

การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา:
การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง

วิสุทธิ กล้าหาญ

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
ธันวาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมคุณิพนธ์และคณะกรรมการสอบคุณิพนธ์ ได้พิจารณา
คุณิพนธ์ของ วิสุทธิ์ กล้าหาญ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาคุณิพนธ์บัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมคุณิพนธ์



.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

คณะกรรมการสอบคุณิพนธ์



.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิมพ์ ศรีพันธ์วรสกุล)



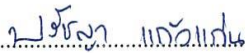
.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี มากมี)



.....กรรมการ

(ดร.ปรัชญา แก้วแก่น)



.....กรรมการ

(ดร.พีร วงศ์อุปราช)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับคุณิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาคุณิพนธ์บัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
ของมหาวิทยาลัยบูรพา



.....คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี มากมี) และวิทยาการปัญญา

วันที่ 27 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561

ประกาศคุณูปการ

ดุชนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไข ข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดเข้ม ที่เป็นครูผู้มีส่วนในการพัฒนาหัวข้องานวิจัยจนสามารถดำเนินการ ตามขั้นตอนจนครบถ้วนสมบูรณ์และคณาจารย์ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง ที่ถูกต้อง ให้กำลังใจ คอยช่วยเหลือ ตรวจสอบแก้ไขความถูกต้องของผลงาน ทำให้ดุชนิพนธ์มี ความถูกต้องสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติา กรเพชรปानी อดีตคณบดีวิทยาลัยวิทยาการ วิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ข้อเสนอแนะใน การปรับปรุงจนทำให้ดุชนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี มากมี คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและ วิทยาการปัญญา ที่ให้ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไขที่เป็นประโยชน์ต่อการทำดุชนิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณผู้อำนวยการโรงเรียนวัดพลงช้างเผือก และคุณครูผู้ช่วยนักวิจัยทุกท่านและ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา และให้ ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจสำคัญ ในการช่วยเหลือ สนับสนุนผู้วิจัยทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ผู้เกี่ยวข้องที่เป็นกำลังใจ มีส่วนช่วยให้การทำ ดุชนิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

คุณค่าและประโยชน์ของดุชนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแต่บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและ ประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

วิสุทธิ กล้าหาญ

53810287: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;

ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)

คำสำคัญ: เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์/ การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง

วิสุทธิ์ กล้าหาญ: การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง (ENHANCING MATHEMATICAL INTELLIGENCE AMONG PRIMARY SCHOOL STUDENTS: BEHAVIOR AND EEG STUDY) คณะกรรมการควบคุมคุณภาพ: พูลพงศ์ สุขสว่าง, ค.ด. 214 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์โดยอิงทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับประถมศึกษาโรงเรียนวัดพลองช้างเผือก จังหวัดระยอง จำนวน 160 คน สุ่มเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 80 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematic Intelligence Training: MIT) แบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ และเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv รุ่น EPOC วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA)

ผลการวิจัยปรากฏว่า

1) กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ประกอบด้วย กิจกรรม MIT จำนวน 1 ชุด 14 ข้อ ใช้ระยะเวลาฝึกวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที ทำต่อเนื่อง 10 วัน

2) ระยะเวลาหลังการทดลอง กลุ่มที่ใช้กิจกรรม MIT มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น เมื่อจำแนกตามเพศกับลักษณะเขาวนปัญญา ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาเมื่อจำแนกตามตัวแปรที่ศึกษา ปรากฏว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างเพศ แต่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเขาวนปัญญาสูงและต่ำอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

3) คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนชั้นประถมศึกษาหลังใช้กิจกรรม MIT มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับเขาวนปัญญา ที่ย่านความถี่โลเบต่ำ และย่านความถี่อัลฟา บริเวณสมองส่วนหน้า ณ ตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8 และ AF4 บริเวณสมองส่วนข้าง ณ ตำแหน่ง P7 และ P8 ในขณะที่ย่านความถี่บีตา มีปฏิสัมพันธ์ ณ ตำแหน่ง AF3, F4 และ AF4 และในย่านความถี่ไฮเบตา มีปฏิสัมพันธ์กัน ณ ตำแหน่ง AF4

53810287: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE;

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

KEYWORDS: MATHEMATICAL INTELLIGENCE/ BEHAVIORAL AND EEG STUDY

VISUTH KLAHARN: ENHANCING MATHEMATICAL INTELLIGENCE AMONG
PRIMARY SCHOOL STUDENTS: BEHAVIORAL AND EEG STUDY. ADVISORY COMMITTEE:
POONPONG SUKSAWANG, Ph.D. 214 P. 2018.

The objectives of this research were to design activities to enhance intelligence in mathematics based on mathematical model theory, and then to study the effect of the developed activities on mathematical intelligence. The subjects were 160 primary students Watphlongchangphueak school, Rayong province. They were randomly assigned to experimental and control groups, each group composed of 80 people. Research instruments included Mathematics Intelligence Training (MIT), the Mathematics Intelligence scale, and a brain wave recorder: Emotiv; Epoc. Data were analyzed by using a two-way ANOVA.

The results were as follows:

1) The mathematics intelligence activities developed consisted of one MIT program module. The training period was two times a day, 20 minutes per session for 10 consecutive days.

2) After training, the experimental group using the MIT program showed an increase in mathematical intelligence. However, there was no interaction effect between gender and scores on the mathematical intelligence scale. Moreover, no difference in mathematical intelligence scores was observed between genders, but a difference was found between groups with high and low mathematical intelligence levels at a significant level of .05.

3) Regarding the electroencephalogram (EEG) in primary school students after using the MIT program, there was an interaction effect of gender and mathematical intelligence scale scores on the EEG frequencies of the lower beta and the alpha bands at the frontal electrode sites: AF3, F7, F3, F4, F8 and AF4, at the parietal electrode sites: P7 and P8, while at the theta band, interaction effect was observed at the frontal electrode sites: AF3, F4 and AF4 and in the upper beta band at the frontal electrode site AF4.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	7
สมมติฐานของการวิจัย.....	10
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
ขอบเขตการวิจัย.....	11
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	12
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
ตอนที่ 1 ทฤษฎีพหุปัญญาของโฮเวิร์ด การ์ดเนอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
ตอนที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) และงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง.....	21
ตอนที่ 3 เพศ ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
ตอนที่ 4 คลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
ตอนที่ 5 การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเคลื่อนที่ Emotiv รุ่น Epoc และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	50
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	59
ระยะที่ 1 การออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของนักเรียนระดับประถมศึกษา.....	61
ระยะที่ 2 การศึกษาผลการใช้กิจกรรมการพัฒนาเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา.....	69
4 ผลการวิจัย.....	90
ตอนที่ 1 ผลการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนา ทักษะด้านคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา.....	91
ตอนที่ 2 ผลการทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยการพัฒนา ทักษะด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา.....	94

สารบัญ (ต่อ)

ช

บทที่	หน้า
5 สรุปและอภิปรายผล.....	115
สรุปผลการวิจัย.....	115
อภิปรายผลการวิจัย.....	118
ข้อเสนอแนะ.....	121
บรรณานุกรม.....	122
ภาคผนวก.....	137
ภาคผนวก ก เครื่องมือคัดกรองผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	138
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	153
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม.....	163
ภาคผนวก ง หนังสือรับรอง.....	165
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ข้อมูล.....	169
ภาคผนวก ฉ แบบประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา.....	206
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	214

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2-1	ระดับช่วงความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	42
3-1	การคัดเลือกเข้ากลุ่มตัวอย่าง.....	71
3-2	แบบแผนการทดลองแบบ (Pretest and Posttest Group Design).....	72
3-3	วันและเวลาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับกลุ่มตัวอย่างหลังการทดลอง (Posttest).....	82
4-1	กิจกรรมการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ สำหรับพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	95
4-2	จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเพศ และระดับเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์.	95
4-3	ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	96
4-4	ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ระยะเวลาหลังทำการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม.....	97
4-5	ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองระหว่างเพศชายกับหญิง.....	97
4-6	ผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงกับต่ำ.....	98
4-7	ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศกับระดับเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	99
4-8	ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ.....	100
4-9	ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ.....	100
4-10	ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ.....	101
4-11	ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ	102
4-12	ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ.....	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-13 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ที่สนองตอบต่อเขาวนั ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์	103
4-14 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ที่สนองตอบต่อ เขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์	103
4-15 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_beta) ที่สนองตอบ ต่อเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์	104
4-16 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_beta) ที่สนองตอบ ต่อเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์	105
4-17 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ที่สนองตอบต่อ เขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์	106
4-18 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	107
4-19 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	108
4-20 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_beta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	110
4-21 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนัปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	111

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	9
2-1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการนำเสนอข้อมูล ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	24
2-2 ตำแหน่งการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	40
2-3 ระบบ 10-20 System.....	41
2-4 คลื่นไฟฟ้าสมอง 4 ลักษณะ.....	43
2-5 ระบบ EEG ที่เป็นลักษณะคลื่น.....	44
2-6 ขั้นตอนการจัดเก็บสัญญาณอีอีจี.....	45
2-7 ระบบมาตรฐานสากล 10-20 (Electro-Cap System)	51
2-8 อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมอง.....	52
2-9 รูปแบบวิธีการสวมใส่.....	52
2-10 ตำแหน่งเซนเซอร์ บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control สำหรับเครื่อง Emotiv รุ่น EPOC.....	53
2-11 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control สำหรับ เครื่อง Emotiv รุ่น EPOC	53
2-12 ตำแหน่งช่องสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv รุ่น Epoc 14 ช่องสัญญาณ.....	54
3-1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ระยะที่ 1.....	59
3-2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ระยะที่ 2.....	60
3-3 ออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา.....	61
3-4 ขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	65
3-5 ขั้นตอนการศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	69
3-6 ตัวอย่างแบบฝึกเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence Training: MIT)	76
3-7 ตัวอย่างแบบฝึกเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เลือกระดับการฝึก (Mathematical Intelligence Training: MIT)	76
3-8 ตัวอย่างแบบฝึกเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence Training: MIT) ข้อที่ 1	76
3-9 ตัวอย่างคำแนะนำ (Hints) การใช้แบบฝึกเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence Training: MIT).....	77

(ต่อ)

ย

ภาพที่	หน้า
3-10 ตัวอย่างเฉลย การใช้แบบฝึกเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 (Mathematical Intelligent Training: MIT).....	77
3-11 ตัวอย่างแบบวัดเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	78
3-12 ตัวอย่างแบบวัดเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1	78
3-13 ระบบมาตรฐานสากล 10-20 (Electro-Cap System) 19 ช่องสัญญาณ.....	78
3-14 อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมอง Emotiv EPOC และรูปแบบวิธีการสวมใส่.....	79
3-15 ตำแหน่งเซนเซอร์ บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control.....	79
3-16 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control.....	80
3-17 ตำแหน่งช่องสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv EEG.....	80
3-18 ลำดับขั้นตอนการทำแบบวัดเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์.....	84
3-19 หน้าจอแสดงไอคอนสำหรับเข้าใช้งานแบบทดสอบวัดเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคอมพิวเตอร์.....	84
3-20 หน้าจอแสดงปุ่ม Run สำหรับเริ่มต้นปฏิบัติการ.....	85
3-21 หน้าจอสำหรับใส่รหัสผู้รับการทดลอง.....	85
3-22 หน้าจอแสดงตำแหน่งการสร้าง Text File เพื่อบันทึกข้อมูลการทดสอบ.....	85
3-23 ขณะวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและคะแนนพฤติกรรม.....	85
3-24 หน้าจอแสดง Folder จัดเก็บข้อมูลตามรายชื่อผู้รับการทดลอง.....	87
3-25 หน้าจอแสดง ข้อมูลของแต่ละคน.....	87
3-26 หน้าจอแสดง Folder จัดเก็บข้อมูลตามรายชื่อผู้รับการทดลอง.....	88
3-27 หน้าจอแสดงข้อมูลแต่ละแบบทดสอบในรูปแบบไฟล์ Microsoft Office Excel.....	88

บทที่ บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ (Logical-Mathematical; pl Intelligent) เป็นความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาเชิงตรรกะ การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Lipnevich, Preckel, & Krumm, 2016) เป็นความสามารถทางพุทธิปัญญาของการ์ดเนอร์ ที่เชื่อว่าบุคคลนั้นมี ความสามารถหลาย ๆ ด้าน มิใช่มีแต่ความฉลาดเพียงด้านเดียว สถิติปัญญาของบุคคลนั้นประกอบด้วย ปัญญาชุดที่ 1 คือ ปัญญาที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ ได้แก่ ปัญญาด้านภาษาศาสตร์ (Linguistic Intelligence) ด้านตรรกะ-คณิตศาสตร์ (Logical-Mathematical Intelligence) ด้านดนตรี (Musical Intelligence) ด้านร่างกาย-การเคลื่อนไหว (Bodily-Kinesthetic Intelligence) ด้านมิติ สัมพันธ์ (Spatial Intelligence) ปัญญาชุดที่ 2 คือ ปัญญาส่วนตัว (Personal Intelligence) ประกอบด้วยปัญญาสองด้าน คือ ด้านความเข้าใจระหว่างบุคคล (Interpersonal Intelligence) และด้านความเข้าใจตนเอง (Intrapersonal Intelligence) ปัญญาด้านสุดท้าย คือ ด้านธรรมชาติ (Naturalist Intelligence) ด้านอัตถภาวนิยม/ จิตนิยม หรือการดำรงคงอยู่ของชีวิต (Existential Intelligence) ซึ่งการพัฒนาเขาวนปัญญาในแต่ละด้านต้องอาศัยเครื่องมือที่สามารถวัดได้จริงและ ส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาในด้านนั้น ๆ ซึ่งความสามารถหลากหลาย (Boring, 2017) และสามารถ วัดได้ โดยเฉพาะในคนที่อายุน้อย ๆ ที่สมองกำลังพัฒนา (Roper, 2016) ความสามารถในด้านตรรกะ และคณิตศาสตร์นี้ สามารถวัดได้โดยวัดจากการทำงานหรือการพัฒนาของสมอง เมื่อได้รับการกระตุ้น หรือมีสิ่งเร้าเข้าไปกระทบ (Gollan et al., 2014) สมองจะส่งคลื่นไฟฟ้าออกมามากมาย สมองมี หน้าที่ตั้งแต่การรับข้อมูล การประมวลผลข้อมูล คิดและตอบสนองต่อข้อมูลนั้น ๆ ทำให้มนุษย์ สามารถคิดค้นคำตอบ ตอบคำถามข้อมูลที่ยาก ๆ และสลับซับซ้อนได้

การประเมินร่วมกับนักเรียนนานาชาติ (Programme for Student Assessment (PISA)) ในปี 2000 ถึงปี 2015 นักเรียนไทยมีผลการประเมินต่ำกว่าค่าเฉลี่ยนานาชาติทุกครั้ง (สถาบันการส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท), 2559) นักเรียนไทยเกินครึ่งมีทักษะต่ำกว่า ระดับพื้นฐาน และคะแนนการทดสอบมาตรฐานระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-net) พบว่า คะแนนการ สอบวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้น ป. 6 ปีการศึกษา 2560 มีคะแนนเฉลี่ยทั้งประเทศเท่ากับ 37.12 จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ จากการศึกษา 3 ปีการศึกษาซ้อนหลัง พบว่า มีคะแนนเฉลี่ย 37.12 , 40.47 และ 43.47 ตามลำดับ (สำนักทดสอบทางการศึกษา, 2560, หน้า 24) ซึ่งคะแนนเฉลี่ยในวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้น ป. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคะแนน PISA มีผลปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของประเทศให้สูงขึ้น (OECD, 2016) ซึ่งนักเรียนที่มี ความฉลาดในวิชาคณิตศาสตร์ ควรลักษณะด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ของนักเรียนในด้านต่าง ๆ ค่อนข้างสูง คือ ด้านการแก้ปัญหา ด้านการให้เหตุผล ด้านการสื่อสาร ด้านการสื่อความหมายทาง

คณิตศาสตร์ ด้านการนำเสนอ และด้านการเชื่อมโยง (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551, หน้า 4-21) โดยหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนต้องนำความรู้ ทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปใช้แก้ปัญหาในการดำเนินชีวิตและศึกษาต่อ การมีเหตุผลมีเจตคติที่ดีต่อคณิตศาสตร์ พัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบและสร้างสรรค์

การที่นักเรียนจะมีแนวโน้มในการเรียนคณิตศาสตร์ได้ดี หรือชอบศึกษาในวิชาคณิตศาสตร์ เห็นว่าวิชาคณิตศาสตร์มีความจำเป็นในการเรียนรู้ จากการศึกษาพฤติกรรมของเด็ก พบว่าการใช้กระบวนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Cho, Ryali, Geary, & Menon, 2011) ความรู้ความสามารถและทักษะทางคณิตศาสตร์ (Geary & Hoard, 2002) ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดให้ (เช่น การนับเพื่อแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์) การพัฒนาองค์ความรู้เป็นลักษณะของกระบวนการที่ซับซ้อนกันอย่างมีประสิทธิภาพของหน่วยความจำ เป็นกระบวนการที่ค่อยเป็นค่อยไปในการใช้หน่วยความจำ พัฒนาการทางสมองของเด็กเป็นกลไกทางชีววิทยา ความรู้ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์หรือการเรียนรู้เลขคณิต ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกพฤติกรรมและความรู้ความเข้าใจเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การเรียนรู้คณิตศาสตร์และการพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์เป็นหน้าที่ของสมองส่วนหน้า (Forebrain) เป็นสมองส่วนที่มีความจำเป็นในการเรียนรู้และความจำ (Davachi, 2006) การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้คณิตศาสตร์และการพัฒนาความรู้ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ เป็นการกำหนดกรอบความคิดเกี่ยวกับระบบประสาทในการพัฒนา บทบาทของสมองที่มีหน้าที่เกี่ยวกับพัฒนาความคิด การเรียนรู้ ความจำ ความฉลาด การคิดอย่างมีเหตุผล สามารถบอกได้ว่าระบบสมองเด็กได้รับการพัฒนาความรู้เช่นเดียวกับผู้ใหญ่ (Tse et al., 2007; van Kesteren, Ruiter, Fernández, & Henson, 2012) โดยอาศัยสมองส่วนหน้า (Frontal Lobe) และเปลือกกลีบข้างสมองด้านหลัง (Posterior Parietal Cortex) เป็นส่วนสำคัญมากที่สุดของระบบประสาทวิทยาในการค้นคว้าหาความรู้และการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ (Ansari, 2008; Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003) จากการวิจัย พบว่า เปลือกกลีบข้างสมองด้านหลัง เป็นระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบตัวเลข, ขนาดและปริมาณ, หน่วยความจำในการทำงานและเป็นหน่วยสำคัญสำหรับการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขและการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ (Fias, Menon, & Szucs, 2013; Qin et al., 2014)

ความสามารถในการจดจำข้อเท็จจริงทางคณิตศาสตร์และเหตุการณ์ต่าง ๆ (Davachi, 2006) อยู่ที่รากฐานของความรู้พื้นฐานเดิมทางคณิตศาสตร์และความทรงจำ (Diekelmann et al., 2009) ความสามารถในการจดจำ (Ghetti, DeMaster, Yonelinas, & Bunge, 2010; Ofen et al., 2007) ความจุหน่วยความจำ ความเร็วและความถูกต้องของการสืบค้นข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Billingsley, Smith, & McAndrews, 2002) การเชื่อมโยงการเรียนรู้

ทางคณิตศาสตร์และการได้มาซึ่งความรู้ทางคณิตศาสตร์ การพัฒนาหน่วยความจำขึ้นอยู่กับ การดึงข้อมูลที่เรียนรู้ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน (เช่น นาทีหรือชั่วโมง) ความรู้เรื่องความทรงจำ เช่น ข้อเท็จจริงด้านเลขคณิต (Bauer, 2008) อย่างไรก็ตามเด็กที่อายุ 7-8 ปี มีหน่วยความจำเพียงพอที่จะอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้คณิตศาสตร์และการสืบค้นข้อเท็จจริงอย่างคล่องแคล่ว ซึ่งระบบความจำเป็นระบบสำคัญสำหรับการเข้ารหัสข้อมูลใหม่และสร้างความทรงจำระยะยาว

หน้าที่ของสมองที่เกี่ยวกับการจัดการและประมวลผลข้อมูล จากสิ่งเร้าที่เกิดจากแหล่งที่มาของข้อมูลและการตอบสนอง การทำงานของสมองเป็นกระบวนการทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ทางชีวเคมี ก่อให้เกิดการไหลเวียนของพลังงาน เกิดคลื่นไฟฟ้าบนร่างแหวงจรสมอง เกิดการรับรู้ การคิด การจำ การเรียนรู้ ความรู้สึก ความต้องการ ความตั้งใจ การตัดสินใจ ในช่วงอายุ 8-12 ปี เป็นช่วงที่เกิดพัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงในทุกด้าน ทั้งทางด้านสติปัญญา ร่างกาย อารมณ์ สังคม และพัฒนาการด้านต่าง ๆ (Intellectual Development) ที่เกิดขึ้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ความสามารถด้านเลขคณิตของมนุษย์เกิดในบริเวณ สมองอย่างเห็นได้ชัดเจน ในบริเวณเซลล์สมองที่อยู่ด้านหน้ากลีบกลางของสมอง (Precentral) และเซลล์สมองที่อยู่ด้านล่างของพีรีฟอร์นทอล (Inferior Prefrontal Cortex) ความสามารถด้านคณิตศาสตร์สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการกระตุ้นสมองกลีบหน้า (Frontal) ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลทางเลขคณิต (Arithmetic Processing) และยังพบว่า คนที่มีความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์มีการกระตุ้นการขยายเครือข่ายในสมอง (Extended Activation Network) มากกว่าคนปกติ

การวัดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ประสาทที่บริเวณเปลือกสมองหรือคอร์เท็กซ์ (Cortex) และบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดขึ้นบริเวณหนังศีรษะเรียกว่า การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) จะเห็นได้เมื่อคลื่นไฟฟ้าสมองมีความแรงพอที่จะผ่านเยื่อหุ้มสมองกะโหลกและหนังศีรษะ การตรวจวัดกระบวนการทำงานทางสมองในด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ ต้องอาศัยการบันทึกด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalographic Recording) ตรวจการทำงานของสมองในส่วน Cerebral Cortex คลื่นที่บันทึกได้เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดในสมอง (Tolgenova, Aimaganbetova, Naurzalina, Kunanbayeva, & Algozhayeva, 2016) ในทางการแพทย์จะทำการวัดที่หนังศีรษะ คลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้เกิดจากการรวมกันของประจุที่บริเวณ Dendrite ซึ่งก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาท (EPSP & IPSP) ที่อยู่ติดผิวนอกของสมอง (Cerebral Cortex) ในคลื่นไฟฟ้าสมองปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะ (Rhythmic) เกิดจากประจุที่บริเวณ Dendrite ได้รับสัญญาณจากตัวกำเนิดจังหวะที่อยู่ใน Thalamus ผ่าน Projecting Fibers เข้ามาก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาทที่ Dendrite ของเซลล์ประสาทบริเวณผิวสมอง (Cortical Neuron) เป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจึงเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของกลุ่มเซลล์

ในระบบประสาท (Stinson & Arthur, 2013) การจัดเก็บสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองจะเกิดขึ้นเมื่อสมองได้รับการกระตุ้นโดยสิ่งเร้า สมองจะเปลี่ยนข้อมูลนั้นมาเป็นกระแสไฟฟ้าส่งมายังเซลล์ประสาทเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าวิ่งไปตามเส้นใยของประสาท (Axon) ที่ต่อกับเซลล์สมองอีกตัวหนึ่ง ผ่านจุดประสานประสาท (Synapse) ที่จะสร้างสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) เข้าไปในเซลล์ประสาทตัวที่สอง สารสื่อประสาทนี้จะกระตุ้นให้เซลล์ประสาทตัวที่สองส่งสัญญาณกระแสไฟฟ้าไปยังเซลล์ประสาทตัวต่อไปจนกว่าจะมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า หรือจดจำเป็นความจำและระลึกความจำได้เมื่อต้องการ

ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนด้านหนึ่งคือเพศ จากการจัดอันดับระหว่างประเทศด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ (Oecd, 2007) ปรากฏว่า ผลการสอบ PISA ในปี ค.ศ. 2000, 2003 และ 2006 ปรากฏว่า มีลักษณะทั่วไปที่แตกต่างกันในแง่ของปัจจัยด้านการศึกษาด้านสังคมวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเพศ การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับครอบครัวจากนักวิชาการด้านเด็กที่ประสบความสำเร็จ (Sirin, 2005) แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างสองตัวแปร คือ ลักษณะทางคณิตศาสตร์กับความแตกต่างระหว่างเพศที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ส่วนครอบครัวในประเทศสหรัฐอเมริกา (Levine et al., 2005) พบว่า การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศและครอบครัว (วัดโดยรายได้) เด็กผู้ชายมีความได้เปรียบในครอบครัวระดับกลางและระดับสูงแต่ไม่มีความแตกต่างในเด็กชายและเด็กหญิงจากครอบครัวในครอบครัวที่มีรายได้ระดับต่ำ (Penner & Paret, 2008) การตรวจสอบความแตกต่างระหว่างเพศในการกระจายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์จากระดับชั้นอนุบาลถึงชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 พบว่าเด็กผู้ชายมีความได้เปรียบเด็กผู้หญิงร้อยละ 95 ข้อได้เปรียบที่เด่นชัดคือเด็กผู้ชายที่มาจากครอบครัวที่มีรายได้สูงและระดับการศึกษาที่สูงของผู้ปกครอง Xie and Shauman (2003) พบว่าลักษณะของครอบครัว เช่น เจตคติทางเพศและการปฏิบัติของพ่อแม่ อาจทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์แตกต่างกัน การศึกษาวิชาคณิตศาสตร์ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Zadeh et al., 2010) พบว่าการศึกษาของมารดามีผลต่อเด็กวัย 7 ขวบ การปฏิบัติที่แตกต่างกันในบ้านต่อเด็กชายและเด็กหญิง และการตอบสนองของผู้ปกครองพบว่ามีความหมายสำหรับเด็กผู้ชายเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ประสบการณ์ที่หลากหลายเป็นประโยชน์ในการกระตุ้นการเรียนรู้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับเด็ก ในสหรัฐอเมริกาพบว่าพ่อแม่มีความคาดหวังสูงในเด็กชายมากกว่าเด็กหญิงในวิชาคณิตศาสตร์ (Eccles & Jacobs, 1986; Eccles et al., 1990) นอกจากนี้ความคาดหวังของผู้ปกครองที่มีต่อเด็กหญิงต่ำกว่า ซึ่งอาจทำให้ลดแรงบันดาลใจในตัวเองลง

อีกตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ คือ ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence) คือลักษณะความสามารถในการดำเนินการต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ ความสามารถในการคิดแบบมีเหตุและผล การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ ในทางสัญลักษณ์ ปริมาณ ตัวเลข ที่มีขนาดแตกต่างกัน

