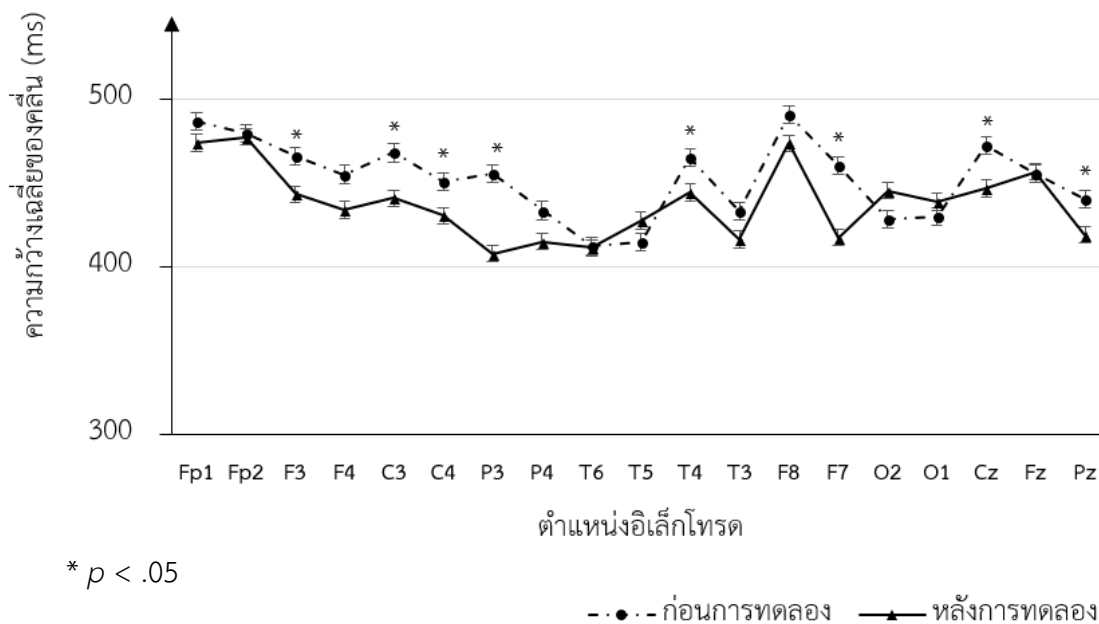
อิเล็กโทรด	เวลาวัด	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
F3	หลังการทดลอง	443.29	50.78	-2.27*	.01
	ก่อนการทดลอง	466.24	47.74		
F4	หลังการทดลอง	434.02	44.54	-1.57	.06
	ก่อนการทดลอง	455.26	44.06		
C3	หลังการทดลอง	441.09	43.97	-2.51*	.01
	ก่อนการทดลอง	468.11	43.09		
C4	หลังการทดลอง	430.76	44.15	-2.05*	.02
	ก่อนการทดลอง	450.73	44.48		
P3	หลังการทดลอง	407.89	38.67	-3.66*	<.01
	ก่อนการทดลอง	455.40	41.15		
P4	หลังการทดลอง	415.04	42.56	-1.58	.06
	ก่อนการทดลอง	433.67	37.31		
T6	หลังการทดลอง	411.56	33.25	-0.10	.46
	ก่อนการทดลอง	412.71	41.61		
T5	หลังการทดลอง	427.73	40.53	-1.42	.08
	ก่อนการทดลอง	415.00	41.06		
T4	หลังการทดลอง	444.56	41.57	-2.20*	.02
	ก่อนการทดลอง	465.33	44.18		
T3	หลังการทดลอง	416.51	35.83	-1.64	.05
	ก่อนการทดลอง	432.98	51.41		
F8	หลังการทดลอง	473.84	39.99	-2.59*	.01
	ก่อนการทดลอง	490.73	43.89		
F7	หลังการทดลอง	417.64	41.67	-3.91*	<.01
	ก่อนการทดลอง	460.53	40.91		
O2	หลังการทดลอง	445.51	38.94	-1.29	.10
	ก่อนการทดลอง	428.22	43.94		
O1	หลังการทดลอง	438.84	40.98	-0.58	.28
	ก่อนการทดลอง	429.78	46.01		

ตารางที่ 4-32 (ต่อ)

อิเล็กโทรด	ระยะการวัด	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	Shapiro-Wilk	<i>p</i>
Cz	หลังการทดลอง	446.98	40.64	-2.28*	.01
	ก่อนการทดลอง	472.24	47.77		
Fz	หลังการทดลอง	456.69	58.64	-0.28	.39
	ก่อนการทดลอง	455.60	52.68		
Pz	หลังการทดลอง	419.07	44.02	-1.91*	.03
	ก่อนการทดลอง	440.56	43.10		

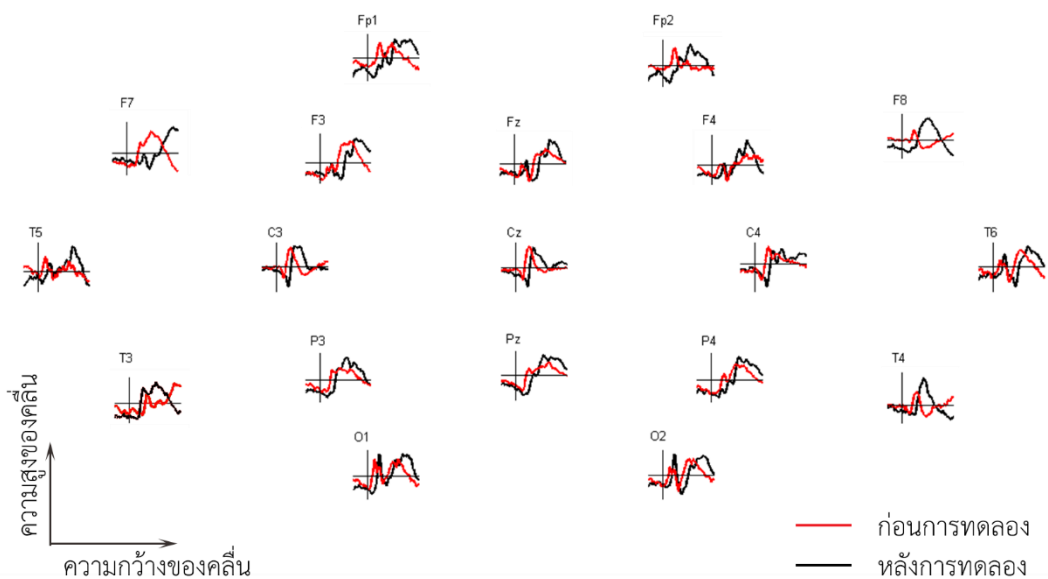
\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-32 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ปรากฏว่า บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ที่ตำแหน่ง F3, F7 และ F8 บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal Lobe) ที่ตำแหน่ง C3, C4, P3, Cz และ Pz บริเวณเปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) ที่ตำแหน่ง T4 ความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง น้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.6 โดยมีรายละเอียดความแตกต่างของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ตามตำแหน่งอิเล็กโทรด ดังภาพที่ 4-15

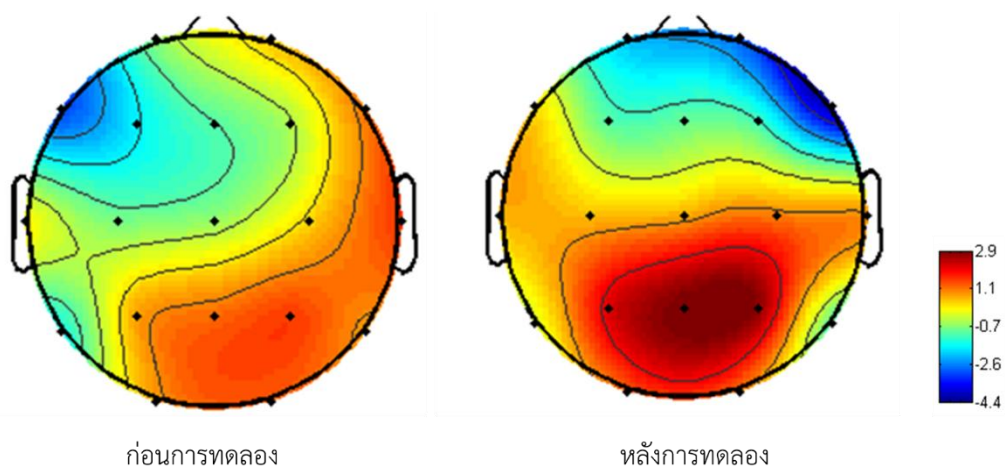


ภาพที่ 4-15 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความกว้างเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง สามารถสรุปผลเป็นแผนภาพคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ดังภาพที่ 4-16 และแผนภาพแสดงการกระตุ้นของสมอง ดังภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4-16 ภาพคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมอง ด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง



ภาพที่ 4-17 แผนภาพแสดงการกระตุ้นของสมอง ขณะ 425ms หลังสิ่งกระตุ้นเกิดขึ้น ขณะทำ กิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

3. ผลการเปรียบเทียบด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้าน มิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

3.1 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้น สมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

ผลการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.7 แสดงดังตารางที่ 4-33 และภาพที่ 4-18

ตารางที่ 4-33 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมอง  
ด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

อิเล็กโทรด	กลุ่มที่ศึกษา	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Fp1	กลุ่มทดลอง	1.72	1.61	2.95*	<.01
	กลุ่มควบคุม	0.76	0.77		
Fp2	กลุ่มทดลอง	2.68	1.95	0.62	.27
	กลุ่มควบคุม	2.40	1.59		
F3	กลุ่มทดลอง	1.95	1.61	2.07*	.02
	กลุ่มควบคุม	1.20	1.17		
F4	กลุ่มทดลอง	1.63	1.15	2.60*	.01
	กลุ่มควบคุม	1.01	0.60		
C3	กลุ่มทดลอง	1.64	0.65	3.46*	<.01
	กลุ่มควบคุม	1.06	0.64		
C4	กลุ่มทดลอง	2.22	1.03	1.47	.07
	กลุ่มควบคุม	1.89	0.69		
P3	กลุ่มทดลอง	3.08	0.93	2.75*	<.01
	กลุ่มควบคุม	2.51	0.64		
P4	กลุ่มทดลอง	3.65	1.09	1.45	.08
	กลุ่มควบคุม	3.29	0.82		
T6	กลุ่มทดลอง	3.61	1.24	0.52	.30
	กลุ่มควบคุม	3.47	0.88		
T5	กลุ่มทดลอง	2.95	1.11	1.21	.12
	กลุ่มควบคุม	2.63	0.95		
T4	กลุ่มทดลอง	2.62	1.05	1.54	.06
	กลุ่มควบคุม	2.27	0.62		
T3	กลุ่มทดลอง	4.11	1.32	2.08*	.02
	กลุ่มควบคุม	3.51	0.90		

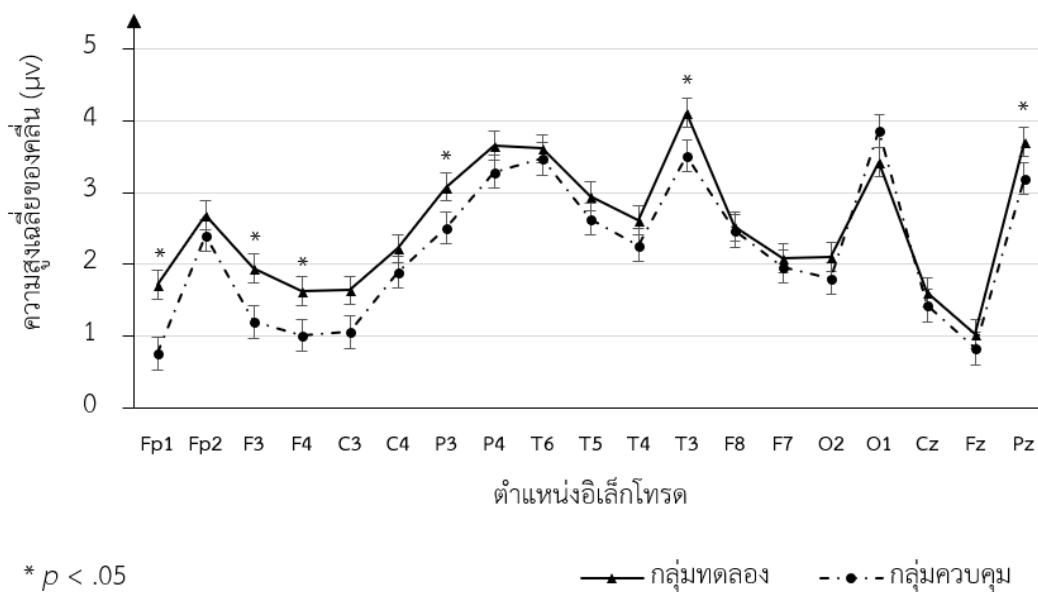
ตารางที่ 4-33 (ต่อ)

อิเล็กโทรด	กลุ่มที่ศึกษา	<i>M</i> ( $\mu$ v)	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
F8	กลุ่มทดลอง	2.53	1.69	0.16	.44
	กลุ่มควบคุม	2.47	1.41		
F7	กลุ่มทดลอง	2.09	1.87	0.24	.41
	กลุ่มควบคุม	1.97	2.13		
O2	กลุ่มทดลอง	2.10	1.01	0.89	.19
	กลุ่มควบคุม	1.81	1.49		
O1	กลุ่มทดลอง	3.42	0.98	-1.65	.05
	กลุ่มควบคุม	3.86	1.12		
Cz	กลุ่มทดลอง	1.61	0.96	0.75	.23
	กลุ่มควบคุม	1.43	0.88		
Fz	กลุ่มทดลอง	1.03	0.95	0.97	.17
	กลุ่มควบคุม	0.83	0.66		
Pz	กลุ่มทดลอง	3.70	1.17	1.95*	.03
	กลุ่มควบคุม	3.20	0.79		

\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-33 ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ที่ตำแหน่ง Fp1, F3 และ F4 บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal Lobe) ที่ตำแหน่ง C3, P3 และ Pz บริเวณเปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) ที่ตำแหน่ง T3 ความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.7 โดยมีรายละเอียดความแตกต่างของความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ตามตำแหน่งอิเล็กโทรด ดังภาพที่ 4-18





ภาพที่ 4-18 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

3.2 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

ผลการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.8 แสดงดังตารางที่ 4-34 และภาพที่ 4-19

ตารางที่ 4-34 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

อิเล็กโทรด	กลุ่มที่ศึกษา	$M$ (ms)	$SD$	$t$	$p$
Fp1	กลุ่มทดลอง	473.98	39.22	0.28	.39
	กลุ่มควบคุม	471.22	35.73		
Fp2	กลุ่มทดลอง	477.38	42.02	0.45	.33
	กลุ่มควบคุม	472.69	37.80		
F3	กลุ่มทดลอง	443.29	50.78	-1.64	.05
	กลุ่มควบคุม	461.98	36.57		
F4	กลุ่มทดลอง	434.02	44.54	-0.87	.19
	กลุ่มควบคุม	444.31	47.40		

ตารางที่ 4-34 (ต่อ)

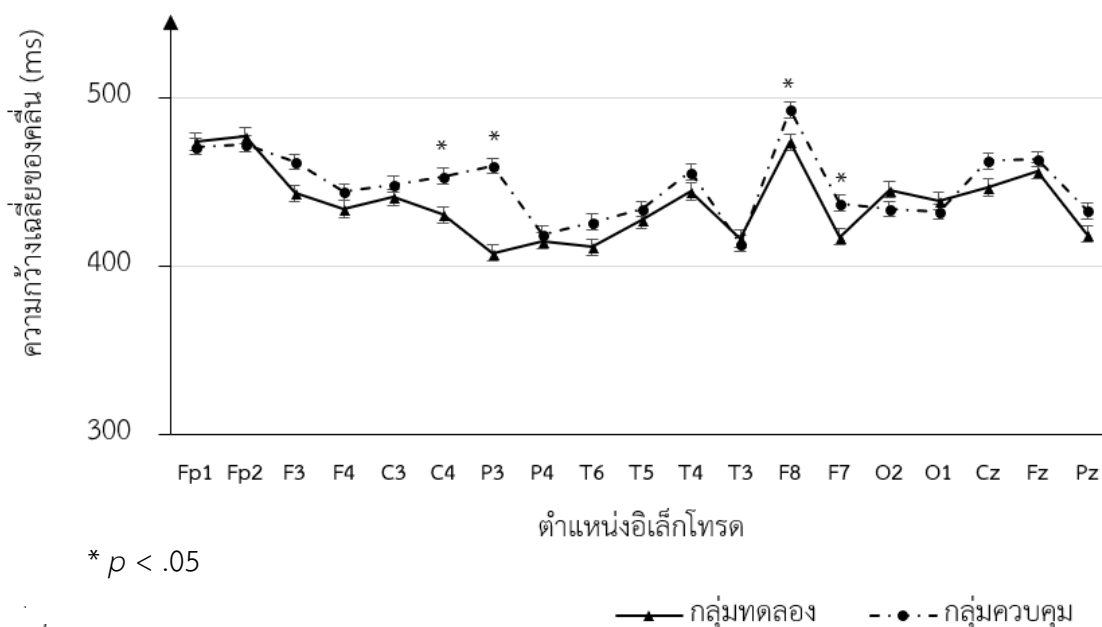
อิเล็กโทรด	กลุ่มที่ศึกษา	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
C3	กลุ่มทดลอง	441.09	43.97	-0.62	.27
	กลุ่มควบคุม	448.82	51.66		
C4	กลุ่มทดลอง	430.76	44.15	-1.79*	.04
	กลุ่มควบคุม	453.62	54.32		
P3	กลุ่มทดลอง	407.89	38.67	-4.56*	<.01
	กลุ่มควบคุม	459.58	48.62		
P4	กลุ่มทดลอง	415.04	42.56	-0.37	.36
	กลุ่มควบคุม	419.00	40.70		
T6	กลุ่มทดลอง	411.56	33.25	-1.55	.06
	กลุ่มควบคุม	426.18	39.55		
T5	กลุ่มทดลอง	427.73	40.53	-0.58	.28
	กลุ่มควบคุม	434.00	42.74		
T4	กลุ่มทดลอง	444.56	41.57	-1.01	.16
	กลุ่มควบคุม	456.07	46.44		
T3	กลุ่มทดลอง	416.51	35.83	0.29	.39
	กลุ่มควบคุม	413.67	39.67		
F8	กลุ่มทดลอง	473.84	39.99	-1.88*	.03
	กลุ่มควบคุม	493.16	39.66		
F7	กลุ่มทดลอง	417.64	41.67	-1.93*	.03
	กลุ่มควบคุม	437.60	38.57		
O2	กลุ่มทดลอง	445.51	38.94	1.08	.14
	กลุ่มควบคุม	434.11	42.93		
O1	กลุ่มทดลอง	438.84	40.98	0.64	.26
	กลุ่มควบคุม	432.56	34.98		
Cz	กลุ่มทดลอง	446.98	40.64	-1.30	.10
	กลุ่มควบคุม	462.69	52.46		
Fz	กลุ่มทดลอง	456.69	58.64	-0.47	.32
	กลุ่มควบคุม	463.62	55.88		

ตารางที่ 4-34 (ต่อ)

อิเล็กโทรด	กลุ่มที่ศึกษา	<i>M</i> (ms)	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Pz	กลุ่มทดลอง	419.07	44.02	-1.20	.12
	กลุ่มควบคุม	432.96	45.34		

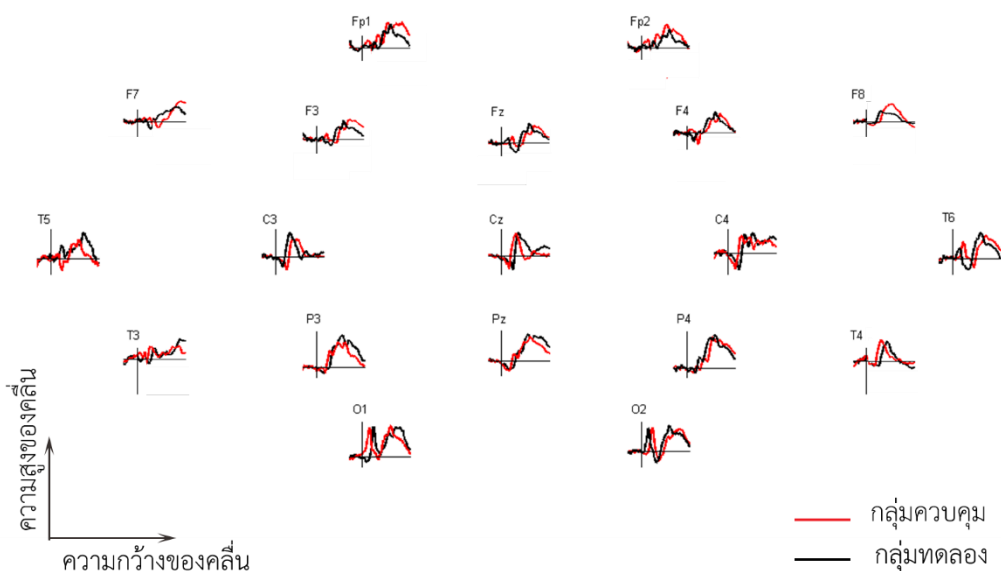
\*  $p < .05$ 

จากตารางที่ 4-34 ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ปรากฏว่าบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ที่ตำแหน่ง F7 และ F8 บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal Lobe) ที่ตำแหน่ง C4 และ P3 ความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ของกลุ่มทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามการตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 2.8 โดยมีรายละเอียดความแตกต่างของความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ตามตำแหน่งอิเล็กโทรด ดังภาพที่ 4-19

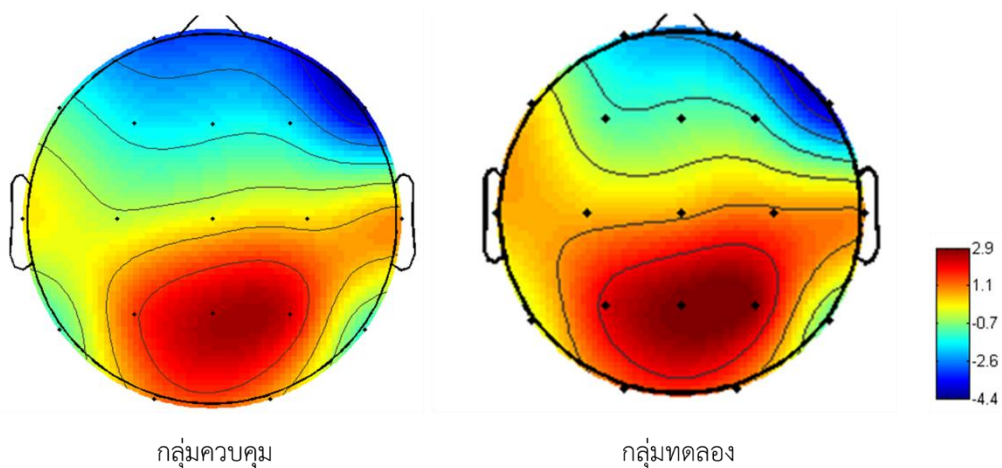


ภาพที่ 4-19 กราฟเส้นแสดงรายละเอียดความแตกต่างของความกว้างเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม สามารถสรุปผลเป็นแผนภาพคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ดังภาพที่ 4-20 และแผนภาพแสดงการกระตุ้นของสมอง ดังภาพที่ 4-21



ภาพที่ 4-20 ภาพคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม



ภาพที่ 4-21 แผนภาพแสดงการกระตุ้นของสมอง ขณะ 425ms หลังสิ่งกระตุ้นเกิดขึ้น ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) และเพื่อศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นสำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก เวลาตอบ และลักษณะของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง และการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก เวลาตอบ และลักษณะของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนแสนสุข ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ยินดีเข้าร่วมการวิจัย และได้รับการยินยอมจากผู้ปกครอง จำนวน 60 คน จัดเข้ากลุ่มโดยวิธีการสุ่มเข้ากลุ่มด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย ด้วยการจับฉลากรายชื่อคู่เพศเดียวกันแบบไม่คืนที่ แล้วสุ่มแยกคู่เข้ากลุ่มได้กลุ่มตัวอย่างเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 30 คน ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Pretest-Posttest Control-Group Design ตัวแปรตาม คือ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ มิติสัมพันธ์เชิงการมองเห็น มิติสัมพันธ์เชิงทิศทาง และมิติสัมพันธ์เชิงสัมพันธ์ การวัดตัวแปรตามแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การวัดด้านพฤติกรรม และการวัดด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) เครื่องมือคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ประกอบด้วย แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบคัดกรองภาวะซึมเศร้า (CES-D) แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ แผ่นวัดระดับการมองเห็นในระยะใกล้ แผ่นทดสอบตาบอดสี และแบบทดสอบความสามารถทางสติปัญญาเกี่ยวกับการรับรู้ภาพ TONI-4 (Test of Nonverbal Intelligence - Fourth Edition) 2) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และ 3) เครื่องมือวัดตัวแปรตาม ประกอบด้วย แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ 3 ประเภท ได้แก่ แบบทดสอบ Paper Folding & Form Board Test แบบทดสอบ Card Rotations Test และแบบทดสอบ Mental Rotations Test บันทึกคะแนนตอบถูกและเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบด้วยโปรแกรม PsychoPy v. 1.83 และเครื่องมือแสดงกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ดำเนินการโดยโปรแกรม STIM<sup>2</sup> ที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan และหมวกอิเล็กโทรดชนิด 19 ช่องสัญญาณ (Channels) คัดกรอง

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยโปรแกรม Curry Neuroimaging Suite 7.0 และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพื้นฐาน ค่าการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ สถิติทดสอบ t-test, Shapiro-Wilk, Repeated MANOVA และ One-Way MANOVA

## สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จากทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Visual Indexing/ FINST Theory) ได้กิจกรรมที่ใช้ในแบบจำลองฯ ประกอบด้วย 1) การแสดง (Presentation) เป็นขั้นที่แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จะแสดงตัวกระตุ้นต่อระบบการมอง 2) การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย (Indexation) เป็นขั้นตอนที่แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ บ่งบอกว่าตัวกระตุ้นใดเป็นเป้าหมายที่ต้องติดตาม 3) การเคลื่อนที่ (Movement) เป็นขั้นตอนที่สร้างการรบกวนต่อกระบวนการติดตาม โดยตัวกระตุ้นทุกตัวจะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 4) การตอบ (Identification) เป็นขั้นตอนที่ต้องระบุว่า ตัวกระตุ้นใดเป็นตัวเป้าหมาย หลังมีการรบกวนด้วยการเคลื่อนที่ และ 5) การแสดงผล (Feedback) เป็นขั้นตอนแสดงผล เพื่อให้สมองรับรู้ว่าการระบุตัวกระตุ้นเป้าหมายนั้น ระบุถูกหรือผิด

ผลการประเมินแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่าแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ ในระดับมากที่สุด และผลการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ปรากฏว่า นักเรียนมีความเข้าใจ สามารถปฏิบัติกิจกรรมตามแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติได้อย่างดี และรู้สึกพึงพอใจต่อแบบจำลองฯ ในระดับสูง

2. ผลการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก และเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 วัน วันละ 30 นาที ปรากฏดังนี้

2.1 กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .63 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.1 และเมื่อพิจารณาโดยจำแนกตาม

ประเภทแบบทดสอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT&FBT, CRT และ MRT ปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูกของแต่ละแบบทดสอบ หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .44, .16 และ .48 ตามลำดับ

2.2 กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง น้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .91 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.2 และเมื่อพิจารณาโดยจำแนกตามประเภทแบบทดสอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT&FBT, CRT และ MRT ปรากฏว่า กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบ ในแต่ละแบบทดสอบ หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .86, .68 และ .62 ตามลำดับ

3. ผลการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก และเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มที่ได้ฝึกกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ปรากฏดังนี้

3.1 กลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .30 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.3 และเมื่อพิจารณาโดยจำแนกตามประเภทแบบทดสอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT&FBT, CRT และ MRT ปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนตอบถูก ในแบบทดสอบ PFT & FBT และ MRT หลังการทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .21 และ .19 ตามลำดับ

3.2 กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .60 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.4 และเมื่อพิจารณาโดยจำแนกตามประเภทแบบทดสอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้แก่ แบบทดสอบ PFT&FBT, CRT และ MRT ปรากฏว่า กลุ่มทดลองใช้เวลาตอบ ในแต่ละแบบทดสอบ หลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง  $\eta^2$  เท่ากับ .40, .46 และ .13 ตามลำดับ

4. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง ปรากฏดังนี้

4.1 กลุ่มทดลองมีความสูงของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตรงบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ที่ตำแหน่ง Fp1, F3, F4 และ F8 บริเวณเปลือกสมองส่วนบน (Parietal Lobe) ที่ตำแหน่ง C3, C4, P3, P4, Cz และ Pz และบริเวณเปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal Lobe) ที่ตำแหน่ง T3, T4, T5 และ T6 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.5

4.2 กลุ่มทดลองมีความกว้างของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองน้อยกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตรงบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้าที่ตำแหน่ง F3, F7 และ F8 บริเวณเปลือกสมองส่วนบนที่ตำแหน่ง C3, C4, P3, Cz และ Pz และบริเวณเปลือกสมองส่วนขมับที่ตำแหน่ง T4 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.6

5. ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ปรากฏดังนี้

5.1 กลุ่มทดลองมีความสูงของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตรงบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้าที่ตำแหน่ง Fp1, F3 และ F4 บริเวณเปลือกสมองส่วนบนที่ตำแหน่ง C3, P3 และ Pz และบริเวณเปลือกสมองส่วนขมับที่ตำแหน่ง T3 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.7

5.2 กลุ่มทดลองมีความกว้างของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตรงบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้าที่ตำแหน่ง F7 และ F8 และบริเวณเปลือกสมองส่วนบนที่ตำแหน่ง C4 และ P3 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2.8

ผลการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติไปใช้สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น สามารถสรุปได้ว่า หลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีคะแนนมิติสัมพันธ์สูงกว่า และใช้เวลาตอบน้อยกว่า เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทำนองเดียวกัน หลังการทดลอง กลุ่มทดลองมีความสูงของศักย์ไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 สูงกว่า และความกว้างของศักย์ไฟฟ้าสมอง



ที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 น้อยกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในสมองส่วนหน้า สมองส่วนบท และสมองส่วนขมับ เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และเทียบกับกลุ่มควบคุม สรุปได้ว่าการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติอย่างต่อเนื่อง สามารถช่วยเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้นได้

## การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สามารถนำไปใช้สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นได้ เนื่องจากแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติพัฒนาขึ้นตามทฤษฎีกระบวนการกำหนดภาพที่มองเห็น (Visual Indexing/ FINST Theory) (Pylyshyn & Storm, 1988; Pylyshyn, 2001) และกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ประกอบด้วย 1) การแสดง (Presentation) เป็นขั้นตอนที่แสดงตัวกระตุ้นต่อระบบการมอง 2) การบ่งชี้สิ่งเป้าหมาย (Indexation) เป็นขั้นตอนที่บ่งบอกว่าตัวกระตุ้นใดเป็นเป้าหมายที่ต้องติดตาม 3) การเคลื่อนที่ (Movement) เป็นขั้นตอนที่สร้างการรบกวนต่อกระบวนการติดตาม โดยตัวกระตุ้นทุกตัวจะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 4) การตอบ (Identification) เป็นขั้นตอนที่ต้องระบุว่า ตัวกระตุ้นใดเป็นตัวเป้าหมาย หลังมีการรบกวนด้วยการเคลื่อนที่ และ 5) การแสดงผล (Feedback) เป็นขั้นตอนแสดงผล เพื่อให้สมองรับรู้ว่าการระบุตัวกระตุ้นเป้าหมายนั้น ระบุถูกหรือผิด ซึ่งเป็นไปตามแนวคิดการพัฒนาโปรแกรมหรือกิจกรรมการพัฒนาความสามารถทางสมอง ที่ควรมีลักษณะเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยกระบวนการหรือทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการเรียนรู้ของสมอง (Wright et al., 2008) นอกจากนี้การสังเคราะห์องค์ความรู้ แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์แล้ว การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ได้ผ่านกระบวนการตรวจสอบความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน สอดคล้องกับแนวคิดของ Joyce, Weil, and Calhoun (2009, p. 25) ที่ให้ความเห็นว่า การพัฒนาโปรแกรมหรือกิจกรรมใด ๆ เพื่อช่วยส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ของสมอง ต้องมีการวิจัยเพื่อทดสอบทฤษฎี ตรวจสอบความเหมาะสมและนำข้อค้นพบมาปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้อย่างแพร่หลาย

2. ผลการนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ปรากฏว่า การฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ส่งผลทำให้ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีพัฒนาการในทางที่ดีขึ้นในทุกองค์ประกอบ โดยยืนยันจากกลุ่มนักเรียนที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยม

เคลื่อนที่แบบสามมิติ จำนวน 12 วัน วันละ 30 นาที มีคะแนนตอบถูกสูงกว่า และเวลาตอบน้อยกว่า ในขณะที่แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนฝึกและเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความสูงและความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง สูงกว่าก่อนการทดลอง และสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตรงบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) ส่วนบน (Parietal Lobe) และส่วนขมับ (Temporal Lobe) หมายความว่า กลุ่มทดลองมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสมองด้านกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์ในทางที่ดีขึ้น หลังได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เนื่องจากความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 ที่ปรากฏในช่วงเวลา 350-550 มิลลิวินาที หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า P3b แสดงถึงการทำงานของสมองในด้านกระบวนการรู้คิด (Cognitive Process) ความจำขณะคิด การเรียกคืนข้อมูลจากความจำ การคิดประมวลผลในด้านการตัดสินใจ การประเมิน และการแก้ปัญหา (Lee et al., 2010) และคลื่น P300 ชนิดนี้ปรากฏชัดเจนที่บริเวณสมองส่วนหน้า สมองส่วนบน และสมองส่วนขมับ (Luck & Kappenman, 2011) จากงานวิจัยของ Milivojevic, Johnson, Hamm, and Corballis (2003) พบว่า P300 ที่เกิดขึ้นตรงบริเวณสมองส่วนบน ปรากฏขึ้นชัดที่สุด ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ตั้งแต่วินาทีที่ 420 ถึงวินาทีที่ 600 และเป็นคลื่นที่บ่งชี้ถึงความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของแต่ละบุคคล หากความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ยิ่งสูงขึ้น หมายความว่า กลุ่มตัวอย่างสามารถทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ได้คะแนนมากขึ้นเช่นเดียวกัน (Troche, Houlihan, Stelmack, & Rammsayer, 2009) จากการศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกับกลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ โดยการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ของ Troche, Indermuhle, and Rammsayer (2012) ปรากฏว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีคะแนนจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ค่อนข้างสูง จะปรากฏความสูงของคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ในสมองส่วนหน้า ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรด Fz และสมองส่วนบน ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรด Pz ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีคะแนนจากแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ

ในส่วนการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ผลการวิจัยปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง น้อยกว่าก่อนการทดลอง และน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตรงบริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า ส่วนบน และส่วนขมับ หมายความว่า กลุ่มทดลองมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสมองด้านกระบวนการคิดเชิงมิติสัมพันธ์ในทางที่ดีขึ้น หลังได้รับการฝึกด้วยแบบจำลอง

การติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยความกว้างของคลื่น P300 ชนิดนี้ อธิบายถึงเวลาการประมวลผลต่อสิ่งกระตุ้นของระบบการทำงานของสมอง เมื่อสมองใช้เวลามากขึ้นเพื่อประเมินสิ่งกระตุ้น ก็จะทำให้คลื่น P300 นี้มีความกว้างมากขึ้น (Coles et al., 1990) หรือกล่าวได้ว่า หากกลุ่มทดลองใช้เวลาที่จะจัดกระทำกับกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์น้อยลง หมายความว่ากลุ่มทดลองมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มากขึ้น (Johnson, 1986, 1992)

โดยรวมผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ในด้านความสูงและความกว้างของคลื่นขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นจำนวน 12 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก และเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ฝึก ส่งผลให้มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยจำนวนมากที่ปรากฏว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 และมีความสัมพันธ์ทางลบกับความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ขณะทำกิจกรรมกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ (O'Donnell, Friedman, Swearer, & Drachman, 1992; Jausovec & Jausovec, 2000; Fjell & Walhovd, 2001; Beauchamp & Stelmack, 2006; Stige, Fjell, Smith, Lindgren, & Walhovd, 2007; de Pascalis, Varriale, & Matteoli, 2008; Russo, De Pascalis, Varriale, & Barratt, 2008; Sculthorpe, Stelmack, & Campbell, 2009; Troche et al., 2009; Wronka, Kaiser, & Coenen, 2013; de Pascalis, Varriale, Fulco, & Fracasso, 2014)

3. ผลการวิจัยชี้ให้เห็นอีกว่า แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ถือเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการเรียนรู้ของสมอง ประกอบด้วยประสิทธิภาพ สำหรับการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในทุก ๆ ด้าน ดัง Wright et al. (2008) ที่ให้ความเห็นว่า กิจกรรมการฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่มีลักษณะยั่งยืนถาวร (Durable) ครอบคลุม (Generalizable) ทุกองค์ประกอบของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และมีลักษณะเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยกระบวนการทำงานของสมองเป็นฐาน (Cognitive Process-Based Task) การเปลี่ยนแปลงของคะแนนตอบถูกและเวลาตอบ ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในทางที่ดีขึ้น ในกลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เนื่องจากกิจกรรมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นกิจกรรมที่กระตุ้นให้ผู้ที่ได้รับการฝึก เกิดกระบวนการใส่ใจและจดจำรูปทรงแบบหลากหลายของตัวกระตุ้น เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกตัวเลือกคำตอบที่ถูกต้อง ดังแนวคิดของ Kornkasem and Black (2015, p. 281) ที่ว่า การตั้งใจที่จะลงรหัสข้อมูลจากการรับรู้ภาพของสิ่งเร้าภายนอก ส่งผลต่อระบบความจำขณะคิด และเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงและเปรียบเทียบมโนภาพนั้น ๆ กับมโนภาพที่มีอยู่ในระบบความจำ เพื่อสร้างเป็นประสบการณ์ใหม่ นอกจากนี้ แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุ

ทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นแบบจำลองที่ใช้ตัวกระตุ้นในรูปแบบ 3 มิติจำลอง (3D Simulation) ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ผู้ที่ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เกิดความเข้าใจถึงรูปทรงของวัตถุที่มีลักษณะซับซ้อน ได้ทุกด้านอย่างสมบูรณ์และดีกว่าการเห็นภาพในรูปแบบสองมิติ (Neubauer et al., 2010) และส่งผลให้เกิดกระบวนการสร้างภาพในสมองได้อย่างดี ก่อนที่จะนำภาพนั้น ๆ ไปจัดกระทำหรือแก้ปัญหาได้อย่างแม่นยำมากขึ้น (Yakimanskaya, 1991) อีกอย่างหนึ่ง วิธีการฝึกที่เอื้อต่อการสร้างจินตนาการรูปทรงของวัตถุแบบ 3 มิติ เป็นปัจจัยสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ได้อีกด้วย (Sorby, 2009) นอกเหนือจากนี้ การแสดงตัวกระตุ้นในรูปแบบ 3 มิติจำลอง ในลักษณะเคลื่อนไหว ผ่านหน้าจอสามมิติ เป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการส่งผ่านข้อมูล (Transfer Effect) ไปยังความจำขณะคิด (Working Memory) ได้เป็นอย่างดี (Alloway et al., 2013, pp. 632-633) โดยก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรับรู้โครงสร้างของสิ่งเร้า และการตั้งใจที่จะลงรหัสข้อมูลของสิ่งเร้าในระบบความจำภาพขณะคิด (Visuospatial Working Memory) ซึ่งมีหน้าที่สร้างและจัดการกับมโนภาพของวัตถุ โดยการจัดเรียงลำดับความซับซ้อนของมโนภาพนั้น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ (Baddeley, 1992; Miyake et al., 2001, p. 638; C. A. Cohen & Hegarty, 2014, p. 64) ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ จึงมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในทางที่ดีขึ้น เนื่องจากการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ กลุ่มตัวอย่างเกิดประสบการณ์ในกระบวนการสนใจจดจ่อ (Focus Attention) มากขึ้น และกระบวนการเข้ารหัสในการรับรู้ตัวกระตุ้นที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ในระบบความจำ ซึ่งการสนใจจดจ่อกับสิ่งเป้าหมายและความสามารถในการเก็บรักษามโนภาพของสิ่งเร้าในระบบความจำเป็นส่วนประกอบที่ก่อให้เกิดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Miyake et al., 2001, p. 638; Kosslyn et al., 2007, p. 8) ซึ่งสอดคล้องกับ (Christou, Pittalis et al., 2007) ที่ให้ความเห็นว่า การรับรู้หรือเห็นวัตถุในรูปแบบเคลื่อนไหว จะทำให้เกิดภาพในสมองสมบูรณ์แบบกว่าการรับรู้หรือเห็นวัตถุในรูปแบบนิ่ง และก่อให้เกิดการจัดกระทำกับมโนภาพของวัตถุนั้น ๆ อย่างแม่นยำและถูกต้องกว่าการรับรู้โครงสร้างของวัตถุเพียงในรูปแบบสองมิติ (Gutiérrez, 1996) ที่ไม่สามารถรับรู้มิติบางส่วนของวัตถุ หรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างมิติแต่ละด้านของวัตถุได้เพียงพอ (Hauptman, 2010, pp. 124-125)

นอกจากนี้ ขณะที่ฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในขั้นตอนการแสดงผลและการระบุสิ่งเป้าหมาย เป็นขั้นตอนที่กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างต้องจดจำลักษณะต่าง ๆ ของตัวกระตุ้นเป้าหมาย โดยการสร้างวัตถุในสมองในส่วนของความจำขณะคิด และกลุ่มตัวอย่างต้องเรียกคืนวัตถุนั้น ๆ มาเปรียบเทียบกับข้อมูลใหม่ที่เกิดจากการรับรู้ในขั้นตอนการกำหนดสิ่งเป้าหมาย เพื่อยืนยันว่าวัตถุที่ให้เห็นเป็นสิ่งเป้าหมาย การฝึกในลักษณะเช่นนี้แบบซ้ำ ๆ

ตามมุมมองของทฤษฎีความยืดหยุ่นของระบบประสาท (Neuroplasticity) จะส่งผลต่อโครงข่ายประสาทให้มีการเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรงมากขึ้นอย่างอัตโนมัติ เพื่อปรับตัวให้เข้ากับกิจกรรมที่เชื่อมกันของแบบจำลอง (Draganski & May, 2008, p. 140; Ptito et al., 2012) โดยเฉพาะในบริเวณสมองส่วน Parietal Lobe และ Temporal Lobe ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการกระตุ้นเกี่ยวกับการรับรู้ลักษณะจำเพาะของวัตถุ ได้แก่ สี ขนาด รูปทรง ตำแหน่ง ทิศทาง ระยะ ความลึก เป็นต้น (Schneck, 2010, pp. 357-362) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ David (2012, pp. 323-327) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการฝึกความสามารถด้านมิติสัมพันธ์โดยเกมคอมพิวเตอร์ ที่ผู้เล่นต้องใช้ทักษะในการจินตนาการการหมุนภาพและประกอบภาพ ในรูปแบบสามมิติ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปรากฏว่ากลุ่มทดลองมีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์หลังการทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม และผลการวิจัยของ Karbach and Kray (2009) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยกิจกรรม Task-Switch Training ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ กับกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มวัยรุ่นตอนต้น กลุ่มผู้ใหญ่ และกลุ่มผู้สูงอายุ จำนวน 4 ครั้งในหนึ่งสัปดาห์ ครั้งละ 30-40 นาที ปรากฏว่า กลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลองทั้ง 3 ช่วงอายุ มีคะแนนเชาวน์ปัญญาเชิงเคลื่อนไหว (Fluid Intelligence) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลองและเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และผลงานวิจัยของ Jaeggi et al. (2008) ก็ยืนยันว่า การใช้วิธีการฝึกสมองผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์สำหรับเพิ่มความสามารถในการแก้ปัญหาทั่วไป เป็นเวลา 25 นาทีต่อวัน จะทำให้กลุ่มทดลองมีคะแนนจากแบบทดสอบการให้เหตุผลดีกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Baki et al. (2011) ที่ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิตกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ที่มีต่อความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ ผลปรากฏว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนไหวเชิงเรขาคณิต มีคะแนนความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกขณะทดลองโดยกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกาย

4. แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เป็นแบบจำลองที่ใช้สิ่งกระตุ้นเป็นวัตถุทรงเหลี่ยมที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ในกิจกรรมกระตุ้น ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการทำงานของสมองในส่วนความใส่ใจและความจำ เกิดการกระตุ้นมากกว่าการใช้วัตถุทรงกลมแบบเดียวกัน เนื่องจากว่า การติดตามวัตถุทรงแบบเดียวกัน กลุ่มตัวอย่างจะไม่เกิดประสบการณ์การจดจำรูปทรงของวัตถุ โดยกลุ่มตัวอย่างใช้เพียงกระบวนการสนใจและติดตามวัตถุนั้น ๆ เมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากตำแหน่งเดิม จากการสังเกตและสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ พบว่า ขณะฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ กลุ่มตัวอย่างเกิดประสบการณ์ในการจดจำรูปทรงของวัตถุด้วยการสร้างจินตนาการการเปรียบเทียบทรงของวัตถุนั้น กับรูปทรงของวัตถุหรือสิ่งของที่กลุ่ม