กัน (เช่น 3 เทียบกับ 5) (Piazza, 2010) เวลาในการตอบสนอง การตัดสินใจในทางปริมาณและตัวเลข อีกทั้งระบบการเป็นตัวแทนร่วมกันของความสามารถด้านต่าง ๆ (Gebuis, Kadosh, de Haan, & Henik, 2009; Halberda & Feigenson, 2008) ลักษณะในการแสดงออกทางสัญลักษณ์ ความสามารถในการจำแนก เป็นความสามารถทางคณิตศาสตร์ในการเชื่อมต่อข้อมูลและกำหนด ขนาดของข้อมูล (Holloway & Ansari, 2009; Sasanguie, De Smedt, Defever, & Reynvoet, 2012) ความสามารถในการกำหนดสัญลักษณ์ การตัดสินใจปริมาณ ความสามารถในการเชื่อมโยง จำนวน (De Smedt, Verschaffel, & Ghesquière, 2009) ในปัจจุบันยังไม่สามารถระบุได้ว่า มีการใช้วิธีการใดวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน ความสามารถที่แตกต่างกัน ความรู้ ความเข้าใจที่เชื่อมโยงกับรูปแบบที่แตกต่างกันเหล่านี้ ทำให้สามารถทำความเข้าใจในความสามารถที่แตกต่างกันในทางคณิตศาสตร์ของเด็กแต่ละคน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือการอธิบายระบบต่าง ๆ โดยใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์ และภาษา กระบวนการในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรียกว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ (เช่นฟิสิกส์ ชีววิทยา วิทยาศาสตร์โลก เคมี) และสาขา วิศวกรรมศาสตร์ (เช่นวิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมไฟฟ้า) ตลอดจนในสังคมศาสตร์ (เช่น เศรษฐศาสตร์ จิตวิทยา สังคมวิทยา การเมือง วิทยาศาสตร์) แบบจำลองอาจช่วยอธิบายระบบและ ศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบต่าง ๆ และเพื่อคาดการณ์เกี่ยวกับพฤติกรรม (Dubois, Taylor & Francis, 2018) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถมีได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบไดนามิก โมเดล ทางสถิติสมการเชิงอนุพันธ์หรือแบบจำลองทางทฤษฎีเกม แบบจำลองและรูปแบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ โครงสร้างนามธรรมที่หลากหลาย โดยทั่วไปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจรวมถึงโมเดลในด้าน ตรรกะ ในหลาย ๆ กรณีคุณภาพของสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ พัฒนาขึ้นในด้านทฤษฎี สอดคล้องกับผลของการทดลองที่ทำซ้ำ ๆ ได้ ข้อตกลงระหว่างแบบจำลอง ทางทฤษฎีและการวัดเชิงทดลองมักนำไปสู่ความก้าวหน้าที่สำคัญเนื่องจากการพัฒนาทฤษฎีที่ดีขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักประกอบด้วยความสัมพันธ์และตัวแปร ความสัมพันธ์สามารถอธิบาย โดยการดำเนินการ เช่นการดำเนินการทางพีชคณิต, ฟังก์ชัน, ตัวดำเนินการที่แตกต่าง ฯลฯ ตัวแปรที่เป็นนามธรรมของพารามิเตอร์ที่น่าสนใจและสามารถบอกเป็นเชิงปริมาณได้ เกณฑ์การจำแนก ประเภทต่าง ๆ สามารถนำไปใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามโครงสร้างนี้ได้

จากการค้นคว้าและทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและ คลื่นไฟฟ้าสมองในประเทศไทย พบในต่างประเทศซึ่งศึกษาจำแนกในแต่ละบริบทของเทศนั้น ๆ เช่น งานวิจัยของบอร์เดอ (Bordei, 2014) ได้ศึกษาในประเทศโรมาเนีย กล่าวว่า ทฤษฎีพหุปัญญา ของการ์ดเนอร์ ที่เกิดขึ้นเมื่อ 30 ปีก่อนและตอนนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านการศึกษาทั่วโลก แต่ใน โรมาเนียยังคงมีการใช้งานเพียงเล็กน้อย ครูและผู้ปกครองส่วนใหญ่ยังคงใช้แนวทางของสติปัญญา แม้ว่าจะมีความคิดที่ต้องการนำทฤษฎีพหุปัญญาเข้าสู่การปฏิบัติในโรงเรียน ปัจจุบันส่วนใหญ่ยังเป็น กิจกรรมนอกหลักสูตร และในส่วนของคลื่นไฟฟ้าสมองและคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับ

ประถมศึกษาโดยใช้ทฤษฎีปัญหาเป็นฐาน ในต่างประเทศและประเทศไทย ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาด้านนี้โดยตรง ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในภาพรวมตามทฤษฎี ปัญหาหรือบางส่วน และด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยยังมีความสนใจที่จะศึกษาความแตกต่างของเพศ และลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ในเชิงพฤติกรรม คลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) ของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนระดับประถมศึกษา ที่ได้รับการกระตุ้นโดยกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาทางด้านคณิตศาสตร์ ที่สร้างโดยอาศัยทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling: Marion, 2008) ซึ่งผลของการศึกษาจะทำให้ได้ข้อมูลของความแตกต่างระหว่างเพศ ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปช่วยในการวิเคราะห์ การวางแผนในการจัดการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา ให้มีลักษณะเขาวนปัญญาทางด้านคณิตศาสตร์ โดดเด่นเป็นที่ประจักษ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยอิงทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling)
2. เพื่อพัฒนาแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ในประเด็นต่อไปนี้
 - 3.1 เปรียบเทียบคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ก่อนและหลังการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น
 - 3.2 เปรียบเทียบคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระยะหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
 - 3.3 เปรียบเทียบคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างเพศชายกับหญิง
 - 3.4 เปรียบเทียบคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงกับต่ำ
 - 3.5 ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศกับระดับเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์
 - 3.6 เพื่อศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศและระดับเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

3.7 เพื่อเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศ หลังการทดลอง
ของกลุ่มทดลอง

เพื่อเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างระดับเขาวนปัญญาด้าน
คณิตศาสตร์ หลังการทดลองของกลุ่มทดลอง

3.9 เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศ
กับระดับเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ หลังการทดลองของกลุ่มทดลอง

กรอบแนวคิดการวิจัย

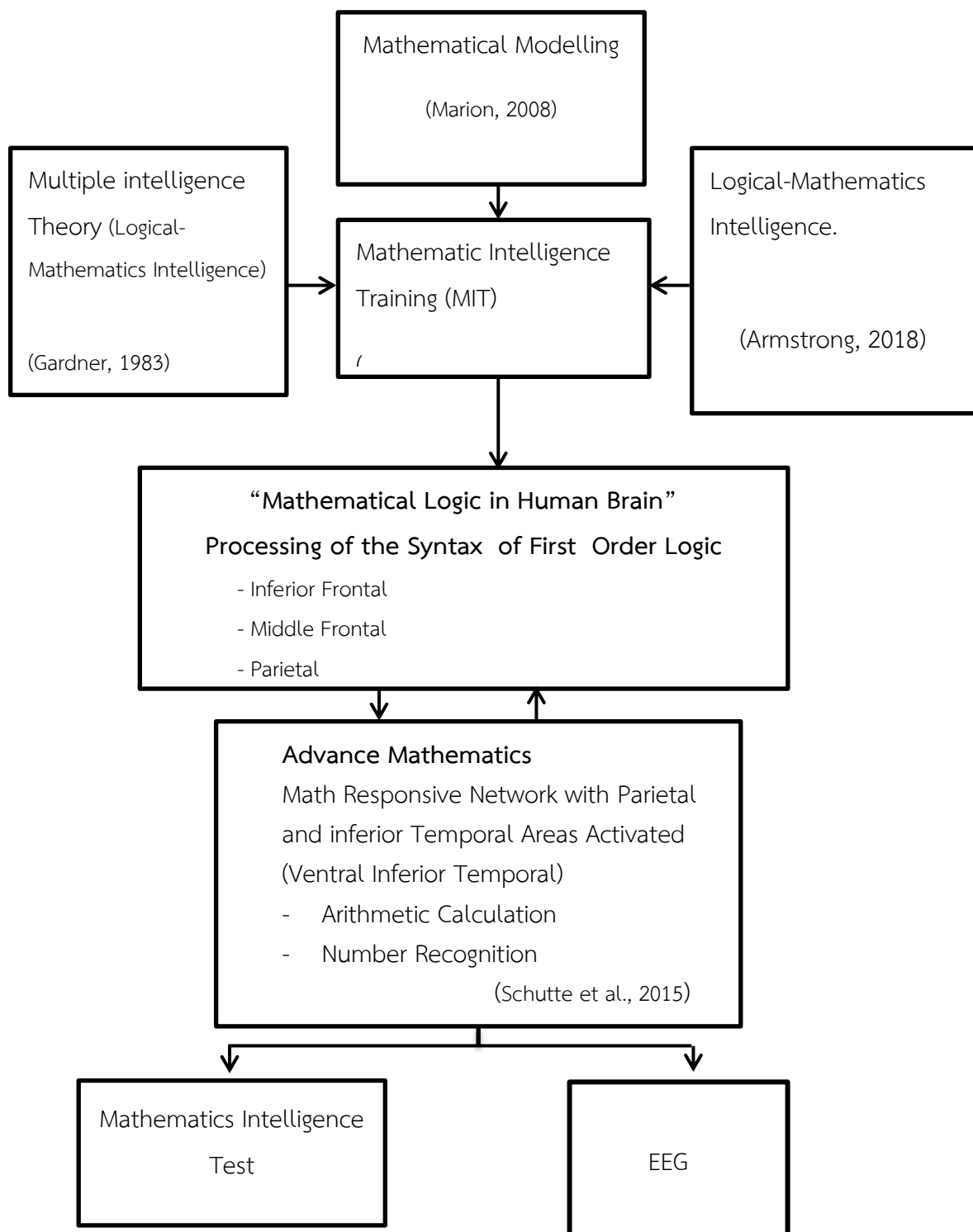
การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา พัฒนาจาก
ทฤษฎีเขาวนปัญญาหรือความสามารถทางพหุปัญญาของการ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) ที่เชื่อว่าบุคคล
ทั่วไปจะมีปัญญาหลายด้าน โดยแต่ละด้านจะขึ้นกับความสามารถที่จะแอบแฝงและแสดงออกมาใน
รูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น ระบบภาษา ระบบภาพ หรือ สัญลักษณ์ และระบบเขียน (Kristoffersen,
Obel, & Smith, 2015) ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ จะแสดงออกมาในรูปของระบบวัฒนธรรมของแต่ละ
แห่ง สอดคล้องกับแนวคิดของ Boring (2017) ที่เสนอว่าการพัฒนาเขาวนปัญญาในแต่ละด้านต้อง
อาศัยเครื่องมือในการทดสอบที่สามารถวัดได้จริงและส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาในด้านนั้น ๆ ซึ่ง
มีความสามารถหลากหลายและแตกต่างกัน

กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนในระดับประถมศึกษา
(Mathematics Intelligence Training: MIT) ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยอาศัยแนวคิดทฤษฎีของ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) ในการอธิบายโครงสร้างของกิจกรรม
พัฒนาเขาวนปัญญาโดยใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และภาษา (Marion, 2008) เป็นการอธิบายการ
ดำเนินการต่าง ๆ เช่นการดำเนินการทางพีชคณิต, ฟังก์ชัน, ตัวดำเนินการที่แตกต่างกัน ในรูปของเกม
คอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในลักษณะของเกมสามเหลี่ยมปริศนา (Magic Triangle) ตามแนวคิดการแก้
ปริศนาผลรวมในแต่ละด้าน (Vertex-Magic Total Labeling: VMTL) เพื่อพัฒนาให้นักเรียนชอบวิชา
คณิตศาสตร์ สนุกกับเกมที่มีตัวเลข/ตรรกะ แก้ปัญหาเกมปริศนา และทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ดเนอร์
(Gardner, 2011, pp. 182-183) ที่ว่าบุคคลทั่วไปจะมีปัญญาหลายด้าน แต่ละด้านจะขึ้นอยู่กับ
ความสามารถในรูปแบบต่าง ๆ กัน บุคคลที่มีเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์สูงจะเป็น
บุคคลที่สามารถทำงานด้านตัวเลขได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความฉลาดในเชิงตรรกะและด้านตัวเลข
มีกระบวนการจัดการกับตัวเลขและความสัมพันธ์ในเรื่องต่าง ๆ มีแนวคิดเชิงตรรกะในด้านการจัดหมู่/
จัดระบบ การอ้างอิง การคำนวณและทดสอบสมมติฐาน และแนวคิดของอาร์มสตรอง (Armstrong,
2018, p. 31) ที่ว่า นักเรียนที่มีเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ เป็นคนที่มีเหตุผล ชอบการ
ทดลอง สนุกกับตัวเลขหรือเกมปริศนา มีการทำงานที่เป็นระเบียบและขั้นตอน ชอบเรียนคณิตศาสตร์

คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ชอบแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและหลากหลาย เพื่อต้องการพัฒนา นักเรียนในระดับประถมศึกษา ให้มีลักษณะที่ชอบสนุกกับตัวเลข รักวิชาคณิตศาสตร์สนุกกับเกมที่มี ตัวเลข/ ตรรกะและชอบแก้ปัญหาเกมปริศนา จัดระบบ/ หมวดยุติของต่าง ๆ รักการทดลอง ชอบ วิชาคอมพิวเตอร์หรือการลงรหัส ลักษณะเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้โดยผ่านกระบวนการทางสมอง จำเป็นต้องอาศัยทักษะหลายองค์ประกอบ (Gong, Ding, & Tsang, 2014) เป็นความสามารถในการ ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Gardner, 1995) โดยใช้วิธีให้นักเรียนเห็นปัญหาเลขคณิตและหาวิธี แก้ปัญหาที่นำเสนอบนจอคอมพิวเตอร์ที่มีทั้งการบวกและการลบและเงื่อนไขอื่น ๆ (Murphy & Mazzocco, 2008; Hannula & Lehtinen, 2005) นักเรียนทุกคนได้รับการฝึกเป็นรายบุคคล และฝึกซ้ำ ๆ เพื่อเพิ่มหน่วยความจำในการตอบสนองการทำงาน ความสนใจอย่างต่อเนื่อง

กระบวนการทำงานของสมองหลังจากที่นักเรียนได้ฝึกตามขั้นตอนของแบบฝึกทักษะด้าน ตรรกะและคณิตศาสตร์ เป็นกระบวนการทำงานของสมองส่วน Frontal Lobe ที่มีหน้าที่ในการ ควบคุมการเคลื่อนไหว การออกเสียง ความคิด ความจำ สติปัญญา บุคลิก ความรู้สึก พื้นอารมณ์ การรับรู้ ความเข้าใจ การมีเหตุผล การแก้ปัญหา การพูด และความจำในระยะยาว โดยผ่านการ ทำงานในส่วนของ Inferior Frontal, Middle Frontal และ Parietal ทำหน้าที่ควบคุมความรู้สึก ด้านการสัมผัส การพูด การรับรส ประสานงานในการรับรู้ความรู้สึกต่าง ๆ รวมทั้งทางกาย การ มองเห็น และการได้ยิน การคำนวณ รูปร่าง ระยะทาง สถานที่ ซึ่งกระบวนการทั้งหลายจะส่งผลให้ นักเรียนมีการพัฒนาทักษะด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ในระดับที่สูงขึ้น ดำเนินการบนพื้นฐานทาง คณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ สัญลักษณ์และการดำเนินการต่าง ๆ (Arithmetic Calculation) เป็นการรู้จำด้านจำนวน/ ตัวเลขและการดำเนินการต่าง ๆ ทางด้านคณิตศาสตร์ สามารถอธิบายได้ (Number Recognition) เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในปัญหาการบวก การลบทาง คณิตศาสตร์อย่างง่ายของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา (Schutte et al., 2015) ซึ่งเป็น กระบวนการที่ย้อนกลับไปมา ระหว่างการฝึก (Cho, Ryali, Geary, & Menon, 2011) เป็นการ ผสมผสานระหว่างกระบวนการและวิธีการที่ใช้การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (เช่น การนับเพื่อ แก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ การถอดรหัส) ผ่านทางกระบวนการรับรู้ (Perception) การประมวลผล (Processing) และแสดงผล (Output) โดยมีเป้าหมายให้นักเรียนเกิดความฉลาดทางด้านตรรกะและ คณิตศาสตร์

ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Mathematics Intelligence Training: MIT) เพื่อใช้เป็นกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นสื่อช่วยเพิ่มแรงจูงใจให้กับนักเรียน ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งการวิจัยนี้ศึกษาทั้งด้านพฤติกรรมเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชาวน์ปัญญา ด้านคณิตศาสตร์ และกระบวนการทำงานของสมองด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

1. คะแนนเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างเพศแตกต่างกัน
2. คะแนนเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แตกต่างกัน
3. มีปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเชาวน์ปัญญา ระหว่างเพศกับลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา
4. คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับประถมศึกษา หลังการทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศ แตกต่างกัน
5. คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับประถมศึกษา หลังการทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แตกต่างกัน
6. คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับประถมศึกษา หลังการทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างระหว่างเพศของกลุ่มทดลอง แตกต่างกัน
7. คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับประถมศึกษา หลังการทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง แตกต่างกัน
8. มีปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ระหว่างเพศกับลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา
2. ได้ข้อมูลสารสนเทศเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ระหว่างเพศและลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ขณะทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์
3. ได้ข้อมูลสารสนเทศคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ระหว่างเพศ ลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ และปฏิสัมพันธ์ขณะทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์
4. นักเรียนระดับประถมศึกษาที่ได้รับการฝึกด้วยกิจกรรมทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ มีความสามารถด้านคณิตศาสตร์สูงขึ้น
5. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการนำกิจกรรมทดลองเชาวน์ปัญญาไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ ด้านคณิตศาสตร์ ด้านเรขาคณิต ด้านการแก้ปัญหา และด้านความคิดสร้างสรรค์ให้กับนักเรียนระดับประถมศึกษาต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ กำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1. ขอบเขตด้านเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของเพศและระดับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ที่มีต่อการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ บนพื้นฐานทฤษฎีพหุปัญญาของโฮเวิร์ด การ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) ซึ่งเชื่อว่า แต่ละบุคคลสามารถพัฒนาขึ้นมาได้ การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เป็นการศึกษาด้วยกระบวนการรับรู้ผ่านกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ได้แก่ กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา (Mathematic Intelligence Training: MIT) ซึ่งพัฒนาโดยอาศัยทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) และอาร์มสตรอง (Armstrong, 2018) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) โดยศึกษาเฉพาะด้านเพศและลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่ส่งผลต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

2. ประชากร

ประชากรการวิจัย เป็น นักเรียนประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวัดพลองช้างเผือก สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาระยอง เขต 2 อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรทดลอง ได้แก่

การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษาด้วยกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

3.2 ตัวแปรเปรียบเทียบ ได้แก่

3.2.1 เพศ (Gender) แบ่งเป็น เพศชาย (Male) และเพศหญิง (Female)

3.2.2 ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Characteristics's Mathematical Intelligence) จำแนกเป็น ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง (High Characteristics's Mathematical Intelligence) และลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ (Low Characteristics's Mathematical Intelligence)

3.3 ตัวแปรตาม ได้แก่

3.3.1 เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษาหลังการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (หน่วยเป็นคะแนน)

3.3.2 คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนระดับประถมศึกษาขณะพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

นิยามศัพท์เฉพาะ

เชาวน์ปัญญา (Intelligence) หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการเรียนรู้ การเข้าใจ การปรับตัวต่อปัญหาอย่างเหมาะสมและความสามารถในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีจุดมุ่งหมาย และมีคุณค่าทางสังคม สามารถคิดอย่างมีเหตุผลสามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมและสังคมอย่างมีวิจารณญาณ

เชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics Intelligence) หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการคิดแบบมีเหตุผลในด้านตรรกะและจำนวน และรูปแบบทางด้านตัวเลข การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ คณิตวิเคราะห์แยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ดี และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังสามารถสร้างความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลหลาย ๆ ด้าน ผู้มีปัญญาด้านนี้สูงจะสามารถจัดเก็บตัวแปรหลาย ๆ ตัว และสร้างสมมติฐานได้มากมาย สามารถประเมินและยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานแต่ละข้ออย่างรวดเร็ว สามารถรวมทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สนุกกับการแก้ปัญหาที่ต้องสรรหาเหตุผลมาประกอบ

เพศ (Gender) หมายถึง ความเป็นเพศชาย หรือเพศหญิง โดยพิจารณาจากรูปร่างลักษณะ สรีระ ไม่ได้หมายความถึงเพศภาวะ และเพศวิถี หรือเพศตามความประสงค์ของเจ้าของสรีระ

ลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Characteristic's Mathematical Intelligence) หมายถึง ลักษณะของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบคัดกรองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยผลคะแนนจำแนกเป็นระดับสูง (High Characteristic's Mathematical Intelligence) ได้แก่ นักเรียนระดับประถมศึกษา ที่ตอบแบบคัดกรองลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ได้ในระดับร้อยละ 60 ขึ้นไป และระดับต่ำ (Low Characteristic's Mathematical Intelligence) ได้แก่ นักเรียนระดับ ประถมศึกษาที่ตอบแบบคัดกรองลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ได้ ในระดับร้อยละ 39 ลงมา (Shearer, 2017, p. 36)

การพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Test) หมายถึง การทำกิจกรรมเพื่อเพิ่มความสามารถของบุคคลด้านคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยอิงแนวคิดของ Armstrong (2018) ผู้เรียนที่มีความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์ ควรจะมีลักษณะดังนี้ คือ สามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับการทำงานของทุกสิ่งที่พบ ทำงานกับตัวเลขอย่างมีความสุข (สนุกกับการคำนวณและตัวเลข) สนใจในเกมคอมพิวเตอร์ (สนใจในเกมคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์) สนใจในวิธีการแก้ปัญหาในเกม มีความมุ่งมั่นในการเอาชนะในเกม สนุกกับเกมปริศนาต่าง ๆ สนุกกับเกมเชิงตรรกะชอบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ สามารถแสดงและนำเสนอการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ และสามารถอธิบายความคิดเชิงตรรกะได้

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Brain Potential Study) การบันทึกสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากผลรวมของกระแสไฟฟ้าของกลุ่มเซลล์ในสมอง เซลล์ประสาทนิวรอน (Neuron) จำนวนมากมายเป็น

พินลันเซลล์ เซลล์เหล่านี้สามารถติดต่อกันได้ โดยการขนส่งอนุภาคไฟฟ้าผ่านเยื่อเซลล์ เมื่อเซลล์ประสาทส่วนหนึ่งได้รับการกระตุ้นโดยสารเคมีที่เรียกว่า สารสื่อประสาท (Neurotransmitter) จะปล่อยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าให้เดินไปตามเนื้อเยื่อที่เรียกว่า ไยประสาท (Nerve Fiber) ที่เชื่อมระหว่างเซลล์ประสาท โดยกระแสไฟฟ้าปริมาณน้อย ๆ ที่เกิดขึ้นนี้ จะไปกระตุ้นเซลล์ประสาทให้ปล่อยประจุไฟฟ้าต่อไปเป็นทอด ๆ ซึ่งสัญญาณไฟฟ้านี้ เรียกว่า คลื่นสมอง หรือ คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram (EEG)) ที่สามารถบันทึกได้ ในงานวิจัยนี้ ทำการบันทึกในขณะที่นักเรียนกลุ่มตัวอย่างปฏิบัติกิจกรรมทำแบบวัดด้านคณิตศาสตร์หลังการทดลอง และทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองไปพร้อม ๆ กัน โดยใช้เครื่อง Emotiv EPOC ซึ่งเป็นเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพา 14 Channel

นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา (Elementary Students) หมายถึง นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 ที่มีอายุระหว่าง 10-11 ปี นับตามปฏิทิน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง ได้นำเสนอผลการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ตอนที่ 1 ทฤษฎีพหุปัญญาของ Howard Gardner และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 3 เพศ ลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 4 คลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 5 การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเคลื่อนที่ Emotive รุ่น Epoc และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 1 ทฤษฎีพหุปัญญาของ Howard Gardner และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพหุปัญญาของ Howard Gardner (The Theory of Multiple Intelligences หรือ MI) (1995) นักจิตวิทยาและนักการศึกษาแห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเรียนรู้และปัญญา โดย Gardner ได้ศึกษาถึงศักยภาพและความถนัดของคน โดยการผสมผสานด้านการศึกษา ศาสตร์เกี่ยวกับสมอง และจิตวิทยาพัฒนาการ ทฤษฎีพหุปัญญา Gardner ได้สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1983 ให้ความหมายปัญญา (Intelligence) ว่า “ปัญญา คือ ความสามารถในการแก้ปัญหา หรือการสร้างผลผลิตที่มีคุณค่าต่อสังคม” และ 10 ปีต่อมาในปี ค.ศ. 1999 เขาได้ปรับความหมายของ “ปัญญา” ใหม่ เป็น “ศักยภาพทางชีวจิตวิทยา” (Biopsychology Potential) ซึ่งเป็นกระบวนการให้ได้มาซึ่งข้อมูล ซึ่งแต่ละคนจะแสดงออกในแต่ละบริบทของวัฒนธรรมที่เขาอยู่ เพื่อแก้ปัญหาและสร้างผลงานที่มีคุณค่าแก่สังคม เขาเชื่อว่า ปัญญา หมายถึง โครงสร้างทางชีวจิตวิทยาซึ่งจะเป็นตัวสร้างแหล่งทางความคิดของคนเรา ซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อหาแต่ละด้าน และยังมีผลมาจากองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ พันธุศาสตร์และสังคมศาสตร์ ซึ่งเป็นสิ่งผสมผสานระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม ทุกคนสามารถแสดงออกซึ่งปัญญาที่เขาสามารถและพัฒนาความสามารถนั้นกับบริบทต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อมของตน เขามองปัญญาในหลายลักษณะ เขาเชื่อว่าปัญญาแต่ละด้านจะเป็นกระบวนการทางจิตใจหรือความสามารถที่จะค้นหา แก้ปัญหาและสร้างผลผลิตที่มีคุณค่าเป็นที่ยอมรับของสังคม Gardner เชื่อว่า คนทั่วไปจะมีปัญญาหลายด้าน โดยจะขึ้นกับความสามารถ แต่จะแอบแฝงและแสดงออกมาในรูปแบบต่างกัน เช่น ระบบภาษา ระบบภาพ หรือ สัญลักษณ์ และระบบเขียน ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะแสดงออกมาในรูปของระบบวัฒนธรรมของ แต่ละแห่ง ในปีค.ศ. 1998

การ์ดเนอร์ได้เพิ่มปัญญาด้านที่ 8 คือ ด้านธรรมชาติ และต่อมาในปีค.ศ. 1999 การ์ดเนอร์ได้เสนอแนะปัญญาด้านที่ 9 คือ ด้านอัตถภาวนิยม/ จิตนิยม หรือการดำรงคงอยู่ของชีวิต (Amorim, Tapparo, Marranghello, Silva, & Pereira, 2014)

1. ความเป็นมาของทฤษฎีพหุปัญญา เมื่อปี ค.ศ. 1904 กระทรวงศึกษาธิการของประเทศฝรั่งเศสได้ให้นักจิตวิทยา Alfred Binet และคณะได้ทำการพัฒนาเครื่องมือ โดยกำหนดนักเรียนที่มีความเสี่ยงต่อการสอบตกเพื่อหาทางแก้ไข จากการพัฒนานี้ทำให้เกิดแบบทดสอบเชาวน์ปัญญาขึ้นเป็นครั้งแรกของโลก หลายปีต่อมาจึงแพร่เข้าไปในสหรัฐอเมริกา และใช้กันอย่างแพร่หลายจนเป็นที่รู้จักกันในปัจจุบันว่า “เชาวน์ปัญญา” และแบบทดสอบไอคิว (IQ Test) หรือแบบทดสอบเชาวน์ปัญญา เกือบแปดสิบปีหลังจากที่มีแบบทดสอบเชาวน์ปัญญาฉบับแรก Gardner นักจิตวิทยาชาวอเมริกาแห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ได้ประกาศว่าโลกของเราตีความความหมายของความฉลาด หรือเชาวน์ปัญญาแคบไป Gardner ได้เสนอไว้ในหนังสือ “กรอบแห่งจิต”(Frames of Mind) เมื่อปี ค.ศ. 1983 ว่า ปัญญาของมนุษย์มีอย่างน้อย 7 ด้าน และเรียกทฤษฎีของเขาว่า “ทฤษฎีพหุปัญญา” (Theory of Multiple Intelligence: MI) Gardner ต้องการจะรู้จักศักยภาพของความสามารถมนุษย์ที่นอกเหนือไปจากคะแนนแบบทดสอบเชาวน์ปัญญา เขาตั้งข้อสงสัยถึงความเชื่อถือได้ของแบบทดสอบเชาวน์ปัญญาแบบต่าง ๆ ที่ตั้งคนออกจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ และตอบสนองเรื่องราวต่างๆ ที่ไม่เคยทำ Gardner บอกว่า เชาวน์ปัญญาน่าจะเกี่ยวกับความสามารถใน 1) การแก้ปัญหา และ 2) ออกแบบงานและผลงานชนิดต่าง ๆ ในสถานการณ์ธรรมชาติ (Moran, 2011)