ตัวอย่างแต่ละคนคุ้นเคย เมื่อจำแนกตามเพศ เห็นว่า การเกิดประสบการณ์การจดจำของเพศชาย แตกต่างจากเพศหญิง โดยเพศชายใช้กระบวนการจำในรูปแบบเชิงวิเคราะห์ (Analytic Strategy) ส่วนเพศหญิงใช้กระบวนการจำในรูปแบบเชิงภาพรวม (Holistic Strategy)

อย่างไรก็ตาม กิจกรรมในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ทั้ง 5 ขั้นตอน เป็นเพียงกิจกรรมที่ทำให้เกิดกระบวนการติดตามวัตถุและประสบการณ์การจดจำและจดจำสิ่งเป้าหมาย เมื่อมีการรบกวนด้วยการเคลื่อนที่ แต่ยังไม่ได้เพิ่มกระบวนการจดจำด้วย กิจกรรมการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อมีการตอบถูก นอกจากนี้ผลของการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนตอบถูก ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยแบบทดสอบ CRT มีคะแนนตอบถูกไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มที่กลุ่มทดลองจะมีคะแนนตอบถูกดีกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งเกิดมาจากเวลาในการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติสำหรับกลุ่มทดลองยังไม่เพียงพอ

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น เป็นจำนวน 12 วัน วันละ 30 นาที สมองจะมีการสร้างโครงข่ายประสาทให้มีการเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรงและยืดหยุ่นมากขึ้นอย่างอัตโนมัติ เพื่อปรับตัวให้เข้ากับกิจกรรมที่เชื่อมกันของแบบจำลอง โดยเฉพาะในบริเวณสมองส่วน Parietal Lobe และ Temporal Lobe จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมองในการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในทางที่ดีขึ้น
2. โรงเรียน หน่วยงาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับวัยรุ่นตอนต้น สามารถนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติไปประยุกต์ เพื่อเป็นทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมองด้านมิติสัมพันธ์ ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญสำหรับส่งเสริมประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเรียนรู้ทางด้านวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ในวัยรุ่นตอนต้น (Uttal, Miller et al., 2013)
3. สถาบันการศึกษาสามารถนำผลการวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปใช้ประกอบการเรียนการสอน การวิจัยและการบริการทางวิชาการ
4. นักวิจัยหรือผู้ที่สนใจสามารถนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปประยุกต์เป็นทางเลือกในการกระตุ้นการทำงานของสมอง เพื่อพัฒนาความสามารถ

ทางปัญญาด้านอื่น เช่น ความใส่ใจ ความจำขณะคิด การให้เหตุผล และความสามารถด้านเรขาคณิต เป็นต้น

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

1. การศึกษานี้ เป็นการศึกษาเฉพาะในกลุ่มตัวอย่างวัยรุ่นตอนต้น และณัดมือขวา ควรมีการศึกษาผลของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ในประชากรกลุ่มอื่น ๆ หรือกลุ่มที่มีความบกพร่องทางสมอง เพื่อเป็นการตรวจสอบศักยภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

2. งานวิจัยนี้ ใช้เวลาในการฝึกกับกลุ่มทดลองรวมทั้งสิ้น 12 วัน วันละ 30 นาที และมีการวัดตัวแปรที่ศึกษา 1 ครั้ง หลังการทดลองเสร็จสิ้นเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบการวิจัยครั้งต่อไป อาจเพิ่มระยะเวลาในการวัดตัวแปรที่ศึกษาซ้ำ เพื่อดูความคงอยู่ของประสิทธิภาพการทำงานของสมองด้านมิติสัมพันธ์ และนำผลมาปรับใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้อย่างเหมาะสม

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการบูรณาการกิจกรรมการเพิ่มความเร็วในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เพื่อกระตุ้นต่อกระบวนการใส่ใจและจดจ่อให้มากขึ้น

4. งานวิจัยนี้ ใช้การเปรียบเทียบความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้าสมอง ในด้านความสูงและความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ดังนั้นควรมีการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้าสมอง ในด้าน Absolute Power และ Relative Power ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นต้น

5. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติกับโปรแกรมอื่น เช่น การวาดรูปโดยใช้ The Geometer's Sketchpad การฝึกด้วยเกม Tetrominoes, Cabri-Geometer, Cabri 3D หรือ Neurotracker เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- กนก พานทอง, เสรี ชัดแฉ่ม และกาญจนา พิทักษ์วัฒนานนท์. (2554). ผลของความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมอง: การศึกษาศักยภาพไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทดสอบด้านเลขคณิต. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 9(1), 62-77.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2556). *พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2554). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบเอ็ด พ.ศ. 2555-2559*. กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.
- อุมาพร ตรังคสมบัติ, วชิระ ลาภบุญทรัพย์ และปิยลัมพร หะวานนท์. (2540). การใช้ CES-D ในการคัดกรองภาวะซึมเศร้าในวัยรุ่น. *วารสารสมาคมจิตแพทย์แห่งประเทศไทย*, 42(1), 2-13.
- Alloway, T. P., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior*, 29(3), 632-638.
- Alnaes, D., Sneve, M. H., Richard, G., Skatun, K. C., Kaufmann, T., Nordvik, J. E., et al. (2015). Functional connectivity indicates differential roles for the intraparietal sulcus and the superior parietal lobule in multiple object tracking. *Neuroimage*, 123, 129-137.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2005). Independent resources for attentional tracking in the left and right visual hemifields. *Psychological Science*, 16(8), 637-643.
- Alvarez, G. A., & Franconeri, S. L. (2007). How many objects can you track?: Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *Journal of Vision*, 7 (13-14), 1-10.
- Andreassi, J. L. (2000). *Psychophysiology: Human behavior and physiological response* (4<sup>th</sup> ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Arce, C., Ramos, J., Guevara, M. A., & Corsi-Cabrera, M. (1995). Effect of spatial ability and sex on eeg power in high school students. *International Journal of Psychophysiology*, 20, 11-20.
- Baartmans, B. G., & Sorby, S. A. (1996). *Introduction to 3-D spatial visualization*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.



- Bahrami, B. (2003). Object property encoding and change blindness in multiple object tracking. *Visual Cognition, 10*(8), 949-963.
- Baki, A., Kosa, T., & Guven, B. (2011). A comparative study of the effects of using dynamic geometry software and physical manipulatives on the spatial visualisation skills of pre-service mathematics teachers. *British Journal of Educational Technology, 42*(2), 291-310.
- Beauchamp, C. M., & Stelmack, R. M. (2006). The chronometry of mental ability: An event-related potential analysis of an auditory oddball discrimination task. *Intelligence, 34*(6), 571-586.
- Belchior, P., Marsiske, M., Sisco, S. M., Yam, A., Bavelier, D., Ball, K., et al. (2013). Video game training to improve selective visual attention in older adults. *Computers in Human Behavior, 29*(4), 1318-1324.
- Bera, S., & Liu, M. (2006). Cognitive tools, individual differences, and group processing as mediating factors in a hypermedia environment. *Computers in Human Behavior, 22*(2), 295-319.
- Bisoglio, J., Michaels, T. I., Mervis, J. E., & Ashinoff, B. K. (2014). Cognitive enhancement through action video game training: Great expectations require greater evidence. *Frontiers in Psychology, 5*, 136.
- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychologica, 129*(3), 387-398.
- Boucheix, J. M., & Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and Instruction, 19*(2), 112-127.
- Brandt, M. G., & Davies, E. T. (2006). Visual-spatial ability, learning modality and surgical knot tying. *Canadian Journal of Surgery, 49*(6), 412-416.
- Brown, L., & Brockmole, J. R. (2010). The role of attention in binding visual features in working memory: Evidence from cognitive ageing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 63*(10), 2067-2079.
- Brown, L., Sherbenou, R. J., & Johnsen, S. K. (2010a). *Test of nonverbal intelligence* (4<sup>th</sup> ed.). Texas: Pro-ed.

- Brown, L., Sherbenou, R. J., & Johnsen, S. K. (2010b). *Test of nonverbal intelligence: Examiner's manual* (4<sup>th</sup> ed.). Texas: Pro-Ed.
- Burgess, N., Maguire, E. A., & O'Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, *35*, 625-641.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
- Casey, M. B., Nuttall, R. L., & Pezaris, E. (2001). Spatial –mechanical reasoning skills versus mathematics self-confidence as mediators of gender differences on mathematics subtests using cross national gender based items. *Journal for Research in Mathematics Educational Psychology Review*, *32*(10), 28-57.
- Cavanagh, P., & Alvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(7), 349-354.
- Christensen, L. B., John, R. B., & Turner, L. A. (2015). *Research method, design, and analysis* (12<sup>th</sup> ed.). London: Pearson Education.
- Christou, C., Jones, K., Mousoulides, N., & Pittalis, M. (2006). Developing the 3Dmath dynamic geometry software: Theoretical perspectives on design. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, *13*(4), 168-174.
- Christou, C., Jones, K., Pitta-Pantazi, D., Pittalis, M., Mousoulides, N., Matos, J. F., et al. (2007, February 22-26). Developing student spatial ability with 3D software applications. In *5th Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. Larnaca, Cyprus.
- Christou, C., Pittalis, M., Mousoulides, N., Pitta, D., Jones, K., Sendova, E., et al. (2007, July 1-4). Developing an active learning environment for the learning of stereometry. In *8<sup>th</sup> International Conference on Technology and Mathematics Teaching (ICTMT8)*. Hradec Králové, Czech Republic.
- Clements, D. H., Battista, M. T., Sarama, J., & Sudha, S. (1997). Development of students' spatial thinking in a unit on geometric motions and area. *The Elementary School Journal*, *98*(2), 171-186.
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2014). Visualizing cross sections: Training spatial thinking using interactive animations and virtual objects. *Learning and Individual Differences*, *33*, 63-71.

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2<sup>nd</sup> ed.). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6<sup>th</sup> ed.). New York: Routledge.
- Coles, M. G. H., Gratton, G., & Fabiani, M. (1990). Event-related brain potentials. In Cacioppo, J. T. & Tassinari, L. G. (Eds.), *Principles of psychophysiology: Physical, social, and inferential elements* (pp. 413-455). New York, USA: Cambridge University Press.
- Cona, G., Panozzo, G., & Semenza, C. (2016). The role of sorsal premotor cortex in mental rotation: A transcranial magnetic stimulation study. *Brain and Cognition*, 116, 71-78.
- Connell, M. L. (1998). Technology in constructivist mathematics classrooms. In McNeil, S., Price, J., Boger-Mehall, S., Robin, B., & Willis, J. (Eds.), *Proceedings of society for information technology & teacher education international conference 1998* (pp. 601-604). Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Coxon, S. V. (2012a). Innovative allies: Spatial and creative abilities. *Gifted Child Today*, 35(4), 277-284.
- Coxon, S. V. (2012b). The malleability of spatial ability under treatment of a first lego league-based robotics simulation. *Journal for the Education of the Gifted*, 35(3), 291-316.
- Culham, J. C., Brandt, S. A., Cavanagh, P., Kanwisher, N. G., Dale, A. M., & Tootell, R. B. H. (1998). Cortical fmri activation produced by attentive tracking of moving targets. *Journal of Neurophysiology*, 80(5), 2657-2670.
- Culham, J. C., Cavanagh, P., & Kanwisher, N. G. (2001). Attention response functions: Characterizing brain areas using fmri activation during parametric variations of attentional load. *Neuron*, 32(4), 737-745.
- Daltrozzo, J., Wioland, N., Mutschler, V., & Kotchoubey, B. (2007). Predicting coma and other low responsive patients outcome using event-related brain potentials: A meta-analysis. *Clinical Neurophysiology*, 118(3), 606-614.

- Datta, S., & Roy, D. D. (2016). Construction of test measuring mental rotation ability of adolescent high school students. *The International Journal of Indian Psychology, 3*(2), 91-100.
- David, L. T. (2012). Training of spatial abilities through computer games – results on the relation between game's task and psychological measures that are used. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 33*, 323-327.
- Davis, B. (2015). *Spatial reasoning in the early years: Principles, assertions, and speculations*. NY: Routledge.
- de Freitas, S. (2006). *Learning in immersive worlds: A review of game-based learning*. London: The JISC e-Learning Programme.
- de Pascalis, V., Varriale, E., Fulco, M., & Fracasso, F. (2014). Mental ability and information processing during discrimination of auditory motion patterns: Effects on p300 and mismatch negativity. *Intelligence, 47*, 93-106.
- de Pascalis, V., Varriale, V., & Matteoli, A. (2008). Intelligence and p3 components of the event-related potential elicited during an auditory discrimination task with masking. *Intelligence, 36*(1), 35-47.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). Eeglab: An open source toolbox for analysis of single-trial eeg dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods, 134*(1), 9-21.
- Dickter, C. L., & Kieffaber, P. D. (2014). *EEG methods for the psychological sciences*. India: Sage.
- Didino, D., Knops, A., Vespignani, F., & Kornpetpanee, S. (2015). Asymmetric activation spreading in the multiplication associative network due to asymmetric overlap between numerosities semantic representations? *Cognition, 141*, 1-8.
- Draganski, B., & May, A. (2008). Training-induced structural changes in the adult human brain. *Behavioural Brain Research, 192*(1), 137-142.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Derman, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. New Jersey: Educational Testing Service.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Kit of factor-referenced cognitive tests*. New Jersey: Educational Testing Service.

- Eliot, J., & Hauptman, A. (1981). Different dimensions of spatial ability. *Studies in Science Education*, 8(1), 45-66.
- Eliot, J., & Smith, I. M. (1983). *An international directory of spatial tests*. USA: NFER-Nelson.
- Fabiani, M., Gratton, G., Karis, D., & Donchin, E. (1987). Definition, identification, and reliability of measurement of the p300 component of the event-related brain potential. *Advances in psychophysiology*, 2(1), 1-78.
- Faubert, J. (2001). Motion parallax, stereoscopy, and the perception of depth: Practical and theoretical issues. In Javidi, B. & Okano, F. (Eds.), *Three-dimensional video and display: Devices and systems, proceedings of SPIE* (Vol. CR76, pp. 168-191). Boston: SPIE Press.
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18(10), 850-855.
- Fjell, A. M., & Walhovd, K. B. (2001). P300 and neuropsychological tests as measures of aging: Scalp topography and cognitive changes. *Brain Topography*, 14(1), 25-40.
- Franconeri, S. L., Lin, J. Y., Enns, J. T., Pylyshyn, Z. W., & Fisher, B. (2008). Evidence against a speed limit in multiple-object tracking. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(4), 802-808.
- Franconeri, S. L., Pylyshyn, Z. W., & Scholl, B. J. (2006). Spatiotemporal cues for tracking multiple objects through occlusion. *Visual Cognition*, 14(1), 100-104.
- Galotti, K. M. (2014). *Cognitive psychology: In and out of the laboratory* (5<sup>th</sup> ed.). Canada: SAGE Publications, Inc.
- Ganis, G., & Kievit, R. (2015). A new set of three-dimensional shapes for investigating mental rotation processes: Validation data and stimulus set. *Journal of Open Psychology Data*, 3(1), Art. e3.
- Ganley, C. M., Vasilyeva, M., & Dulaney, A. (2014). Spatial ability mediates the gender difference in middle school students' science performance. *Child Development*, 85(4), 1419-1432.
- Gardner, H. (2011). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences* (3<sup>rd</sup> ed.). New York, USA: The Perseus Books Group.

- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming, 33*(4), 441-467.
- Gee, J. P. (2006). *Are video games good for learning?* Paper presented at the Curriculum Corporation 13<sup>th</sup> National Conference, Adelaide.
- Geng, L., Zhang, L., & Zhang, D. (2011). Improving spatial abilities through mindfulness: Effects on the mental rotation task. *Consciousness and Cognition, 20*(3), 801-806.
- Gentile, D. A., Swing, E. L., Lim, C. G., & Khoo, A. (2012). Video game playing, attention problems, and impulsiveness: Evidence of bidirectional causality. *Psychology of Popular Media Culture, 1*(1), 62-70.
- Gittler, G., & Gluck, J. (1998). Differential transfer of learning: Effects of instruction in descriptive geometry on spatial test performance. *Journal for Geometry and Graphics, 2*(1), 71-84.
- Goldstein, E. B. (2010). *Sensation and perception* (8<sup>th</sup> ed.). Wadsworth: Nelson Education.
- Gonzalez, C. R., Martín-Gutiérrez, J., Domínguez, M. G., HernanPérez, A. S., & Carrodegua, C. M. (2013). Improving spatial skills: An orienteering experience in real and virtual environments with first year engineering students. *Procedia Computer Science, 25*, 428-435.
- Gorska, R., & Sorby, S. A. (2008, June 22-25). Testing instruments for the assessment of 3-d spatial skills. In *Proceedings of the 2008 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition* (pp. 1-10). Pittsburgh, PA: American Society for Engineering Education.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Guilleminault, C., Lee, J., & Chan, A. (2005). Pediatric obstructive sleep apnea syndrome. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, 159*(8), 775-785.
- Gutiérrez, A. (1996). Visualization in 3-dimensional geometry: In search of a framework. In Puig, L. & Gutiérrez, A. (Eds.), *Proceedings of the 20<sup>th</sup> conference of the international group for the psychology of mathematics education* (Vol. 1, pp. 3 –19). Valencia: Universidad de Valencia.

- Hair Jr., J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis: A global perspective*. USA: Pearson.
- Halpern, D. (2012). *Sex differences in cognitive abilities* (4<sup>th</sup> ed.). New York: Psychology Press.
- Hamilton, R. K., Baskin-Sommers, A. R., & Newman, J. P. (2014). Relation of frontal n100 to psychopathy-related differences in selective attention. *Biological Psychology*, *103*, 107-116.
- Harle, M., & Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, *88*(3), 351–360.
- Hauptman, H. (2010). Enhancement of spatial thinking with virtual spaces 1.0. *Computers & Education*, *54*(1), 123-135.
- Hegarty, M., & Waller, D. A. (2005). Individual differences in spatial abilities. In Shah, P. & Miyake, A. (Eds.), *The cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121-169). New York: Cambridge University Press.
- Hoffler, T. N. (2010). Spatial ability: Its influence on learning with visualizations - a meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, *22*(3), 245-269.
- Howe, P. D., Horowitz, T. S., Morocz, I. A., Wolfe, J., & Livingstone, M. S. (2009). Using fmri to distinguish components of the multiple object tracking task. *Journal of Vision*, *9*(4), 1–11.
- Hsi, S., Linn, M. C., & Bell, J. E. (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education*, *86*(2), 151-158.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(6), 435-448.
- Huffman, K. L. (2011). *What is the effect of real versus augmented models for the advancement of spatial ability based on haptic or visual learning style of entry-level engineering graphics*. Master's thesis, Purdue University, Indiana.

- Humphreys, L. G., Lubinski, D., & Yao, G. (1993). Utility of predicting group membership and the role of spatial visualization in becoming an engineer, physical scientist, or artist. *Journal of Applied Psychology, 78*(2), 250-261.
- Hung, P. H., Hwang, G. J., Lee, Y. H., & Su, I. H. (2012). A cognitive component analysis approach for developing game-based spatial learning tools. *Computers & Education, 59*(2), 762-773.
- Hunt, E. (2011). *Human intelligence*. USA: Cambridge University Press.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105*(19), 6829-6833.
- Jahn, G., Wendt, J., Lotze, M., Papenmeier, F., & Huff, M. (2012). Brain activation during spatial updating and attentive tracking of moving targets. *Brain and Cognition, 78*(2), 105-113.
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2000). Correlations between erp parameters and intelligence: A reconsideration. *Biological Psychology, 55*(2), 137-154.
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2012). Sex differences in mental rotation and cortical activation patterns: Can training change them? *Intelligence, 40*(2), 151-162.
- Johnson Jr., R. (1986). A triarchic model of p300 amplitude. *Psychophysiology, 23*(4), 267-384.
- Johnson Jr., R. (1992). Event-related brain potentials. In Litvan, I. & Agid, Y. (Eds.), *Progressive supranuclear palsy: Clinical and research approaches* (pp. 122-154). New York: Oxford University Press.
- Jovicich, J., Peters, R. J., Koch, C., Braun, J., Chang, L., & Ernst, T. (2001). Brain areas specific for attentional load in a motion-tracking task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*(8), 1048-1058.
- Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2009). *Models of teaching* (8<sup>th</sup> ed.). Boston, MA: Pearson Education, Inc.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science, 12*(6), 978-990.



- Keane, B. P., & Pylyshyn, Z. W. (2006). Is motion extrapolation employed in multiple object tracking? Tracking as a low-level, non-predictive function. *Cognitive Psychology*, *52*(4), 346-368.
- Keehner, M., Lippa, Y., Montello, D. R., Tendick, F., & Hegarty, M. (2006). Learning a spatial skill for surgery: How the contributions of abilities change with practice. *Applied Cognitive Psychology*, *20*(4), 487-503.
- Kell, H. J., Lubinski, D., Benbow, C. P., & Steiger, J. H. (2013). Creativity and technical innovation: Spatial ability's unique role. *Psychological Science*, *24*(9), 1831-1836.
- Kellar, S. P., & Kelvin, E. A. (2013). *Munro's statistical methods for health care research* (7<sup>th</sup> ed.). New York: Lippincott Williams & Wilkins.
- Kenney, K. (2009). *Visual communication research designs*. New York: Routledge.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with adhd. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *24*(6), 781-791.
- Kornkasem, S., & Black, J. B. (2015). Formation of spatial thinking skills through different training methods. *Cognitive Processing*, *16*(1), 281-285.
- Kosa, T., & Karakus, F. (2010). Using dynamic geometry software cabri3d for teaching analytic geometry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *2*(2), 1385-1389.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. London: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M., Shephard, J. M., & Thompson, W. L. (2007). Spatial processing during mental imagery: A neurofunctional theory. In Mast, F. & Jancke, L. (Eds.), *Spatial processing in navigation, imagery and perception* (pp. 1-15). New York, USA: Springer Science & Business Media.
- Kravitz, D. J., Saleem, K. S., Baker, C. I., & Mishkim, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*, 217-230.
- Kupers, R., Chebat, D. R., Madsen, K. H., Paulson, O. B., & Ptito, M. (2010). Neural correlates of virtual route recognition in congenital blindness. *Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America*, *107*(28), 12716-12721.

- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the n400 component of the event related brain potential (erp). *Annual Review of Psychology, 62*, 621-647.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science, 207*(4427), 203-205.
- Kyttala, M., Aunio, P., Lehto, J. E., Luit, J. V., & Hautamaki, J. (2003). Visuospatial working memory and early numeracy. *Educational and Child Psychology, 20*(3), 65-76.
- Laborde, C. (2000). Dynamic geometry environments as a source of rich learning contexts for the complex activity of proving. *Educational Studies in Mathematics, 44*(1-2), 151-161.
- Lee, S. H., Kim, E. Y., Kim, S., & Bae, S. M. (2010). Event-related potential patterns and gender effects underlying facial affect processing in schizophrenia patients. *Neuroscience Research, 67*(2), 172-180.
- Li, R., & Liu, M. (2007). Understanding the effects of databases as cognitive tools in a problem-based multimedia learning environment. *Journal of Interactive Learning Research, 18*(3), 345-363.
- Lieu, D. K., & Sorby, S. A. (2009). *Visualization, modeling, and graphics for engineering design*. USA: Cengage Learning.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development, 56*(6), 1479-1498.
- Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In Sternberg, R. J. (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 181-248). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and G. In Dennis, I. & Tapsfield, P. (Eds.), *Human abilities: Their nature and measurement* (pp. 97-116). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). Erplab: An open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*(213), 1-14.

- Luck, S. J., & Kappenman, E. S. (2011). *The oxford handbook of event-related potential components*: Oxford University Press.
- Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., et al. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: A randomized, controlled study. *Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America*, *103*(33), 12523-12528.
- Malenka, R. C. (2002). Synaptic plasticity. In Davis, K. L., Charney, D., Coyle, J. T., & Nemeroff, C. (Eds.), *Neuropsychopharmacology: The fifth generation of progress* (pp. 147-158). Brentwood, TN: American College of Neuropsychopharmacology.
- Martin-Dorta, N., Saorin, J. L., & Contero, M. (2008). Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. *Journal of Engineering Education*, *97*(4), 505-513.
- Matlin, M. W. (2014). *Cognitive psychology* (8<sup>th</sup> ed.). Singapore: John Wiley & Sons.
- McGee, M. G. (1979). *Human spatial abilities: Sources of sex differences*. NY: Praeger.
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (2014). *Research in education: Evidence-based inquiry* (7<sup>th</sup>, Pearson new international ed.). Harlow: Pearson Education.
- Milivojevic, B., Johnson, B. W., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2003). Non-identical neural mechanisms for two types of mental transformation: Event-related potentials during mental rotation and mental paper folding. *Neuropsychologia*, *41*(10), 1345-1356.
- Mix, K. S., & Cheng, Y. L. (2012). The relation between space and math: Developmental and educational implications. In Benson, J. B. (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 42, pp. 197-243). San Diego: Academic Press.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(4), 621-640.

- Mohler, J. L., & Miller, C. L. (2008). Improving spatial ability with mentored sketching. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), 19-27.
- Moreau, D., Mansy-Dannay, A., Clerc, J., & Guerrien, A. (2010). Academic program and mental rotation performance: Evidence for a developmental effect on individual differences in early adulthood. *Education Sciences and Psychology*, 2(17), 21-28.
- National Science Board [NSB]. (2010). *Preparing the next generation of stem innovators: Identifying and developing our nation's human capital*. Virginia: National Science Foundation.
- Neubauer, A. C., Bergner, S., & Schatz, M. (2010). Two- vs. Three-dimensional presentation of mental rotation tasks: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, 38(5), 529-539.
- Newcombe, N. S. (2010). Picture this: Increasing math and science learning by improving spatial thinking. *American Educator*, 34(2), 29-43.
- Newcombe, N. S., Levine, S. C., & Mix, K. S. (2015). Thinking about quantity: The intertwined development of spatial and numerical cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(6), 491-505.
- Newton, P. (2009). *Spatial ability*. Warwickshire: Psychometric-Success.
- O'Donnell, B. F., Friedman, S., Swearer, J. M., & Drachman, D. A. (1992). Active and passive p3 latency and psychometric performance: Influence of age and individual differences. *International Journal of Psychophysiology*, 12(2), 187-195.
- OECD. (2016). *Pisa 2015 results in focus*. Paris: OECD.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1-10.
- Papastergiou, M. (2009). Digital game-based learning in high school computer science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & Education*, 52(1), 1-12.

- Parsons, B., Magill, T., Boucher, A., Zhang, M., Zogbo, K., Bérubé, S., et al. (2014). Enhancing cognitive function using perceptual-cognitive training. *Clinical EEG and Neuroscience*.
- Peirce, J. W. (2007). Psychopy - psychophysics software in python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1-2), 8-13.
- Peirce, J. W. (2009). Generating stimuli for neuroscience using psychopy. *Frontiers in Neuroinformatics*, 2(10), 1-8.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A redrawn vanderberg and kuse mental rotations test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39-58.
- Petit, G., Kornreich, C., Noel, X., Verbanck, P., & Campanella, S. (2012). Alcohol related context modulates performance of social drinkers in a visual go/no-go task: A preliminary assessment of event-related potentials. *PLoS One*, 7(5), e37466.
- Piaget, J. (1973). *Main trends in psychology*. London: George Allen & Unwin.
- Pittalis, M., & Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3d geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 191-212.
- Premeg, N. C. (1986). Visualisation in high school mathematics. *For the Learning of Mathematics*, 6(3), 42-46.
- Ptito, M., Kupers, R., Lomber, S., & Pietrini, P. (2012). Sensory deprivation and brain plasticity. *Neural Plasticity*, 810370.
- Pylyshyn, Z. W. (1996, March 25-27). The role of visual indexes in spatial vision and imagery. In *American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium Series* (pp. 73-82). Stanford, CA: AAAI.
- Pylyshyn, Z. W. (2001). Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*, 80, 127-158.
- Pylyshyn, Z. W., Burkell, J., Fischer, B., Sears, C. R., Schmidt, W., & Trick, L. M. (1994). Multiple parallel access in visual attention. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48(2), 260-283.
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3(3), 179-197.

- Qiu, J., Li, H., Yang, D., Luo, Y., Li, Y., Wu, Z., et al. (2008). The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study. *Brain and Cognition*, *68*(1), 100-106.
- Quinn, V. N. (1984). *Applying psychology*. Singapore: McGraw-Hill.
- Radloff, L. S. (1977). The ces-d scale: A self-report depression scale for research in the general population. *Applied Psychological Measurement*, *1*(3), 385-401.
- Rehman, U. A., Kihara, K., Matsumoto, A., & Ohtsuka, S. (2015). Attentive tracking of moving objects in real 3d space. *Vision Research*, *109*, 1-10.
- Richmond Products. (n.d.). *Rosenbaum near vision screener instructions*. Albuquerque, NM: Pichamond Products Inc.
- Russo, P. M., De Pascalis, V., Varriale, V., & Barratt, E. S. (2008). Impulsivity, intelligence and p300 wave: An empirical study. *International Journal of Psychophysiology*, *69*(2), 112-118.
- Samsudin, K., Rafi, A., & Hanif, A. S. (2011). Training in mental rotation and spatial visualization and its impact on orthographic drawing performance. *Educational Technology & Society*, *14*(1), 179–186.
- Sanei, S., & Chambers, J. A. (2007). *Eeg signal processing*. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd,.
- Schneck, C. M. (2010). A frame of reference for visual perception. In Kramer, P. & Hinojosa, J. (Eds.), *Frames of reference for pediatric occupational therapy* (3<sup>rd</sup> ed., pp. 349-389). USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Scholl, B. J. (2009). What have we learned about attention from multiple-object tracking (and vice versa)? In Dedrick, D. & Trick, L. (Eds.), *Computation, cognition, and pylyshyn* (pp. 49-77). London: The MIT Press.
- Scholl, B. J., & Pylyshyn, Z. W. (1999). Tracking multiple items through occlusion: Clues to visual objecthood. *Cognitive Psychology*, *38*(2), 259-290.
- Scholl, B. J., Pylyshyn, Z. W., & Feldman, J. (2001). What is a visual object? Evidence from target merging in multiple object tracking. *Cognition*, *80*(1–2), 159-177.
- Schomer, D. L., & da Silva, F. L. (2012). *Niedermeyer's electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (6<sup>th</sup> ed.). USA: Wolters Kluwer Health.

- Schwiegerling, J. (2004). *Field guide to visual and ophthalmic optics* (Vol. FG04). Bellingham, Washington: SPIE Press.
- Sculthorpe, L. D., Stelmack, R. M., & Campbell, K. B. (2009). Mental ability and the effect of pattern violation discrimination on p300 and mismatch negativity. *Intelligence, 37*(4), 405-411.
- Sears, C. R., & Pylyshyn, Z. W. (2000). Multiple object tracking and attentional processing. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 54*(1), 1-14.
- Sharbrough, F., Chatrian, G. E., Lesser, R. P., Luders, H., Nuwer, M., & Picton, T. M. (1991). American eeg society: Guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology, 8*, 200-202.
- Shea, D. L., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology, 93*(3), 604-614.
- Shephard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, 171*, 701-703.
- Singer, D. G., & Revenson, T. A. (1996). *A piaget primer: How a child thinks: Revised edition*. USA: Plume.
- Soeken, K. L. (2010). Instrumentation and data collection. In Strickland, O. L., Lenz, E. R., & Waltz, C. (Eds.), *Measurement in nursing and health research* (4<sup>th</sup> ed., pp. 163-201). NY: Springer Publishing.
- Sorby, S. A. (1999). Developing 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal, 63*(2), 21-32.
- Sorby, S. A. (2009). Educational research in developing 3-d spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education, 31*(3), 459-480.
- Sternshein, H., Agam, Y., & Sekuler, R. (2011). Eeg correlates of attentional load during multiple object tracking. *PLoS ONE, 6*(7), e22660.
- Stige, S., Fjell, A. M., Smith, L., Lindgren, M., & Walhovd, K. B. (2007). The development of visual p3a and p3b. *Developmental Neuropsychology, 32*(1), 563-584.
- Strong, S., & Smith, R. (2002). Spatial visualization: Fundamentals and trends in engineering graphics. *Journal of Industrial Technology, 18*(1), 1-6.

- Study, N. E. (2012). An overview of tests of cognitive spatial ability. In *66<sup>th</sup> EDGD Mid-Year Conference Proceedings* (pp. 92-97). Galveston, Texas.
- Sur, S., & Sinha, V. K. (2009). Event-related potential: An overview. *Industrial Psychiatry Journal, 18*(1), 70-73.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science, 150*, 1187-1188.
- Tang, J., Chen, J., Ku, D. T., Chao, L. R., Shih, T. K., & Weng, M. M. (2009). Constructing the 2d adventure game-based assessment system. In Spaniol, M., Li, Q., Klamma, R., & Lau, R. H. (Eds.), *Advances in web based learning – icwl 2009* (Vol. 5686, pp. 376-385). Berlin Heidelberg: Springer.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial orientation skill and mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education, 21*(3), 216-229.
- Thornton, I. M., Bulthoff, H. H., Horowitz, T. S., Rynning, A., & Lee, S. W. (2014). Interactive multiple object tracking (imot). *PLoS One, 9*(2), e86974.
- Tomasi, D., Ernst, T., Caparelli, E. C., & Chang, L. (2004). Practice-induced changes of brain function during visual attention: A parametric fmri study at 4 tesla. *Neuroimage, 23*(4), 1414-1421.
- Trangkasombat, U., & Rujiradarpor, N. (2012). Gender differences in depressive symptoms in thai adolescents. *Asian Biomedicine, 6*(5), 737-745.
- Treisman, A. (1998). Feature binding, attention and object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 353*(1373), 1295-1306.
- Treisman, A. (2002). Features and objects in visual processing. In Levitin, D. J. (Ed.), *Foundations of cognitive psychology: Core readings* (pp. 399-413). MA, USA: MIT.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*(1), 97-136.
- Troche, S. J., Houlihan, M. E., Stelmack, R. M., & Rammsayer, T. H. (2009). Mental ability, p300, and mismatch negativity: Analysis of frequency and duration discrimination. *Intelligence, 37*(4), 365-373.



- Troche, S. J., Indermuhle, R., & Rammsayer, T. H. (2012). Evidence for mental ability related individual differences in the attentional blink obtained by an analysis of the p300 component. *Brain Cogn*, 78(3), 230-237.
- Ung, P., Ngowtrakul, B., Chotpradit, R., & Thavornwong, N. (2016). Spatial ability test for upper-elementary school student: Confirmatory factor and normative data analysis. *Journal of the Association of Researchers*, 21(2), 48-57.
- Uttal, D. H., Fisher, J. A., & Taylor, H. A. (2006). Words and maps: Developmental changes in mental models of spatial information acquired from descriptions and depictions. *Developmental Science*, 9, 221-235.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., et al. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139, 352-402.
- Uttal, D. H., Miller, D. I., & Newcombe, N. S. (2013). Exploring and enhancing spatial thinking: Links to achievement in science, technology, engineering, and mathematics? *Association for Psychological Science*, 22(5), 367-373.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604.
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *Stem lesson essentials: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, NH, USA: Heinemann.
- Vaughan, H. G. (1974). The analysis of sapt recorded brain potential. In Thompson, R. F. & Patterson, M. M. (Eds.), *Bioelectric recording techniques (part b): Electroencephalography and human brain potentials* (pp. 157-207). NY: Academic Press.
- Verdine, B. N., Irwin, C. M., Golinkoff, R. M., & Hirsh-Pasek, K. (2014). Contributions of executive function and spatial skills to preschool mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 126, 37-51.
- Viswanathan, L., & Mingolla, E. (2002). Dynamics of attention in depth: Evidence from multi-element tracking. *Perception*, 31(12), 1415-1437.

- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for stem domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology, 101*, 817–835.
- Wanzel, K. R., Hamstra, S. J., Caminiti, M. F., Anastakis, D. J., Grober, E. D., & Reznick, R. K. (2003). Visual-spatial ability correlates with efficiency of hand motion and successful surgical performance. *Surgery, 134*(5), 750-757.
- Wright, R., Thompson, W. L., Ganis, G., Newcombe, N. S., & Kosslyn, S. M. (2008). Training generalized spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review, 15*(4), 763-771.
- Wronka, E., Kaiser, J., & Coenen, A. M. (2013). Psychometric intelligence and p3 of the event-related potentials studied with a 3-stimulus auditory oddball task. *Neurosci Lett, 535*, 110-115.
- Xu, Y., & Chun, M. M. (2009). Selecting and perceiving multiple visual objects. *Trends in Cognitive Sciences, 13*(4), 167-174.
- Yakimanskaya, I. S. (1991). *The development of spatial thinking in school children*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Yue, J. (2004, June). Spatial visualization by orthogonal rotation. In *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. Salt Lake City, Utah: ASEE.
- Zhang, X., Koponen, T., Rasanen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M. K., & Nurmi, J. E. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child Development, 85*(3), 1091-1107.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

ที่ ๐๐๗ / ๒๕๕๙



ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย  
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา  
มหาวิทยาลัยบูรพา

๑. ชื่อเรื่องคุณูปนิพนธ์  
ชื่อเรื่องคุณูปนิพนธ์ (ภาษาไทย) การเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้นด้วยแบบจำลองการติดตามภาพสามมิติ (3D-BTM): การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์  
ชื่อเรื่องคุณูปนิพนธ์ (ภาษาอังกฤษ) ENHANCEMENT OF EARLY ADOLESCENT SPATIAL ABILITY USING A 3-DIMENSIONAL BLOCK TRACKING MODEL (3D-BTM): AN EVENT-RELATED POTENTIAL STUDY
๒. ชื่อนิติ (นาย, นาง, นางสาว): Mr. Poliny Ung  
หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (Ph.D.) สาขาวิชาการศึกษาและสถิติทางวิทยาการปัญญา  
รหัส ๕๕๘๑๐๑๙๘
๓. ผลการพิจารณาของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย  
คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน ได้พิจารณารายละเอียดเค้าโครงคุณูปนิพนธ์เรื่องดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับ
- ๑) การเคารพในศักดิ์ศรี และสิทธิของคนที่ใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย
  - ๒) วิธีการอย่างเหมาะสมในการได้รับความยินยอมจากกลุ่มตัวอย่างก่อนเข้าร่วมโครงการวิจัย (Informed consent) รวมทั้งการปกป้องสิทธิประโยชน์ และรักษาความลับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย
  - ๓) การดำเนินการวิจัยอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อความเสียหายต่อสิ่งที่ศึกษาวิจัย ไม่ว่าจะเป็สิ่งที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต
- ( ✓ ) รับรองโครงการวิจัย  
(   ) ไม่รับรอง
- จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยในขอบข่ายของโครงการวิจัยที่เสนอได้ ตั้งแต่วันที่ออกเอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนฉบับนี้ จนถึงวันที่ ๓๑ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๐

ออกให้ ณ วันที่ ๑๖ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๙

(ลงนาม)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาดณี)  
ประธานคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน  
คณะดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

### ภาคผนวก ข

หนังสือขออนุญาตผู้ปกครอง ใบตอบรับและใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

1. หนังสือขออนุญาตนำนักเรียนเข้าร่วมโครงการวิจัย จากวิทยาลัยวิทยาการวิจัย และวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
2. ใบตอบรับการเข้าร่วมโครงการวิจัย
3. ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย



ที่ ศธ ๖๒๒๔/

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

..... กรกฎาคม ๒๕๕๙

เรื่อง ขออนุญาตนำนักเรียนเข้าร่วมโครงการวิจัย

เรียน ผู้ปกครอง (ด.ช./ด.ญ./นาย/น.ส.).....

- สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. ใบตอบรับเข้าร่วมโครงการวิจัย  
๒. ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ด้วย Mr. POLINY UNG รหัสประจำตัว ๕๕๘๑๐๑๙๘ นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาการวิจัย และสถิติทางวิทยาการปัญญา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น: การศึกษาค้นคว้าไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์” โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี จำนวน ๖๐ คน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย โรงเรียนสามารถนำแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ ไปใช้เป็นทางเลือกในการกระตุ้นสมองเพื่อพัฒนาความสามารถทางปัญญาของนักเรียน เช่น ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ความสามารถด้านเรขาคณิต ความสนใจ ความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งนักเรียนที่เข้าร่วมโครงการวิจัยจะมีการพัฒนาความสามารถทางปัญญาเพิ่มขึ้น

ในการนี้ ผู้วิจัยได้รับอนุญาตจากผู้อำนวยการโรงเรียนแสนสุข ให้ดำเนินการวิจัยด้วยการนำนักเรียนเข้าเป็นกลุ่มตัวอย่างได้

ดังนั้น จึงขออนุญาตผู้ปกครองให้นักเรียนในปกครองของท่าน เข้าร่วมเป็นอาสาสมัครในการวิจัยดังกล่าว ระหว่างวันที่ ๐๘ สิงหาคม ๒๕๕๙ ถึง ๐๘ กันยายน ๒๕๕๙

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงจะได้รับการอนุญาตจากท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปามี)  
คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

โทร. ๐ ๓๘๑๐ ๒๐๗๗-๘

โทร / โทรสาร ๐ ๓๘๓๙ ๓๔๘๔

<http://www.rmcs.buu.ac.th>

## ใบตอบรับการเข้าร่วมโครงการวิจัย

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/น.ส.).....ผู้ปกครอง  
 ของ (ด.ช./ด.ญ./นาย/น.ส.)..... นักเรียนชั้น.....  
 โรงเรียนแสนสุข ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัยของ Mr. POLINY UNG แล้ว  
 และพิจารณา

- อนุญาตให้เข้าร่วมโครงการวิจัย
- ไม่อนุญาตให้เข้าร่วมโครงการวิจัย เนื่องจาก.....
- .....

ลงชื่อ.....ผู้ปกครอง  
 (.....)

### หมายเหตุ

หากผู้ปกครองมีข้อสงสัยสามารถสอบถามได้ที่

๑. นายสุรเชษฐ์ พิณจิกิจ รองผู้อำนวยการโรงเรียนแสนสุข  
 โทร. ๐๙๙ ๓๒๐ ๑๑๖๑
๒. Mr. POLINY UNG ผู้วิจัย  
 โทร. ๐๙๕ ๘๖๑ ๔๘๙๖
๓. วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา  
 โทร. ๐ ๓๘๑๐ ๒๐๗๗-๘





## ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

**หัวข้อขุขุณินพนธ์** เรื่อง การพัฒนาแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์เหลื่อมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของวัยรุ่นตอนต้น: การศึกษาค้นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์

วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....ก่อนที่จะลงนาม  
ในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย  
วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดและมีความเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้ายินดี  
เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัย  
นี้ เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบัง ซ่อนเร้น  
จนข้าพเจ้าพอใจ ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าจะถูกเก็บเป็นความลับและจะเปิดเผยในภาพรวมที่  
เป็นการสรุปผลการวิจัย

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนาม  
ในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม ..... ผู้ยินยอม

( ..... )

ลงนาม ..... ผู้ปกครอง

( ..... )

ลงนาม ..... ผู้ทำวิจัย

( ..... )

## ภาคผนวก ค

แบบประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือวิจัย

1. แบบประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่เชื่อมโยงเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ
2. แบบประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่เชื่อมโยงเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยผู้ใช้งาน

**แบบประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน**  
**แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM)**  
**(ฉบับผู้ทรงคุณวุฒิ)**

**คำชี้แจง**

แบบประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ มีจุดมุ่งหมายเพื่อทราบความเหมาะสมในการใช้งานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ เพื่อนำผลที่ได้เป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลอง

แบบประเมินฉบับนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

**ตอนที่ 1** โปรดพิจารณาว่า แบบจำลองฯ มีความเหมาะสมในการใช้งาน ตามแต่ละรายการเพียงใด แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องระดับความเหมาะสมที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ตัวอย่างการประเมิน

รายการ	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
<b>ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ</b>					
1. การจัดรูปแบบหน้าจอต่อการใช้งาน		✓			

มีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

- 5 หมายถึง เหมาะสมในระดับมากที่สุด
- 4 หมายถึง เหมาะสมในระดับมาก
- 3 หมายถึง เหมาะสมในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อย
- 1 หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

ข้อ 1 แสดงว่า ท่านเห็นว่า การจัดรูปแบบหน้าจอของแบบจำลองฯ ง่ายต่อการใช้งาน ในระดับมาก

รายการ	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
<b>ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ</b>					
1. การออกแบบหน้าจรมีความน่าสนใจ					
2. การจัดรูปแบบหน้าจอง่ายต่อการใช้งาน					
3. ขั้นตอนการแสดงผลมีความชัดเจน					
4. ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ					
5. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ					
<b>ลักษณะของตัวอักษร</b>					
1. ความเหมาะสมในการเลือกใช้รูปแบบตัวอักษรบนจอภาพ					
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ					
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีของตัวอักษรบนจอภาพ					
4. ความเหมาะสมของการใช้ภาษากับวัยของผู้เล่น					
5. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายต่าง ๆ					
<b>ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น</b>					
1. ความเหมาะสมของรูปทรงตัวกระตุ้นกับระดับการรับรู้ของนักเรียน					
2. ความเหมาะสมของขนาดตัวกระตุ้นกับขนาดหน้าจอ					
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีของตัวกระตุ้น					
4. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการแสดงผล					
5. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการเคลื่อนที่					
6. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการตอบ					
7. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนแสดงผล					
<b>ความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน</b>					
1. คู่มือการใช้แบบจำลองฯ สามารถอธิบายวัตถุประสงค์ของแบบจำลองฯ ได้อย่างชัดเจน					
2. คู่มือการใช้แบบจำลองฯ อธิบายวิธีการใช้งานแบบจำลองฯ ได้อย่างมีลำดับขั้นตอน					
3. ภาษาที่ใช้ในคู่มือการใช้แบบจำลองฯ อ่านเข้าใจง่าย					
4. ในแต่ละขั้นตอนของคู่มือการใช้แบบจำลองฯ มีภาพประกอบให้เห็นได้อย่างชัดเจน					

รายการ	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
5. แบบจำลองฯ อธิบายถึงรายละเอียดของรูปภาพที่ผู้ใช้นำไปใช้งานได้ อย่างชัดเจน					

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ .....

( )

ผู้ประเมิน

**แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน**  
**แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM)**  
**(ฉบับผู้ใช้งาน)**

**คำชี้แจง**

แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิตินี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อทราบความพึงพอใจของนักเรียน ขณะเล่นแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ และนำผลที่ได้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น

แบบประเมินฉบับนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ความพึงพอใจของนักเรียน

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

**ตอนที่ 1** โปรดพิจารณาว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อคู่มือในการใช้งานและการเล่นแบบจำลองฯ ในระดับใด แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องระดับความพึงพอใจที่ตรงกับความรู้สึกของนักเรียน

ตัวอย่างการประเมิน

รายการ	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
<b>ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ</b>					
1. การจัดรูปแบบหน้าจอต่อการใช้งาน		✓			

มีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

- 5 หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด
- 4 หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจมาก
- 3 หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจปานกลาง
- 2 หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจน้อย
- 1 หมายถึง นักเรียนมีความพึงพอใจน้อยที่สุด

ข้อ 1 แสดงว่า นักเรียนรู้สึกพึงพอใจต่อการจัดรูปแบบหน้าจอ ได้ง่ายต่อการใช้งาน ในระดับมาก

รายการ	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
<b>ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ</b>					
1. การออกแบบหน้าจอ มีความน่าสนใจ					
2. การจัดรูปแบบหน้าจอต่อการใช้งาน					
3. ขั้นตอนการแสดงผลมีความชัดเจน					
4. ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ					
5. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ					
<b>ลักษณะของตัวอักษร</b>					
1. ความเหมาะสมในการเลือกใช้รูปแบบตัวอักษรบนจอภาพ					
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ					
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีของตัวอักษรบนจอภาพ					
4. ความเหมาะสมของการใช้ภาษากับวัยของผู้เล่น					
5. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายต่าง ๆ					
<b>ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น</b>					
1. ความเหมาะสมของรูปทรงตัวกระตุ้นกับระดับการรับรู้ของนักเรียน					
2. ความเหมาะสมของขนาดตัวกระตุ้นกับขนาดหน้าจอ					
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีของตัวกระตุ้น					
4. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการแสดงผล					
5. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการเคลื่อนที่					
6. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการตอบ					
7. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการแสดงผล					
<b>ความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน</b>					
1. คู่มือการใช้แบบจำลองฯ สามารถอธิบายวัตถุประสงค์ของแบบจำลองฯ ได้อย่างชัดเจน					
2. คู่มือการใช้แบบจำลองฯ อธิบายวิธีการใช้งานแบบจำลองฯ ได้อย่างมีลำดับขั้นตอน					
3. ภาษาที่ใช้ในคู่มือการใช้แบบจำลองฯ อ่านเข้าใจง่าย					





## ภาคผนวก ง

ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์เหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ  
โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

**ผลการประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน  
ของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ**

การประเมินความเหมาะสมในการใช้งานของแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์ที่แบบสามมิติ ประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาการปัญญา จำนวน 3 คน และด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 คน ได้คะแนนดังนี้

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิ					
	วิทยาการปัญญา			วิทยาการคอมพิวเตอร์		
	1	2	3	4	5	6
<b>ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฯ</b>						
1. การออกแบบหน้าจามีความน่าสนใจ	4	5	4	5	5	4
2. การจัดรูปแบบหน้าจ่ง่ายต่อการใช้งาน	4	4	5	5	5	4
3. ขั้นตอนการแสดงผลมีความชัดเจน	4	3	5	5	5	4
4. ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ	4	5	5	4	5	5
5. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ	5	5	4	5	5	5
<b>ลักษณะของตัวอักษร</b>						
1. ความเหมาะสมในการเลือกใช้รูปแบบตัวอักษรบนจอภาพ	4	5	5	5	5	4
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ	4	5	5	5	5	4
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีของตัวอักษรบนจอภาพ	4	4	5	5	5	4
4. ความเหมาะสมของการใช้ภาษากับวัยของผู้เล่น	4	4	5	4	5	4
5. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายต่าง ๆ	4	5	5	4	5	3
<b>ลักษณะและเวลาการแสดงของตัวกระตุ้น</b>						
1. ความเหมาะสมของรูปร่างตัวกระตุ้นกับระดับการรับรู้ของนักเรียน	4	5	5	5	5	4
2. ความเหมาะสมของขนาดตัวกระตุ้นกับขนาดหน้าจอ	4	5	5	5	5	4
3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สีของตัวกระตุ้น	4	5	5	5	5	4

รายการ	ผู้ทรงคุณวุฒิ					
	วิทยาการปัญญา			วิทยาการคอมพิวเตอร์		
	1	2	3	4	5	6
4. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในกิจกรรมการแสดง	4	4	5	4	5	4
5. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการเคลื่อนที่	4	4	5	5	5	4
6. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนการตอบ	4	4	5	5	5	4
7. ความเหมาะสมของเวลาในการแสดงของตัวกระตุ้นในขั้นตอนแสดงผล	4	4	5	5	5	4
<b>ความชัดเจนของคู่มือการใช้งาน</b>						
1. คู่มือการใช้แบบจำลองฯ สามารถอธิบายวัตถุประสงค์ของแบบจำลองฯ ได้อย่างชัดเจน	4	5	5	5	5	4
2. คู่มือการใช้แบบจำลองฯ อธิบายวิธีการใช้งานแบบจำลองฯ ได้อย่างมีลำดับขั้นตอน	5	5	5	5	5	4
3. ภาษาที่ใช้ในคู่มือการใช้แบบจำลองฯ อ่านเข้าใจง่าย	4	4	4	4	5	4
4. ในแต่ละขั้นตอนของคู่มือการใช้แบบจำลองฯ มีภาพประกอบให้เห็นได้อย่างชัดเจน	5	5	4	4	5	4
5. แบบจำลองฯ อธิบายถึงรายละเอียดของรูปภาพที่ผู้ใช้จะนำไปใช้งานได้อย่างชัดเจน	5	4	3	4	5	4

## ภาคผนวก จ

เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย

1. แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล
2. แบบคัดกรองภาวะซึมเศร้า
3. แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ
4. แผ่นวัดระดับการมองเห็นที่ระยะใกล้
5. แผ่นทดสอบตาบอดสีชนิดตัวเลข (ตัวอย่าง)
6. แบบทดสอบสติปัญญา (ตัวอย่าง)

## แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

คำชี้แจง ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความ และกรอกข้อมูลในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงเกี่ยวกับตัวนักเรียน

1. เพศ
 

<input type="checkbox"/> ชาย	<input type="checkbox"/> หญิง
------------------------------	-------------------------------
2. อายุ.....ปี (เกิน 6 เดือน นับเป็นอีก 1 ปี)
3. ระดับชั้นที่ศึกษา
 

<input type="checkbox"/> ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1	<input type="checkbox"/> ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2	<input type="checkbox"/> ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3
--	--	--
4. การรับประทานอาหารหลักในแต่ละวัน
 

<input type="checkbox"/> ครบ 3 มื้อ	<input type="checkbox"/> ไม่ครบ 3 มื้อ (ไม่รับประทานอาหาร.....)
-------------------------------------	---
5. โรคประจำตัว
 

<input type="checkbox"/> ไม่มี	<input type="checkbox"/> มี โปรดระบุโรค.....
--------------------------------	--
6. เคยได้รับบาดเจ็บที่สมองหรือผ่าตัดที่สมอง
 

<input type="checkbox"/> ไม่เคย	<input type="checkbox"/> เคย
---------------------------------	------------------------------
7. รับประทานยา หรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริม
 

<input type="checkbox"/> เคย	<input type="checkbox"/> นาน ๆ ครั้ง (โปรดระบุชนิด.....)
<input type="checkbox"/> เป็นประจำทุกวัน (โปรดระบุชนิด.....)	
8. การมองเห็น
 

<input type="checkbox"/> ปกติ	<input type="checkbox"/> ต้องใส่แว่นสายตาช่วย
-------------------------------	---
9. เคยเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อตา หรือเคยได้รับการผ่าตัดกล้ามเนื้อตา
 

<input type="checkbox"/> ไม่เคย	<input type="checkbox"/> เคย
---------------------------------	------------------------------
10. นอนหลับวันละ.....ชั่วโมง
11. การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์
 

<input type="checkbox"/> ไม่เป็น	<input type="checkbox"/> เป็น
----------------------------------	-------------------------------
12. การเล่นเกมในคอมพิวเตอร์ หรือโทรศัพท์มือถือ
 

<input type="checkbox"/> ทุกวัน	<input type="checkbox"/> 3 – 5 วันต่อสัปดาห์
<input type="checkbox"/> 1 วันต่อสัปดาห์	<input type="checkbox"/> ไม่เคยเล่นเลย

## แบบคัดกรองภาวะซึมเศร้า

ชื่อ-สกุล (เด็กชาย/เด็กหญิง)..... อายุ .....ปี

**คำชี้แจง** ใน 1 สัปดาห์ที่ผ่านมา นักเรียนมีอาการหรือความคิดเห็นและความรู้สึกดังต่อไปนี้บ่อยแค่ไหน ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย X ลงช่องคำตอบที่เป็นจริงกับตัวนักเรียนมากที่สุด

ข้อ	รายการ	ไม่เคย น้อยกว่า 1 วัน	นาน ๆ ครั้ง 1-2 วัน	บ่อย ๆ 3-4 วัน	ตลอดเวลา 5-7 วัน
1	นักเรียนรู้สึกหงุดหงิดง่าย				
2	นักเรียนรู้สึกเบื่ออาหาร				
3	นักเรียนไม่สามารถขจัดความเศร้าออกจากใจได้แม้จะมีคนคอยช่วยเหลือก็ตาม				
4	นักเรียนรู้สึกว่าตนเองดีพอๆ กับคนอื่น				
5	นักเรียนไม่มีสมาธิ				
6	นักเรียนรู้สึกหดหู่				
7	ทุก ๆ สิ่งที่ทำนักเรียนกระทำจะต้องฝืนใจ				
8	นักเรียนมีความหวังเกี่ยวกับอนาคต				
9	นักเรียนรู้สึกว่าชีวิตมีแต่สิ่งล้มเหลว				
10	นักเรียนรู้สึกหวาดกลัว				
11	นักเรียนนอนไม่ค่อยหลับ				
12	นักเรียนมีความสุข				
13	นักเรียนไม่ค่อยอยากคุยกับใคร				
14	นักเรียนรู้สึกเหงา				
15	ผู้คนทั่วไปไม่ค่อยเป็นมิตรกับนักเรียน				
16	นักเรียนรู้สึกว่าชีวิตนี้สนุกสนาน				
17	นักเรียนร้องไห้				
18	นักเรียนรู้สึกเศร้า				
19	ผู้คนรอบข้างไม่ชอบนักเรียน				
20	นักเรียนรู้สึกท้อถอยในชีวิต				

## แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ (Edinburgh Handedness Inventory)

ชื่อ-สกุล (เด็กชาย/เด็กหญิง) ..... อายุ ..... ปี

**คำชี้แจง** กรุณาทำเครื่องหมาย X ลงในช่องว่างที่ตรงกับการใช้มือของนักเรียนในกิจกรรมต่อไปนี้

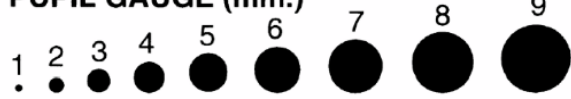
ข้อ	กิจกรรม	มือข้างที่ใช้ทำกิจกรรม	
		มือซ้าย	มือขวา
1	นักเรียนใช้มือข้างใดเขียนหนังสือ		
2	นักเรียนใช้มือข้างใดในการวาดรูป		
3	นักเรียนใช้มือข้างใดจับยางลบในขณะที่ลบคำผิด		
4	นักเรียนใช้มือข้างใดในการขว้างลูกบอลหรือโยนวัตถุ		
5	นักเรียนใช้มือข้างใดจับกรรไกรเวลาตัดกระดาษ		
6	นักเรียนใช้มือข้างใดจับหวีเพื่อหวีผม		
7	นักเรียนใช้มือข้างใดจับแปรงสีฟันขณะแปรงฟัน		
8	นักเรียนใช้มือข้างใดจับช้อนขณะรับประทานอาหาร		
9	นักเรียนใช้มือข้างใดจับค้อนขณะที่ตอกตะปู		
10	นักเรียนใช้มือข้างใดเพื่อไขกุญแจประตู		
11	นักเรียนใช้มือข้างใดเล่นเทนนิส/ปิงปอง/แบดมินตัน		
12	นักเรียนใช้มือข้างใดจับมีดขณะหั่น (เนื้อ, ผัก, ฯลฯ)		
13	นักเรียนใช้มือข้างใดจับไม้กวาดขณะกวาดบ้าน		
14	นักเรียนใช้มือข้างใดจับฟองน้ำขณะล้างจาน		
15	นักเรียนใช้มือข้างใดจับไม้ชนไก่ขณะปิดฝู่น		
16	นักเรียนใช้มือข้างใดเปิดกล่อง		
17	นักเรียนใช้มือข้างใดเพื่อใช้โทรศัพท์มือถือ		
18	นักเรียนใช้มือข้างใดผลักประตู		
19	นักเรียนใช้มือข้างใดจับก้านไม้ขีดไฟเพื่อจุดไฟ		
20	นักเรียนใช้มือข้างใดจับแก้วเพื่อตักน้ำ		

แผ่นวัดระดับการมองเห็นที่ระยะใกล้ (Near Vision)

<b>95</b>											Distance equivalent
											$\frac{20}{800}$
<b>874</b>											
<b>2843</b>											
<b>638 E W E X O O</b>											
<b>8745 E M W O X O</b>											
<b>63925 M E E X O X</b>											
<b>428365 W E M O X O</b>											
<b>374258 E W E X X O</b>											
<b>937826 W M E X X O</b>											
<b>428739 E W M O O X</b>											

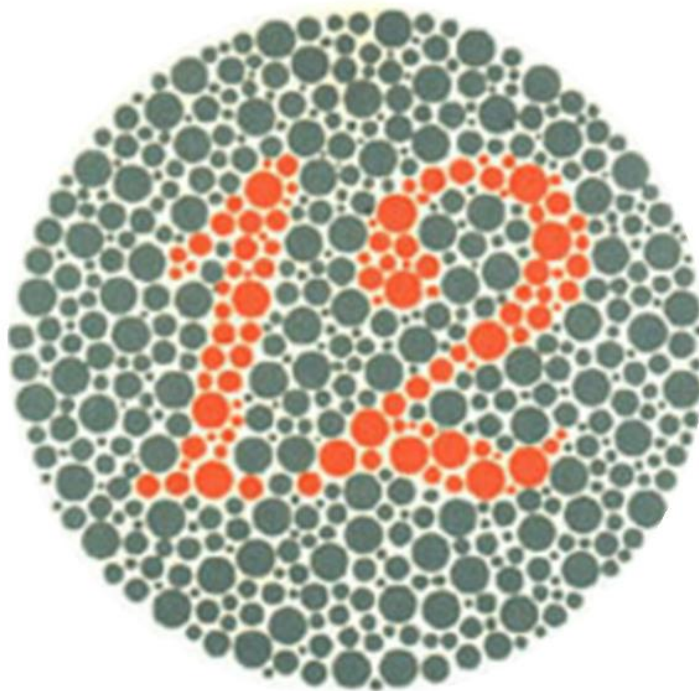
Card is held in good light 14 inches from eye. Record vision for each eye separately with and without glasses. Presbyopic patients should read through bifocal segment. Check myopes with glasses only.

**PUPIL GAUGE (mm.)**

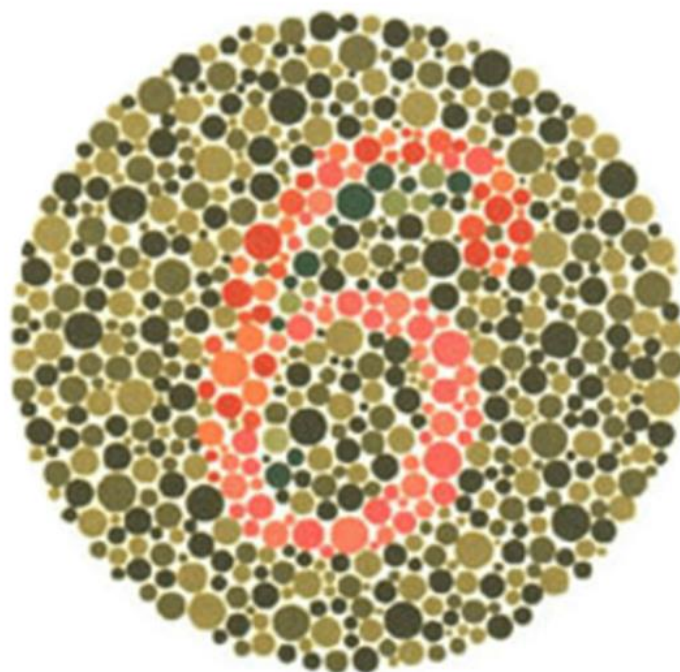




แผ่นทดสอบตาบอดสีชนิดตัวเลข (Test of Colour-Deficiency)  
(ตัวอย่าง)



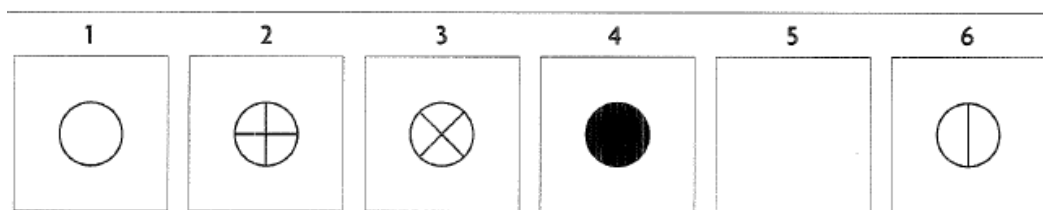
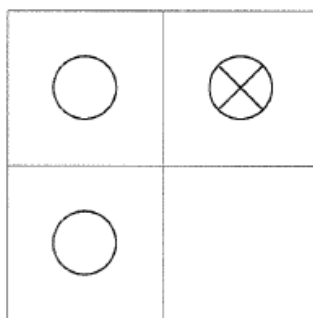
(คำต่อหมายเลข 12)



(คำต่อหมายเลข 6)

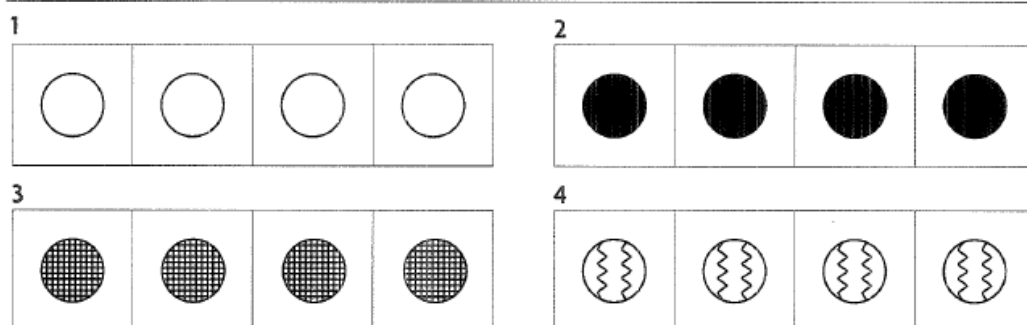
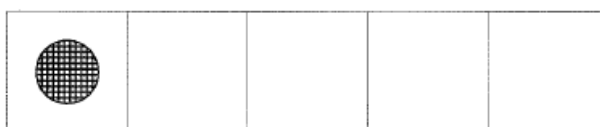
### แบบทดสอบสติปัญญา (ตัวอย่าง)

ข้อที่ 1



(คำตอบ 3)

ข้อที่ 2



(คำตอบ 3)

## **ภาคผนวก ฉ**

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม

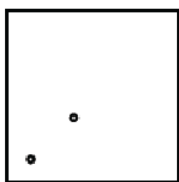
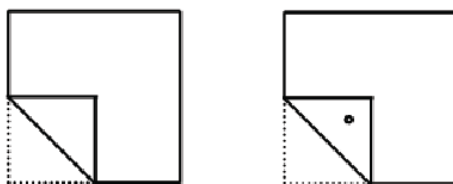
1. แบบทดสอบ Paper Folding Test (PFT)
2. แบบทดสอบ Form Board Test (FBT)
3. แบบทดสอบ Card Rotations Test (CRT)
4. แบบทดสอบ Mental Rotations Test (MRT)

## 1. แบบทดสอบ Paper Folding Test (ตัวอย่าง)

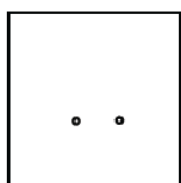
### คำชี้แจง

โจทย์ดังต่อไปนี้

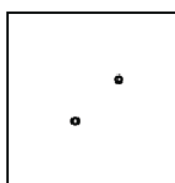
ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียง 1 คำตอบ  
จากคำตอบที่ปรากฏให้ 4 คำตอบ  
โดยการกดหมายเลขที่สอดคล้องกับคำตอบที่เลือก