ทฤษฎีของ Gardner มีพื้นฐานจากการศึกษาเรื่องสมองของผู้ที่มีสมองบกพร่องในบางส่วน และพบว่า ผู้ที่ถูกศึกษายังมีความสามารถในส่วนที่เหลืออยู่ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่า สมองของมนุษย์ได้แบ่งเป็นส่วน ๆ แต่ละส่วนได้กำหนดความสามารถเป็นเรื่อง ๆ หรือมีปัญหาหลาย ๆ อย่าง ถือกำเนิดมาจากสมองเฉพาะส่วนแตกต่างกัน Gardner ใช้ฐานความคิดจากวิทยาการปัญญา (Cognitive Science) ประสาทวิทยาศาสตร์ (Neuroscience) และจิตวิทยาพัฒนาการ และให้คำจำกัดความ “ปัญญา” ว่าเป็นศักยภาพเชิงชีวจิต (Biopsychological Potential) นั่นคือ คนทุกคนสามารถแสดงออกซึ่งองค์แห่งปัญญาที่สามารถและพัฒนาความสามารถนั้นกับบริบทต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อมของตน เขามองสติปัญญาในหลายลักษณะ เขาเชื่อว่าปัญญาแต่ละด้าน จะเป็นกระบวนการทางจิตใจหรือความสามารถที่จะค้นหา แก้ปัญหา และสร้างผลผลิตที่มีคุณค่าเป็นที่ยอมรับของสังคม บุคคลแต่ละคนมีปัญหาอยู่หลากหลายด้วยกัน เพียงแต่มีความสามารถแต่ละด้านไม่เท่ากัน ความสามารถที่ผสมผสานกันออกมาทำให้บุคคลแต่ละคนมีแบบแผนซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตน หากบุคคลได้รับการส่งเสริมที่เหมาะสมจะสามารถพัฒนาความสามารถที่ตนมีอยู่ให้เต็มศักยภาพได้ (Petruta, 2013)

สรุปได้ว่า ความเป็นมาของทฤษฎีพหุปัญญาเกิดจากการจุดประกายความคิดของ Gardner ในเรื่องความสามารถด้านต่าง ๆ ของจิต ทำให้เริ่มศึกษาว่า ความสามารถต่าง ๆ เหล่านั้น เติบโต

พัฒนามาได้อย่างไร นอกจากนี้ยังเกิดจากความเชื่อในเรื่องศักยภาพและความสามารถของมนุษย์ที่มีอย่างหลากหลาย อันเกิดจากสมองที่แบ่งเป็นส่วนๆ ซึ่งแต่ละส่วนกำหนดความสามารถเป็นเรื่อง ๆ ไปได้ จึงทำให้มนุษย์มีปัญหาหลาย ๆ อย่างและปัญญาของบุคคลมิได้มีเพียงความสามารถ ทางด้านภาษา และคณิตศาสตร์ดังที่เคยเชื่อกันมาแต่อดีต (Rile, Opuencia, Decenorio, & Tan, 2015)

2. แนวคิดสำคัญของทฤษฎีพหุปัญญากับการจัดการศึกษา Gardner (1993) เสนอแนวคิดในการจัดการศึกษาเอาไว้ดังนี้

2.1 โรงเรียนสำหรับอนาคต Gardner เสนอว่าโรงเรียนสำหรับอนาคตควรจะเป็นโรงเรียนที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการ คือ (Amorim et al., 2014)

2.1.1 คนแต่ละคนมีความสามารถและความถนัดที่แตกต่างกัน และแต่ละคนจะมีลีลาการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันมีเครื่องมือวัดความแตกต่างนี้

2.1.2 ไม่มีใครที่จะสามารถเรียนรู้ได้ทุกอย่างที่จะต้องเรียน แต่ทุกคนสามารถเลือกเรียนสิ่งที่ต้องการ โรงเรียนสำหรับอนาคตควรตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล โดยการจัดกิจกรรมและหาวิธีการสอนแต่ละวิชาที่จะสนองตอบความสามารถส่วนบุคคลและเมื่อ นักเรียนได้เรียนในระดับประถมแล้วโรงเรียนควรหาวิธีการให้เหมาะกับชีวิตและการทำงานของแต่ละวัฒนธรรมและท้องถิ่นที่อาศัยอยู่

2.2 บทบาทของนักการศึกษา Gardner เสนอว่า บทบาทของนักการศึกษาควรเปลี่ยนแปลงไปดังนี้ (Delgoshaei & Delavari, 2012)

2.2.1 โรงเรียนควรมีผู้เชี่ยวชาญทางการวัดและประเมิน ที่จะเข้าใจและวัดความสนใจและความสามารถของเด็กที่มีความถนัดต่าง ๆ กัน โดยใช้เครื่องมือวัดความสามารถทางปัญญา (Intelligence-fair Instrument) แต่ละด้าน ซึ่งจะบอกได้ว่านักเรียนคนไหนมีความถนัดด้านไหน และควรแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับนักเรียน ครู และผู้ปกครองเกี่ยวกับผลการเรียนของเด็ก

2.2.2 โรงเรียนควรมีผู้ดูแลทางหลักสูตรที่นักเรียนเป็นศูนย์กลาง (Student curriculum Broker) ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถจัดหลักสูตร หรือแผนการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับความสนใจ เป้าหมาย พัฒนาการและลีลาการเรียนของตน โดยใช้นวัตกรรมต่าง ๆ เข้ามาช่วย

2.2.3 โรงเรียนควรมีผู้ดูแลโรงเรียนและชุมชน (School-community Broker) ที่จะจัดโอกาสการเรียนรู้ให้นักเรียนได้สัมผัสในวงกว้าง โดยควรเป็นบุคคลที่รู้ความเคลื่อนไหวต่าง ๆ ในชุมชนที่หาไม่ได้จากโรงเรียน โดยเฉพาะเด็กพิเศษที่ความสามารถทางสมองไม่ปกติ เด็กเหล่านี้ควรมีบุคคลที่เรียกเป็นผู้ฝึก (Apprenticeship) ผู้ช่วยเหลือ (Mentorship) หรือ ผู้ฝึกงาน (Internship) ซึ่งเป็นผู้ที่เด็กรู้สึกปลอดภัยที่จะอยู่ด้วย และผู้ดูแลทางการศึกษาควรจัดให้เด็กเหล่านี้ได้มีโอกาสเติบโตในสังคม (Abdi & Rostami, 2012)

2.3 บทบาทของครู สำหรับครูและครูต้นแบบ (Master Teacher) ครูควรมีอิสระในการสอน โดยใช้ลีลาการสอนเฉพาะตน ครูต้นแบบควรมีบทบาทในการนิเทศติดตามครูใหม่ และจัดให้มีความสมดุลระหว่างหลักสูตร การสอน การวัดและประเมินผล นักเรียนและชุมชน

2.4 ผลกระทบจากสังคม Gardner เชื่อว่า สังคมได้รับผลกระทบจาก 3 ประเด็นต่อไปนี้เป็น (Amorim, Tapparo, Marranghello, Silva, & Pereira, 2014)

2.4.1 การนำวัฒนธรรมตะวันตก (Westist) มาใช้ หมายถึง แนวความคิดจากนักปรัชญาตะวันตก เช่น การเน้นสติปัญญาในด้านใดด้านหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียว เช่น ด้านตรรกะหรือการคิดอย่างมีเหตุผล เป็นสิ่งที่ดี แต่ไม่ใช่สิ่งเดียวที่ควรเน้น (Sheahan, While, & Bloomfield, 2015)

2.4.2 การทดสอบ (Testist) หมายถึงการทดสอบทางจิตวิทยาที่วัดความสามารถ ความพร้อมและการจัดอันดับบุคคล การทดสอบน่าจะเน้นในเรื่องของความเป็นมนุษย์ให้ มากกว่าการวัดความสามารถและความพร้อมของบุคคล หรือการจัดอันดับบุคคลเท่านั้น (Ofrim-Stăncună, 2014)

2.4.3 ความเป็นเลิศ (Bestist) ความเป็นเลิศไม่ได้หมายถึงสิ่งที่ดีที่สุด และฉลาดที่สุด (The Best and Brightness) แต่ความเก่งควรเป็นการผสมผสานสิ่งที่ดีที่สุดหลายอย่างเข้าด้วยกัน ไม่ใช่ความเก่งด้านใดด้านหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียว (Clark, 2007)

3. ลักษณะที่สำคัญของทฤษฎีพหุปัญญา Gardner กล่าวถึงลักษณะที่สำคัญ 2 ประการของทฤษฎีพหุปัญญา คือ ทฤษฎีพหุปัญญามองการคิดของมนุษย์ว่าเป็นกระบวนการที่สมบูรณ์ (Gardner, 1995) ปัญญาของมนุษย์เป็นองค์ประกอบซึ่งสร้างขึ้นจากกระบวนการคิดจากชุดพื้นฐานของปัญญา (Human Beings are Organisms Who Possess A Basic Set of Intelligences) มนุษย์มีปัญญาที่แตกต่างกัน สิ่งที่ทำหาย คือจะอย่างไรที่จะใช้ความสามารถของมนุษย์ที่มีความแตกต่างกันในการพัฒนาการแสดงออกทางปัญญาที่หลากหลายให้ดีที่สุด (Macnamara, 2016)

4. ลักษณะความสามารถทางพหุปัญญา ตามแนวคิดของ Gardner ลักษณะความสามารถทางพหุปัญญา ประกอบด้วย ปัญญาชุดที่ 1 คือ ปัญญาที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ ได้แก่ ปัญญาด้านภาษา (Linguistic Intelligence) ด้านตรรกะ-คณิตศาสตร์ (Logica-Mathematical Intelligence) ด้านดนตรี (Musical Intelligence) ด้านร่างกาย-การเคลื่อนไหว (Bidily-Kinesthetic Intelligence) ด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Intelligence) ปัญญา ชุดที่ 2 คือ ปัญญาส่วนตัว (Personal Intelligence) ประกอบด้วยปัญญาสองด้าน คือ ด้านความเข้าใจ ระหว่างบุคคล (Interpersonal Intelligence) และด้านความเข้าใจตนเอง (Intrapersonal Intelligence) ปัญญาด้านสุดท้าย คือ ด้านธรรมชาติ (Naturalist Intelligence) ด้านอัตถภาวนิยม/ จิตนิยม หรือการ ดำรงคงอยู่ของชีวิต (Existential Intelligence)

ปัจจุบันทฤษฎีพหุปัญญา ตามแนวคิดของ Gardner มีปัญญาอยู่ 9 ด้าน ดังนี้

4.1 ปัญญาด้านภาษาศาสตร์ (Linguistic Intelligence) คือ ความสามารถในการใช้ภาษา

รูปแบบต่าง ๆ ตั้งแต่ภาษาพื้นเมือง จนถึงภาษาอื่น ๆ ด้วย สามารถรับรู้ เข้าใจภาษา และสามารถสื่อภาษาให้ผู้อื่นเข้าใจได้ตามที่ต้องการ ผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น ก็มักเป็น กวี นักเขียน นักพูด นักหนังสือพิมพ์ ครู หนายความ หรือนักการเมือง

4.2 ปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ (Logical-Mathematical Intelligence) คือ ความสามารถในการคิดแบบมีเหตุและผล การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ ผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น ก็มักเป็น นักบัญชี นักสถิติ นักคณิตศาสตร์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ นักเขียนโปรแกรม หรือวิศวกร

4.3 ปัญญาด้านมิติสัมพันธ์ (Visual-Spatial Intelligence) คือ ความสามารถในการรับรู้ทางสายตาได้ดี สามารถมองเห็นพื้นที่ รูปทรง ระยะทาง และตำแหน่ง อย่างสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน แล้วถ่ายทอดแสดงออกอย่างกลมกลืน มีความไวต่อการรับรู้ในเรื่องทิศทาง สำหรับผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น จะมีทั้งสายวิทยาศาสตร์ และสายศิลป์ สายวิทยาศาสตร์ ก็มักเป็น นักประดิษฐ์ วิศวกร ส่วนสายศิลป์ เป็นศิลปินในแขนงต่าง ๆ เช่น จิตรกร วาดรูป ระบายสี เขียนการ์ตูน นักปั้น นักออกแบบช่างภาพ

4.4 ปัญญาด้านร่างกายและการเคลื่อนไหว (Bodily Kinesthetic Intelligence) คือ ความสามารถในการควบคุมและแสดงออกซึ่งความคิด ความรู้สึก โดยใช้อวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รวมถึงความสามารถในการใช้มือประดิษฐ์ ความคล่องแคล่ว ความแข็งแรง ความรวดเร็ว ความยืดหยุ่น ความประณีต และความไวทางประสาทสัมผัส สำหรับผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น มักจะเป็นนักกีฬา หรือไม่ก็ศิลปินในแขนง นักแสดง นักฟ้อน นักเต้น นักบัลเล่ย์ หรือนักแสดงกายกรรม

4.5 ปัญญาด้านดนตรี (Musical Intelligence) คือ ความสามารถในการซึมซับ และเข้าถึงสุนทรียะทางดนตรี ทั้งการได้ยิน การรับรู้ การจดจำ และการแต่งเพลง สามารถจดจำจังหวะ ทำนอง และโครงสร้างทางดนตรีได้ดี และถ่ายทอดออกมาโดยการฮัมเพลง เคาะจังหวะ เล่นดนตรี และร้องเพลง สำหรับผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น มักจะเป็นนักดนตรี นักประพันธ์เพลง

4.6. ปัญญาด้านมนุษยสัมพันธ์ (Interpersonal Intelligence) คือ ความสามารถในการเข้าใจผู้อื่น ทั้งด้านความรู้สึกนึกคิด อารมณ์ และเจตนาที่ซ่อนเร้นอยู่ภายใน มีความไวในการสังเกต สีหน้า ท่าทาง น้ำเสียง สามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสม สร้างมิตรภาพได้ง่าย เจรจาต่อรอง ลดความขัดแย้ง สามารถจูงใจผู้อื่นได้ดี เป็นปัญญาด้านที่จำเป็นต้องมีอยู่ในทุกคน แต่สำหรับผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น มักจะเป็นครูบาอาจารย์ ผู้ให้คำปรึกษา นักการทูต เซลแมน พนักงานขายตรง พนักงานต้อนรับ ประชาสัมพันธ์ นักการเมือง หรือนักธุรกิจ

4.7 ปัญญาด้านการเข้าใจตนเอง (Intrapersonal Intelligence) คือ ความสามารถในการรู้จัก ตระหนักรู้ในตนเอง สามารถเท่าทันตนเอง ควบคุมการแสดงออกอย่างเหมาะสมตามกาลเทศะ และสถานการณ์ รู้ว่าเมื่อไหร่ควรเผชิญหน้า เมื่อไหร่ควรหลีกเลี่ยง เมื่อไหร่ต้องขอความช่วยเหลือ มองภาพตนเองตามความเป็นจริง รู้ถึงจุดอ่อน หรือข้อบกพร่องของตนเอง ในขณะเดียวกันก็รู้ว่าตนมีจุดแข็ง หรือความสามารถในเรื่องใด มีความรู้เท่าทันอารมณ์ ความรู้สึก ความคิด ความ

คาดหวัง ความปรารถนา และตัวตนของตนเองอย่างแท้จริง เป็นปัญญาด้านที่จำเป็นต้องมีอยู่ในทุกคนเช่นกัน เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า และมีความสุข สำหรับผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น มักจะเป็นนักคิด นักปรัชญา หรือนักวิจัย

4.8 ปัญญาด้านธรรมชาติวิทยา (Naturalist Intelligence) คือ ความสามารถในการรู้จัก และเข้าใจธรรมชาติอย่างลึกซึ้ง เข้าใจกฎเกณฑ์ ปรากฏการณ์ และการรังสรรค์ต่าง ๆ ของธรรมชาติ มีความไวในการสังเกต เพื่อคาดการณ์ความเป็นไปของธรรมชาติ มีความสามารถในการจัดจำแนก แยกแยะประเภทของสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์ สำหรับผู้ที่มีปัญญาด้านนี้โดดเด่น มักจะเป็นนักธรณีวิทยา นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย หรือนักสำรวจธรรมชาติ

4.9. ปัญญาด้านอัตถวายนิยม (Existential Intelligence) ได้แก่ ปัญญาทางด้านการดำรงคงอยู่ของชีวิต หรือ ด้านจิตนิยม คือความสามารถในการพิจารณาคำถามสำคัญเกี่ยวกับการดำรงชีวิต ความตาย ความรักและการดำรงอยู่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีพหุปัญญาของ Howard Gardner

Amiryousefi and Dastjerdi (2011) ได้ศึกษาวิธีใหม่ที่น่าสนใจ แต่ยังเป็นที่ยกเถียงกันในการปฏิรูปการศึกษา คือ ทฤษฎีด้านเชาวน์ปัญญา หรือ Theory of Multiple Intelligences ความก้าวหน้าล่าสุดในด้านวิทยาศาสตร์ ความรู้ความเข้าใจในจิตวิทยาพัฒนาการและระบบประสาทสติปัญญาของแต่ละคนเป็นอย่างไร เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการเรียนรู้ภาษาที่สอง/ ภาษาต่างประเทศ มีแรงจูงใจสองประเภทคือ Integrative และ Instrumental โดยที่ Christison (2006) ให้เหตุผลว่า ฐานความฉลาดและประเภทของแรงจูงใจในการเรียนมีผลกระทบต่อวิธีการ/ วัสดุ/ เรียนรู้ การศึกษาครั้งนี้ต้องการอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างประเภทและฐานของสติปัญญา แรงจูงใจและความพึงพอใจของผู้เรียนของ Interchange และ Top Notch Elementary books การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามการประเมินผล การประเมินความเข้าใจหลายด้าน (MIDAS) และแบบสอบถามของการ์ดเนอร์ ที่ทดสอบแรงจูงใจ (MTB) ผลการวิจัยพบว่า ทั้งสองกลุ่มมีทั้งสองแบบแรงจูงใจและบูรณาการพื้นฐานของปัญญาส่วนบุคคลและตรรกะทางคณิตศาสตร์ที่สูงขึ้น

Asadollahfam, Salimi, and Pashazadeh (2012) ได้ศึกษาทฤษฎีเชาวน์ปัญญาของ Howard Gardner ในปี พ. ศ. 2526 กำหนดแนวคิดเรื่องสติปัญญาในมุมมองของ Gardner แบบดั้งเดิมของปัญญา เช่นไอคิว ความล้มเหลวในการอธิบายความสามารถในการรับรู้ความสามารถกลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนที่เรียนวิชาภาษาอังกฤษจากมหาวิทยาลัย Maragheh Azad ประกอบด้วยนักเรียนห้าสิบคน (ชาย 30% และหญิง 70%) โดยการตอบแบบสอบถาม EQ-i และการทดสอบระดับคำศัพท์ ผลการวิจัยพบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างทักษะด้านบุคคลและความรู้ด้านคำศัพท์ การวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าหญิงมีความรู้เรื่องคำศัพท์สูงกว่าเพศชาย

Mei-Ju, Pin-Chen, and Chen-Hsin (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้และสุนทรียภาพของเด็กที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเสนอโดยสำนักการศึกษาในโรงเรียนอนุบาลในหลักสูตรการเรียนการสอนและหลักสูตรการศึกษาสาธณะสิบสองปี โดยใช้การสอนด้วยทฤษฎีเชาวน์ปัญญาและการปฏิบัติที่เหมาะสมกับพัฒนาการเด็ก ในประเด็นต่อไปนี้เป็นคือ ความสามารถในการแก้ปัญหาเด็กก่อนวัยเรียน

ปัญหาการรับรู้เกี่ยวกับสุนทรียศาสตร์ การสำรวจการแสดงออกความรู้สึกการสร้างความชื่นชมและการตอบสนองในแนวทางที่เหมาะสม การศึกษาครั้งนี้เป็นการเติมช่องว่างการสำรวจความสามารถในด้านสุนทรียศาสตร์ของเด็กเล็ก รวมทั้งการสำรวจและการรับรู้และการตอบสนองความชื่นชม จากทฤษฎี Multiple Intelligence ของ Howard Gardner's โดยการสอบถามใน เว็บไซต์และการเก็บรวบรวมข้อมูลเด็กปฐมวัยในเมืองเกาสง โดยสุ่มตัวอย่างอาสาสมัคร และคัดเลือกแบบสอบถามที่สมบูรณ์ได้ 206 ฉบับจาก 250 ฉบับ และใช้การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS วิเคราะห์การถดถอยตามลำดับชั้น ผลสรุปได้ดังนี้ 1. ผลดีของการสอนเรื่องความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสามารถทางสุนทรียภาพของเด็กได้รับการยอมรับในบางส่วน 2. มีผลกระทบทางบวกของความสามารถในด้านสุนทรียศาสตร์เกี่ยวกับประสิทธิภาพการเรียนรู้ 3. ผลในเชิงบวกของการเรียนรู้บางส่วน และ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างการสอนและการเรียนรู้ของเด็กๆ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสร้างสุนทรียของเด็ก ๆ นอกจากนี้การเป็นผู้นำด้านการศึกษาก่อนวัยเรียนและประสบการณ์การเรียนรู้ของเด็ก ๆ ทำให้นักเรียนมีความรู้สึกที่ดีขึ้นในด้านสุนทรียศาสตร์

Macnamara (2016) ได้ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของความเป็นผู้นำ โดยสนใจกับรูปแบบต่าง ๆ ในเรื่องของเขาวรรณปัญญาแปดประเภทของ Howard Gardner ยังเสนอว่า มนุษย์มีจิตใจที่ทำการประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจที่หลากหลายและสามารถเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างจิตใจมนุษย์กับศักยภาพของของความคิดรวบยอด โดยใช้การระบุข้อมูลเชิงลึกที่มีประโยชน์ และคำถามเชิงยกตัวอย่าง

Roper (2016) ได้ศึกษาแนวคิด ของโฮเวิร์ด การ์ดเนอร์ ในสาขาการประชาสัมพันธ์ทั้งสำหรับผู้ปฏิบัติงานและนักการศึกษา โดยขยายแนวความคิดของ Gardner โดยการเพิ่มมิติของอนาคตเพื่อสร้างสิ่งที่เรียกว่า "ข่าวกรองในอนาคต" โดยให้เหตุผลว่าจำเป็นเพื่อความยั่งยืนของการประชาสัมพันธ์ โดยคิดกลยุทธ์เชิงบวกล่วงหน้า ด้วยการเน้นความเป็นไปได้ด้านปัญญาในอนาคตล่วงหน้า ใช้เครื่องมือโดยที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถวางแผนและปรับตัวในระยะยาว โดยแสดงให้เห็นถึงกระบวนการสร้างปัญญาในอนาคต มีคำอธิบายเกี่ยวกับการสอนที่เป็นนวัตกรรมเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยที่ประเทศนิวซีแลนด์

จากที่กล่าวมา ทฤษฎีพหุปัญญาของ Gardner (Theory of Multiple Intelligences) ประกอบด้วยความสามารถทางด้านสติปัญญา 9 ด้าน สามารถนำไปใช้ในเรื่องความสำเร็จในการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสติปัญญา การพัฒนาแรงจูงใจและความพึงพอใจของผู้เรียน นอกจากนี้ ยังเป็นพื้นฐานความรู้ในด้านต่างๆ ของสติปัญญาการรับรู้ ความสามารถของแต่ละวิชา การแก้ปัญหาในเด็ก อธิบายความรู้เกี่ยวกับสุนทรียศาสตร์ การแสดงออกและความชื่นชม การตอบสนองในแนวทางที่เหมาะสมสำหรับเด็กในวัยเรียน

ตอนที่ 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematical Modeling) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือการอธิบายระบบต่าง ๆ โดยใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และภาษา กระบวนการในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรียกว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ (เช่นฟิสิกส์ ชีววิทยา วิทยาศาสตร์โลก เคมี) และสาขาวิศวกรรมศาสตร์ (เช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมไฟฟ้า) ตลอดจนในสังคมศาสตร์ (เช่น เศรษฐศาสตร์ จิตวิทยา สังคมวิทยา การเมือง วิทยาศาสตร์) แบบจำลองอาจช่วยอธิบายระบบและศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบต่าง ๆ และเพื่อคาดการณ์เกี่ยวกับพฤติกรรม (Dubois, Taylor, & Francis, 2018)

องค์ประกอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถมีได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบไดนามิก โมเดลทางสถิติ สมการเชิงอนุพันธ์หรือแบบจำลองทางทฤษฎีเกม แบบจำลองและรูปแบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างนามธรรมที่หลากหลาย โดยทั่วไปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจรวมถึงโมเดลในด้านตรรกะ ในหลาย ๆ กรณีคุณภาพของสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในด้านทฤษฎี สอดคล้องกับผลของการทดลองที่ทำซ้ำ ๆ ได้ ข้อตกลงระหว่างแบบจำลองทางทฤษฎีและการวัดเชิงทดลองมักนำไปสู่ความก้าวหน้าที่สำคัญเนื่องจากการพัฒนาทฤษฎีที่ดีขึ้น

ในทางวิทยาศาสตร์กายภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีองค์ประกอบต่อไปนี้ คือ (Bender, 2000)

1. สมการที่ใช้ในการควบคุม
2. แบบจำลองย่อยเสริม
 - 2.1 นิยามของสมการ
 - 2.2 ส่วนประกอบของสมการ
3. ข้อตกลงเบื้องต้นและข้อจำกัด
 - 3.1 เงื่อนไขเริ่มต้นและขอบเขต
 - 3.2 ข้อจำกัดและการเคลื่อนไหวของร่างกาย

การจำแนกประเภท:แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักประกอบด้วยความสัมพันธ์และตัวแปรความสัมพันธ์ สามารถอธิบายโดยการดำเนินการ เช่นการดำเนินการทางพีชคณิต, ฟังก์ชันตัวดำเนินการที่แตกต่าง ฯลฯ ตัวแปรที่เป็นนามธรรมของพารามิเตอร์ที่น่าสนใจและสามารถบอกเป็นเชิงปริมาณได้ เกณฑ์การจำแนกประเภทต่าง ๆ สามารถนำไปใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามโครงสร้างต่อไปนี้ได้

เชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น: ถ้าตัวดำเนินการทั้งหมดในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความเป็นเชิงเส้น ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีการนิยามที่เป็นเชิงเส้น แบบจำลองที่เป็นและไม่เป็นเชิงเส้นแบบอื่น ๆ นิยามของความเป็นเชิงเส้นและความไม่เป็นเชิงเส้นขึ้นอยู่กับบริบทและแบบจำลองเชิงเส้นอาจมีการแสดงออกที่ไม่เป็นเชิงเส้นในบริบทเหล่านี้ เช่น ในรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ สันนิษฐานได้ว่าเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นในพารามิเตอร์แต่อาจไม่ใช่เชิงเส้นในตัวแปรทำนาย

ในทำนองเดียวกันสมการความแตกต่างจะเป็นเส้นตรงถ้าสามารถเขียนด้วยตัวดำเนินการเชิงเส้นที่แตกต่างกัน แต่สามารถมีนิพจน์ที่ไม่เชิงเส้นในนั้นได้ ในรูปแบบการเขียนโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดจะแสดงได้โดยสมการเชิงเส้นทั้งหมดแล้ว จะถือว่าเป็นโมเดลแบบจำลองเชิงเส้น หากวัตถุประสงค์มีเพียงหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งของฟังก์ชันหรือข้อจำกัด ที่แสดงด้วยสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นแล้วแบบจำลองที่เรียกว่าเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Gallistel, 1990)

ความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นระบบที่ค่อนข้างง่ายมักเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ และไม่สามารถย้อนกลับได้แม้ว่าจะมีข้อยกเว้น ระบบเชิงเส้นและแบบจำลองมีแนวโน้มที่จะยากกว่าการเรียนรู้แบบเชิงเส้นเพียงอย่างเดียว แนวทางทั่วไปสำหรับปัญหาการไม่เชิงเส้นคือการทำให้เป็นเส้นตรง (linearization) แต่อาจเป็นปัญหาถ้าพยายามที่จะศึกษาแง่มุมต่าง ๆ เช่นการย้อนกลับไม่ได้ซึ่งเชื่อมโยงกับความไม่เป็นเชิงเส้น (Whishaw, Hines, & Wallace, 2001)