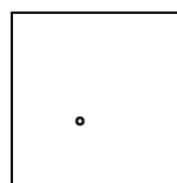
1



2

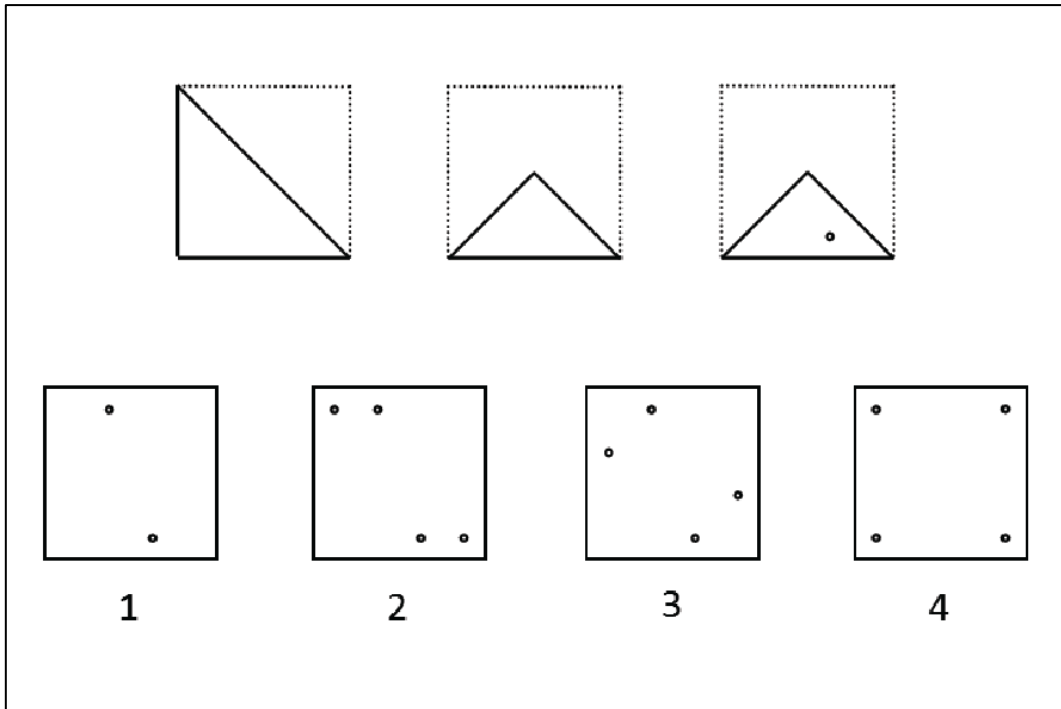


3

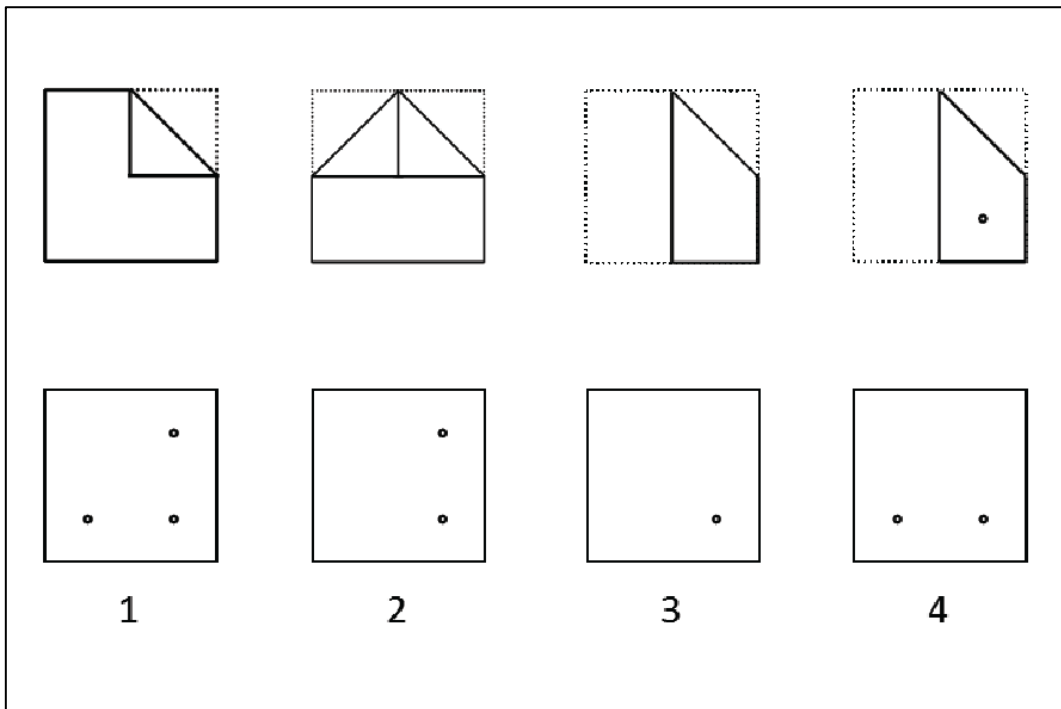


4

(คำตอบ 1)



(คำตอบ 3)

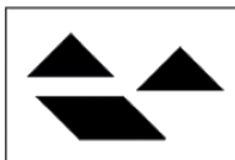


(คำตอบ 4)

## 2. แบบทดสอบ Form Board Test (ตัวอย่าง)

### คำชี้แจง

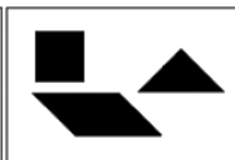
ให้นักเรียนสังเกตภาพด้านล่างว่า  
ภาพใดเมื่อประกอบกันแล้วจะได้เป็นภาพด้านบน



1



2

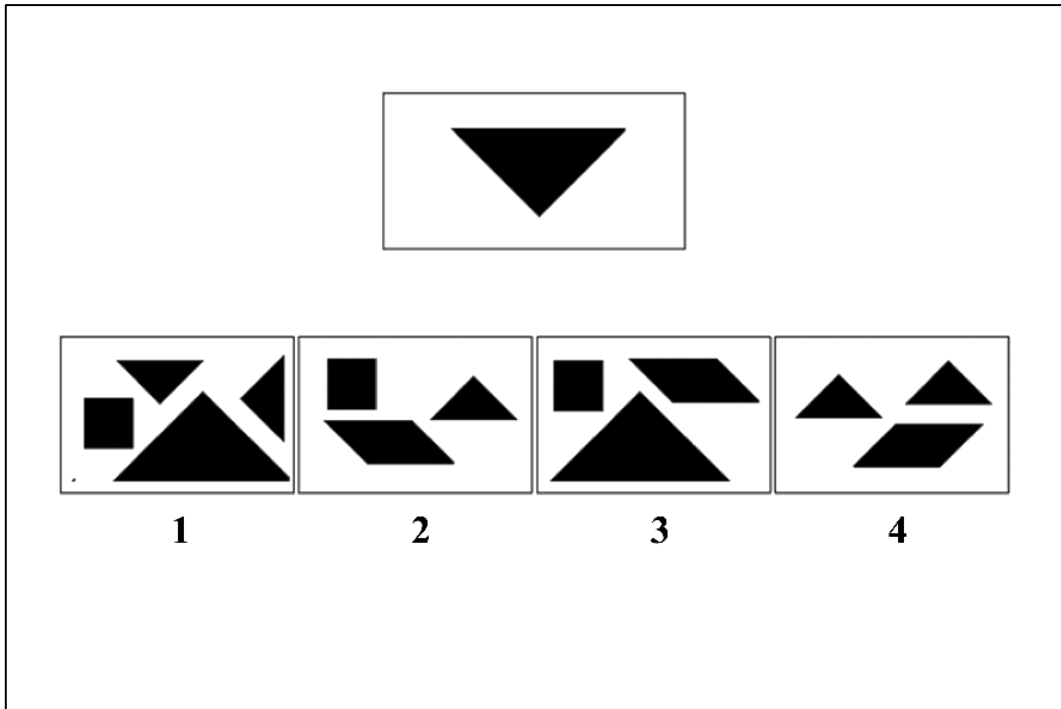


3

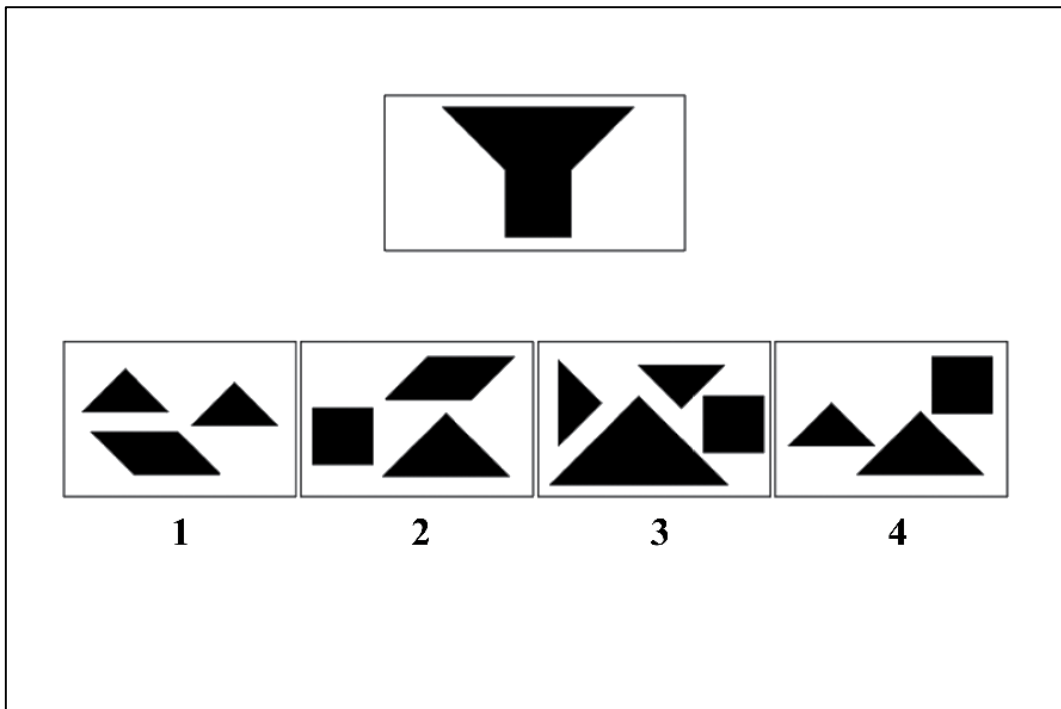


4

(คำตอบ 4)



(คำตอบ 4)



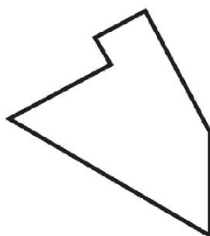
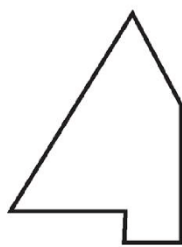
(คำตอบ 2)

### 3. แบบทดสอบ Card Rotations Test (ตัวอย่าง)

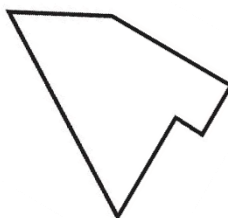
#### คำชี้แจง

โจทย์ดังต่อไปนี้

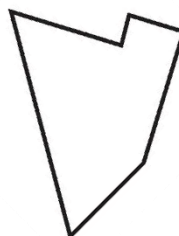
ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียง 1 คำตอบ  
จากคำตอบที่ปรากฏให้ 4 คำตอบ  
โดยการกดหมายเลขที่สอดคล้องกับคำตอบที่เลือก



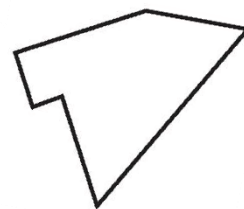
1



2



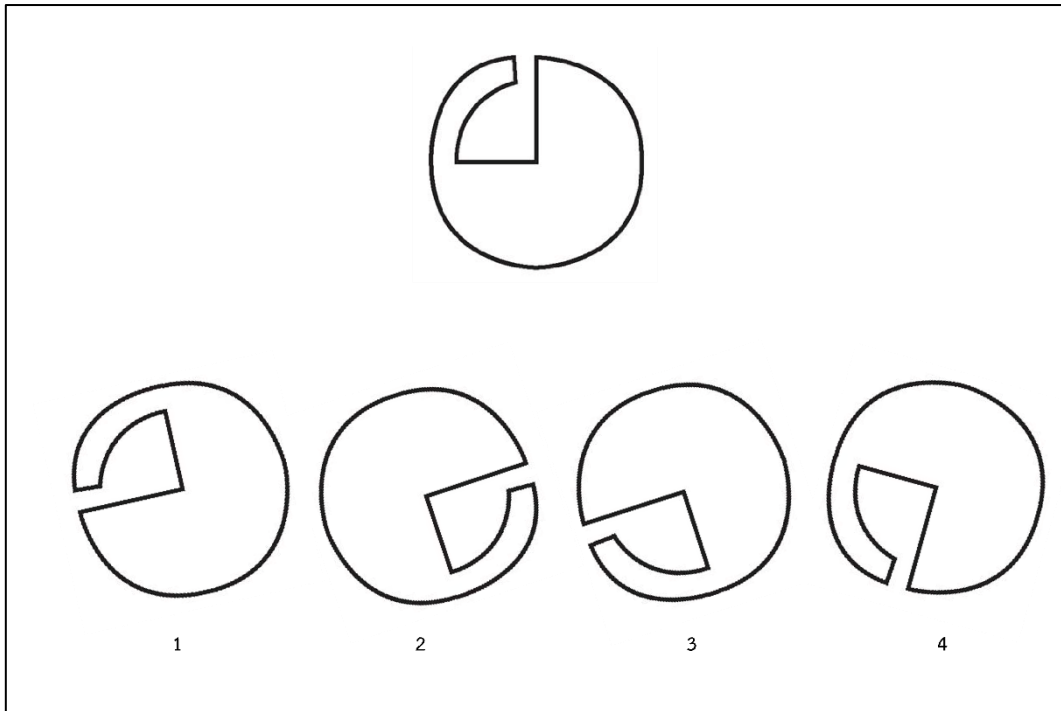
3



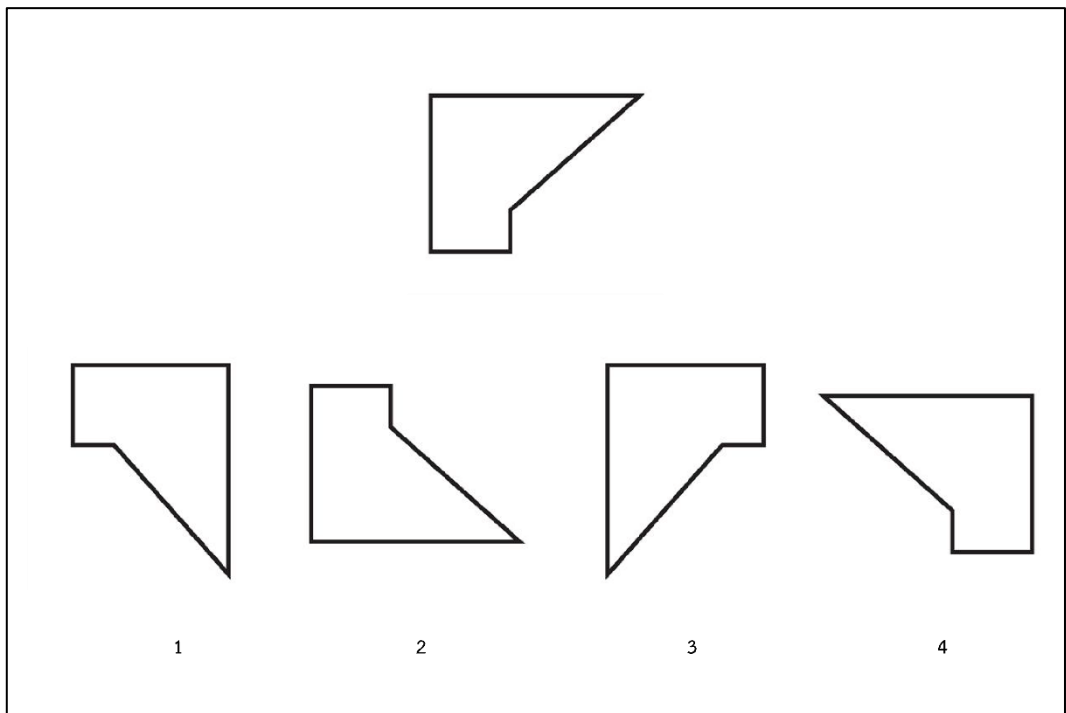
4

(คำตอบ 2)





(คำตอบ 3)



(คำตอบ 1)

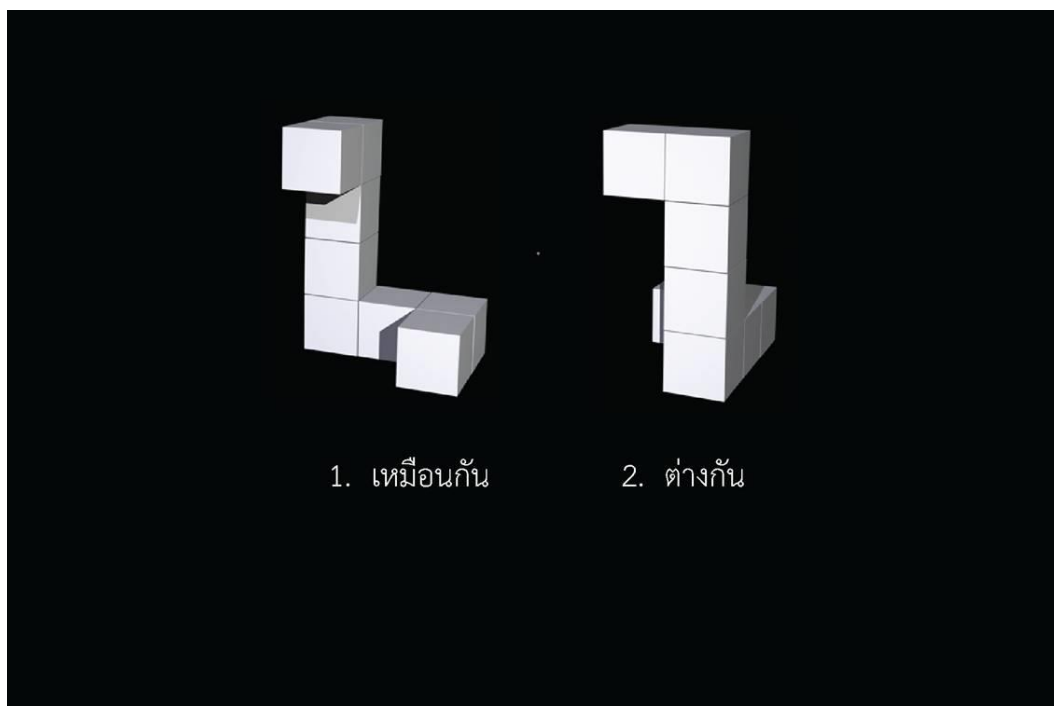
## 4. แบบทดสอบ Mental Rotations Test (ตัวอย่าง)

## คำชี้แจง

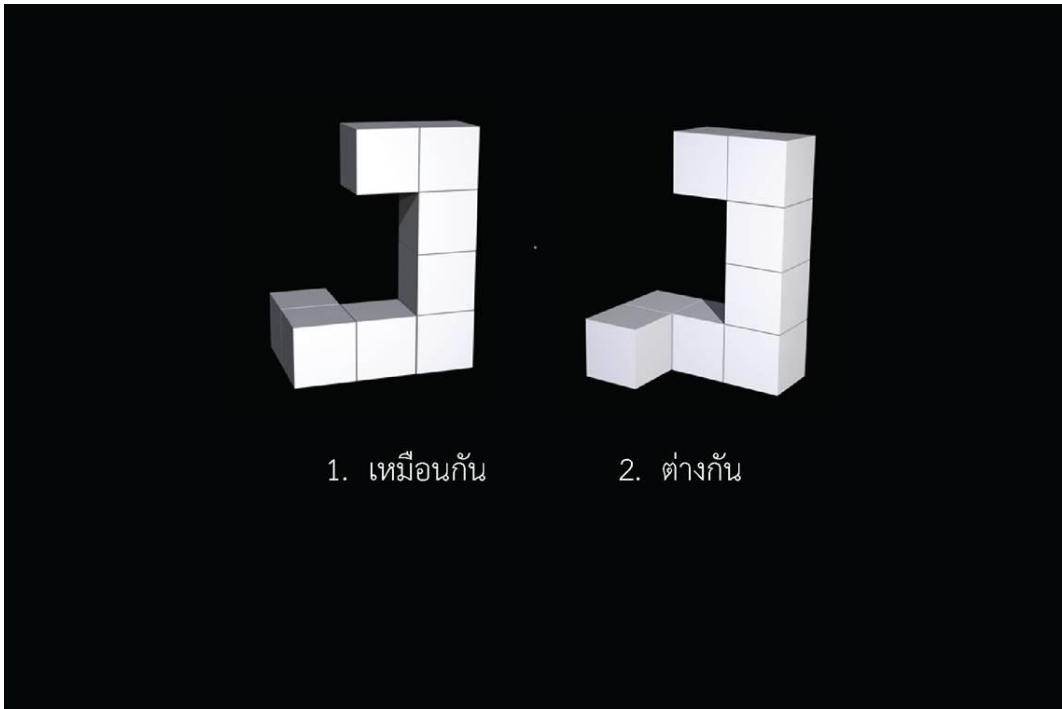
โจทย์ดังต่อไปนี้

ให้นักเรียนสังเกตลักษณะของคู่ภาพที่ปรากฏ  
ว่าเป็นภาพเหมือนกัน หรือต่างกัน

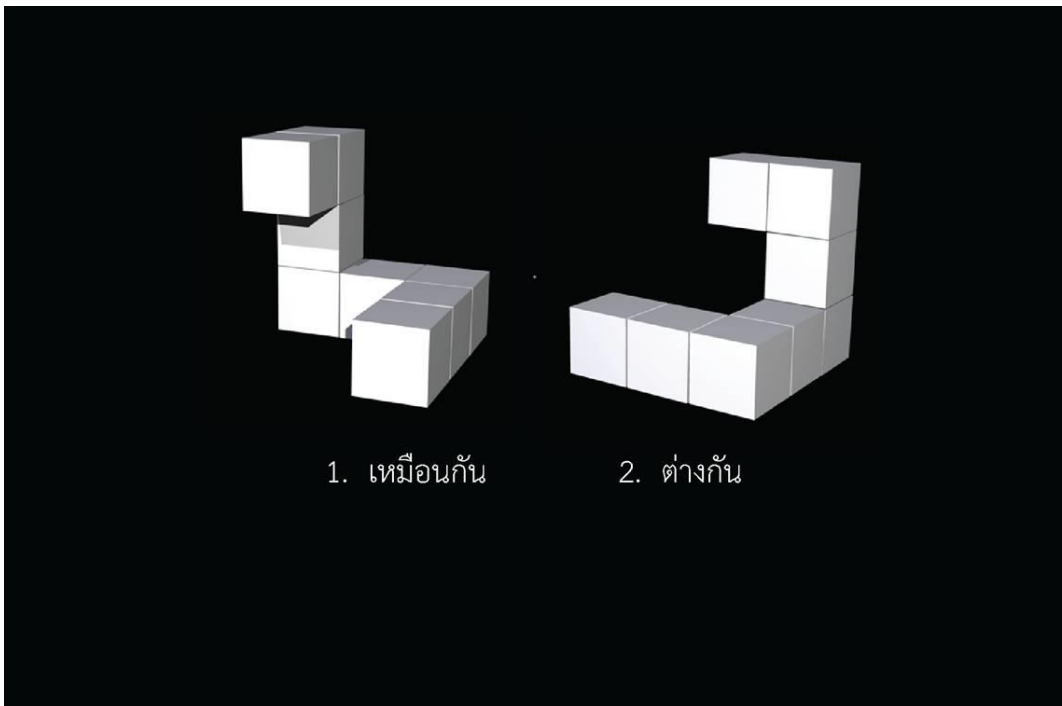
- กค 1 ถ้าคู่ภาพที่ปรากฏเป็นภาพ เหมือนกัน
- กค 2 ถ้าคู่ภาพที่ปรากฏเป็นภาพ ต่างกัน