แบบคงที่กับแบบไดนามิก: แบบไดนามิกจะอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสถานะในระบบ ในขณะที่แบบจำลองแบบคงที่ (หรือแบบคงที่) จะคำนวณระบบในสถานะสมดุลและเป็นเวลาที่ไม่แปรเปลี่ยน แบบไดนามิกมักจะแสดงโดยสมการเชิงอนุพันธ์หรือสมการความแตกต่าง

แบบชัดเจนกับแบบบอกเป็นนัย: หากทราบพารามิเตอร์นำเข้าทั้งหมดของโมเดลโดยรวม และทราบว่าพารามิเตอร์ผลลัพธ์สามารถคำนวณได้โดยการประมวลผลแบบจำกัด จะกล่าวได้ว่าแบบจำลองนี้ชัดเจน แต่บางครั้งก็เป็นพารามิเตอร์ผลลัพธ์ที่เป็นที่รู้จักกันและปัจจัยการผลิตที่สอดคล้องกันจะต้องได้รับการแก้ไขโดยใช้ขั้นตอนซ้ำเช่นวิธีการของ Newton (ถ้าเป็นแบบเชิงเส้น) หรือวิธีการของ Broyden (ถ้าไม่ใช่แบบเชิงเส้น) ในกรณีเช่นนี้รูปแบบจะเป็นแบบบอกเป็นนัย ตัวอย่างเช่นสมบัติทางฟิสิกส์ของเครื่องยนต์ไอพ่น เช่นกังหันและบริเวณลำคอของหัวฉีดสามารถคำนวณได้อย่างชัดเจนโดยมีการออกแบบวงจรอุณหพลศาสตร์ (อัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของน้ำมันความดันและอุณหภูมิ) ที่สถานะการบินและการตั้งค่าการใช้งานเฉพาะ แต่จะมีรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ที่เงื่อนไขการบินและการตั้งค่าพลังงานอื่น ๆ ไม่สามารถคำนวณได้อย่างชัดเจนจากสมบัติทางกายภาพคงที่ (Pyke, 1984)

แบบแยกส่วนและแบบต่อเนื่อง: แบบแยกส่วนถือว่าเป็นแบบไม่ต่อเนื่องเช่นอนุภาคในโมเลกุลหรือแบบจำลองทางสถิติในรูปแบบทางสถิติ ในขณะที่รูปแบบต่อเนื่องแสดงถึงความต่อเนื่อง เช่นสนามความเร็วของของเหลวในท่อน้ำอุณหภูมิและความเค็มในสนามไฟฟ้าและที่บึงที่นำมาใช้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งรูปแบบ (Billings, 2013)

แบบจำลองเชิงพยากรณ์ คือหนึ่งในทุกชุดของตัวแปรจะถูกกำหนดโดยเฉพาะพารามิเตอร์และชุดของตัวแปร ดังนั้นรูปแบบการพยากรณ์จะเป็นเช่นเดียวกับชุดของเงื่อนไขเริ่มต้น ตรงกันข้ามในแบบสุ่มมักเรียกว่า "แบบจำลองทางสถิติ" ซึ่งความเป็นปัจจุบันและชุดของตัวแปรอธิบายไม่ได้โดยค่าที่ไม่ซ้ำกัน แต่ใช้การกระจายโดยความน่าจะเป็น

อุปนัยหรือลอยตัว: รูปแบบการอนุมานคือโครงสร้างเชิงตรรกะตามทฤษฎี รูปแบบอุปนัยที่เกิดขึ้นจากการค้นพบเชิงประจักษ์และคำอธิบายทั่วไป รูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับทฤษฎีและการสังเกต แต่เป็นเพียงโครงสร้างที่คาดว่าจะเป็นจริง ประยุกต์ใช้ในวิชาคณิตศาสตร์ สังคมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ ได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ว่าเป็นแบบไม่มีมูลความจริง การนำทฤษฎีในทางวิทยาศาสตร์ไปใช้เป็นแบบลอยตัวทำให้เกิดความเสียหาย (Truesdell & Clifford, 1984)

ความสำคัญในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสำคัญมากในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านฟิสิกส์ ทฤษฎีทางกายภาพ มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างสม่ำเสมอ มีการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องมากขึ้น เช่น กฎของนิวตันอธิบายถึงปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องโดยใช้ทฤษฎีสัมพัทธภาพและกลศาสตร์ควอนตัม โอกาสที่จะได้รูปแบบที่ถูกต้องในขอบเขตที่เหมาะสม เช่นกลศาสตร์สัมพัทธ์จะลดกลศาสตร์นิวตันเนียนลงด้วยความเร็วที่น้อยกว่า ความเร็วของแสง กฎของฟิสิกส์แสดงด้วยสมการง่าย ๆ เช่น กฎของนิวตัน สมการ Maxwell และสมการของ Schrödinger กฎเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำหรับการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสถานการณ์จริง มีความซับซ้อนมากและทำให้โมเดลบนคอมพิวเตอร์มีรูปแบบจากกฎพื้นฐานหรือจากแบบจำลองโดยการประมาณค่า ตัวอย่างเช่นโมเลกุลสามารถจำลองรูปแบบวงโคจรโมเลกุลที่ประมาณค่าของสมการ Schodinger ในด้านวิศวกรรมฟิสิกส์แบบจำลองมักทำโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่นการวิเคราะห์องค์ประกอบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกันใช้รูปทรงเรขาคณิตที่ต่างกัน เรขาคณิตยูคลิดจะใช้มากในฟิสิกส์คลาสสิกในขณะที่ทฤษฎีสัมพัทธภาพแบบพิเศษและทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปเป็นตัวอย่างของทฤษฎีที่ใช้รูปเรขาคณิตที่ไม่ใช่ยูคลิด ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์แบบทั่วไป เช่นแผนที่และโต๊ะแกรมถูกนำมาใช้ บ่อยครั้งที่วิศวกรวิเคราะห์ระบบใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิศวกรสามารถสร้างแบบจำลองของระบบ การตั้งสมมติฐานว่าระบบสามารถ ทำงานได้อย่างไร หรือพยายามประมาณว่าเหตุการณ์ที่คาดไม่ถึงจะมีผลกระทบต่อระบบอย่างไร ในทำนองเดียวกันในการควบคุมระบบวิศวกรสามารถทดลองวิธีการควบคุมที่แตกต่างกันได้ (Peierls, 1980)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้อธิบายระบบโดยชุดของตัวแปรและชุดของสมการที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ตัวแปรอาจมีอยู่หลายประเภท ตัวเลขจริงหรือจำนวนเต็ม ค่าบูลีนหรือสตริง ตัวอย่าง เช่น ตัวแปรแสดงถึงคุณสมบัติบางอย่างของระบบตัวอย่างเช่นผลลัพธ์ของระบบที่วัดได้มักอยู่ในรูปของสัญญาณข้อมูลการจับเวลาตัวนับและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (yes / no) รูปแบบจริงคือชุดของฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

การสร้างกล่องข้อความ

ในเชิงธุรกิจและวิศวกรรมอาจใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มผลลัพธ์ให้ได้มากที่สุด ระบบที่ได้รับการพิจารณาจะต้องมีปัจจัยการผลิตที่แน่นอน ระบบที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยการผลิตขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น ๆ ด้วย เช่นตัวแปรการตัดสินใจ สภาพของตัวแปร ตัวแปรภายนอกและ ตัวแปรสุ่ม ตัวแปรการตัดสินใจบางครั้งเรียกว่าตัวแปรอิสระ ตัวแปรภายนอก (Exogenous variables) บางครั้งเรียกว่าพารามิเตอร์หรือค่าคงที่ นอกจากตัวแปรแสดงผลจะขึ้นอยู่กับสถานะของระบบ วัตถุประสงค์และข้อจำกัดของระบบสามารถแสดงเป็นหน้าที่ของตัวแปรแสดงผลหรือตัวแปรสถานะ ฟังก์ชันเป้าหมายจะขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ใช้ และขึ้นอยู่กับบริบทฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เป็นดัชนีวัดความสนใจของผู้ใช้แม้ว่าจะไม่มีขีดจำกัดของจำนวนฟังก์ชันเป้าหมายและข้อจำกัดที่โมเดลมีการใช้ หรือการเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองจะมีส่วนเกี่ยวข้องมากขึ้นตามจำนวนที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่าง เช่นนักเศรษฐศาสตร์มักใช้พีชคณิตเชิงเส้นเมื่อใช้รูปแบบแสดงการนำเข้าและแสดงผล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ที่แสดงถึงตัวแปรต่าง ๆ (Aris & Rutherford ,1994)



ภาพที่ 2-1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการนำเสนอข้อมูลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Aris & Rutherford, 1994)

ปัญหาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักแบ่งออกเป็นกล่องดำหรือกล่องสีขาว (ภาพที่ 2-1) ตามข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบที่มีอยู่ แบบกล่องดำเป็นระบบที่ไม่มีข้อมูลเบื้องต้นที่พร้อมใช้งาน แบบกล่องสีขาว (หรือที่เรียกว่ากล่องแก้วหรือกล่องใส) เป็นระบบที่มีข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมด ในทางปฏิบัติระบบทั้งหมดจะอยู่ระหว่างกล่องดำและกล่องสีขาว ดังนั้นแนวคิดนี้จึงเป็นประโยชน์ในสถานะที่เป็นคู่มือที่ใช้งานง่ายในการตัดสินใจว่าจะใช้วิธีใด โดยปกติแล้วควรใช้ข้อมูลเบื้องต้นให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้รูปแบบถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นรูปแบบกล่องสีขาวมักจะง่ายกว่า เพราะถ้าใช้ข้อมูลอย่างถูกต้องโมเดลจะทำงานอย่างถูกต้อง บ่อยครั้งที่ข้อมูลเบื้องต้นมาในรูปแบบชนิดของฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าทำรูปแบบของวิธีการที่ยาทำงานในระบบร่างกายของมนุษย์รู้ว่าโดยปกติปริมาณของยาในเลือดเป็นฟังก์ชันการเสื่อมสลายแบบเลขยกกำลัง แต่ยังคงมีพารามิเตอร์ที่ไม่รู้จักหลายอย่าง ปริมาณยาที่สลายตัวลงอย่างรวดเร็วและจำนวนที่เริ่มต้นของยาในเลือดคือเท่าใด ตัวอย่างนี้ไม่ใช่แบบกล่องสีขาวอย่างสมบูรณ์ พารามิเตอร์เหล่านี้ต้องได้รับการประเมินโดยวิธีการบางอย่างก่อนที่จะสามารถใช้โมเดลได้ ในรูปแบบกล่องดำพยายามประมาณทั้งรูปแบบการทำงานของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์เชิงตัวเลขในฟังก์ชันเหล่านั้น การใช้ข้อมูลเบื้องต้นที่อาจจะจบลง ตัวอย่างเช่นด้วยชุดของฟังก์ชันที่อาจอธิบายระบบได้อย่างกับกระบวนการอ้างอิงในขณะที่เครือข่ายประสาทเทียมมีค่าโดยประมาณ (Griffiths, Giannuzzi, Lauria, Pisani, Sattinger, Villacci, 2010)

จุดประสงค์ของใช้ข้อมูลข่าวสาร

บางครั้งประโยชน์ของข้อมูลอันทันทีในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ สามารถทำได้บนพื้นฐานของสัญชาตญาณ ประสบการณ์หรือความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญหรือขึ้นอยู่กับความสะดวกของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ สถิติ Bayesian ให้กรอบทางทฤษฎีสำหรับการรวมตัวแบบดังกล่าวไว้ ในการวิเคราะห์อย่างเข้มงวด: ระบุการกระจายความน่าจะเป็นก่อน แล้วปรับปรุงการกระจายตามข้อมูลเชิงประจักษ์ ตัวอย่างของวิธีการดังกล่าว คือสถานการณ์ที่ผู้ทดลองอหิวาต์เล็กน้อยและโยนครั้งเดียวแล้วบันทึกว่าหัวขึ้นหรือไม่และให้ทำนายความเป็นไปได้ที่จะพลิกตัวขึ้นมาใหม่ หลังจากการตัดสินใจความเป็นไปได้ที่เหรียญจะเกิดขึ้นจริงไม่มีใครทราบได้ ดังนั้นการทดลองจึงจำเป็นต้องตัดสินใจ (อาจดูรูปเหรียญ) เกี่ยวกับการกระจายข้อมูลก่อนที่จะใช้ การรวมข้อมูลดังกล่าวอาจมีความสำคัญในการประมาณความน่าจะเป็นอย่างแม่นยำ (Lin and Segel, 1988)

ความซับซ้อน

โดยทั่วไปความซับซ้อนของรูปแบบจะเกี่ยวกับการลดความแตกต่างระหว่างความเรียบง่ายและความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นหลักการที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการสร้างแบบจำลองความคิดที่สำคัญของแบบจำลองคือมีการทำนายที่ง่ายที่สุดคือสิ่งที่ต้องการมากที่สุด ในขณะที่ความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความสมจริงของแบบจำลอง ทำให้สามารถเข้าใจและวิเคราะห์รูปแบบได้ยากขึ้น และยังก่อให้เกิดปัญหาด้านคอมพิวเตอร์รวมถึงความไม่แน่นอนเชิงตัวเลข ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์จะกลายเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมากขึ้น การปรับเปลี่ยนกระบวนการที่ซับซ้อนจะช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น เมื่อสร้างแบบจำลองการบินเครื่องบินสามารถฝังชิ้นส่วนแต่ละแบบของเครื่องบินไว้ในแบบจำลอง และจะได้รูปแบบกล่องสีขาวเกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายในการคำนวณการเพิ่มรายละเอียดจำนวนมากนี้จะยับยั้งการใช้แบบจำลองดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ความไม่แน่นอนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากระบบที่ซับซ้อนมากเกินไป เนื่องจากแต่ละส่วนที่แยกต่างหากทำให้เกิดความแปรปรวนบางอย่างในรูปแบบ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องปกติที่จะทำให้บางอย่างลดรูปแบบให้มีขนาดที่เหมาะสม วิศวกรมักจะสามารถยอมรับการประมาณบางอย่างเพื่อให้ได้รูปแบบที่มีประสิทธิภาพและเรียบง่ายมากขึ้น ตัวอย่างเช่นกลศาสตร์คลาสสิกของ Newton เป็นแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับโลกแห่งความเป็นจริง ยังคงรูปแบบของนิวตันค่อนข้างเพียงพอสำหรับสถานการณ์ชีวิตปกติส่วนใหญ่ นั่นคือ ตรวจจับที่ความเร็วของอนุภาคต่ำกว่าความเร็วของแสงและศึกษาเฉพาะอนุภาคขนาดมหภาคเท่านั้น (Gershenfeld, 1998)

การฝึกและการปรับแต่ง

โมเดลใดที่ไม่ใช่กล่องสีขาวบริสุทธิ์มีพารามิเตอร์บางอย่างที่สามารถใช้เพื่อให้พอดีกับรูปแบบกับระบบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการอธิบาย ถ้าการสร้างแบบจำลองทำด้วยเครือข่ายประสาทเทียมหรือการเรียนรู้ด้วยเครื่องอื่น ๆ การเพิ่มประสิทธิภาพของพารามิเตอร์เรียกว่าการฝึกอบรม ในขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดล Hyperparameters เรียกว่าการปรับแต่งและมักใช้การตรวจสอบ ในการสร้างแบบจำลองทั่วไปผ่านทางฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน พารามิเตอร์จะถูกกำหนดโดยเส้นโค้ง (Korotayev, Malkov, Khaltourina, 2006)

การประเมินผล

ส่วนสำคัญของกระบวนการสร้างแบบจำลองคือการประเมินว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดจะอธิบายถึงระบบได้อย่างถูกต้องหรือไม่ คำถามนี้อาจเป็นเรื่องยากที่จะตอบได้เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการประเมินผลหลายประเภทให้พอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยปกติแล้วส่วนที่ง่ายที่สุดของการประเมินแบบจำลองคือการตรวจสอบว่ารูปแบบเหมาะสมกับการวัดเชิงทดลองหรือข้อมูลเชิงประจักษ์อื่น ๆ หรือไม่ ในรูปแบบที่มีพารามิเตอร์วิธีการทั่วไปในการทดสอบแบบนี้คือการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนที่ไม่เหมือนกัน ได้แก่ ข้อมูลการฝึกอบรมและข้อมูลการยืนยัน ข้อมูลการฝึกอบรมใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง รูปแบบที่ถูกต้องจะตรงกับข้อมูลการยืนยันแม้ว่าข้อมูลเหล่านี้จะไม่ได้ใช้เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ของโมเดลก็ตาม การปฏิบัตินี้เรียกว่าการตรวจสอบข้าม ในสถิติการกำหนดเมตริกเพื่อวัดระยะทางระหว่างข้อมูลที่สังเกตและคาดการณ์เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการประเมินแบบจำลอง ในสถิติทฤษฎีการตัดสินใจและรูปแบบทางเศรษฐกิจบางส่วน ฟังก์ชันการสูญเสียมีบทบาทคล้ายคลึงกัน แม้ว่าจะค่อนข้างตรงไปตรงมาในการทดสอบความเหมาะสมของพารามิเตอร์ แต่ก็ยากที่จะทดสอบความถูกต้องของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ทั่วไปของ

แบบจำลอง โดยทั่วไปมีการพัฒนาเครื่องมือทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติมเพื่อทดสอบแบบจำลองทางสถิติที่เหมาะสมกว่าแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ เครื่องมือบางอย่างจากสถิติที่ไม่เป็น parametric สามารถใช้เพื่อประเมินว่าข้อมูลเป็นที่รู้จักหรือมีรูปแบบทั่วไปที่ทำให้สมมติฐานเกี่ยวข้องกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของโมเดล (Frigg & Hartmann, 2006)

ขอบเขตของรูปแบบ

การประเมินขอบเขตของรูปแบบคือการกำหนดว่าสถานการณ์ใดที่โมเดลใช้บังคับได้นั้น อาจไม่ตรงไปตรงมา ถ้าแบบจำลองถูกสร้างขึ้นจากชุดของข้อมูลหนึ่งต้องกำหนดสำหรับระบบหรือสถานการณ์ที่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกันเป็นชุด "ทั่วไป" ของข้อมูล คำถามว่าโมเดลนี้อธิบายถึงคุณสมบัติของระบบระหว่างจุดข้อมูลหรือไม่นั้นเรียกว่า Interpolation และคำถามเดียวกันสำหรับเหตุการณ์หรือจุดข้อมูลภายนอกข้อมูลที่สังเกตได้เรียกว่า Extrapolation เป็นตัวอย่างของข้อจำกัด ทั่วไปของขอบเขตของแบบจำลองในการประเมินกลศาสตร์คลาสสิกของ Newtonian สามารถสังเกตได้ว่านิวตันทำการวัดโดยไม่มีอุปกรณ์ขั้นสูงดังนั้นเขาจึงไม่สามารถวัดคุณสมบัติของอนุภาคที่เดินทางด้วยความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วของแสง ในทำนองเดียวกันเขาไม่ได้วัดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลและอนุภาคขนาดเล็กอื่น ๆ แต่มีอนุภาคแมโครเท่านั้น โมเดลของเขาไม่สามารถคาดเดาได้ดี แม้ว่าแบบจำลองของเขาจะเพียงพอสำหรับฟิสิกส์ในชีวิตธรรมดา

การพิจารณาเชิงปรัชญา

การสร้างแบบจำลองหลายอย่างโดยนัยเกี่ยวข้องกับการอ้างสิทธิ์เกี่ยวกับสาเหตุของแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ เป็นจุดประสงค์ของการสร้างแบบจำลองคือการเพิ่มความเข้าใจในโลกความถูกต้อง กับข้อสังเกตเชิงประจักษ์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงความสามารถในการคาดการณ์กับสถานการณ์หรือข้อมูลที่เกินกว่าที่ได้อธิบายไว้ในแบบเดิม เป็นความแตกต่างระหว่างการคาดการณ์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ นอกจากนี้ยังสามารถกล่าวได้ว่าแบบจำลองนั้นไร้ค่าเว้นแต่จะให้ข้อมูลเชิงลึกซึ่งไปไกลกว่าสิ่งที่ทราบอยู่แล้ว จากการตรวจสอบโดยตรงของปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาอยู่ ตัวอย่างของการวิพากษ์วิจารณ์ดังกล่าวเป็นข้อโต้แย้งที่ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีที่ดีที่สุดไม่ได้นำเสนอข้อมูลเชิงลึกที่เกินกว่าข้อสรุปทั่วไปของวิวัฒนาการและหลักการพื้นฐานอื่น ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Kumar, Bhadauria, Singh, and Saha (2018) ได้ศึกษาเรื่องผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ Betulinic Acid (BA) ที่มีความสำคัญอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีฤทธิ์เป็นพิษอย่างรุนแรง แม้ว่าจะเป็นตัวป้องกันมะเร็งที่น่าสนใจ เซลล์เนื้องอกและเนื้อเยื่อไม่ค่อยได้รับผลกระทบจาก BA กรดเบนโทลิซิกและอะนาล็อก (BAs) โดยทั่วไปจะกระทำผ่านกลไกที่กระตุ้นให้เกิดการตายของเซลล์โดยตรงและหลีกเลี่ยงความต้านทานต่อยาเคมีบำบัดทั่วไป แม้ว่ากลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการตายของเซลล์โดยตรงคือ mitochondrial apoptosis มีกลไกอื่น ๆ อีกหลายอย่างที่ยังสำรวจพบ ที่สำคัญคือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ apoptosis เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการสำรวจกลไกที่เกี่ยวข้องกับ apoptosis mitochondrial ดังนั้นการสรุปว่ากลไกระดับโมเลกุลที่เป็นพื้นฐานของการกระทำของ BA และในอนาคตจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เข้าใจกลไกของอะตอม

ส่วนสุดท้ายครอบคลุมการปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่เป็นไปได้และสูตรเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาของ BA

Kowal, Toth, Exton, and Campbell (2018) ได้ศึกษาการเล่นเกมแอ็คชั่นวิดีโอ โดยต้องการพัฒนาองค์ความรู้ของผู้เล่นที่สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วและตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น การมองเห็นและการได้ยินที่รวดเร็วและเพื่อลดการกระทำที่ผิดพลาด การศึกษานี้ได้มีการตรวจสอบ ประสิทธิภาพเกี่ยวกับวิดีโอเกมแอ็คชั่นที่เกี่ยวข้องกับความได้เปรียบในงานด้านความรู้ ความเข้าใจที่ได้มาตรฐานโดยเฉพาะอย่างยิ่งได้ตรวจสอบว่าบุคคลที่เล่นเกมแอ็คชั่นวิดีโอได้เพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต่อไปนี้คือ ความเร็วในการรับรู้ ความสามารถทางปัญญา, ความสามารถในการสลับงานและการยับยั้ง กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยผู้ส่งข้อมูลคนแรก (FPS) และการต่อสู้ทางออนไลน์ (MOBA) ผู้เล่นวิดีโอเกมที่มีประสิทธิภาพ (AVGPs) และบุคคลทั่วไปที่เล่นวิดีโอเกมเพียงเล็กน้อย (NVGP) ดำเนินการ ทั้งการทดสอบ Stroop และการทำ Trail-Making Test (TMT A & B) ผลการวิจัย พบว่า เมื่อทดสอบ Stroop, AVGPs ตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญได้เร็วกว่า NVGPs อย่างมีนัยสำคัญ หรืออีกวิธีหนึ่งคือในการทดสอบ TMT AVGPs แสดงเวลาในการตอบสนองได้เร็วขึ้นในขณะที่อัตราความผิดพลาดไม่แตกต่างไปจาก NVGPs ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าในขณะที่ AVGP มีความเร็วในการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นและการสลับงาน AVGPs สามารถนำมาช่วยเพิ่มความเร็วในการตรวจสอบความสามารถในการยับยั้ง ความรู้ความเข้าใจทางปัญญาข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นยืนยันและสนับสนุน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงข้อมูลด้านความรู้ความเข้าใจที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละบุคคลที่เล่นวิดีโอเกมโดยเฉพาะ

Skok, Ivankovic, And Zbunjak (2018) ได้ศึกษาการดำเนินงานและการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังสูงขึ้นอยู่กับความรู้เกี่ยวกับสถานะแบบไดนามิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงไฟฟ้าพลังน้ำมีผลกระทบมากที่สุดในการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าโดยรวม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบไดนามิกของโรงงานไฟฟ้าพลังน้ำที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทำการวิจัยทางทฤษฎีของสถานะของระบบส่งกำลังแบบไดนามิกในระหว่างการทำงานปกติและผิดปกติ ไปยังสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โดยใช้การวัด Phasor ที่ทำข้อมูลให้ตรงกันจาก Phasor ใช้สำหรับระบบไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ที่บันทึกโดยระบบ WAM (Wide Area Monitoring) ใช้เพื่อปรับแต่งค่าทางคณิตศาสตร์แบบไดนามิกตามแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ และตรวจสอบความถูกต้องเพิ่มเติมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ MatLab ในการคำนวณ

Langemann, Reisch, and Dierkes (2018) ได้เสนอกรอบทฤษฎีที่ช่วยให้สามารถดำเนินการตามขั้นตอนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเพื่อหาหรือเกี่ยวกับรูปแบบที่เลือกคือเหมาะสมถูกต้องหรือครบถ้วนเกี่ยวกับโปรแกรมประยุกต์บางอย่าง ปัญหาในปรัชญาถูกแยกออกจากคำถามเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองในสาขาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ อยู่ในโปรแกรมประยุกต์ด้าน

วิทยาศาสตร์ชีวภาพซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยธรรมชาติและความไม่แน่นอนของปริมาณและช่วงเวลาอาจไม่ชัดเจนถึงลำดับขั้นของกลไก คำอธิบายผลลัพธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นค่าประมาณโดยทั่วไป ในการศึกษาแบบของครอบครัวการสืบทอดสมบัติของโมเดลระบุรูปแบบที่น้อยที่สุดและ optimality ของแบบจำลองภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน

กล่าวโดยรวม คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เบื้องต้นทางคณิตศาสตร์กับการทำงานทางคณิตศาสตร์ในทุกมุมมองขององค์ความรู้ แนวคิดการประยุกต์ใช้และการให้เหตุผลต่าง ๆ องค์ประกอบต่าง ๆ ก็มีส่วนช่วยให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดดเด่นขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถประยุกต์ใช้ได้ในทุกสาขาวิชา เป็นการวิเคราะห์ความสามารถที่ท้าทายในด้านต่าง ๆ เป็นการช่วยเพิ่มความรู้และละเจตคติในวิชาคณิตศาสตร์มากขึ้น มีประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการดำเนินการทางคณิตศาสตร์

ตอนที่ 3 ลักษณะเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพศ (Gender)

ความแตกต่างระหว่างเพศ มีการนิยามคำว่า เพศตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2554 ได้ระบุว่า เพศ หมายถึง รูปที่แสดงให้เห็นว่าหญิงหรือชายตามกฎหมายกำหนด เพศ หมายความว่า ความเป็นหญิง ความเป็นชายที่ถูกกำหนดโดยสรีระหรือหรือความประสงค์ของเจ้าของสรีระนั้น และยังรวมถึงเพศภาวะและเพศวิถีอีกด้วย โดยที่เพศภาวะ หมายความว่า ภาวะความเป็นหญิงความเป็นชายที่ถูกกำหนดโดยปัจจัยแวดล้อม สังคมวัฒนธรรมในช่วงใดช่วงหนึ่ง และเพศวิถี หมายความว่า ค่านิยม บรรทัดฐานและระบบวิธีคิด วิธีปฏิบัติที่เกี่ยวกับความปรารถนาและการแสดงออกทางเพศ จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า เพศ มีการนิยามที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการวิจัย และความลึกซึ้งของงานวิจัยที่จะศึกษา ในงานวิจัยนี้ มุ่งศึกษาความสามารถทางด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา โดยการศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ โดยให้ความหมายเพศ หมายถึง นักเรียนเพศชายหรือเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 8-11 ปี ศึกษาอยู่ในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-6 มีสัญชาติไทย สุขภาพแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัว ไม่มีการติดตั้งเครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่ใช้การกระตุ้นไฟฟ้าภายในร่างกาย มีสติสัมปชัญญะสมบูรณ์ สื่อสารได้เข้าใจ สามารถอ่านออกเขียนได้ ถนัดมือขวา มีการมองเห็นปกติ และมีภาวะสุขภาพจิตดี

ความแตกต่างระหว่างเพศในการศึกษา

ในประเทศสมาชิก OECD ส่วนใหญ่ช่องว่างทางเพศในวิทยาลัย มีการให้ความสนับสนุนผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย (Oecd., 2007) แม้จะมีความได้เปรียบในด้านการศึกษาที่สูงขึ้นของสตรี ผู้หญิงส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการศึกษาในวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ (STEM) ในโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับอาชีพทั่วโลก (Charles & Bradley, 2009; Smyth, 2005) แม้ว่า

ผู้หญิงจะมีส่วนร่วมในการศึกษา STEM อยู่ในกลุ่มของวิทยาศาสตร์สุขภาพ แต่ค่อนข้างหายากในวิทยาศาสตร์กายภาพและวิศวกรรมศาสตร์ (OECD, 2007) หญิงอายุสิบห้าปีที่เข้าร่วมโครงการ 2006 for International จากการศึกษาประเมิน (PISA) แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในความคาดหวังสำหรับอาชีพเมื่ออายุ 30 ปี (OECD, 2007)

เมื่อเชื่อมโยงการมีส่วนร่วมของผู้หญิงในด้านวิทยาศาสตร์ สถานะทางสังคมและเศรษฐกิจ (SES) เมื่อเทียบกับเพศชาย Xie and Shauman (2003) พบว่าการเป็นตัวแทนของผู้หญิงที่เพิ่มขึ้นมากด้านวิทยาศาสตร์ ในตลาดแรงงานผู้หญิงส่วนใหญ่ที่จบในสาขาวิทยาศาสตร์สามารถดูได้จากผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ในโรงเรียน (Oakes, 1990; Penner & Paret, 2008) ในการทดสอบมาตรฐานข้ามประเทศที่ได้มาตรฐานมากที่สุดทศวรรษที่ผ่านมา มีการศึกษาจำนวนมากที่บ่งชี้ความเสมอภาคทางเพศของสังคม (Guiso, Monte, Sapienza, & Zingales, 2008) เพื่อทดสอบสมมติฐานการแบ่งชั้นทางสังคมในทางเพศซึ่งเสนอโดย เบเกอร์และคณะ (Baker & Jones, 1995) พบว่า การแบ่งชั้นดังกล่าวเป็นแหล่งที่มาของความสำเร็จทางคณิตศาสตร์ของเด็กหญิง โดยไม่รวมการเป็นตัวแทนของสตรีในรัฐบาล มีการทดสอบสมมติฐาน (Else-Quest, Hyde, & Linn, 2010) ด้านความเสมอภาคทางเพศ ความไม่เท่าเทียมทางเพศและช่องว่างทางเพศในผลการเรียนด้านคณิตศาสตร์ การมีส่วนร่วมของสตรีในงานวิจัยและตัวแทนรัฐสภา เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในด้านเพศในวิชาคณิตศาสตร์ จากการศึกษาพบว่า มีการแบ่งชั้นระหว่างเพศน้อยลง ลดช่องว่างระหว่างเพศ คะแนนการทดสอบทางคณิตศาสตร์ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสังคมเป็นอย่างไร ความเหลื่อมล้ำทางเพศสะท้อนไปยังผลงานทางคณิตศาสตร์ผ่านทางครอบครัวและโรงเรียน โดยมุ่งเน้นเฉพาะบทบาทการสอนเรื่องเพศและความต่อเนื่องของนโยบายการศึกษาท้องถิ่นและหลักสูตร

บริบททางสังคมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังคงครองอันดับสูงสุดด้วยการจัดอันดับระหว่างประเทศด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์/คณิตศาสตร์ (Oecd., 2007) การทดสอบ PISA สามปีการศึกษา คือ คศ. 2000, 2003 และ 2006 ในเกาหลีและฮ่องกงแสดงให้เห็นถึงข้อเสียเปรียบของผู้หญิงในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ แม้ว่าจะมีสังคมระดับสูงเช่นเกาหลีและฮ่องกง มีการพัฒนาเศรษฐกิจมากขึ้นในทศวรรษที่ผ่านมา ก็มีลักษณะทั่วไปที่แตกต่างกันในแง่ของปัจจัยด้านการศึกษาและด้านสังคมวัฒนธรรมในเรื่องเพศ เช่นเดียวกับในประเทศ OECD ผู้หญิงในเกาหลีและฮ่องกงมีความเสมอภาคในการเรียนวิทยาลัย (Kim & Law, 2012) แต่ในระดับสูงการแบ่งแยกด้านเพศมีอยู่ในบางสาขาของการศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย ผู้ชายครองสาขาวิทยาศาสตร์วิศวกรรมและเทคโนโลยี แต่ในด้านมนุษยศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สุขภาพสังคม ศิลปะและมนุษยศาสตร์จะมีผู้หญิงมากกว่า และการศึกษาหนึ่งที่เด่นชัดระหว่างเกาหลีและฮ่องกงคือการเข้าถึงการศึกษาระดับอุดมศึกษา ในขณะที่อัตราเข้ามหาวิทยาลัยในฮ่องกงประมาณร้อยละ 18 ของกลุ่มอายุที่ศึกษาในมหาวิทยาลัย (Post, 2003) องค์ประกอบสำคัญในการสร้างความแตกต่างทางเพศในการเรียน (Smyth, 2005) ขณะที่เกาหลีได้มีการจัดสรรนักเรียนในเทคนิคที่แตกต่างกันเฉพาะในโรงเรียน

มัธยมศึกษาตอนปลายหรืออาชีวศึกษา ส่วนโรงเรียนประถมศึกษาในฮ่องกงดำเนินรอยตามโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นหรืออาชีวศึกษาในด้านวิชาการ

โครงการวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ได้รับการถ่ายทอดในโรงเรียนที่เน้นหลักศิลปะและสังคมวิทยาศาสตร์ (Wong, Lam, & Ho, 2002) เพศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเลือกเข้าเรียนในโรงเรียน อย่างไรก็ตามความแตกต่างในธรรมชาติและระยะเวลา การตัดสินใจของแต่ละครอบครัวเกี่ยวกับสถานที่ที่จะส่งบุตรหลานของตนเข้าโรงเรียน (เช่นโรงเรียนเพศศึกษาหรือโรงเรียนสหศึกษา) ในเกาหลีและฮ่องกงมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ที่แตกต่างกันสำหรับวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ซึ่งส่งผลต่อตำแหน่งอาชีพในอนาคต บทบาทของโรงเรียนในความแตกต่างทางเพศอาจทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์แตกต่างกัน

บทบาทของครอบครัว

การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับครอบครัว และนักวิชาการด้านเยาวชน (Sirin, 2005) ชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างสองตัวแปร คือผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างเพศในผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ สำหรับครอบครัว SES ในสหรัฐอเมริกา (Levine et al, 2005) รายงานว่า การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศและครอบครัว SES (วัดโดยรายได้) พบว่าผู้ชายมีความได้เปรียบในระดับกลางถึงระดับสูง Penner and Paret (2008) ตรวจสอบความแตกต่างระหว่างเพศในการกระจายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์จากระดับชั้นอนุบาลถึงชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 และพบว่า เด็กผู้ชายที่มีความได้เปรียบร้อยละ 95 อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบคือเด็กผู้ชายที่มาจากครอบครัวที่มีรายได้สูงและระดับการศึกษาของผู้ปกครอง

Xie and Shauman (2003) ชี้ว่า บางครอบครัวมีลักษณะ เช่น เจตคติทางเพศและการปฏิบัติต่อลูกของพ่อแม่ อาจทำให้เกิดความแตกต่างทางเพศในด้านผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ แม้ว่าบางครอบครัวในประเทศสหรัฐอเมริกา เพศของเด็กไม่มีผลในการศึกษาวิชาคณิตศาสตร์ Zadeh et al. (2010) พบว่า การศึกษาของมารดามีผลต่อเด็ก 7 ขวบ การปฏิบัติต่อเด็กชายและเด็กหญิงที่แตกต่างกันในบ้าน และพบว่าความพร้อมของสื่อการเรียนและการตอบสนองของผู้ปกครองมีประโยชน์สำหรับเด็กผู้ชาย ในขณะที่ประสบการณ์ที่ได้รับเป็นประโยชน์สำหรับเด็กหญิง การกระตุ้นการเรียนรู้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับเด็กเจ็ดขวบ ในสหรัฐอเมริกา พบว่า มีความคาดหวังสำหรับเด็กผู้ชายสูงกว่าเด็กหญิงในวิชาคณิตศาสตร์ (Eccles & Jacobs, 1986; Eccles et al., 1990) นอกจากนี้ยังมีความคาดหวังของผู้ปกครองต่อเด็กหญิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากแม่ ซึ่งอาจทำให้แรงจูงใจในการเรียนลดลง ในด้านบทบาทของผู้ปกครอง พบว่า เด็ก ๆ ชอบอ้างถึงบรรพบุรุษเมื่อแม่ของเด็กมีความคาดหวังในการเรียนของเด็กมากขึ้น ในขณะที่พ่อแม่มีส่วนร่วมในกิจกรรมของโรงเรียนและกิจกรรมภายในบ้าน แต่ Muller (1998) ไม่พบว่าผู้ปกครองมีส่วนร่วมในการศึกษาของเด็ก ๆ โดยคาดหวังการมีส่วนร่วมของผู้ปกครองอาจช่วยให้เด็ก ๆ มองเห็นคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่สามารถเรียนได้ทุกคนไม่เกี่ยวข้องกับเพศ ความหลากหลายของลักษณะครอบครัวอาจมีผลต่อ

เพศของเด็กที่จะมีอิทธิพลต่อการเรียนคณิตศาสตร์ ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาประสบการณ์ของเยาวชนในวิชาวิทยาศาสตร์ในสหรัฐอเมริกา Hanson (1996) พบว่าทรัพยากรในครอบครัวมีผลกระทบต่อวิทยาศาสตร์ ประสบการณ์ของหญิงมากกว่าชาย ในทำนองเดียวกัน Sonnert (2009) พบว่านักวิทยาศาสตร์ชายในสหรัฐอเมริกาจะไม่กล่าวถึงอิทธิพลของพ่อแม่ที่มีต่ออาชีพ

บทบาทของการสอนเรื่องเพศ ความเชื่อของครูเกี่ยวกับวิชาคณิตศาสตร์ จากการศึกษาพบว่า มีความคาดหวังในความสามารถของเด็กชายด้านคณิตศาสตร์สูงขึ้น (Li, 1999) ในโรงเรียนหญิงล้วนมีแนวโน้มที่จะเป็นครูเพศหญิงมากขึ้นและมีอำนาจเหนือกว่าชาย สามารถทำหน้าที่เป็นแบบอย่างได้ดี (Warrington & Younger, 2001) การเข้าเรียนในโรงเรียนหญิงอาจทำให้เด็กหญิงได้สัมผัสกับบรรยากาศเป็นมิตร ความสำเร็จในวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนหญิง ให้ความสำคัญกับสภาพแวดล้อมที่เป็นอิสระจากการแข่งขันกับเพื่อนชาย กระตุ้นให้เด็กผู้หญิงที่ส่วนร่วมในชั้นเรียนเพิ่มมากขึ้น ความเชื่อมั่นในวิชาคณิตศาสตร์และความสามารถทางวิทยาศาสตร์ของตนเองเพิ่มขึ้น (Warrington & Younger, 2001) สอดคล้องกับความคาดหวังทางเพศจากเพื่อนชายหรือหญิง และจากการศึกษาในสหราชอาณาจักร พบว่า เพศเดียวกันช่วยลดความคิดเกี่ยวกับเรื่องเพศอย่างมากเด็กชายมีแนวคิด เรื่องคณิตศาสตร์ เด็กหญิงมีแนวคิดเกี่ยวกับภาษาอังกฤษมากขึ้น (Sullivan, 2009; Mael, 1998) การศึกษาสำหรับเด็กหญิง และแรงบันดาลใจในอาชีพที่เกี่ยวข้องด้วยเหตุผลด้านเพศนี้ นักวิจัยบางคนเสนอแนะการศึกษาสำหรับเพศเดียว ผลกระทบของการให้ความรู้เรื่องเพศ ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสังคมบางประเทศ เช่น การแบ่งแยกระหว่างเพศหรือโรงเรียน นอกเหนือจากองค์ประกอบทางเพศ เช่น การเลือกเรียนแบบโรงเรียนเดี่ยวและโรงเรียนสหศึกษา

การคัดเลือกในโรงเรียนหญิง นักวิชาการหลายคนศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของ เพศเดี่ยวในโรงเรียน พบว่า นักเรียนที่เข้าเรียนในโรงเรียนคาทอลิก สามารถพัฒนาได้ดี เป็นผลมาจากโรงเรียนเหล่านี้คัดเลือกนักเรียนโดยความสามารถทางวิชาการ ชักจูงนักเรียนจากครอบครัวระดับสูง โดยชี้ไปที่การคัดเลือกดังกล่าวไม่สามารถอธิบายความได้เปรียบทางการศึกษาในเพศเดียวกันได้ และในการศึกษาก่อนหน้านี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบระหว่างเพศเดียวกันและโรงเรียนคาทอลิก การควบคุมความแตกต่างระหว่างโรงเรียนคาทอลิกและรัฐ มีความแตกต่างทางวิชาการระหว่างโรงเรียนสหศึกษาและโรงเรียนหญิง แหล่งที่มาของการคัดเลือกมีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การจัดกลุ่มเพศในโรงเรียน ตัวอย่างเช่น กลุ่มเล็ก ๆ ของเพศเดียวกัน โรงเรียนในประเทศต่าง ๆ ได้แก่ ไทย ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา ต่างเห็นได้ชัด โรงเรียนทั่วไปโรงเรียนเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะดึงดูดนักเรียนจากครอบครัวระดับสูงมากขึ้น เป็นผลกระทบในการแยกเพศในสังคมทั่วไป และความสำเร็จของนักเรียนในโรงเรียนเพศเดียวกัน สอดคล้องกับเมล (Mael's, 1998) ที่พบว่า โรงเรียนเพศเดียวในสหรัฐอเมริกามักเป็นโรงเรียนเอกชน เช่นเดียวกับสังคมเอเชียตะวันออกในเกาหลีและฮ่องกง การวิเคราะห์เปรียบเทียบบทบาทของเพศในโรงเรียนเดี่ยวสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างเด็กชายและเด็กหญิง คณะกรรมการทดสอบทางคณิตศาสตร์อาจแตกต่างกันใน

ด้านความสัมพันธ์ระหว่างเพศเดียวกันและความแตกต่างทางเพศ การศึกษาพิจารณาองค์ประกอบทางเพศของโรงเรียน ความเป็นครอบครัว การเลือกเรียนในโรงเรียน พบว่า ครอบครัว เพศเดียวกันมีส่วนทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเพศ คะแนนสอบวิชาคณิตศาสตร์ โดยการควบคุมตัวแปรระดับโรงเรียนอื่นๆ อย่างรอบคอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเพศ

Cotton, McIntyre, and Price (2013) ได้ศึกษาและพบว่า เพศชายตอบสนองต่อสิ่งจูงใจในการแข่งขันได้ดีกว่าเพศหญิง ดำเนินการทดลองโดยใช้ชุดการแข่งขันทางคณิตศาสตร์ในระดับชั้นประถมศึกษา ในผลการแข่งขันห้าลำดับแรก เพศชายมีประสิทธิภาพดีกว่าหญิงในการแข่งขันช่วงแรก ในเวลาต่อมามีประสิทธิภาพของเพศหญิงดีกว่าผู้ชาย แสดงให้เห็นว่าชายมีความสามารถต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเพศหญิงในการแข่งขันระยะยาว

Chen H.-Y., Chen, Lee, Chen, and Keith (2013) ได้ศึกษาโดยใช้การสร้างแบบจำลองเพื่อสำรวจความเหมือนและความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนอายุ 9 ถึง 15 ปี จากนักเรียน 3157 คน โดยสร้างแบบจำลองสมการ (SEM) ที่มีปัจจัยแฝง 22 ปัจจัย ใน 3 ระดับอายุ พบว่าเพศมีอิทธิพลปานกลางต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และความตั้งใจในการทำงานด้านคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเพศทั้งหมด โดยอาศัยปัจจัยแทรกแซงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความตั้งใจในอาชีพ มีความสัมพันธ์กันพอสมควร แต่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยเพศและลักษณะบุคลิกภาพที่แตกต่างกัน เด็กผู้ชายเก่งมากในการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างทางเพศ ในขณะที่นักเรียนอายุมากขึ้น เพศเริ่มมีผลต่อการรับรู้ความสามารถทางคณิตศาสตร์ของตัวเองในวัย 9 ปี ขึ้นไปถึง 12 ปี จะมีความแตกต่างทางเพศในวิชาคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน

Steinmayr, Wirthwein, and Schöne (2014) ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก ตัวแปรการสร้างแรงจูงใจที่ต่างกันความสัมพันธ์ระหว่างเพศหญิงกับตัวเลข จากนักเรียนเยอรมัน 305 คน (เฉลี่ยอายุ: $M = 17.5$, $SD = 1.1$) โดยประเมินชั้นประถมศึกษาในวิชาคณิตศาสตร์ เกี่ยวกับสติปัญญาเชิงตัวเลข ความคาดหวังของความสำเร็จในการทดสอบความฉลาดทางคณิตศาสตร์ ความสามารถทางคณิตศาสตร์ แรงจูงใจภายในและความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์ (อารมณ์และความวิตกกังวล) การวิเคราะห์ SEM พบว่าตัวแปรทั้งหมดมีบทบาทอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเพศและปัญญาเชิงตัวเลขอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบตัวแปรทั้งหมดพร้อมกัน ข้อมูลเชิงตัวเลข การประมาณค่าทางคณิตศาสตร์และการทำนายตัวเลข ความแปรปรวนในสติปัญญาเชิงตัวเลข ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถอธิบายเรื่องความแตกต่างระหว่างเพศในด้านสติปัญญาเชิงตัวเลข

Franceschini, Galli, Chiesi, and Primi (2014) ได้สำรวจสมมติฐานทางคณิตศาสตร์และการรับรู้ความสามารถทางคณิตศาสตร์ของสตรีและผลการดำเนินงานทางคณิตศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีหญิงที่ลงทะเบียนเรียนในหลักสูตรสถิติเบื้องต้น ผลการวิจัย

พบว่าเพศหญิงมีความรู้สึกไวต่อการจัดการด้านคณิตศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่นแบบแผนน้อยย่อย ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าสมมติฐานทางคณิตศาสตร์ เพศ ทำหน้าที่เป็นตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณสมรรถนะและประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ของสตรี และมีคำแนะนำในการปรับปรุงการสอนคณิตศาสตร์และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนหญิง

Kristoffersen, Obel, and Smith (2015) ได้ศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างทางเพศในปัญหาพฤติกรรมและผลลัพธ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ โดยใช้แบบสอบถาม สำหรับเด็กเดนมาร์กอายุ 10-12 ปีที่เกิดใน 1990-1992 จำนวน 6000 คน พบว่าโดยเฉลี่ยมีคะแนนในการอ่านและการทดสอบทางคณิตศาสตร์มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่สามารถนำมาใช้กับเพศและความแตกต่างในบุคคลที่มีคะแนนต่ำที่มีปัญหาทางพฤติกรรม

Boring (2017) ได้ศึกษาวิเคราะห์อคติทางเพศในการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน (SETs) โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก พบว่านักศึกษาชายยังมีอคติในทัศนคติของอาจารย์ชาย นอกจากนี้ยังมีมิติการสอนที่แตกต่างกัน ทัศนคติของอาจารย์ชายและหญิงมีแนวโน้มที่จะจับคู่กับแบบแผนเรื่องเพศ นักเรียนทั้งชายและหญิงมีความรู้ความ สามารถมากขึ้นและมีทักษะในการเป็นผู้มีระดับสูง (stereotypically) โดยเฉพาะเพศชาย แม้จะมีข้อเท็จจริงว่านักเรียนหญิงจะเรียนรู้มากกว่าชาย

โดยภาพรวมตัวแปรเพศ มีผลต่อความสามารถด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ ตามทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ตเนอร์ ซึ่งเป็นไปตามบริบทช่องว่างระหว่างเพศ แรงจูงใจและปัจจัยด้านความวิตกกังวลในวิชาคณิตศาสตร์ สถิติปัญหาเชิงตัวเลข พฤติกรรมและผลลัพธ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เทคนิคการสอนและทัศนคติของครูชายและครูหญิง ปัจจัยทางสังคมและวัฒนธรรมและการอบรมเลี้ยงดูของแต่ละครอบครัว

ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Characteristics's Mathematical Intelligence) คือลักษณะความสามารถในการดำเนินการต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ ความสามารถในการคิดแบบมีเหตุและผล การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ ในทางสัญลักษณ์ ปริมาณ ตัวเลข ที่มีขนาดแตกต่างกัน (เช่น 3 เทียบกับ 5) (Piazza, 2010) เวลาในการตอบสนอง การตัดสินใจสมมาตร ในทางปริมาณและตัวเลขอีกทั้งระบบการเป็นตัวแทนร่วมกันของความสามารถด้านต่าง ๆ คือ (Gebuis, Kadosh, de Haan, & Henik, 2009; Halberda & Feigenson, 2008) ลักษณะในการแสดงออกทางสัญลักษณ์ ความสามารถในการจำแนก เป็นความสามารถทางคณิตศาสตร์ในการเชื่อมต่อข้อมูลและกำหนดขนาดของข้อมูล (Holloway & Ansari, 2009; Sasanguie, De Smedt, Defever, & Reynvoet, 2012) ความสามารถในการกำหนดขนาดของสัญลักษณ์ การตัดสินใจปริมาณ ความสามารถในการเชื่อมโยงจำนวน (De Smedt, Verschaffel, & Ghesquière, 2009) ในปัจจุบันยังไม่สามารถระบุได้ว่า มีการใช้วิธีการใดวิธีหนึ่งใน

การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน ความสามารถที่ต่างกัน ความรู้ความเข้าใจที่เชื่อมโยงกับรูปแบบที่ต่างกันเหล่านี้ ทำให้สามารถทำความเข้าใจในความสามารถที่ต่างกันในทางคณิตศาสตร์ของเด็กแต่ละคน

นักวิจัยพบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการวัดขนาดกับลักษณะที่ไม่สมมาตร (Bonny & Lourenco, 2013; Mussolin, Nys, & Leybaert, 2012) รวมทั้งเด็กที่มีปัญหาในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (Landerl & Kölle, 2009; Piazza, 2010) การค้นพบนี้ แสดงให้เห็นว่าความสามารถทางคณิตศาสตร์ ได้พบเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในระดับสัญลักษณ์และความสามารถคณิตศาสตร์ทั่ว ๆ ไป (De Smedt et al., 2011; De Smedt et al., 2009) ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ไม่ใช่สัญลักษณ์และความสามารถในระดับสัญลักษณ์ (Le Corre & Carey, 2007) เป็นผลกระทบในความสามารถทางคณิตศาสตร์ทั่ว ๆ ไป ส่วนงานวิจัยอื่น ๆ ยังไม่พบข้อผิดพลาดแบบนี้ (De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013) เด็ก ๆ อาจมีความสามารถในระดับที่ไม่มีนัยสำคัญ อาจเกิดจากความยากในการเชื่อมต่อสัญลักษณ์ตัวเลขและปริมาณที่สัมพันธ์กัน (Rousselle & Noël, 2007)

ความสัมพันธ์ของสัญลักษณ์และปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุ และการตัดสินใจ (Ingilis, Attridge, Batchelor, & Gilmore, 2011) ข้อค้นพบจากการวิจัยหรือปัจจัยเหล่านี้ไม่สามารถอธิบายถึงความแตกต่างได้ทั้งหมด ยังมีความแตกต่างในความสามารถด้านสัญลักษณ์และที่ไม่เป็นสัญลักษณ์ที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ นักวิจัยหลายคนได้เน้นไปที่ความแตกต่างของนักเรียนแต่ละคนในการพัฒนาความสามารถด้านคณิตศาสตร์ (Ansari, 2010; Dowker, 2008) ส่วนใหญ่นักวิจัยใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และเทคนิคการถดถอย โดยคำนึงถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกัน (Magnusson, 2003) ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในระดับสัญลักษณ์และความสามารถทางคณิตศาสตร์มักจะมีสัมพันธ์กันน้อย ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางคณิตศาสตร์และความสามารถในการวัดขนาดของที่ไม่ใช่สัญลักษณ์ คือ $r = .24$ และความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางคณิตศาสตร์กับความสามารถในการกำหนดขนาดของสัญลักษณ์ คือ $r = .30$ วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ประการแรกถ้ากลุ่มเด็กแสดงรูปแบบที่ต่างกันความสามารถของขนาดสัญลักษณ์ที่ไม่เป็นสัญลักษณ์ ประการที่สองคะแนนเฉลี่ยหรือมัธยฐานของรูปแบบความสามารถที่ต่างกัน ประการที่สามคือความแปรปรวน จากความเชื่อที่ว่าความสามารถของเด็กอาจจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาระหว่างบุคคล (Dowker, 2008) การศึกษาหลายรายการแสดงให้เห็นว่าแตกต่างกันตามรูปแบบข้อมูล (Bouwmeester & Verkoeijen, 2012)

ข้อมูลที่ถูกรวบรวม (de Hevia, Vallar, & Girelli, 2008, pp. 1361-1372) อีกทั้งหน่วยความจำในการทำงาน Visuospatial (VSWM) การเป็นตัวแทนและการจัดการของตัวเลข มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสามารถทางคณิตศาสตร์ (Bull, Espy, & Wiebe, 2008) เป็นการเชื่อมโยงระหว่างหน่วยความจำในการทำงานและตัวเลข นอกจากนี้การแก้ปัญหาความซับซ้อนและความเร็วใน

การประมวลผล มีการเชื่อมโยงกับการประมวลผลตัวเลขและความสามารถทางคณิตศาสตร์ (Geary, 2011) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกำหนดขนาดของสัญลักษณ์ ความเร็วและความถูกต้องในการตั้งชื่อตัวเลข มักจะใช้เพื่อประเมินความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล (เช่นความรู้เกี่ยวกับจำนวน) (Berteletti, Lucangeli, Piazza, Dehaene, & Zorzi, 2010) ความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลคือการเรียกใช้ความสามารถในระดับสัญลักษณ์และความสามารถทางคณิตศาสตร์ (Rouselle & Noël, 2007)

การกำหนดรูปแบบที่แตกต่างกันของความสามารถทางคณิตศาสตร์ ได้จากการกระจายความสามารถโดยรวม การวิเคราะห์รายละเอียดแบบแฝง (LPA) เป็นแบบจำลองเพื่อการระบุกลุ่มย่อยเดียวกันที่ใช้ในการคำนวณ (Lanza & Cooper, 2016) โดยมีเงื่อนไขความน่าจะเป็นเป็นตัวกำหนดโครงสร้างในการวัด (เช่น สัมพัทธ์ที่ดี/ ไม่ดี สัญลักษณ์ความสามารถ) และช่วยให้การตรวจสอบความสามารถในการกำหนดขนาดของสัญลักษณ์ ที่แตกต่างกันตามอายุ เราใช้ LPA ในการระบุและอธิบายถึงกลุ่มย่อยที่มีอายุ 5-7 ปี ออกจากกลุ่มใหญ่ ขนาดสัญลักษณ์และการตอบสนอง RT การวิเคราะห์ความแตกต่างด้านประสิทธิภาพในช่วงอายุนี้ มีความแตกต่างของแต่ละบุคคล (Dowker, 2008) เด็ก ๆ จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในระดับที่ไม่ดีและ/ หรือไม่ดี (เช่นคล้ายคลึงกัน) ความสามารถในการแสดงสัญลักษณ์ การระบุปัจจัยด้านความรู้ความเข้าใจที่ที่แตกต่างกัน ความสามารถในการกำหนดขนาดความสามารถในเชิงสัญลักษณ์ ความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลเชิงตัวเลข (Rouselle & Noël, 2007) ความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลเชิงสัญลักษณ์ ผลกระทบของความสามารถทางปัญญาและความสามารถทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ได้มีการประเมิน RT เพื่อเป็นพื้นฐานการวัดความเร็วในการประมวลผล (Kail & Ferrer, 2007) เป็นเหตุให้เกิดความแตกต่างในระดับสัญลักษณ์ (Nonsymbolic-Symbolic Magnitude) ความสามารถทางคณิตศาสตร์จะเกี่ยวข้องกับรายละเอียดมีความสำคัญสำหรับคณิตศาสตร์ในช่วงต้น (เช่นความรู้ที่เกี่ยวกับจำนวนจริงที่ไม่ซับซ้อน) (Fuchs, Kastner, Wagner, Hawes, & Ebersole, 2002) การเพิ่มด้วยตัวเลขเดียว (SDA) การแปลงรหัสและความสามารถทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์