(ต่างกัน)



(ต่างกัน)



(เหมือนกัน)

## ภาคผนวก ช

คู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุประสงค์เหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ

# คู่มือการใช้งาน

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยม

เคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM)

**User Guide for**

the three-dimensional multiple-moving  
block tracking model (3D-MBTM)



วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

มหาวิทยาลัยบูรพา

2559

ข

## คำนำ

คู่มือการใช้งานแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (Three-Dimensional Multiple-Moving Block Tracking Model : 3D-MBTM) นี้ อธิบายเกี่ยวกับวิธีการใช้งานและลักษณะของแบบจำลองฯ อย่างละเอียด แบบจำลองฯ มีลักษณะเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับฝึกทักษะทางสมอง โดยเฉพาะด้านความใส่ใจ (Attention) และความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability) ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานของกระบวนการทำงานของสมอง และเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ตลอดชีวิต เช่น การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ ทักษะด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ เป็นต้น

แบบจำลองฯ มี 3 ระดับการฝึก ในแต่ละระดับการฝึก ประกอบด้วย 10 กิจกรรมการฝึก รวมเป็น 30 กิจกรรมการฝึก โดยในแต่ละกิจกรรมการฝึกของแบบจำลองฯ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดง การระบุบล็อกเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การตอบ และการแสดงผล

ตามมุมมองของทฤษฎีความยืดหยุ่นของระบบประสาท หากสมองได้รับการฝึกด้วยแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ สมองจะมีการสร้างโครงข่ายประสาทให้มีการเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรงมากขึ้น โดยอัตโนมัติ เพื่อปรับตัวให้เข้ากับกิจกรรมที่เชื่อมกันในแบบจำลองฯ และส่งผลต่อกระบวนการทำงานของสมองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณสมองส่วนบนและสมองส่วนขมับ

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำไปใช้เพื่อฝึกทักษะทางสมอง

POLINY UNG

ค

## สารบัญ

	หน้า
คำนำ .....	ข
สารบัญ .....	ค
สารบัญภาพ.....	ง
แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติคืออะไร .....	1
ทำไมต้องฝึกด้วยแบบจำลองฯ.....	1
ประโยชน์ที่ได้รับ .....	2
อุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับแบบจำลองฯ.....	2
ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ก่อนฝึกด้วยแบบจำลองฯ .....	3
วิธีการเล่นเกมในแบบจำลองฯ.....	6
1. การแสดงและการระบุล๊อคเป้าหมาย .....	6
2. การเคลื่อนที่.....	7
3. การตอบ .....	8
4. การแสดงผล.....	10
ระดับการเล่นในแบบจำลองฯ .....	11

ง

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 หน้าจอเริ่มต้นของแบบจำลองฯ .....	3
2 เมนูทางในหน้าหลักของแบบจำลองฯ .....	4
3 หน้าแสดงการกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้เล่น .....	5
4 หน้ากรอกรหัสประจำตัว .....	6
5 การแสดงและการระบุบล็อกเป้าหมาย .....	7
6 การเคลื่อนที่ .....	8
7 ตัวอย่างการหยุดอยู่กับที่ของบล็อกหลังการเคลื่อนที่.....	9
8 ตัวอย่างการเลือกตอบหมายเลข 4 .....	9
9 การแสดงผลเมื่อตอบผิด .....	10
10 หน้าแสดงผลคะแนน .....	11



## แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) คืออะไร

แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ดำเนินการบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และเชื่อมต่อกับจอสามมิติ แบบจำลองฯ มีลักษณะเป็น 3D จำลอง โดยกำหนดให้ผู้เล่นต้องสวมแว่นตาสามมิติ ขณะเล่นแบบจำลองฯ กิจกรรมที่ใช้ในแบบจำลองฯ มีจำนวน 30 กิจกรรม แบ่งเป็น 3 ระดับการฝึก แต่ละกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดง การระบุบล็อกเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การตอบ และการแสดงผล

กิจกรรมในแบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ กำหนดให้ผู้เล่นรับรู้และต้องจดจำรูปทรงบล็อกเป้าหมาย ที่มีจำนวนตั้งแต่ 1 ตัว ถึง 3 ตัว และพยายามที่จะติดตามและจดจำกับบล็อกเป้าหมายนั้น ๆ แม้แต่มีการรบกวนเกินขึ้น หลังจากนั้นกำหนดให้ผู้เล่นตอบว่า บล็อกใดเป็นบล็อกเป้าหมาย

แบบจำลองฯ เป็นสื่อการกระตุ้นสมองทางเลือก สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาความสามารถทางสมอง เช่น ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ความสามารถด้านเรขาคณิต ความสนใจ ความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยเฉพาะนักเรียนที่มีความบกพร่องทางด้านมิติสัมพันธ์ หรือมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในระดับต่ำ

## ทำไมต้องฝึกด้วยแบบจำลองฯ

ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นองค์ประกอบหนึ่งของสติปัญญามนุษย์ เป็นความสามารถในการจินตนาการ หรือนึกภาพของวัตถุต่าง ๆ ความสามารถด้านนี้เป็นทักษะที่จำเป็นต่อการส่งเสริมประสิทธิภาพในสะเต็มศึกษาของนักเรียน และทักษะ

2

อื่น ๆ เช่น ทักษะด้านศิลปะและความคิดสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ใหม่ นอกจากนี้ยังมีความสำคัญกับอาชีพที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญขั้นสูง เช่น ความเชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ และอาชีพด้านวิศวกรรมศาสตร์อีกด้วย

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบจำลองฯ นี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นทางเลือกในการกระตุ้นสมองด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดทักษะด้าน การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ ทักษะด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ คณิตศาสตร์

### ประโยชน์ที่ได้รับ

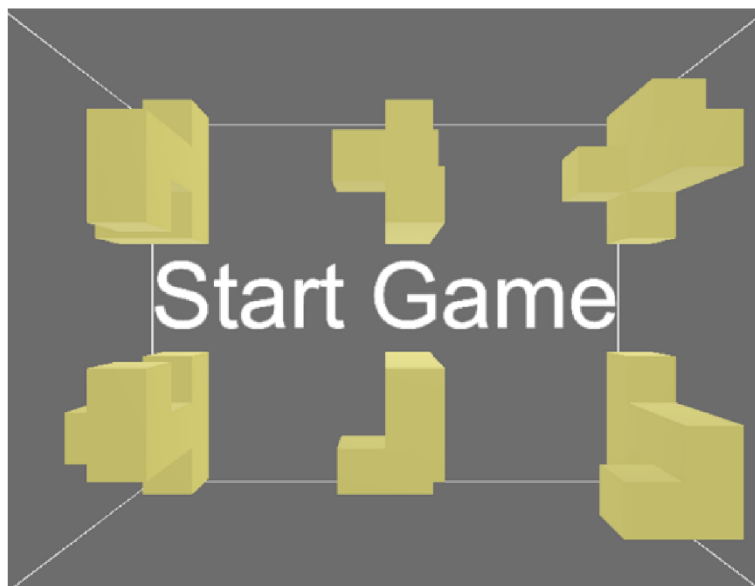
ช่วยส่งเสริมความสามารถทางสมองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านมิติสัมพันธ์ หรือมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ในระดับต่ำ เพราะเป็นทางเลือกที่ทำให้เกิดทักษะจำเป็นสำหรับการเรียนรู้ตลอดชีวิต

### อุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับแบบจำลองฯ

1. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะหรือโน้ตบุ๊ก ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ประกอบกับการ์ดแสดงผลไม่ต่ำกว่า รุ่น NVIDIA 900 Series Graphic Card
2. จอสามมิติ (3D Monitor)
3. แว่นตา 3 มิติ (3D Glasses)
4. ซอฟต์แวร์แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ (3D-MBTM)

### ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ก่อนฝึกด้วยแบบจำลองฯ

1. เชื่อมต่อจอภาพกับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย VGA หรือ HDMI
2. ผู้ฝึกต้องนั่งบนเก้าอี้ตรงหน้าจอ โดยกำหนดให้ดวงตาห่างจากจอ 1.20 เมตร สำหรับจอภาพขนาด 32 นิ้ว
3. เปิดใช้งานซอฟต์แวร์แบบจำลองการติดตามหลายวัตถุทรงเหลี่ยมเคลื่อนที่แบบสามมิติ โดยกดสองครั้งบนไอคอน 3D-MBTM.exe และรอจนหน้าจอแสดงดังภาพที่ 1



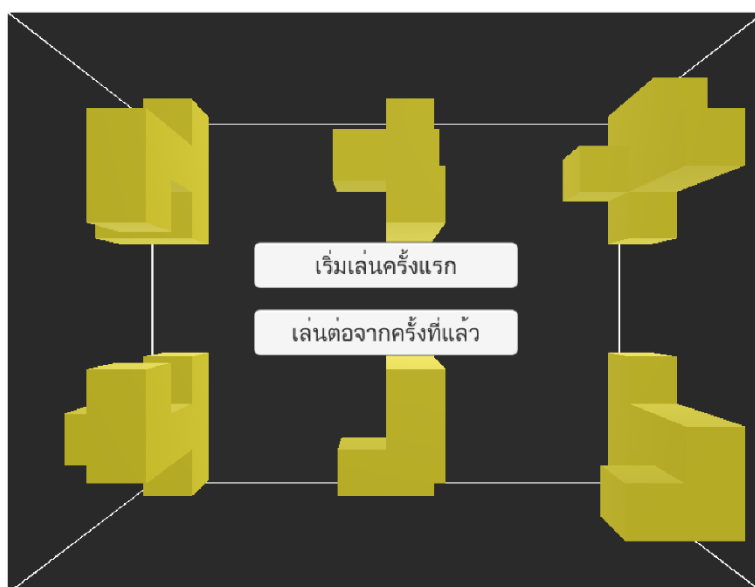
ภาพที่ 1 หน้าจอเริ่มต้นของแบบจำลองฯ

4. เปลี่ยนโหมดของจอเป็น 3D Simulation

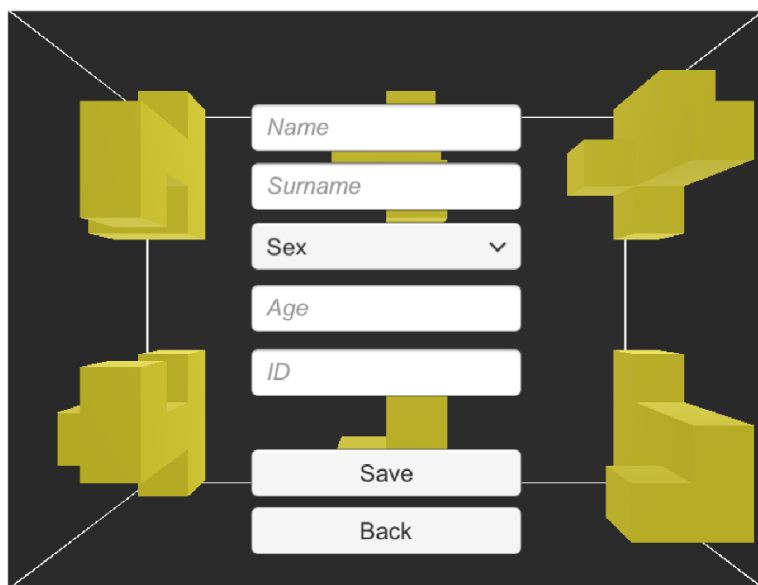
4

5. ผู้เล่นสวมแว่นตา 3 มิติ ตรวจสอบความคมชัดในการรับรู้ภาพ และกดปุ่ม “Enter” เพื่อเริ่มการฝึก

6. สำหรับผู้เล่นที่เข้าเล่นครั้งแรก กำหนดให้กดปุ่ม “เริ่มเล่นครั้งแรก” ดังภาพที่ 2 และลงชื่อ นามสกุล เพศ อายุ และรหัสประจำตัวนักเรียนหรือรหัสบัตรประจำตัวประชาชน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเข้าฝึกในครั้งต่อไป จากนั้นกดปุ่ม “Save” ดังภาพที่ 3 เพื่อเข้าไปยังกิจกรรมฝึกของแบบจำลองฯ



ภาพที่ 2 เมนูทางในหน้าหลักของแบบจำลองฯ

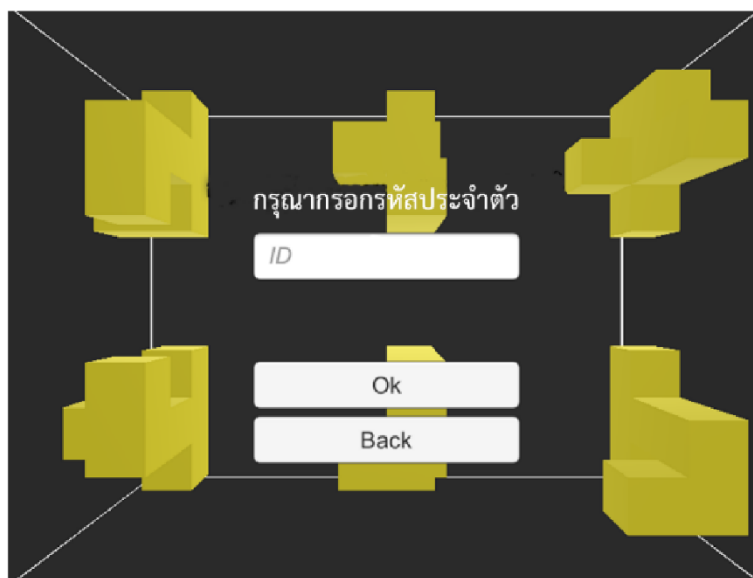


A 3D-rendered user interface for entering player information. The interface is centered on a dark background with yellow 3D blocks. It features a vertical stack of input fields: 'Name', 'Surname', 'Sex' (with a dropdown arrow), 'Age', and 'ID'. Below these fields are two buttons: 'Save' and 'Back'.

ภาพที่ 3 หน้าแสดงการกรอกข้อมูลส่วนตัวของผู้เล่น

7. สำหรับผู้ที่มีข้อมูลส่วนตัวบันทึกในฐานข้อมูลของแบบจำลองฯ หรือเคยเข้าเล่นมาแล้ว กำหนดให้กดปุ่ม “เล่นต่อจากครั้งที่แล้ว” และกรอกรหัสประจำตัวนักเรียนหรือรหัสบัตรประจำตัวประชาชน ดังภาพที่ 4 จากนั้นกดปุ่ม “OK” เพื่อเข้าไปยังกิจกรรมการฝึกของแบบจำลองฯ

6



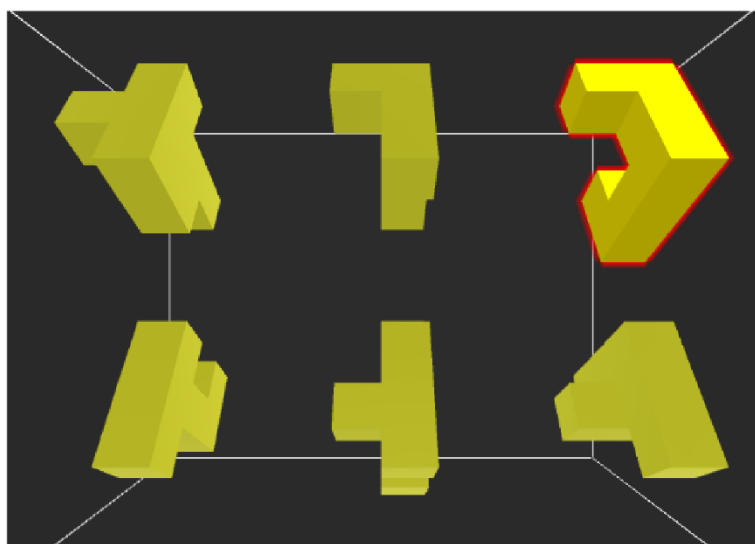
ภาพที่ 4 หน้ากรอกรหัสประจำตัว

### วิธีการเล่นกิจกรรมในแบบจำลองฯ

แต่ละกิจกรรมของแบบจำลองฯ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การแสดง การระบุบล็อกเป้าหมาย การเคลื่อนที่ การตอบ และการแสดงผล

#### 1. การแสดง และการระบุบล็อกเป้าหมาย

การแสดงและการระบุบล็อกเป้าหมาย เป็นขั้นตอนที่แสดงพร้อมกัน โดยแสดงบล็อกทรงลูกบาศก์ จำนวน 6 ตัว บนจอแบบหมุนรอบแกน 360 องศา บล็อกที่มีเส้นขอบสีแดง กำหนดเป็นบล็อกเป้าหมาย ในขั้นตอนนี้กำหนดให้ผู้เล่นต้องจดจำรูปทรงของบล็อกนั้น ๆ ดังภาพที่ 5

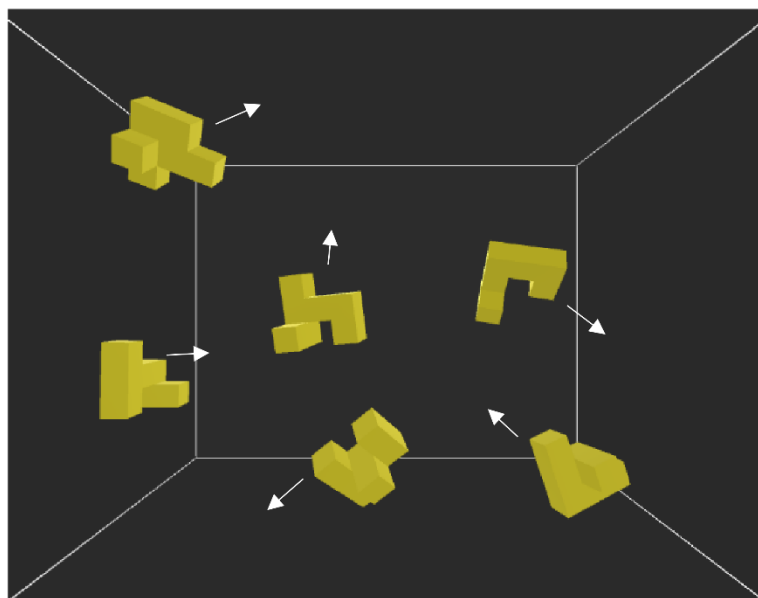


ภาพที่ 5 การแสดงและการระบุบล็อกเป้าหมาย

## 2. การเคลื่อนที่

ต่อจากการแสดงและการระบุบล็อกเป้าหมาย เป็นขั้นตอนการเคลื่อนที่ ในขั้นตอนนี้ บล็อกทั้ง 6 ตัว จะเปลี่ยนสีเป็นสีเดียวกันและเปลี่ยนแปลงตำแหน่งโดยการเคลื่อนที่ตามเส้นตรง ในเวลาที่กำหนด และกำหนดให้ผู้เล่นติดตามและเพิ่มความใส่ใจจดจ่อกับบล็อก ที่ผู้เล่นคิดว่าเป็นบล็อกเป้าหมาย ดังภาพที่ 6

8

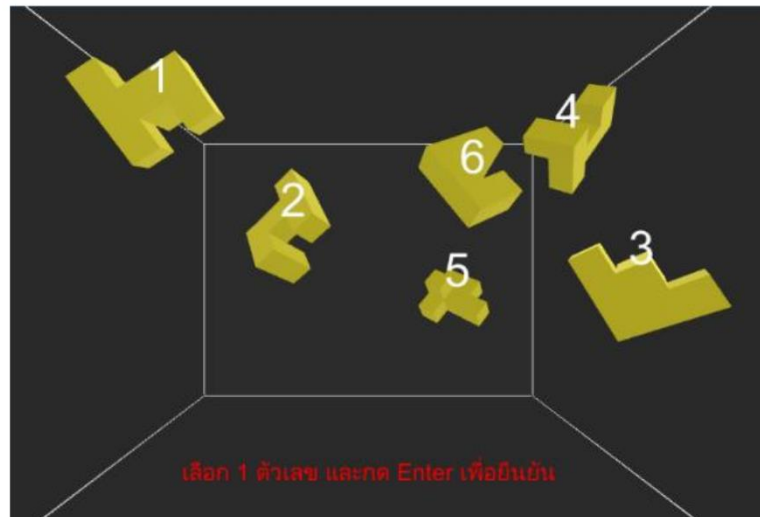


ภาพที่ 6 การเคลื่อนที่

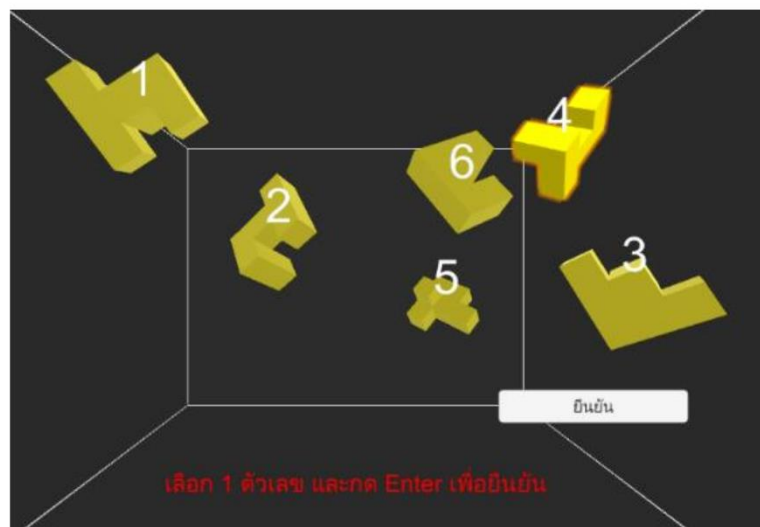
### 3. การตอบ

เมื่อถึงเวลากำหนด บล็อกทั้ง 6 ตัว จะหยุดอยู่กับที่ ดังภาพที่ 7 ในขั้นตอนนี้ กำหนดให้ผู้เล่นเลือกตอบว่า บล็อกใดเป็นบล็อกเป้าหมายที่ต้องติดตาม โดยการเลือกตัวเลขที่อยู่บนบล็อกนั้น ๆ และกดปุ่ม “Enter” เพื่อยืนยันคำตอบ ดังภาพที่ 8 หากผู้เล่นไม่แน่ใจกับคำตอบที่เลือก ก่อนที่จะยืนยัน ผู้เล่นสามารถเปลี่ยนคำตอบได้ โดยการกดปุ่มตัวเลขเดิมที่เลือก แล้วเปลี่ยนไปกดตัวเลขใหม่ที่คิดว่าถูกต้อง แต่ถ้าผู้เล่นได้กดปุ่ม “Enter” เพื่อยืนยันแล้ว ผู้เล่นไม่สามารถเปลี่ยนคำตอบได้แล้ว