การ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) ได้กล่าวว่า ความสามารถด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ คือความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาอย่างมีเหตุผลและดำเนินการทางคณิตศาสตร์ โดยศึกษาจากการวัดประสิทธิภาพด้านคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม PVT (Problem Verification Task) โดยใช้วิธีให้เด็ก ๆ เห็นปัญหาเลขคณิต และวิธีแก้ปัญหาที่นำเสนอบนคอมพิวเตอร์ที่มีทั้งรายการ การบวก ลบ การคูณและหารทั้งหมด และความเท่ากันของอัตราส่วน มีเวลาในการตรวจสอบ 10 วินาที ว่าสิ่งใดถูกต้องหรือไม่ถูกต้องรวมอยู่และให้คะแนนความถูกต้อง

Murphy and Mazzocco (2008) และ Hannula and Lehtinen (2005) ได้พัฒนาโปรแกรม Dot Enumeration (DE) and Magnitude Comparison (MC) Tasks Assess These Two Competences และ The Ability to Spontaneously Focus on Numerosity (SFON)

เพื่อทดสอบเด็ก โดยเด็กทุกคนได้รับการทดสอบเป็นรายบุคคลโดยผู้สัมภาษณ์เป็นหญิงคนเดียวกันในห้องของโรงเรียนอนุบาลแห่งหนึ่ง ในสองเซสชัน ในเซสชันแรกเป็นการทดสอบหน่วยความจำในการตอบสนองการทำงาน ความสนใจอย่างต่อเนื่อง เพื่อมุ่งเน้น Numerosity โดยเนื้อหาทางคณิตศาสตร์ ในเซสชันที่สอง (3-4 สัปดาห์ต่อมา) หลังจากที่ได้เรียนคณิตศาสตร์ 6 ครั้ง (นับลำดับ, นับวัตถุ, ให้หมายเลข, การตั้งชื่อตัวเลขความสัมพันธ์ลำดับและเลขคณิตที่ไม่ใช่สัญลักษณ์) ในลำดับแบบสุ่ม

Schutte et al. (2015) ได้ตรวจสอบความเข้าใจในปัญหาการบวกทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา จำนวนแปดคนและแบ่งเป็นสามกลุ่มโดยแต่ละกลุ่มทำตามขั้นตอนการคำนวณเวลาอย่างน้อย 1 นาทีในแต่ละวัน ตลอด 19 วัน กลุ่มหนึ่งเสร็จสมบูรณ์ทั้งหมดตามเวลาที่กำหนด 1 นาทีติดต่อกัน; กลุ่มที่สองเสร็จ 1 นาที ตามกำหนดเวลาโดยการทำกลับไปกลับมา จำนวน 2 ครั้ง และกลุ่มสามเสร็จหนึ่งภายใน 1 นาที ตรวจสอบความคืบหน้าในการศึกษาโดยใช้แบบจำลองเส้นโค้ง ผลการวิจัยพบว่า การปรับเปลี่ยนที่ช่วยเพิ่มการเรียนรู้ของนักเรียนโดยไม่ต้องเพิ่มเวลาการเรียนการสอนพิเศษเมื่อกำหนดเป้าหมายทางคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน

Bonne and Johnston (2016) ได้ศึกษาตามข้อเสนอแนะของ Bandura (1986) และ Pajares (1996) ว่าเกี่ยวกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ แต่ละปัญหาให้อ่านประมาณ 5 วินาที และบอกว่าเห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วย มีระดับความยากลำบากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้ลำดับชั้น 6 จุด ซึ่งมีข้อความกำกับว่าไม่เห็นด้วยอย่างยิ่งกับเห็นด้วยอย่างยิ่ง

Hinault and Lemaire (2016) ได้ศึกษากลยุทธ์ทางเลขคณิต โดยใช้ชุดของกระบวนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ พบว่าสามารถแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้โดยการใช้กลยุทธ์ทางเลขคณิตหลาย ๆ แบบ โดยใช้ Electroencephalography (EEG) ในการอธิบายถึงแง่มุมต่าง ๆ ของการประมวลผลข้อมูลช่วยให้สามารถคำนวณกลยุทธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ กระบวนการทางเลขคณิตที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ (ERPs) การวิเคราะห์ความถี่และวิธีแก้ไขปัญหาต่าง ๆ และเพื่อแยกแยะกลยุทธ์เลขคณิตบนพื้นฐานของ EEG Eelectrophysiological นอกจากนี้เทคนิคนี้มีผลในการตรวจสอบทางคณิตศาสตร์และการดำเนินการ EEG สามารถตรวจสอบบทบาทของกระบวนการรับรู้ความสามารถทั่วไปในระหว่างการดำเนินการ EEG ยังเป็นเครื่องมือที่ระบุว่าการใช้กลยุทธ์แตกต่างกันอย่างไรระหว่างกลุ่มทักษะหรืออายุที่แตกต่างกัน โดยรวม EEG เป็นความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เป็นฟังก์ชันของลักษณะที่แตกต่างกันเช่นผู้เข้าอบรม เช่นอายุทักษะ ปัญหาขนาดของการแบ่งปัญหา หรือสถานการณ์ การใช้กลยุทธ์กับปัญหาและลักษณะความถูกต้องของคำตอบ

Hibar (2017) ได้ศึกษาให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์กับประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ในเด็กเล็ก การศึกษาครั้งนี้เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์กับประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ (การคำนวณและการแก้ปัญหา) กลุ่มตัวอย่าง 246 คน จากชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ พบว่าความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์เป็นอิสระจากการมีส่วนร่วมในการทำงานทางคณิตศาสตร์ ทักษะด้านจำนวนทั่วไป

และความวิตกกังวลในการทดสอบ อย่างไรก็ตามความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์ไม่ส่งผลกระทบต่อเด็กทุกคนและประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ทุกประเภท ความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์ มีผลกระทบที่เด่นชัดมากขึ้นเกี่ยวกับปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ต้องใช้การประมวลผลเมื่อเทียบกับเลขคณิตง่าย ๆ และเด็กที่มีความจำในการทำงานมากขึ้น

Fitzmaurice (2017) ได้ศึกษาวิจัยทัศนคติการรับรู้และการรับรู้ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนในระหว่างที่ส่วนต่าง ๆ ของสมองมีส่วนร่วมขึ้นอยู่กับเป้าหมายวิจัยทัศนคติ เช่น ใบหน้าอักษรหรือคำในการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบกิจกรรมรับรู้ของสมองกับการควบคุมที่ไม่ได้ใช้งาน วิเคราะห์ผ่าน Topographies เอนโทรปีของกลุ่มตัวอย่างและพลังงานปกติจะถูกแยกออกจากการเก็บรวบรวม EEG บริเวณหนังศีรษะพร้อม ๆ กัน การวิเคราะห์ EEG พบว่า ตำแหน่งของอิเล็กโทรด P4, O2, T6 และ C4 แต่ละตำแหน่งมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในการรับรู้สายอักษร

Klados, Pandria, Micheloyannis, Margulies, and Bamidis (2017) ได้ศึกษาและสำรวจความแตกต่างในโครงสร้างเครือข่ายของสมอง ความวิตกกังวลด้านคณิตศาสตร์ต่ำ (LMA) (HMA) ในช่วงก่อนการคำนวณการทดลอง โดยการบันทึก EEG และการคำนวณแต่ละเครือข่ายแยกออกจากกัน โดยใช้เมตริกการเชื่อมโยงกันเป็นตารางสเกล พบว่าความแตกต่างในการแบ่งแยกและการรวมกลุ่มใน EEG ของ HMA เมื่อเทียบกับ LMA บ่งบอกถึงอิทธิพลของความวิตกกังวลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นก่อนการคำนวณ

Cai, Viljaranta, and Georgiou (2018) ได้ศึกษาการประเมินแนวคิดของตนเองทางคณิตศาสตร์ของเด็กระดับประถมศึกษาในด้านความสามารถในการชั่ง และ Aunola, Nurmi, Niemi, Lerkkanen and Rasku-Puttonen (2002) ซึ่งแสดงให้เห็นถึง Psychometric (Nurmi & Aunola, 2005; Viljaranta, Tolvanen, Aunola, & Nurmi, 2014) เด็ก ๆ จะมีบันไดวงกลมสิบวงและได้รับการพิจารณาว่าของใครดีที่สุด (วงกลมด้านบน) หรือแย่ง (วงกลมด้านล่าง) นักเรียนต้องใช้ความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การแก้ปัญหาและความสามารถทางคณิตศาสตร์โดยรวม ในการตอบสนองต่อคำสั่งดังต่อไปนี้ คือ ถ้านักเรียนที่ดีที่สุดของคุณในการคำนวณทางคณิตศาสตร์/ แก้ปัญหา/ การแก้ปัญหาคือคุณ/ ความสามารถทางคณิตศาสตร์โดยรวม

โดยสรุป ลักษณะเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ส่งผลกระทบโดยตรงกับการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียน การศึกษาในปัจจุบันความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะในการแสดงออกสามารถแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้โดยการใช้กลยุทธ์ทางเลขคณิตแบบหลากหลาย โดยใช้ Electroencephalography (EEG) เพื่ออธิบายถึงแง่มุมต่าง ๆ ของการประมวลผลข้อมูล การตรวจสอบบทบาทของกระบวนการรับรู้ความสามารถทั่วไปลักษณะที่แตกต่างกันเช่นผู้เข้าอบรม เช่น อายุทักษะ ปัญหา ขนาดของการแบ่งปัญหา หรือสถานการณ์ การใช้กลยุทธ์กับปัญหาและลักษณะความถูกต้องของคำตอบ ทักษะด้านจำนวนทั่วไป การทดสอบ ความวิตกกังวลและประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ และผลกระทบเกี่ยวกับปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ต้องใช้การประมวลผลเมื่อเทียบกับเลขคณิตง่าย ๆ เด็กมีความทรงจำและสามารถแก้ปัญหาในทางคณิตศาสตร์มากขึ้น

ตอนที่ 4 คลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ประวัติความเป็นมาของการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง

การค้นพบจากการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง เกิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2418 โดยนักสรีรวิทยาชาวอังกฤษชื่อ Recharad Carton ศึกษาคุณสมบัติของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของสมองในสัตว์ทดลอง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดขั้วเดียววางบนเปลือกสมอง (Cerebral Cortex) และกะโหลกศีรษะ แล้ววัดศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Galvanometer) พบว่า ศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นในขณะที่สัตว์หลับ และจะลดลงจนหายไปหลังจากที่สัตว์ตาย แล้วต่อมาได้ตีพิมพ์ผลงานนี้ออกสู่สาธารณะเป็นครั้งแรก หลังจากนั้น 15 ปีต่อมา นักสรีรวิทยาชาวโปแลนด์ชื่อ Adolf Beck ได้ค้นพบสม่าเสมอ ต่อมาในปี พ.ศ. 2445 ได้มีการประดิษฐ์เครื่องตรวจไฟฟ้าหัวใจอินโธเฟน (Einthoven Electrocardiograph) มีนักวิทยาศาสตร์หลายคนได้พยายามประยุกต์เครื่องมือดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2457 NapoleanCybulski และ Jalenska Macieszyna สามารถบันทึกคลื่นไฟฟ้าปริมาณน้อย ๆ ที่เกิดจากการทำงานของสมองทำให้สามารถบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในมนุษย์ในปี พ.ศ. 2467 Hans Berger จิตแพทย์ชาวเยอรมันได้ใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าชนิดอินโธเฟน (Einthoven String Galvanometer) บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองมนุษย์เป็นครั้งแรก โดยบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองในลูกชายของตนเอง และตีพิมพ์ในวารสารทางด้านจิตแพทย์ในอีก 5 ปีต่อมา Berger ค้นพบคลื่นแอลฟา (Alpha Rhythm) เป็นคนแรกที่พบว่า คลื่นนี้จะหายไปเมื่อผู้ป่วยล้มตาหรือใช้สมาธิในการคำนวณ ผลการศึกษาดังกล่าวเป็นพื้นฐานสำคัญในการตรวจและแปลผลคลื่นไฟฟ้าสมองในปัจจุบัน เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองในปัจจุบันได้มีการพัฒนาก้าวหน้ามากขึ้น มีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจและวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองได้ละเอียดแม่นยำกว่าในอดีต อย่างไรก็ตามการแปลผลยังต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเพื่อให้การวินิจฉัยมีความถูกต้องมากขึ้น

แหล่งที่มาของคลื่นไฟฟ้าสมอง

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นการตรวจการทำงานของสมอง โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า ความเข้าใจในแหล่งที่มาของคลื่นไฟฟ้าสมอง จะช่วยอธิบายว่าคลื่นไฟฟ้าสมองส่วนต่าง ๆ ตามปกติและภาวะที่เป็นโรคเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยปกติสมองมนุษย์มีเซลล์ประสาทชนิดหนึ่งที่เรียกว่า นิวรอน (Neuron) ซึ่งมีจำนวนมากมายเป็นพันล้านเซลล์ เซลล์เหล่านี้สามารถติดต่อกัน (Synape) โดยการขนส่งอนุภาคไฟฟ้าผ่านเยื่อเซลล์ เมื่อเซลล์ประสาทส่วนหนึ่งได้รับการกระตุ้นโดยสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของไอออนจากภายนอกเซลล์เข้าไปในเซลล์ แล้วปล่อยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าให้เดินไปตามเส้นประสาท (Nerve Fiber) ที่เชื่อมระหว่างเซลล์ประสาท กระแสไฟฟ้าปริมาณน้อย ๆ ที่เกิดขึ้นจะไปกระตุ้นเซลล์ประสาทถัดไปให้ปล่อยประจุไฟฟ้าต่อไปเป็นทอดๆ ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จากขณะพักซึ่งมีค่าเป็นลบ (Resting MembranePotentail) เป็นศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (Action Potentail) ซึ่งมีค่าเป็นบวก โดยทางการแพทย์ส่วนมากจะทำการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่หนังศีรษะ จึงเห็นเฉพาะคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีความแรงพอที่จะผ่านเยื่อหุ้มสมอง กะโหลก และหนังศีรษะ คลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้มาจากการรวมกันของประจุที่บริเวณ Dendrite ซึ่งก่อให้เกิดการกระตุ้น หรือการยับยั้งของเซลล์ประสาทที่อยู่ติดกับผิวนอกของสมอง (Cortex) ซึ่งแทบจะไม่ได้เกิดจากการ Action Prtentail ซึ่งเป็นประจุที่เกิดบริเวณ Axon

เนื่องจากอยู่ในส่วนลึกและไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกันในแต่ละเซลล์ ทำให้ขนาดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดเล็ก

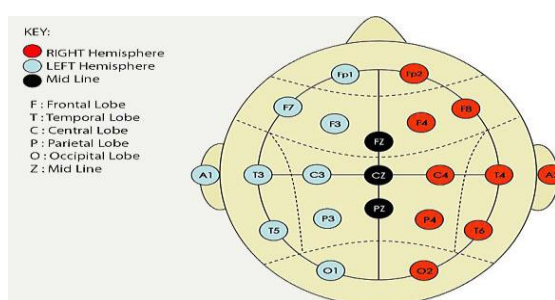
ดังนั้นเมื่อวางแผ่นโลหะให้สัมผัสกะโหลกศีรษะของมนุษย์จะสามารถบันทึกสัญญาณไฟฟ้าสมองได้ คลื่นไฟฟ้าสมองมีลักษณะเคลื่อนไหวขึ้นและลงเหมือนคลื่นไฟฟ้าทั่วไป โดยใช้หน่วยการวัดเป็นรอบต่อวินาที กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่เซลล์ประสาทยิ่งมากและยิ่งใกล้ตำแหน่งที่เกิดไฟฟ้าสัญญาณที่บันทึกได้จะยังมีขนาดความแรงหรือคลื่นมีขนาดใหญ่มาก อิเล็กโทรดที่ใช้บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จากบริเวณหนังศีรษะ จะมีขนาดเล็กกว่าศักย์ไฟฟ้าที่หนังเซลล์ที่บันทึกภายในประมาณ 100 – 1000 เท่า คลื่นไฟฟ้าสมองสามารถตรวจวัดได้ตามลักษณะและวิธีการบันทึกสัญญาณได้หลายชนิด อาทิ อิเล็กโทรเอนเซฟาโลแกรม (Electroencephalogram: EEG) อิเล็กโทรอคูโลแกรม (Electrooculogram: EOG) อิเล็กโทรมิโอแกรม (Electromyogram: EMG) หรือสัญญาณแมกเนโทเอนเซฟาโลแกรม (Magnetoencephalogram: MEG) โดยการศึกษาได้ใช้การตรวจสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดได้จากคลื่นไฟฟ้าสมองประเภท Electroencephalogram (EEG)

Electroencephalogram (EEG) เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้จากการวัดด้วยวิธีที่เรียกว่า อิเล็กโทรเอนเซฟาโลกราฟี (Electroencephalography) เป็นวิธีที่วัดสัญญาณไฟฟ้าจากบริเวณหนังศีรษะ หรือจากผิวสมองภายในกะโหลกศีรษะ โดยสัญญาณนี้จะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับสมองหรือเส้นประสาทในบริเวณที่ตรวจวัด สัญญาณที่วัดจากหนังศีรษะจะมีขนาดแรงดันต่ำอยู่ในระดับมิลลิโวลต์ (Millivolt) การวิเคราะห์สัญญาณต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางและความพร้อมของห้องปฏิบัติการที่มีอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองได้ทันสมัย นอกจากนี้วิธีการตรวจวัดที่ใช้คลื่นไฟฟ้าสมองแล้ว การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองจะต้องศึกษาคลื่นความถี่ที่สัมพันธ์กับกิจกรรมของร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีชนิดของคลื่นไฟฟ้าสมองตามความถี่ ตามรายละเอียดของประเภทของคลื่นไฟฟ้าสมอง

การตรวจวัดกระบวนการทำงานทางสมองเกี่ยวกับการคิดการคำนวณ ต้องอาศัยการบันทึกด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalographic Recording) ตรวจการทำงานของสมองในส่วน Cerebral Cortex คลื่นที่บันทึกได้เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดในสมอง (Tolegenova, Aimaganbetova, Naurzalina, Kunanbayeva, & Algozhayeva, 2016) ในทางการแพทย์จะทำการวัดที่หนังศีรษะ คลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้เกิดจากการรวมกันของประจุที่บริเวณ Dendrite ซึ่งก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาท (EPSP & IPSP) ที่อยู่ติดผิวนอกของสมอง (Cerebral Cortex) ในคลื่นไฟฟ้าสมองปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะ (Rhythmic) เกิดจากประจุที่บริเวณ Dendrite ได้รับสัญญาณจากตัวกำเนิดจังหวะที่อยู่ใน Thalamus ผ่าน Projecting Fibers เข้ามาก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาทที่ Dendrite ของเซลล์ประสาทบริเวณผิวสมองเป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจึงเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของกลุ่มเซลล์ในระบบประสาท (Stinson & Arthur, 2013) การจัดเก็บสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง มีขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการจัดเก็บสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ขั้นตอนแรกคือ ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ขั้ววัดสัญญาณ ตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าจากบริเวณหนังศีรษะของผู้ถูกทดลอง ขั้ววัดดังกล่าวจะมีหลายแบบทั้งแบบที่เป็นแผ่นแปะ (Plate) และแบบหมวกครอบศีรษะ (Cap) แต่การศึกษานี้ใช้แบบหมวกซึ่งมี

ขั้ววัดหลายอันอยู่ภายในหมวกทำให้วัดสัญญาณได้พร้อมกันหลายจุด สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากขั้ววัดจะมีขนาดแรงดันต่ำมากในระดับมิลลิโวลต์ จึงต้องขยายสัญญาณก่อนด้วยเครื่องขยายเฉพาะที่เรียกว่าไบโอแอมพลิฟายเออร์ (Bio Amplifier) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการป้องกัน กำจัดสัญญาณรบกวน และขยายสัญญาณในย่านความถี่ต่าง ๆ เช่น คลื่นไฟฟ้าสมองได้ดี จากนั้นจะแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยเครื่องดิจิไทเซอร์ (Digitizer) และสัญญาณดิจิทัลจะถูกบันทึกไว้โดยคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้งานต่อไป การส่งสัญญาณดิจิทัลระหว่างดิจิไทเซอร์และคอมพิวเตอร์นั้นจะต้องมีวงจรไฟฟ้าแยกจากกันเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าจากคอมพิวเตอร์ไหลย้อนกลับมายังขั้ววัดซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ ซึ่งหลักการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและตำแหน่งต่าง ๆ ในสมองแสดงได้ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ตำแหน่งการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (Majkowski, Oskwarek, Kotodziej, & Rak, 2016, p. 686)

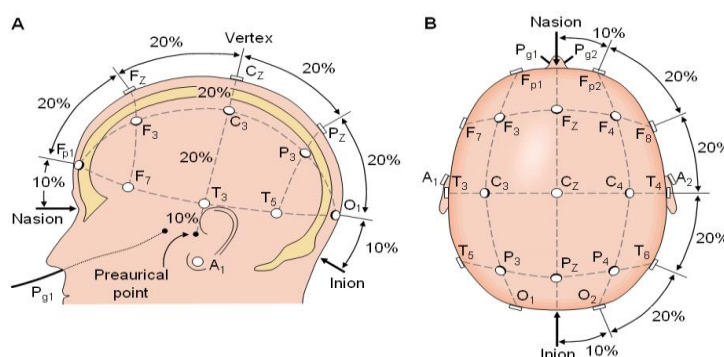
2. รูปแบบของการวัดด้วยขั้ววัด โดยทั่วไปการใช้ขั้ววัด (Electrode Plate) เพื่อตรวจจับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง แบ่งได้สองวิธีคือ ก) แบบฝังภายใน (Invasive) ใช้ในทางการแพทย์เป็นหลักเพื่อใช้ตรวจสอบหาอาการผิดปกติที่เกี่ยวกับการทำงานของสมอง ข) แบบแปะภายนอก (NonInvasive) สามารถทำได้ง่ายและไม่อันตราย ปัจจุบันขั้ววัดมีแบบที่เป็นหมวกครอบศีรษะซึ่งใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น การวิจัยนี้ใช้แบบหมวกครอบศีรษะเนื่องจากปลอดภัยและลดภาวะเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บจากการผ่าตัดแก่ผู้ทดสอบ (Subject) ได้มากกว่า

3. การกำหนดตำแหน่งของจุดที่วัดสัญญาณบนศีรษะ เนื่องจากสมองแต่ละส่วนจะมีหน้าที่หรือความสัมพันธ์กับกิจกรรมของร่างกายแตกต่างกัน ดังนั้น หากเลือกตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สัญญาณที่ได้อาจประกอบที่ไม่ต้องการเยอะกว่าองค์ประกอบที่ต้องการ

4. ช่วงความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองสามารถวัดได้ เนื่องจากสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากขั้ววัดจะมีขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำมาก ก่อนที่จะนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลจะต้องผ่านการขยายโดยเครื่องขยายสัญญาณก่อน ถ้าเครื่องขยายออกแบบมาไม่ดีจะทำให้สูญเสียรายละเอียดของความถี่บางความถี่ได้ รวมทั้งอาจมีสัญญาณรบกวนแปลกปลอมแทรกเข้ามาในสัญญาณของคลื่นไฟฟ้าสมอง

5. สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และขั้วตรวจวัดที่ไม่มีประสิทธิภาพ และการไม่ได้ทำความสะอาดหนังศีรษะก่อนแปะขั้ววัด ในกรณีที่ใช้ขั้ววัดแบบพาสซีฟ (Passive) ซึ่งเป็นขั้ววัดที่ไม่มีการขยายสัญญาณในตัวเอง สิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวบั่นทอนคุณภาพของสัญญาณที่วัดได้บางส่วน (Majkowski et al., 2016)

การวางขั้ววัดไฟฟ้าตามระบบ 10-20 เป็นวิธีการวางขั้วไฟฟ้าตามมาตรฐานของอเมริกัน อีอีจี โซไซตี้ (American EEG Society) หลักการวาง คือ ใช้ระยะระหว่างตำแหน่งบนกระดูก (Bony Landmarks) เพื่อสร้างเป็นตารางที่มีการตัดกันที่ 10-20% ของระยะแต่ละเส้นที่วัดเพื่อวางขั้วไฟฟ้าตามตำแหน่งนั้น ๆ มาตรฐานในการกำหนดตำแหน่งการวัดสัญญาณ (The Ten-Twenty System, The International 10-20 System of Electrode Placement) เป็นวิธีปฏิบัติการเพื่อหาตำแหน่งวางขั้ววัดไฟฟ้าตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยการวัดศีรษะ แล้วแบ่งส่วนออกเป็น 10% และ 20% (ระยะที่วัดได้แต่ละเส้นคิดเป็น 100%) ตัวเลข 10-20 หมายถึง ตำแหน่งวางขั้ววัด แต่ละจุดถูกกำหนดให้วางอยู่บนจุดแบ่งตัดกันที่ 10% หรือ 20% ของเส้นที่วัดระยะทางแต่ละเส้นบนศีรษะ ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ระบบ 10-20 System (Majkowski, Oskwarek, Kotodziej, & Rak, 2016, p. 686)

จากภาพที่ 2-3 ระบบ 10-20 System ขั้ววัดจะวางอยู่ตำแหน่งตัดกันที่ 10% และ 20% ของระยะทางที่แบ่งบนเส้นวัดศีรษะแต่ละเส้น

6. อัตราความถี่สุ่ม (Sampling Rate) ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อก ไปเป็นดิจิทัล (Digitize) ถ้าหากใช้ความถี่สุ่มต่ำไปจะทำให้เสียรายละเอียดของสัญญาณที่มีความถี่สูง ๆ ได้เนื่องจากย่านความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้จะอยู่ในช่วง 0-100 เฮิรตซ์เท่านั้น

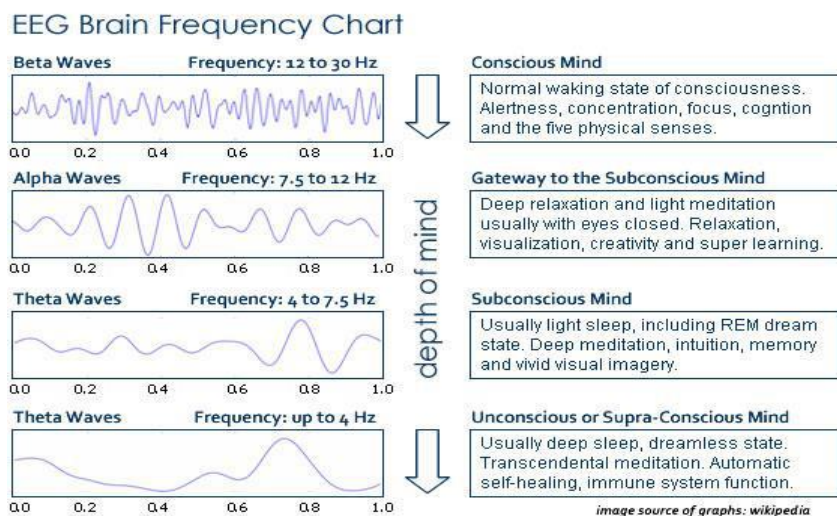
โดยปกติสิ่งที่มีชีวิตทั้งหลายจะต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าเพื่อใช้ในการติดต่อระหว่างเซลล์ในอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น เซลล์ของระบบกล้ามเนื้อ ระบบหัวใจและระบบประสาทจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในขณะที่ทำงาน ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างบริเวณที่ทำงานและบริเวณที่ทำงาน ในขณะที่มีชีวิตอยู่สมองจะต้องทำงานอยู่เสมอโดยที่อาจจะรู้ตัวหรือไม่รู้ตัว ดังนั้นคนที่มีชีวิตจึงมีกระแสไฟฟ้าจากสมองที่สามารถวัดได้ตลอดเวลา การวัดกระแสไฟฟ้าในสมองจะวัดได้จากการวางขั้วไฟฟ้าไปบนหนังศีรษะ เรียกว่าอีอีจี (Electroencephalograph: EEG) ถ้าใช้ขั้วไฟฟ้าเสียบไปที่ผิวของโดยตรงเรียก อีซีโอจี (Electrocorticograph: ECOG) ทั้งอีอีจี (EEG) และอีซีโอจี (ECOG) จะมีความถี่เหมือนกัน แต่ความแรงของอีอีจีจะน้อยกว่าอีซีโอจี เนื่องจากกระแสลดน้อยลงเมื่อผ่านกะโหลกศีรษะและหนังศีรษะ การเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์ประสาท เริ่มต้นจากการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านผนังเซลล์ เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นโซเดียม (Sodium) จะเข้าสู่เซลล์ประสาทและ

โพแทสเซียม (Potassium) จะถูกขับออกนอกเซลล์ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ที่สามารถวัดได้ ต่อมาจะกลับคืนสู่ปกติดังเดิม การเปลี่ยนแปลงนี้ต้องอาศัยพลังงานจากสารเคมีกลุ่มที่มีพลังงานสูง เรียกว่า อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate: ATP) ช่วยในการทำงานของสารสื่อประสาท เมื่อเซลล์ประสาทส่วนหนึ่งได้รับการกระตุ้นจะปลดปล่อยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าให้เดินไปตามใยประสาท (Nerve Fiber) ที่เชื่อมระหว่างเซลล์ประสาท กระแสไฟฟ้าปริมาณน้อยๆ ที่เกิดขึ้นจะไปกระตุ้นเซลล์ประสาทเซลล์ต่อไปให้ปล่อยประจุหรืออาจตรวจพบเป็นคลื่นไฟฟ้าผิดปกติ พบได้ในบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้าต่อไปเป็นทอด ๆ สัญญาณไฟฟ้านี้เรียกว่า คลื่นไฟฟ้าสมอง มีลักษณะคลื่นขึ้นและลงเหมือนคลื่นทั่วไป ใช้หน่วยการวัดเป็นรอบต่อวินาที ความถี่และความแรงของคลื่นไฟฟ้าของระบบประสาทที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับผลรวมของเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ นอกจากการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสรีรวิทยาของคลื่นไฟฟ้าสมองจะมีความแตกต่างในแต่ละบุคคลแล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น อายุ การนอน ประเภทของคลื่นไฟฟ้าสมองสามารถจำแนกตามความถี่ของคลื่นได้ ดังนี้ (Frederick, Heim, Dunn, Powers, & Klein, 2016)

1. คลื่นเดลต้า (Delta) คลื่นชนิดความถี่น้อยกว่า 4 เฮิรตซ์ (Hz) ไม่พบในคนปกติที่ตื่นอยู่ แต่พบในคนนอนหลับปกติ
2. คลื่นเธต้า (Theta) เป็นคลื่นชนิดความถี่ 4-7.9 เฮิรตซ์ (Hz) พบได้ปกติในเด็กและทุกอายุขณะนอนหลับใหม่ ๆ ระหว่างมีสมาธิ สะท้อนให้เห็นสภาพการตื่นตัวและการง่วงนอน พบได้ที่สมองซีกซ้ายมากกว่าซีกขวา ส่วนขมับ ส่วนกลาง ส่วนพาริเอทัล
2. คลื่นอัลฟา (Alpha) เป็นคลื่นชนิดความถี่ 8-13 เฮิรตซ์ (Hz) ตำแหน่งที่พบคลื่นอัลฟาได้เด่นชัด คือ สมองส่วนหลัง ส่วนพาริเอทัลและส่วนขมับด้านหลัง (Posterior Temporal) ใช้ตรวจได้ในผู้ที่ปล่อยตัวตามสบาย พบมากเมื่อหลับตาโดยไม่ได้คิดอะไรในบริเวณหลังของสมอง (สมองส่วนหน้า) คลื่นอัลฟาจะหายไปเมื่อลืมตาหรือใช้สมาธิ
3. คลื่นเบต้า (Beta) เป็นคลื่นชนิดความถี่ 14-30 เฮิรตซ์ (Hz) มีความแรงต่ำมากจนบางครั้งไม่สามารถวัดได้ คลื่นเบต้าจะเพิ่มให้เห็นเด่นชัดขึ้นในขณะลืมตา ฟัง การตัดสินใจและการประมวลผลข้อมูล จะปรากฏบริเวณสมองส่วนหน้าและส่วนกลาง
5. คลื่นแกมมา (Gamma) ช่วงความถี่ตั้งแต่ 30 เฮิรตซ์ (Hz) ขึ้นไปอาจถึง 45 เฮิรตซ์ (Hz) ใช้ยืนยันผู้ที่มีโรคเกี่ยวกับสมอง ดังตารางที่ 2-1 และภาพที่ 2-4

ตารางที่ 2-1 ระดับช่วงความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง

ชื่อช่วงความถี่	ช่วงความถี่ (Hz)
Delta	0.5 - 4
Theta	4 - 8
Alpha	8 - 13
Beta	14 - 30
Gamma	มากกว่า 30

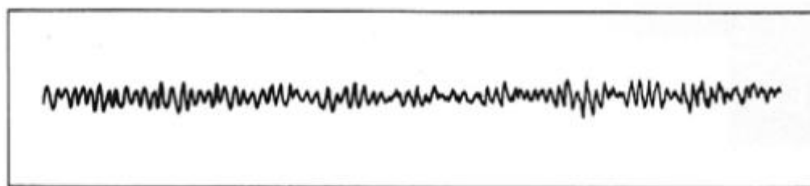


ภาพที่ 2-4 คลื่นไฟฟ้าสมอง 4 ลักษณะ (Frederick, Heim, Dunn, Powers, & Klein, 2016)

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography)

คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram) เรียกว่า คลื่นสมองหรือ EEG คือ การบันทึกผลรวมของศักย์ไฟฟ้านอกเซลล์ของกลุ่มนิวรอนในสมองที่อยู่ใต้บริเวณอิเล็กโทรด (ขั้วไฟฟ้า) สัญญาณที่บันทึกได้คือแบบเดียวกับของ Electrocorticogram (ECoG) เพียงแต่ EEG ขนาดเล็กกว่าและมีความถี่ต่ำกว่า เพราะเป็นการบันทึกที่ไกลออกจากแหล่งกำเนิดและเป็นการบันทึกผ่านชั้นกะโหลกศีรษะและหนังศีรษะ ปกติจะวางขั้วไฟฟ้าเป็นคู่ที่บริเวณ Frontal, Parietal, Occipital และ Temporal Lobe ทั้งสองซีกสมอง ความถี่ที่บันทึกได้จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1-50 Hz (ปกติ 1-30 Hz) มีความสูงคลื่นขนาด 10-100 μv ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 10-50 μv แม้ว่าความถี่ค่อนข้างซับซ้อนและขนาดเปลี่ยนแปลงมากในเวลาช่วงสั้น ๆ สภาวะของการรับรู้ในความคิด ความรู้สึก ความเข้าใจ ความฝันและการมีเหตุมีผล ซึ่งสภาวะการมีสติของแต่ละบุคคลนั้นไม่ว่าจะอยู่ในช่วงระหว่างที่รู้สึกตัว หลับหรือครึ่งหลับครึ่งตื่นสามารถวัดได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การสังเกตที่พฤติกรรม การควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ตั้งแต่การใช้สมาธิในการควบคุมได้สูงสุดไปจนถึงสภาวะที่ไม่รู้สึกตัว
2. การวัดด้วยเครื่อง Electroencephalogram (EEG) เป็นการบันทึกการทำงานของสมอง ซึ่งเป็นการแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 2 จุดบริเวณหนังศีรษะ มีรายละเอียดดังนี้ เมื่อประสาทต้นตัวมีการเคลื่อนไหว ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า เกิดจากเซลล์ประสาทในสมอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถทำการบันทึกได้ในบริเวณที่ใกล้กับผิวด้านนอกของศีรษะขั้วไฟฟ้าที่มีสายไฟต่อเป็นวงจรไฟฟ้าติดอยู่ที่ศีรษะ โดยมีแก้วผสมตะกั่วกับเกลือที่เป็นสื่อทางไฟฟ้าการทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากศีรษะแล้วส่งคลื่นไปยังตัวเครื่อง ซึ่ง EEG จะทำการเปลี่ยนสภาพคลื่นทันที ด้วยเหตุนี้ระบบ EEG จะแสดงผลการผันแปรกระแสไฟฟ้าของประสาทไว้ล่วงหน้าก่อนทำการบันทึกตัวอย่างการทำงานของระบบ EEG ที่แสดงเป็นลักษณะคลื่น (ดังภาพที่ 2-5) ถึงแม้ว่าจะแสดงเพียง 1 คลื่นแต่สามารถอธิบายได้ 2 ทางด้วยกัน ดังนี้



ภาพที่ 2-5 ระบบ EEG ที่เป็นลักษณะคลื่น (Frederick, Heim, Dunn, Powers, & Klein, 2016)

1. ความกว้างของคลื่น (Wavelength) หมายความว่า มีการบันทึกการเคลื่อนไหวทางไฟฟ้าในขณะนั้นอยู่ในระดับที่ต่ำของแรงดันไฟฟ้า เพราะฉะนั้นการขยายกว้างของคลื่นจึงแคบมากเทียบเป็น Microvolts ดังภาพที่ 2-2 เป็นแนวขยายกว้างออกของคลื่นตั้งแต่ 0.5 จนถึง 100 mV. ซึ่ง EEG สามารถบันทึกความกว้างของคลื่นได้ประมาณ 100 ครั้ง น้อยกว่า Electrocardiogram (EKG) ที่บันทึกได้ประมาณ 1,000 ครั้ง

2. ความถี่ของคลื่น (Frequency) หมายความว่า รอบการหมุนของคลื่นตั้งแต่เริ่มขยายกว้างออกจนเคลื่อนกลับ อยู่ในระดับสูงสุดจนถึงน้อยที่สุด ซึ่งความถี่จะวัดเป็น Hertz โดยรอบซึ่งในการหมุนครั้งที่ 2 อาจจะมีแปรจาก 1 ถึง 30 Hz การเปลี่ยนแปลงของคลื่นที่วัดจาก EEG มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ระบบ EEG จะอธิบายใน 2 ส่วน ซึ่งคลื่นความถี่ที่พบจากการวัด EEG มี 4 คลื่นหลักด้วยกัน แสดงได้ดังภาพที่ 2-12 โดยทั่วไปคลื่นความถี่ต่ำแสดงการตอบรับทางพฤติกรรมที่ระดับต่ำ เช่น ขณะนอนหลับและถ้าคลื่นความถี่สูงจะเกิดขึ้นขณะที่กำลังตื่น

การกระตุ้นสมองหรือระดับของการกระตุ้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ที่เกิดความใส่ใจตามสิ่งที่อยู่ภายนอกคลื่นไฟฟ้าสมองจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้นขณะที่คลื่นไฟฟ้าจะเคลื่อนไหวช้าลง ซึ่งเกิดจากความใส่ใจที่ภายในจิตใจ ดังนั้น คลื่นไฟฟ้าสมองจึงสะท้อนการควบคุมความใส่ใจ (Gollan et al., 2014)

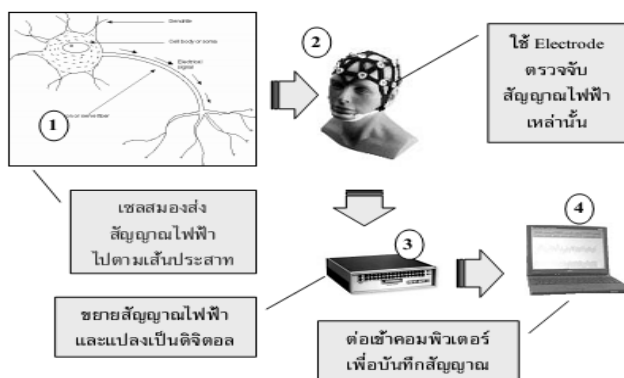
เครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG Apparatus)

คลื่นสมอง เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งได้มาจากการส่งสัญญาณเคมีทางชีวภาพในร่างกายมนุษย์ การวัดพลังงานไฟฟ้าบริเวณสมองด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า อิเล็กโทรเอ็นฟาโลแกรม (Electroencephalogram: EEG) ทำให้นักวิจัยทางประสาทวิทยาและนักวิทยาศาสตร์ ในปัจจุบันได้มีการทดลองและตรวจวัดคลื่นสมองด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามนุษย์สามารถควบคุมคลื่นสมองและสารที่หลั่งจากสมองได้ หากมีการฝึกฝนทางจิต ให้ควบคุมสภาวะอารมณ์และจิตใจได้ ทำให้พบความจริงว่า การเลือกตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกมีผล โดยตรงต่อสภาวะภายในที่เป็นคลื่นไฟฟ้าสมอง หลักการบันทึกการเคลื่อนไหวทางไฟฟ้าของสมองและตำแหน่งต่าง ๆ ในสมอง ไว้ดังต่อไปนี้

การบันทึกด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrical Recording)

ขั้นตอนการจัดเก็บสัญญาณอ็ีจึขึ้นตอนแรก คือ ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าขั้วสัญญาณ (Electrode) ตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าจากบริเวณหนังศีรษะของผู้ทดลองขั้ววัดดังกล่าว จะมีหลายแบบ ทั้งแบบที่เป็นแผ่นแปะ (Plate) และแบบหมวกครอบศีรษะ (Cap) ซึ่งมีขั้ววัดหลาย ๆ อัน อยู่ในในหมวกทำให้ขั้วสัญญาณได้พร้อมกันหลายจุด สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากขั้ววัดจะมีขนาดแรงดันต่ำมากในระดับมิลลิโวลต์ (mV) ต้องขยายสัญญาณด้วยเครื่องขยายเฉพาะที่เรียกว่า ไบโอมพลิฟายเออร์ (Bio Amplifier) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการป้องกันและกำจัดสัญญาณรบกวนที่ดีและขยายสัญญาณใน

ย่านความถี่ต่าง ๆ เช่น คลื่นสมองได้ดี จากนั้นจะแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยเครื่อง ดิจิไทเซอร์ (Digitizer) และสัญญาณดิจิทัลจะถูกบันทึกไว้โดยคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้งานต่อไป การส่งสัญญาณดิจิทัลระหว่างดิจิไทเซอร์และคอมพิวเตอร์นั้นจะต้องทำให้มีวงจรไฟฟ้าแยกจากกัน เพื่อเป็นการป้องกันกระแสไฟฟ้าจากคอมพิวเตอร์ไหลย้อนกลับมายังขั้ววัดซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ ซึ่งการแยกวงจรไฟฟ้าออกจากกัน อาจทำได้โดยใช้สื่อนำแทนสื่อนำไฟฟ้าโดยทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงก่อนส่งและแสงจะถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าทางด้านตัวรับ ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนการจัดเก็บสัญญาณอีอีจี (Frederick, Heim, Dunn, Powers, & Klein, 2016)

เครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) มีสองลักษณะใหญ่ๆ คือ เครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองแบบดั้งเดิม (Conventional EEG) ที่ใช้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองลงบนกระดาษบันทึกต่อเนื่องและเครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดใช้คอมพิวเตอร์ ในการเก็บบันทึกสัญญาณและแสดงผล (Digital EEG) ซึ่งมีองค์ประกอบตั้งนี้้องค์ประกอบหลักของเครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองได้แก่

1.กล่องต่อขั้ววัดไฟฟ้า (Input Box/ Electrode Board หรือ Head Box) เป็นกล่องที่ใช้ต่อเชื่อมขั้ววัดไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง เดิมออกแบบขั้วไฟฟ้าเป็นตัวเมีย ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นขั้วชนิดปลอดภัย ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าตัวเมียฝงลึกเพื่อไม่ให้สัมผัสได้ ขั้วเสียบมักเรียงเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือตารางที่มีชื่อในระบบ 10-20 ในกล่องอาจมีเครื่องวัด Impedance อยู่ด้วย สำหรับเครื่อง Digital EEG มักจะรวมตัวขยายสัญญาณและตัวแปลงสัญญาณ Analog to Digital ไว้ในกล่องนี้

2. ตัวเลือกช่องสัญญาณ (Input Selector Switches) เป็นสวิทช์ใช้เชื่อมสัญญาณจากกล่องต่อขั้ววัดเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณแต่ละช่อง (Channel) โดยแต่ละช่องขยายสัญญาณจะมีขั้วสองขั้ว เรียกว่า Grid 1 และ Grid 2 ตัวช่องสัญญาณจะช่วยให้สามารถเลือกว่าจะใช้ขั้ววัดใดต่อเชื่อมเข้ากับ Grid 1 หรือ 2 ของช่องสัญญาณใด ๆ ได้อย่างอิสระ นอกจากนี้ยังมีตัวเลือกสัญญาณกลาง (Master Switch) ใช้เป็นตัวเชื่อมขั้วไฟฟ้าตามรูปแบบการแสดงผล Montage ที่ต้องการ โดยหมุนหรือกดเพียงครั้งเดียว ส่วนในเครื่อง Digital ไม่มีตัวเลือกช่องสัญญาณ ใช้การเชื่อมสัญญาณแต่ละขั้ววัดเข้ากับ Grid 1 ของเครื่องขยายสัญญาณแต่ละช่องแล้วใช้การคำนวณด้วย Software ในการเปลี่ยน รูปแบบการแสดงผลแทน

3. เครื่องกำเนิดสัญญาณมาตรฐาน (Calibration) ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณเพื่อใช้ทดสอบการทำงานของเครื่องขยายสัญญาณ เครื่องกรองสัญญาณและการแสดงผล โดยมีสัญญาณต่างชนิดต่างขนาดในการทดสอบ

4. เครื่องขยายสัญญาณ (Amplifiers) ทำหน้าที่สองอย่าง คือ คัดเลือกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองออกจากสัญญาณรบกวนและขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง

5. เครื่องกรองสัญญาณ (Filters) ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับที่ระบุไว้ลง เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าสมองโดยเฉลี่ยมีความถี่อยู่ในช่วง 1-30 Hz ยกเว้น Spike หรือ Sharp Wave จะมีความถี่สูงกว่า ความเข้าใจในเรื่องนี้จะช่วยอธิบายการเลือกใช้เครื่องกรองสัญญาณที่เหมาะสม เครื่องกรองสัญญาณสามารถสร้างด้วยการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อกรองสัญญาณจริง เรียกว่า Analog Filter ส่วนการสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกรองสัญญาณที่ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณ Digital แล้ว เรียกว่า Digital Filter

6. เครื่องแสดงผล (Pen Writing Unit) คือ เครื่องมือที่บันทึกสัญญาณลงบนกระดาษบันทึกต่อเนื่อง ที่นิยมใช้กัน คือ Oscillographic Pen ซึ่งประกอบด้วยปากกาที่ยึดติดอยู่บนขดลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก (Galvanometer) ปากกาดังกล่าวมีขดลวดสปริงดึงปากกาให้กลับมาสู่จุดกึ่งกลาง เมื่อสัญญาณไฟฟ้าผ่านขดลวด ปากกาจะขยับขึ้นลงตามสัญญาณ ทำให้ปากกาที่มักมีท่อน้ำหมึกอยู่ที่ปลายปากกาเขียนคลื่นลงบนกระดาษบันทึกต่อเนื่องได้ นอกจาก Oscillographic Pen แล้วยังมีการใช้เครื่องอื่น เช่น กระดาษไวความร้อน (Thermal Paper Inkjet Printer) และแสดงผลเป็นแผ่นกระดาษพิมพ์ครั้งละแผ่นโดย Laser Printer เป็นต้น

7. การแปลงสัญญาณและการแสดงผลในเครื่อง Digital EEG (Analog to Digital Conversion) เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในปัจจุบันได้พัฒนาจากระบบดั้งเดิมมาเป็นการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการบันทึกและแสดงผลคลื่นไฟฟ้าสมอง ข้อแตกต่างที่สำคัญของ Digital EEG และเครื่อง EEG ดั้งเดิม (Analog EEG) คือ Digital EEG ใช้การบันทึกสัญญาณจากทุก ๆ ช่วงวัดไฟฟ้าพร้อมกัน โดยเทียบกับจุดอ้างอิงเดียวกัน แล้วจึงนำสัญญาณไปจัดรูปแบบการแสดงผล (Montage) ที่ต้องการในภายหลัง ดังนั้นจึงสามารถปรับขนาดการแสดงผล Sensitivity, Montage, Filters และนำไปวิเคราะห์ภายหลังได้สะดวก สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงในการแปลงสัญญาณจาก Analog ไปเป็น Digital คือ

7.1 อัตราการวัดสัญญาณ (Sampling Rate) ต้องทำได้อย่างน้อยเป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดจึงจะสามารถทำให้การแสดงผลคงสภาพรูปสัญญาณดั้งเดิมได้อย่างถูกต้อง ถ้าสัญญาณที่แสดงผลผิดเพี้ยนไป เช่น เป็นคลื่นความถี่ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า Aliasing ในทำนองเดียวกันเมื่อ Sampling Rate สูงพอทำให้ได้สัญญาณที่ถูกต้อง ค่า dwell Time ตามปกติ EEG จะถูกสุ่มที่ 200 Hz จะมี dwell Time=5 Ms.

7.2 ความละเอียดของสัญญาณที่วัดได้แต่ละค่า (Bit Number) ในทางปฏิบัติกำหนดให้มีการสุ่มสัญญาณอย่างน้อย 2 ยกกำลัง 12=4096 ระดับ

7.3 ช่วงที่เหมาะสมของสัญญาณ เป็นช่วงของสัญญาณที่ขยายแล้วกับเรื่องแปลงสัญญาณ (Input Voltage Range) จะต้องไม่มีการสูญหายของสัญญาณ ซึ่งการแสดงผลของสัญญาณในเครื่อง Digital EEG ใช้การคำนวณ เพื่อสร้างรูปคลื่นตามรูปแบบของการแสดงผล (Montage Reformatting) ที่ต้องการ เนื่องจาก Digital EEG เก็บสัญญาณในรูปแบบที่ให้ Grid ของทุกช่อง

ขยายต่อเชื่อมกับขั้ววัดไฟฟ้าตำแหน่งเดียวกัน (Common Electrode Reference) ดังนั้น จึงสามารถแสดงผลตามรูปแบบที่ต้องการได้โดยไม่จำกัด

การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองถูกนำมาประยุกต์ในงานวิจัยมีดังนี้ (Blinowska et al., 2017)

1. การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองก่อน/ หลัง เพื่อทำนายการกระทำที่ดีที่สุด ใน 2 แนวทาง คือ ความแตกต่างของการกระทำระหว่างผู้ที่มีประสบการณ์กับผู้ที่ไม่มีความรู้และความแตกต่างระหว่างการประสบความสำเร็จกับการไม่ประสบความสำเร็จ เช่น การศึกษาการเพิ่มขึ้นของคลื่นเรต้าและอัลฟาระหว่างการฝึกสมาธิทางอ้อม ในกลุ่มที่ทำสมาธิเป็นประจำจำนวน 13 คน พบว่า เรต้าพาวเวอร์เพิ่มขึ้นในช่วงของการมีสมาธิ ในสมองทุกส่วน โดยคลื่นเรต้าในสมองส่วนหน้า ส่วนขมับ-ส่วนกลางเพิ่มขึ้นมากกว่าสมองส่วนหลัง (Frederick et al., 2016)

2. ศึกษาความบกพร่องในการทำงานของเปลือกสมองภายใต้การกระตุ้นโดยใช้เงื่อนไขของสภาพแวดล้อม เช่น การศึกษาการเดินละเมอเรื้อรังของผู้ใหญ่ด้วยวิธีการตรวจการนอนหลับ (Polysomnography) ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใหญ่อายุ 50 ปี ที่เดินละเมอการประเมินทางคลินิกแบบสอบถามผู้ป่วยและคู่นอน การตรวจการนอนหลับเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่า ความวิตกกังวล ความเครียดและอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของการนอนหลับ (Sleep Disorders) การเดินละเมอที่เกิดจากความผิดปกติจากโรคทางจิตเวชรักษาด้วยยาส่วนความผิดปกติของการนอนหลับอื่น ๆ รักษาตามอาการเท่านั้น (Efthymiou, Renzel, Baumann, Poryazova, & Imbach, 2017) ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกแนวทางการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนและหลัง เพื่อหาความแตกต่างของการกระทำระหว่างผู้ที่ได้รับประสบการณ์แตกต่างกัน

Neuroscan เป็นชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทที่ผลิตโดยบริษัท Compumedic Neuroscan โดยทีมงานนักประสาทวิทยาศาสตร์ที่มีการนำไปใช้ในงานวิจัยทางคลินิก และงานวิจัยทางสาขาพุทธิปัญญาอย่างแพร่หลาย ชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทนี้ ประกอบด้วย Hardware และ Software Package เพื่อสำหรับการวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง EEG และ ERP ข้อมูลดังกล่าวมีตั้งแต่ระดับพื้นฐานของระบบรับรู้ของร่างกาย (Sensory System) ระบบประสาทยนต์ (Motor System) การรับรู้ (Perceptual) ไปจนถึงระดับการวัดทางพุทธิปัญญา รวมทั้งงานด้านความตั้งใจ (Attention) และความจำขณะทำงาน (Working Memory) EEG และ ERPs ที่ได้จากการวัดนั้นยังสามารถนำไปประกอบเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลของ MRI (Compumedics, 2003) ชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทดังกล่าว ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

1) หน่วยสร้างหรือแสดงสัญญาณจากภายนอก (Stimulus Presentation Unit) ซึ่ง Neuroscan มีโปรแกรม Stim2 สำหรับสร้างกิจกรรม (Task) มาเพื่อเป็นสิ่งเร้า กิจกรรมนั้นมีทั้งกิจกรรมทางด้านระบบประสาทยนต์ (Motor) การรับรู้ (Perceptual) ความตั้งใจ (Attention) ความจำ (Memory) รวมทั้งกิจกรรมด้านพุทธิปัญญา (Cognitive) และยังมีส่วนกิจกรรมทั่วไป (General Task) ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถนำไปสร้างกิจกรรมที่สามารถจัดการและควบคุมตามต้องการได้

2) หน่วยขยายและแปลงสัญญาณ (Signal Amplification and Digitization) เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ขยายและแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้จากหนังศีรษะจากระบบ Analog ไปเป็นระบบ Digital ในขณะที่ทำการวัดโดยการทำหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เรียกว่า NuAmps

3) หน่วยในการรับสัญญาณและการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ (Data Acquisition and Analysis) ซึ่งระบบ SCAN System มีโปรแกรม Acquire 4.5 ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ และมีโปรแกรม Edit 4.5 ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณที่ได้

ขั้นตอนของการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและการบันทึกผลในห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

1) ให้นั่งบนเก้าอี้นุ่มซึ่งสามารถปรับระดับเอนได้ในท่าสบายและผ่อนคลาย

2) วัดศีรษะจากตำแหน่ง Nasion ซึ่งเป็นบริเวณที่ระหว่างหัวคิ้วทั้งสองข้างไปจนถึงบริเวณ Inion ซึ่งเป็นปมกระดูกนูนบริเวณท้ายทอย เพื่อหาดำแหน่งสำหรับวางขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microelectrode) บนหนังศีรษะในตำแหน่งต่างๆ

3) ทำความสะอาดหนังศีรษะบริเวณที่จะวางขั้วไฟฟ้าด้วยน้ำยาสำหรับทำความสะอาดผิวหนัง

4) วางหมวกวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก จัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากลที่เรียกว่า ระบบ 10–20 (10–20 System) กระจายอยู่ตามตำแหน่ง

5) ทำการบันทึกภาพคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ทำแบบทดสอบความตั้งใจ หรือแบบทดสอบความจำขณะทำงานในเครื่องคอมพิวเตอร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นไฟฟ้าสมอง