ภาพที่ 7 ตัวอย่างการหยุดอยู่กับที่ของบล็อกหลังการเคลื่อนที่

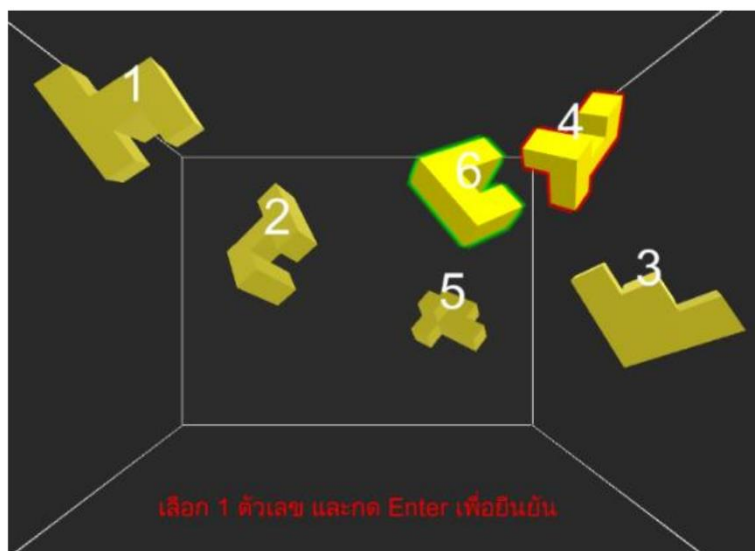


ภาพที่ 8 ตัวอย่างการเลือกตอบหมายเลข 4

10

#### 4. การแสดงผล

ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่แบบจำลองฯ จะแสดงผลว่า ผู้เล่นตอบถูกหรือตอบผิด หากขึ้นเส้นขอบสีเขียวบนบล็อกที่เลือก หมายความว่า ผู้เล่นตอบถูก และผู้เล่นจะได้คะแนนสะสม 1 คะแนน หากขึ้นเส้นขอบสีแดงบนบล็อกที่เลือก และขึ้นสีเขียวบนบล็อกอื่น หมายความว่า ผู้เล่นตอบผิด ซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง คือบล็อกที่ขึ้นเส้นขอบสีเขียว ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การแสดงผลเมื่อตอบผิด

### ระดับการเล่นในแบบจำลองฯ

กิจกรรมในแบบจำลองฯ แบ่งเป็น 3 ระดับการเล่น ดังนี้

ระดับการเล่น 1 เป็นกิจกรรมที่มีบล็อกเป้าหมายที่ต้องติดตาม จำนวน 1 ตัว มีจำนวน 10 กิจกรรม

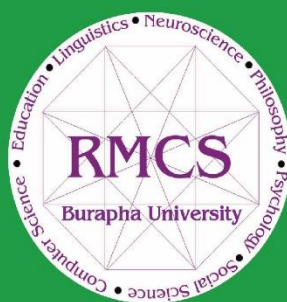
ระดับการเล่น 2 เป็นกิจกรรมที่มีบล็อกเป้าหมายที่ต้องติดตาม จำนวน 2 ตัว มีจำนวน 10 กิจกรรม

ระดับการเล่น 3 เป็นกิจกรรมที่มีบล็อกเป้าหมายที่ต้องติดตาม จำนวน 3 ตัว มีจำนวน 10 กิจกรรม

เมื่อผู้เล่นฝึกครบ จำนวน 30 กิจกรรม หน้าจอจะแสดงผลคะแนนที่ตอบถูกต้องภาพที่ 10 โดยผลคะแนนการฝึกแต่ละครั้งจะนำไปบันทึกในฐานข้อมูลที่เป็นไฟล์ Excel



ภาพที่ 10 หน้าแสดงผลคะแนน



### ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพฤติกรรม (คะแนนตอบถูกและเวลาตอบ)

1. ผลการเปรียบเทียบคะแนนตอบถูก ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
2. ผลการเปรียบเทียบเวลาตอบ ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
3. ผลการเปรียบเทียบคะแนนตอบถูกหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
4. ผลการเปรียบเทียบเวลาตอบหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

## 1. ผลการเปรียบเทียบคะแนนตอบถูก ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

### Bartlett's Test of Sphericity

Effect		Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	df	Sig.
Within Subjects	Time	.000	19.36	5	.00

Tests the null hypothesis that the residual covariance matrix is proportional to an identity matrix.

Within Subjects Design: Time

### Tests of Within-Subjects Effects

Within Subjects Effect	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Eta Squared	Observed Power
Time Pillai's Trace	.63	15.48	3.00	27.00	.00	.63	1.00
Wilks' Lambda	.37	15.48	3.00	27.00	.00	.63	1.00
Hotelling's Trace	1.72	15.48	3.00	27.00	.00	.63	1.00
Roy's Largest Root	1.72	15.48	3.00	27.00	.00	.63	1.00

Source	Measure	Time	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Eta Squared	Observed Power
Time	PFT_FBT	Linear	129.07	1.00	129.07	22.97	.00	.44	1.00
	CRT	Linear	46.82	1	46.82	5.69	.02	.16	.64
	MRT	Linear	660.02	1	660.02	26.49	.00	.48	1.00
Error (Time)	PFT_FBT	Linear	162.93	29	5.62				
	CRT	Linear	238.68	29	8.23				
	MRT	Linear	722.48	29	24.91				

## 2. ผลการเปรียบเทียบเวลาตอบระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

### Bartlett's Test of Sphericity

Effect		Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	df	Sig.
Within Subjects	Time	.00	11.69	5	.04

Tests the null hypothesis that the residual covariance matrix is proportional to an identity matrix.

Within Subjects Design: Time

### Tests of Within-Subjects Effects

								Observed
Within Subjects Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Eta Squared	Power
Time	Pillai's Trace	.91	94.95	3.00	27.00	.00	.91	1.00
	Wilks' Lambda	.09	94.95	3.00	27.00	.00	.91	1.00
	Hotelling's Trace	10.55	94.95	3.00	27.00	.00	.91	1.00
	Roy's Largest Root	10.55	94.95	3.00	27.00	.00	.91	1.00

			Type III Sum				Eta		Observed
Source	Measure	Time	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Squared	Power
Time	PFT_FBT	Linear	6913523.11	1	6913523.11	180.35	.00	.86	1.00
	CRT	Linear	3356438.98	1	3356438.98	62.80	.00	.68	1.00
	MRT	Linear	5172217.94	1	5172217.94	47.01	.00	.62	1.00
Error(Time)	PFT_FBT	Linear	1111688.89	29	38334.10				
	CRT	Linear	1549872.28	29	53443.87				
	MRT	Linear	3191024.78	29	110035.34				

### 3. ผลการเปรียบเทียบคะแนนตอบถูกหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

Box's Test of Equality of Covariance Matrices

Statistics	Box's M	F	df1	df2	Sig.
Value	6.35	1.00	6	24373.13	.42

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

Bartlett's Test of Sphericity

Effect	Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	df	Sig.
Between Subjects	.00	36.55	5	.00

Tests the null hypothesis that the residual covariance matrix is proportional to an identity matrix.

Multivariate Tests

Effect	Value	Hypothesis				Observed		
		F	df	Error df	Sig.	Eta Squared	Power	
Group	Pillai's Trace	.30	7.82	3.00	56.00	.00	.30	.98
	Wilks' Lambda	.70	7.82	3.00	56.00	.00	.30	.98
	Hotelling's Trace	.42	7.82	3.00	56.00	.00	.30	.98
	Roy's Largest Root	.42	7.82	3.00	56.00	.00	.30	.98

Levene's Test of Equality of Error Variances

	F	df1	df2	Sig.
PFT_FBT_POST	.00	1	58	.95
CRT_POST	2.68	1	58	.11
MRT_POST	3.38	1	58	.07

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.



## Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III			F	Sig.	Eta Squared	Observed Power
		Sum of Squares	df	Mean Square				
Group	PFT_FBT_POST	317.40	1	317.40	15.27	.00	.21	.97
	CRT_POST	48.60	1	48.60	.75	.39	.01	.14
	MRT_POST	851.27	1	851.27	13.90	.00	.19	.96
Error	PFT_FBT_POST	1205.33	58	20.78				
	CRT_POST	3750.80	58	64.67				
	MRT_POST	3551.67	58	61.24				
Total	PFT_FBT_POST	28574.00	60					
	CRT_POST	120488.00	60					
	MRT_POST	123396.00	60					
Corrected	PFT_FBT_POST	1522.73	59					
Total	CRT_POST	3799.40	59					
	MRT_POST	4402.93	59					

#### 4. ผลการเปรียบเทียบเวลาตอบหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

Box's Test of Equality of Covariance Matrices

Statistics	Box's M	F	df1	df2	Sig.
Value	9.65	1.52	6	24373.13	.17

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

Bartlett's Test of Sphericity

Effect	Likelihood Ratio	Approx. Chi-Square	df	Sig.
Between Subjects	.00	10.94	5	.05

Tests the null hypothesis that the residual covariance matrix is proportional to an identity matrix.

Multivariate Tests

Effect	Value	Hypothesis				Observed		
		F	df	Error df	Sig.	Eta Squared	Power	
Group	Pillai's Trace	.60	27.67	3.00	56.00	.00	.60	1.00
	Wilks' Lambda	.40	27.67	3.00	56.00	.00	.60	1.00
	Hotelling's Trace	1.48	27.67	3.00	56.00	.00	.60	1.00
	Roy's Largest Root	1.48	27.67	3.00	56.00	.00	.60	1.00

Levene's Test of Equality of Error Variances

	F	df1	df2	Sig.
PFT_FBT_POST	2.95	1	58	.09
CRT_POST	4.25	1	58	.04
MRT_POST	1.21	1	58	.28

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

## Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Eta Squared	Observed Power
Group	PFT_FBT_POST	5812467.69	1	5812467.69	38.06	.00	.40	1.00
	CRT_POST	3668159.81	1	3668159.81	50.29	.00	.46	1.00
	MRT_POST	728290.58	1	728290.58	8.78	.00	.13	.83
Error	PFT_FBT_POST	8857318.94	58	152712.40				
	CRT_POST	4230813.18	58	72945.05				
	MRT_POST	4808512.97	58	82905.40				
Total	PFT_FBT_POST	228436631.20	60					
	CRT_POST	133644167.60	60					
	MRT_POST	127614471.40	60					
Corrected	PFT_FBT_POST	14669786.63	59					
Total	CRT_POST	7898972.99	59					
	MRT_POST	5536803.55	59					

## ภาคผนวก ฅ

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง

1. ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
2. ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง
3. ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
4. ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

1. ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300  
ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

Test Statistics (Wilcoxon Signed Ranks Test)		
	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
Pre_Fp1 - Post_Fp1	-2.87	.00
Pre_Fp2 - Post_Fp2	-.46	.64
Pre_F3 - Post_F3	-1.96	.05
Pre_F4 - Post_F4	-2.66	.01
Pre_C3 - Post_C3	-1.84	.07
Pre_C4 - Post_C4	-3.03	.00
Pre_P3 - Post_P3	-3.84	.00
Pre_P4 - Post_P4	-4.04	.00
Pre_T6 - Post_T6	-3.55	.00
Pre_T5 - Post_T5	-2.50	.01
Pre_T4 - Post_T4	-3.40	.00
Pre_T3 - Post_T3	-2.46	.01
Pre_F8 - Post_F8	-2.44	.01
Pre_F7 - Post_F7	-.36	.72
Pre_O2 - Post_O2	-1.49	.14
Pre_O1 - Post_O1	-1.43	.15
Pre_Cz - Post_Cz	-2.15	.03
Pre_Fz - Post_Fz	-.55	.59
Pre_Pz - Post_Pz	-3.45	.00

2. ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300  
ระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง ในกลุ่มทดลอง

<b>Test Statistics (Wilcoxon Signed Ranks Test)</b>		
	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
PreFp1Lat - PostFp1Lat	-1.33	.18
PreFp2Lat - PostFp2Lat	-.06	.95
PreF3Lat - PostF3Lat	-2.27	.02
PreF4Lat - PostF4Lat	-1.57	.12
PreC3Lat - PostC3Lat	-2.51	.01
PreC4Lat - PostC4Lat	-2.05	.04
PreP3Lat - PostP3Lat	-3.66	.00
PreP4Lat - PostP4Lat	-1.58	.11
PreT6Lat - PostT6Lat	-.10	.92
PreT5Lat - PostT5Lat	-1.42	.16
PreT4Lat - PostT4Lat	-2.20	.03
PreT3Lat - PostT3Lat	-1.64	.10
PreF8Lat - PostF8Lat	-2.59	.01
PreF7Lat - PostF7Lat	-3.91	.00
PreO2Lat - PostO2Lat	-1.29	.20
PreO1Lat - PostO1Lat	-.58	.56
PreCzLat - PostCzLat	-2.28	.02
PreFzLat - PostFzLat	-.28	.78
PrePzLat - PostPzLat	-1.91	.06

### 3. ผลการเปรียบเทียบความสูงของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

Group Statistics				
	Group	N	Mean	Std. Deviation
Post_Fp1	Exp. Group	30	1.72	1.61
	Con. Group	30	.76	.77
Post_Fp2	Exp. Group	30	2.68	1.95
	Con. Group	30	2.40	1.59
Post_F3	Exp. Group	30	1.95	1.61
	Con. Group	30	1.20	1.17
Post_F4	Exp. Group	30	1.63	1.15
	Con. Group	30	1.01	.60
Post_C3	Exp. Group	30	1.64	.65
	Con. Group	30	1.06	.64
Post_C4	Exp. Group	30	2.22	1.03
	Con. Group	30	1.89	.69
Post_P3	Exp. Group	30	3.08	.93
	Con. Group	30	2.51	.64
Post_P4	Exp. Group	30	3.65	1.09
	Con. Group	30	3.29	.82
Post_T6	Exp. Group	30	3.61	1.24
	Con. Group	30	3.47	.88
Post_T5	Exp. Group	30	2.95	1.11
	Con. Group	30	2.63	.95
Post_T4	Exp. Group	30	2.62	1.05
	Con. Group	30	2.27	.62
Post_T3	Exp. Group	30	4.11	1.32
	Con. Group	30	3.51	.90
Post_F8	Exp. Group	30	2.53	1.69
	Con. Group	30	2.47	1.41
Post_F7	Exp. Group	30	2.09	1.87
	Con. Group	30	1.97	2.13
Post_O2	Exp. Group	30	2.10	1.01
	Con. Group	30	1.81	1.49
Post_O1	Exp. Group	30	3.42	.98
	Con. Group	30	3.86	1.12
Post_Cz	Exp. Group	30	1.61	.96
	Con. Group	30	1.43	.88
Group Statistics				

	Group	N	Mean	Std. Deviation
Post_Fz	Exp. Group	30	1.03	.95
	Con. Group	30	.83	.66
Post_Pz	Exp. Group	30	3.70	1.17
	Con. Group	30	3.20	.79

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
Post_Fp1	Equal variances assumed	7.172	.01	2.95	58.00	.00
	Equal variances not assumed			2.95	41.49	.01
Post_Fp2	Equal variances assumed	.708	.40	.62	58.00	.54
	Equal variances not assumed			.62	55.76	.54
Post_F3	Equal variances assumed	4.210	.04	2.07	58.00	.04
	Equal variances not assumed			2.07	52.95	.04
Post_F4	Equal variances assumed	16.010	.00	2.60	58.00	.01
	Equal variances not assumed			2.60	43.61	.01
Post_C3	Equal variances assumed	.179	.67	3.46	58.00	.00
	Equal variances not assumed			3.46	57.97	.00
Post_C4	Equal variances assumed	1.781	.19	1.47	58.00	.15
	Equal variances not assumed			1.47	50.67	.15
Post_P3	Equal variances assumed	3.678	.06	2.75	58.00	.01
	Equal variances not assumed			2.75	51.53	.01
Post_P4	Equal variances assumed	1.238	.27	1.45	58.00	.15
	Equal variances not assumed			1.45	53.91	.15
Post_T6	Equal variances assumed	1.355	.25	.52	58.00	.61
	Equal variances not assumed			.52	52.12	.61
Post_T5	Equal variances assumed	.402	.53	1.21	58.00	.23
	Equal variances not assumed			1.21	56.76	.23
Post_T4	Equal variances assumed	8.390	.01	1.54	58.00	.13
	Equal variances not assumed			1.54	47.20	.13
Post_T3	Equal variances assumed	5.424	.02	2.08	58.00	.04
	Equal variances not assumed			2.08	51.15	.04
Post_F8	Equal variances assumed	1.036	.31	.16	58.00	.88
	Equal variances not assumed			.16	56.21	.88
Post_F7	Equal variances assumed	.419	.52	.24	58.00	.81
	Equal variances not assumed			.24	57.02	.81

### Independent Samples Test



		Levene's Test for Equality		t-test for Equality of Means		
		of Variances		t	df	Sig. (2-tailed)
		F	Sig.			
Post_O2	Equal variances assumed	3.422	.07	.89	58.00	.38
	Equal variances not assumed			.89	51.04	.38
Post_O1	Equal variances assumed	.079	.78	-1.65	58.00	.10
	Equal variances not assumed			-1.65	56.96	.10
Post_Cz	Equal variances assumed	.191	.66	.75	58.00	.46
	Equal variances not assumed			.75	57.64	.46
Post_Fz	Equal variances assumed	1.189	.28	.97	58.00	.34
	Equal variances not assumed			.97	51.70	.34
Post_Pz	Equal variances assumed	5.796	.02	1.95	58.00	.06
	Equal variances not assumed			1.95	50.97	.06

4. ผลการเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 หลังการทดลอง  
ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

Group Statistics				
	Group	N	Mean	Std. Deviation
PostFp1Lat	Exp. Group	30	473.98	39.22
	Con. Group	30	471.22	35.73
PostFp2Lat	Exp. Group	30	477.38	42.02
	Con. Group	30	472.69	37.80
PostF3Lat	Exp. Group	30	443.29	50.78
	Con. Group	30	461.98	36.57
PostF4Lat	Exp. Group	30	434.02	44.54
	Con. Group	30	444.31	47.40
PostC3Lat	Exp. Group	30	441.09	43.97
	Con. Group	30	448.82	51.66
PostC4Lat	Exp. Group	30	430.76	44.15
	Con. Group	30	453.62	54.32
PostP3Lat	Exp. Group	30	407.89	38.67
	Con. Group	30	459.58	48.62
PostP4Lat	Exp. Group	30	415.04	42.56
	Con. Group	30	419.00	40.70
PostT6Lat	Exp. Group	30	411.56	33.25
	Con. Group	30	426.18	39.55
PostT5Lat	Exp. Group	30	427.73	40.53
	Con. Group	30	434.00	42.74
PostT4Lat	Exp. Group	30	444.56	41.57
	Con. Group	30	456.07	46.44
PostT3Lat	Exp. Group	30	416.51	35.83
	Con. Group	30	413.67	39.67
PostF8Lat	Exp. Group	30	473.84	39.99
	Con. Group	30	493.16	39.66
PostF7Lat	Exp. Group	30	417.64	41.67
	Con. Group	30	437.60	38.57
PostO2Lat	Exp. Group	30	445.51	38.94
	Con. Group	30	434.11	42.93
PostO1Lat	Exp. Group	30	438.84	40.98
	Con. Group	30	432.56	34.98
PostCzLat	Exp. Group	30	446.98	40.64
	Con. Group	30	462.69	52.46
Group Statistics				

	Group	N	Mean	Std. Deviation
PostFzLat	Exp. Group	30	456.69	58.64
	Con. Group	30	463.62	55.88
PostPzLat	Exp. Group	30	419.07	44.02
	Con. Group	30	432.96	45.34

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality		t-test for Equality of Means		
		of Variances		t	df	Sig. (2-tailed)
		F	Sig.			
PostFp1Lat	Equal variances assumed	.012	.91	.28	58.00	.78
	Equal variances not assumed			.28	57.50	.78
PostFp2Lat	Equal variances assumed	.030	.86	.45	58.00	.65
	Equal variances not assumed			.45	57.36	.65
PostF3Lat	Equal variances assumed	3.991	.05	-1.64	58.00	.11
	Equal variances not assumed			-1.64	52.70	.11
PostF4Lat	Equal variances assumed	.003	.95	-.87	58.00	.39
	Equal variances not assumed			-.87	57.78	.39
PostC3Lat	Equal variances assumed	1.446	.23	-.62	58.00	.53
	Equal variances not assumed			-.62	56.55	.53
PostC4Lat	Equal variances assumed	.775	.38	-1.79	58.00	.08
	Equal variances not assumed			-1.79	55.68	.08
PostP3Lat	Equal variances assumed	3.131	.08	-4.56	58.00	.00
	Equal variances not assumed			-4.56	55.20	.00
PostP4Lat	Equal variances assumed	.441	.51	-.37	58.00	.71
	Equal variances not assumed			-.37	57.89	.71
PostT6Lat	Equal variances assumed	1.289	.26	-1.55	58.00	.13
	Equal variances not assumed			-1.55	56.34	.13
PostT5Lat	Equal variances assumed	.559	.46	-.58	58.00	.56
	Equal variances not assumed			-.58	57.84	.56
PostT4Lat	Equal variances assumed	.759	.39	-1.01	58.00	.32
	Equal variances not assumed			-1.01	57.30	.32
PostT3Lat	Equal variances assumed	.249	.62	.29	58.00	.77
	Equal variances not assumed			.29	57.41	.77
PostF8Lat	Equal variances assumed	.060	.81	-1.88	58.00	.07
	Equal variances not assumed			-1.88	58.00	.07
PostF7Lat	Equal variances assumed	.004	.95	-1.93	58.00	.06
	Equal variances not assumed			-1.93	57.66	.06

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality		t-test for Equality of Means		
		of Variances		t	df	Sig. (2-tailed)
		F	Sig.			
PostO2Lat	Equal variances assumed	.050	.82	1.08	58.00	.29
	Equal variances not assumed			1.08	57.46	.29
PostO1Lat	Equal variances assumed	.576	.45	.64	58.00	.53
	Equal variances not assumed			.64	56.60	.53
PostCzLat	Equal variances assumed	3.742	.06	-1.30	58.00	.20
	Equal variances not assumed			-1.30	54.59	.20
PostFzLat	Equal variances assumed	.199	.66	-.47	58.00	.64
	Equal variances not assumed			-.47	57.87	.64
PostPzLat	Equal variances assumed	.648	.42	-1.20	58.00	.23
	Equal variances not assumed			-1.20	57.95	.23