Frederick et al. (2016) ได้ศึกษาการตอบสนองทางชีวภาพเป็นการเพิ่มการควบคุมตนเองของสรีรวิทยา โดยการเพิ่มขึ้นความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงอัตนัย มีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุม (มาตรฐาน Biofeedback) และความตระหนัก (กระบวนทัศน์การเลือกปฏิบัติ) โดยตั้งสมมติฐานว่าทั้งสองทักษะจะสรุปและอำนวยความสะดวกสำหรับ 8-12 Hz EEG Amplitude (alpha) ผู้เข้าอบรมได้รับการฝึกอบรม 7 ครั้งเพื่อควบคุมหรือเลือกปฏิบัติ Pz alpha ตามด้วยกระบวนทัศน์อื่น ๆ อีก 3 กลุ่ม อีกกลุ่มหนึ่งได้รับ 7 ครั้งโดยแบ่งเวลาออกเป็นสองเท่าระหว่างกลุ่มแรก พบว่า การตอบสนองทางชีวภาพ มีบทบาทร่วมกันในการตอบสนองของกลุ่มตัวอย่าง

Siems, Pape, Hipp, and Siegel (2016) ได้ศึกษาการเปิดใช้ MEG เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำงานแบบ noninvasively ในการตรวจสอบการเชื่อมต่อการทำงานในสมอง วิธีการ EEG และผลที่ได้คือความแตกต่างระหว่าง EEG และ MEG เพื่อให้สามารถแก้ปัญหานี้ได้ อย่างเป็นระบบและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานของ EEG 64 ช่องพร้อมกันและ 275 ช่อง MEG ทั้งสองรูปแบบ การเชื่อมต่อที่จุดสูงสุดประมาณ 16 Hz สำหรับความถี่นี้ มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน โดยทั่วไปรูปแบบที่แตกต่างกันสำหรับ MEG การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของสมองพบความคล้ายคลึงกันสูงสุดประมาณ 16 Hz การแก้ไขอัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวนที่ต่างกัน (SNR) ในความถี่และรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างในช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 1 ถึง 32 เฮิร์ตซ์ สำหรับความถี่สูงกว่าข้างต้น 32 เฮิร์ตซ์ สะท้อนให้เห็นถึงความไวต่อสิ่งประดิษฐ์สำหรับ EEG มากกว่า MEG ผลแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ทางพลังงานของสัญญาณ orthogonalized เป็นไปได้ สำหรับการศึกษาร่วมกัน EEG 64 ช่อง นอกจากความแตกต่างใน SNR แล้วสำหรับความถี่จากประมาณ 8 ถึง 32 Hz, EEG และ MEG วัดรูปแบบความสัมพันธ์เดียวกันทั่วทั้งสมอง

Rogers, Johnstone, Aminov, Donnelly, and Wilson (2016) ได้ศึกษาระบบบันทึกข้อมูล Electroencephalogram (EEG) แบบดั้งเดิมที่ใช้ห้องปฏิบัติการ ข้อบกพร่องของวิธีนี้และ

ความสะดวกในการใช้งานและการพกพาของเทคโนโลยี EEG แบบไร้สายที่เกิดขึ้นใหม่ การศึกษา ก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นข้อมูลที่ได้จากระบบช่องสัญญาณเดี่ยวแบบไร้สาย (NeuroSky ThinkGear, San Jose, California) เทียบได้กับ EEG ที่บันทึกจากห้องปฏิบัติการ การศึกษาในปัจจุบันได้ประเมิน ความน่าเชื่อถือของระบบพกพารุ่นนี้โดยใช้การทดสอบความน่าเชื่อถือ (RP) ของแถบความถี่ Delta, Theta, Alpha และ Beta มาจาก EEG ข้อมูลที่ได้รับจากชั่วเดียวผ่าน FP 1 ในเยาวชนที่มีสุขภาพดี 19 คน (อายุ 10-17 ปี) ผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพแข็งแรง 21 คน (อายุ 18-28 ปี) และผู้สูงอายุที่มีอายุ มากกว่า 19 คน (อายุระหว่าง 55-79 ปี) ในระหว่างที่เปิดตา ปิดตา ปิดเสียงแปลก ๆ และสถานะ n-back แบบมองเห็นได้ คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างชั้น (ICCs) และค่าสัมประสิทธิ์การทำซ้ำ (Repsability) จากข้อมูล RP ที่เก็บรวบรวมใหม่ในหนึ่งวันหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือนในภายหลัง ระดับของผู้เข้าร่วมในอารมณ์และความสนใจการวัด EEG ที่มองไม่เห็นโดยใช้อุปกรณ์พกพาสามารถ ทำซ้ำได้ (ICCs 0.76-0.85) ในช่วงสั้นและต่อเนื่องในกลุ่มอายุสามกลุ่มที่เข้าร่วมความน่าเชื่อถือต่ำสุด (ICCs 0.57 - 0.85) EEG ที่เกิดขึ้นระหว่างตา กระบวนทัศน์แบบเปิดและการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการ กำหนดเวลาของเงื่อนไขการทดสอบเหล่านี้ สามารถตีความได้โดยใช้ค่า CR ที่ให้มารวมกันด้วย ข้อมูลความถูกต้องที่มีอยู่ การค้นพบเหล่านี้สนับสนุนการประยุกต์ใช้ระบบ EEG แบบพกพาเพื่อ การศึกษาฟังก์ชันของสมอง

Matthews, Reinerman-Jones, Abich, and Kustubayeva (2017) ได้ศึกษาการมีส่วนร่วม ร่วมของ Robert Stelmack แสดงถึงความสำคัญของ EEG ในการทำงานของ EEG ศึกษาความ แตกต่างของแต่ละบุคคลใน EEG มีผู้เข้าร่วม 150 คน ใช้การตรวจจับในสภาพแวดล้อมการทำงานที่ ซับซ้อนของแบบจำลอง EEG ต่อความเครียด และปริมาณงานด้านจิตฟิสิกส์ที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษา พบว่าเมตริก EEG มีระดับความต่างระดับและสมรรถนะที่แตกต่างกัน 5 แบบ ในแบบวัดทางจิต คุณสมบัตินี้รวมถึงความสัมพันธ์กับความเครียดและประสิทธิภาพของงานการให้นายสมรรถนะดีขึ้น ด้วยความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจและระยะเวลา พื้นฐานการวัดด้าน EEG ผลการศึกษา พบว่า ต้องมีการตีความที่ซับซ้อนของ EEG metrics ในการวิจัยความแตกต่างของแต่ละบุคคล

Liu, Wang, Gao, and Gao (2017) ได้ศึกษาสัญญาณ EEG และแยกแยะสัญญาณ EEG ที่มีจังหวะต่างกัน โดยใช้วิธีการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ในการศึกษารุ่นนี้มาจาก แบบจำลองรูปแบบประสาทที่แตกต่างกัน พารามิเตอร์ผลิตสัญญาณสมองกับจังหวะที่แตกต่างกันเช่น สัญญาณ EEG ปกติและ Epileptiform การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีจะใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติใช้ในการ ระบุความแตกต่างระหว่างรายการและสัญญาณ ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มที่แตกต่างกัน ของค่า Entropy-entropy ที่ปรับเปลี่ยนสัญญาณที่สอดคล้องกับ $A = A = 3.25 \text{ mV}$ and 3.4 mV อย่างมีนัยสำคัญ เป็น $F > 1$ และ $p < .05$. เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีและ Rényi เปลี่ยนแปลงเอนโทรปี F - ค่าของการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีเป็น p - ค่าของ permutation-entropy ที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยที่สุด ปรากฏว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง คุณลักษณะของความซับซ้อนของสัญญาณคลื่นสมองปกติและ Spikes Epileptiform ภายใต้ความ ยาวที่แตกต่างกันของอนุกรมเวลาและเวลาที่ล่าช้า โดยใช้การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี การเปลี่ยนแปลง เอนโทรปีคือ เป็นการวัดที่ซับซ้อนที่มีประสิทธิภาพที่จะหาจำนวนสัญญาณสมอง เมื่อเทียบกับการ เปลี่ยนแปลงเอนโทรปีและ Rényi ในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการที่ จะแยกแยะสัญญาณสมองกับจังหวะที่แตกต่างกัน

Gauba et al. (2017) ได้ศึกษาการทำนายคะแนนวิดีโอโฆษณาตามรูปแบบมัลติโมเดิร์น การวิเคราะห์ทางสรีรวิทยาของผู้ใช้และความเชื่อมั่นที่มีอยู่ในอินเทอร์เน็ต โดยได้หลอมรวมคลื่นไฟฟ้า (EEG) คลื่นของผู้ใช้ เพื่อให้เข้าใจถึงความชอบของผู้ใช้มากขึ้น โดยให้ผู้ใช้ดูโฆษณาวิดีโอและมีการ บันทึกสัญญาณ EEG พร้อม ๆ กับ valence สูงขึ้น สอดคล้องกับ intrinsic ความน่าสนใจของผู้ใช้ ข้อมูลที่ประกอบด้วยความคิดเห็นที่โพสต์โดยผู้ชมทั่วโลกได้รับการประมวลผลโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) มีการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของเนื้อหาต้นฉบับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการถดถอยเพื่อทำนายคะแนน EEG ร่วมกับ NLP Based คะแนนความเชื่อมั่นในการปรับปรุงการประเมินโดยรวมของโฆษณาออนไลน์จากผู้เข้าร่วม 25 คน มีส่วนร่วมในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ พบว่า ระบบสนับสนุนและแนะนำแนวทางแบบต่อเนื่องหลายรูปแบบสามารถบรรลุ RMSE โดยใช้ข้อมูล EEG เท่านั้น

โดยสรุป การตรวจวัดกระบวนการทำงานทางสมองเกี่ยวกับการคิดการคำนวณ ต้องอาศัย การบันทึก ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalographic Recording) การเชื่อมต่อการทำงาน ในสมอง วิธีการ EEG การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของสมอง ตรวจการทำงานของ สมองในส่วน Cerebral Cortex คลื่นที่บันทึกได้เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดในสมอง การ วิเคราะห์สัญญาณต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางและความพร้อมของห้องปฏิบัติการที่มีอุปกรณ์ที่ สามารถตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองได้ทันสมัย นอกจากวิธีการตรวจวัดที่ใช้คลื่นไฟฟ้าสมองแล้ว การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองจะต้องศึกษาคลื่นความถี่ที่สัมพันธ์กับกิจกรรมของร่างกายมนุษย์

ตอนที่ 5 การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเคลื่อนที่ Emotiv รุ่น EPOC และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้ ใช้เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv EPOC Neuroheadset เป็นเครื่องวัด คลื่นไฟฟ้าสมองที่มีความแม่นยำ ใช้งานง่าย เพราะเป็นระบบไร้สายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ โดยตรง เครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองใช้ของ Emotiv รุ่น EPOC เป็นเครื่องมือที่ผลิตจาก ประเทศเยอรมันนี้ มีความสะดวกในการใช้งานทั้งภายในห้องปฏิบัติการและใช้ในการทดสอบกับ อาสาสมัครนอกสถานที่เครื่องมือนี้มีความสามารถใช้งานได้กับงานด้านคอมพิวเตอร์ (Duvinage et al., 2012, p. 5) โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังนี้

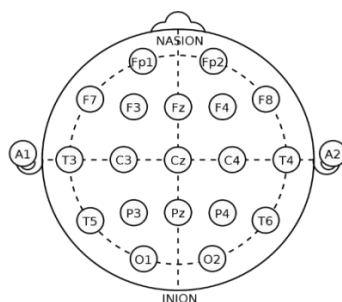
- (1) Number of Channels: 14 (Plus CMS/ DRL References)
- (2) Channel Names (Int. 10-20 locations): AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P3 (CMS), P4 (DRL), P7, P8, T7, T8, O1, O2
- (3) Sampling Method: Sequential Sampling, Single ADC
- (4) Sampling Rate: ~128Hz (2048Hz Internal)
- (5) Resolution: 16 Bits (14 Bits Effective) 1 LSB = 0.51uv.
- (6) Bandwidth: 0.2 - 45Hz, Digital Notch Filters at 50Hz and 60Hz
- (7) Dynamic Range (Input Referred): 256 MVpp
- (8) Coupling Mode: AC coupled
- (9) Connectivity: Proprietary Wireless, 2.4 GHz Band.

(10) Battery Type: Li-poly

(11) Battery Life (Typical): 12 hrs.

เครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองมีหลายประเภทตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานทั้งแบบการใช้งานในเชิงพาณิชย์และทางการแพทย์ การวิจัยนี้เลือกเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองประเภทการใช้งานในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีราคาไม่แพง หาซื้อง่าย มีชุดพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถเข้าถึงได้และพัฒนาได้ง่าย โดยเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองประเภทนี้มีให้เลือกทั้งแบบขั้วไฟฟ้าเดี่ยวและแบบขั้วไฟฟ้าหลายขั้วหลาย โดย เครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองแบบขั้วไฟฟ้าเดี่ยวได้แก่ Neurosky Mindwave, Neurosky Mindset, Star Wars Force Trainer ซึ่งมีราคาไม่แพงและใช้งานง่าย อย่างไรก็ตามเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นสัญญาณไฟฟ้าสมองแบบขั้วไฟฟ้าเดี่ยว มีขั้วไฟฟ้าน้อยเกินไป การเลือกบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่บริเวณพื้นที่สมองที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาความสามารถด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ โดยตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่ตอบสนองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง สำหรับการวิจัยนี้ได้แก่ T7, P7, AF3, F3, FC5, และ C3 ดังนั้นการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณชนิดนี้อาจจะไม่ได้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีอัตราส่วนของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) ที่ดีที่สุด เนื่องจากบันทึกสัญญาณได้เพียงตำแหน่งเดียวบนกะโหลกศีรษะ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองแบบขั้วไฟฟ้าหลายขั้ว ซึ่งมีราคาแพงกว่า แต่มีข้อได้เปรียบที่สามารถบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองได้ครั้งละหลายขั้วสัญญาณ ทำให้มีทางเลือกมากขึ้นในการเลือกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีคุณภาพมากขึ้นมาประมวลผลนำไปใช้งาน โดยเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv รุ่น EPOC เป็นตัวเลือกที่ใช้สำหรับการวิจัยนี้ เนื่องจากมีราคาไม่แพงมาก มีจำนวนขั้วไฟฟ้า 14 ขั้ว

การทำงานของเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง เริ่มต้นจากการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำการทดลองด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จะถูกส่งเข้าไปยังหน่วยประมวลผลในคอมพิวเตอร์ คลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv รุ่น EPOC ที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าจำนวน 14 ขั้ว ติดตั้งบนกะโหลกศีรษะ บนตำแหน่งที่อ้างอิงตามมาตรฐานนานาชาติ 10-20 ได้แก่ AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 และ AF4 โดยใช้ขั้วอ้างอิง 2 ขั้ว ติดตั้งเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองให้ ตรงกับตำแหน่งการทำงานของพื้นที่สมองแต่ละจุด กรองความถี่ที่ต้องการไปแปลงสัญญาณจาก Analogue เป็น Digital โดยมีอัตราการสุ่มสัญญาณที่ 128Hz ส่งสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วย ระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้เซนเซอร์ 16 จุด ที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 (Electro Cap) 19 ช่องสัญญาณ (Chanel) แสดงดังภาพ 2-7



ภาพที่ 2-7 ระบบมาตรฐานสากล 10-20 (Electro-Cap System)

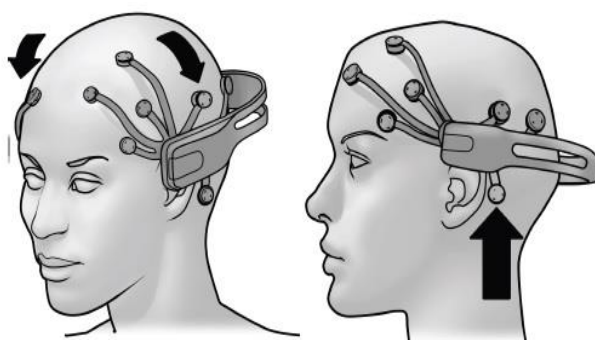
ในการใช้โปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control ซึ่งเป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) ค่าความจดจ่อ (Engagement)
- 2) ค่าความว้าวุ่น (Frustration)
- 3) ค่าสมาธิ (Meditation)
- 4) ค่าความตื่นเต้น (Excitement)
- 5) ความตื่นเต้นโดยรวม (Long-Term Excitement)

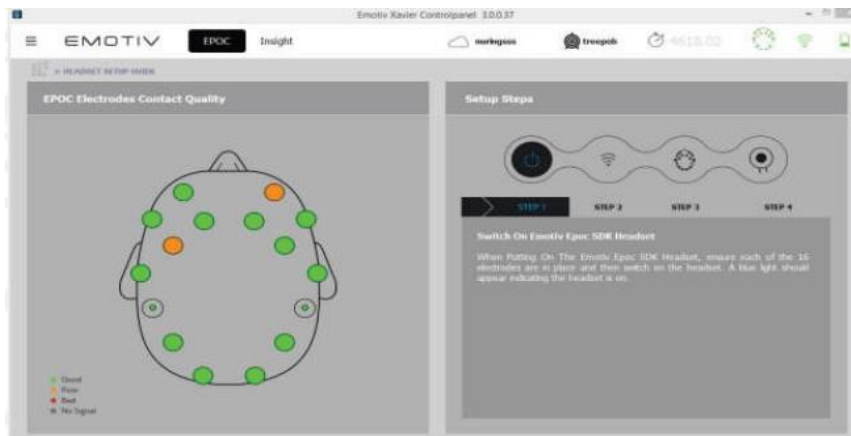
ผู้รับการทดสอบต้องสวมอุปกรณ์ Emotiv EPOC (ภาพที่ 2-8, ภาพที่ 2-9) โดยค่าต่าง ๆ จะแสดง ต่อเมื่อทำการสวมเครื่อง Emotiv EPOC Neuroheadset และจุดเซนเซอร์ทั้งหมด 16 จุด (14 channel) ซึ่งต้องเป็นสีส้มหรือสีเขียวเท่านั้น (ภาพที่ 2-10) จากนั้นค่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองทั้งหมดจะทำการแสดงออกมา (ภาพที่ 2-11) จากข้อมูลที่เก็บได้จาก Neuroheadset การวัดคลื่นไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางชีวภาพการแพทย์ (Biomedical signal) รูปแบบสัญญาณอยู่ในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่วิเคราะห์ด้วยแกนความถี่ (Frequency domain analysis)



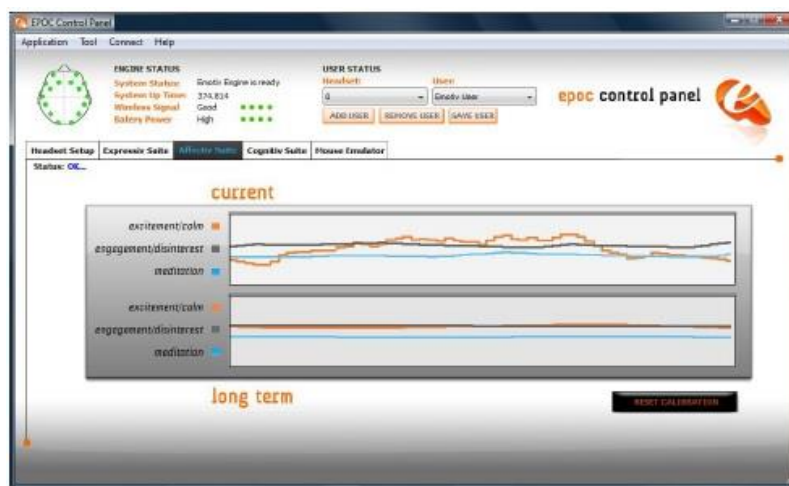
ภาพที่ 2-8 อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมอง Emotiv รุ่น EPOC



ภาพที่ 2-9 รูปแบบวิธีการสวมใส่

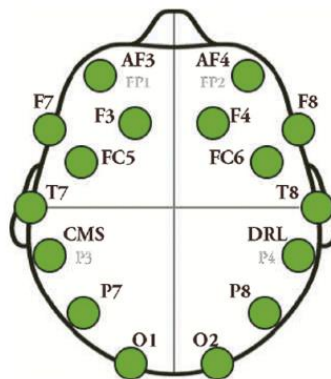


ภาพที่ 2-10 ตำแหน่งเซนเซอร์บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control สำหรับเครื่อง Emotiv รุ่น EPOC



ภาพที่ 2-11 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control สำหรับเครื่อง Emotiv รุ่น EPOC

การวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ Emotiv EPOC เป็นตามระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (10/20 International System) โดยสวม Emotiv EEG Headset ใช้ติดขั้วไฟฟ้า (Saline Sensors) 14 ขั้ว (Channel) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล ประกอบด้วย CMS, DRL = Ear Lobe, C = Central, P = Parietal, F = Frontal, T = Temporal Lobe, O = Occipital ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ตำแหน่งช่องสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv รุ่น Epoc 14 ช่องสัญญาณ

การวางตำแหน่งต่าง ๆ สำหรับอุปกรณ์ Emotiv EPOC สามารถแบ่งตามบริเวณได้
ครอบคลุมบริเวณ ดังนี้

1. บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal) ที่ตำแหน่ง AF3 AF4 F3 F4 F7 F8
2. บริเวณเปลือกสมองส่วนกลาง (Central) ที่ตำแหน่ง FC5 FC6
3. บริเวณเปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal) ที่ตำแหน่ง T7 T8
4. บริเวณเปลือกสมองด้านข้าง (Parietal) ที่ตำแหน่ง P7 P8
5. บริเวณเปลือกสมองส่วนท้ายทอย (Occipital) ที่ตำแหน่ง O1 O2

ในการใช้วิธีการวัดแบบสองขั้ว บันทึกความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode) ตำแหน่งหนึ่งบนหนังศีรษะกับอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) ที่กระดูกล้างหูข้างขวา และซ้าย ความถี่ 128 เฮิร์ตซ์ (Hz) มีความกว้างของแถบคลื่นความถี่ 0.2-45 เฮิร์ตซ์ (Hz) ตัวกรองแบบดิจิทัลอยู่ที่ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz) และ 60 เฮิร์ตซ์ (Hz) สำหรับตำแหน่งเซ็นเซอร์ทั้งหมด 14 ตำแหน่งบน Emotiv EEG Headset โดยไม่มีการทับซ้อนกัน ได้แก่ Delta (1-4 Hz), Theta (4-7 Hz), Alpha (7-13 Hz), Beta (13-25 Hz) และ Gamma (25-43 เฮิร์ตซ์) โดยนำคลื่นไฟฟ้าสมองมาคำนวณค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (relative Power: RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ จากค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละคลื่นความถี่ซึ่งคำนวณจากทั้ง 14 เซ็นเซอร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Emotive รุ่น Epoc

Khushaba et al. (2012) ได้ศึกษาเรื่อง สมองกับรูปแบบการเลือก: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง (Choice Modeling and the Brain: A Study on the Electroencephalogram (EEG) of Preferences) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการตัดสินใจ กระบวนการคิดภายใน การตอบสนอง

เกี่ยวกับการเลือกวัตถุ การกระทำในสิ่งที่ชอบและไม่ชอบ ผ่านการทำกิจกรรม Eye-Tracking (Tobii X60 Eye Tracking) และวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองราคาประหยัด Emotiv EEG Headset รุ่น EPOC วัด 14 จุด (Channels) ควบคุม 2 ทิศทาง อิเล็กโทรดที่วัด ได้แก่ ตำแหน่ง AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 ตามระบบมาตรฐานสากล 10-20 อิเล็กโทรด 2 ตำแหน่งที่เหนือหูของผู้ร่วมวิจัยทั้งสองข้างใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง (Refernces) ผู้ร่วมวิจัยเป็นอาสาสมัคร อายุ 25-65 ปี โดยให้เลือกวัตถุจากจอคอมพิวเตอร์และคลิกเมาส์ภายใน 5 วินาที ผลการวิจัยพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตำแหน่งสมองส่วนหน้า ที่จุด F3, F4 สมองส่วนบนที่ตำแหน่ง P7, P8 สมองส่วนท้ายทอยที่ตำแหน่ง O1, O2 ในขณะที่ทำกิจกรรมการทดลอง เลือกวัตถุโดยใช้มือสลับซ้ายขวาทำให้เห็นลักษณะคลื่นที่แตกต่างกัน พบคลื่น Theta จากปริมาณที่น้อยและมากขึ้นเมื่อทำกิจกรรมจากสมองส่วนหน้า (Frontal) ส่วนบน (Parietal) และส่วนท้ายทอย (Occipital) โดยพบคลื่นแอลฟา (Alpha) บริเวณสมองส่วนหน้า และส่วนบน นอกจากนั้นยังพบคลื่นเบต้า (Beta) ที่สมองส่วนท้ายทอยและส่วนข้าง (Temporal)

Al-Hudhud, Abdulaziz Alzamel, Alattas, and Alwabil (2014) ได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคอมพิวเตอร์ตามธรรมชาติของมนุษย์ โดยพิจารณาจากปฏิสัมพันธ์อื่น ๆ รูปแบบสำหรับความถี่ ความหลากหลายของการใช้งาน ท่ามกลางระบบปฏิสัมพันธ์ของการพูด ระบบปฏิสัมพันธ์ของสายตา และระบบสมองเมื่อเร็ว ๆ นี้ (BCM) ในระบบการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ (BCI) เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานของสมองเพื่อผลิตสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสาร ปัจจุบันเทคโนโลยี BCI ได้รับการพัฒนาเพื่อจุดประสงค์ในการส่งเสริมด้านอุปกรณ์เพื่อความช่วยเหลือบุคคลที่พิการโดยใช้คำสั่งควบคุม นอกจากนี้การวิจัยในปัจจุบันต้องการเน้นการใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองสำหรับการตรวจสอบและระบุตัวบุคคล ซึ่งเรียกว่าการตรวจสอบไบโอเมตริกซ์ เป็นเทคนิคการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับระบบปฏิบัติการอุปกรณ์ในสภาพแวดล้อมจริง โดยการใช้เครื่อง Emotive EPOC จำนวน 14 ช่องสัญญาณ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ 32 บิต การยืนยันตัวตนแบบ Unimodal Biometric เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะ/ คุณสมบัติไบโอเมตริกซ์เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง (เช่นเสียงหรือลายนิ้วมือ) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเครื่องดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น เสียง พื้นหลังในระบบจดจำเสียงพูด หรือปัญหาเกี่ยวกับการส่องสว่าง ระบบจดจำใบหน้า

Kumari and Vaish (2015) ได้ศึกษาวิวัฒนาการของคลื่นสมองและการประยุกต์ใช้ในการสื่อสารประจำวันและการรักษาความปลอดภัย ได้ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของคลื่นสมองและการประมวลผลเพื่อความปลอดภัยที่สูงขึ้น โดยใช้สัญญาณ EEG ที่เกิดจากสิ่งเร้าที่มองเห็น ในการสร้างโมเดลสำหรับการตรวจสอบ โดยการเลือก Time-Frequency Analysis Method ที่เรียกว่าเวฟเล็ต เพื่อวิเคราะห์การสลายตัวของสัญญาณต้นฉบับ EEG sub-band โดยการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจากเครื่อง Emotive EPOC 14 ช่องสัญญาณ กลุ่มตัวอย่างมีอายุระหว่าง 20 -30 ปี โดยให้ดูตัวเลขที่สุ่มจากคอมพิวเตอร์ และวัดคลื่นไฟฟ้า แกมมา เบต้า แอลฟา และ เดลต้า ปรากฏว่าความถี่คลื่น ไฟฟ้า

สมองต่างๆ สามารถแยกออกจากกันได้โดยการคำนวณทางสถิติ นอกจากนี้ได้เลือกใช้เครือข่ายประสาทเทียมตามรูปแบบการเรียนรู้ Quantization ในการจำแนกประเภทที่ถูกต้องสำหรับ อัตราการจัดหมวดหมู่จากการคำนวณจากชุดค่าอื่น ๆ

Meza-Kubo, Moran, Carrillo, Galindo, and Garcia-Canseco (2016) ได้ศึกษาการใช้เทคโนโลยี Ambient Assisted Living (AAL) เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาประชากรที่เพิ่มขึ้นและการใช้ชีวิตของผู้สูงอายุ เทคโนโลยี AAL ใช้เพื่อปรับปรุงสุขภาพและสภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุ การประเมินผลการใช้งาน (UX) มีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้การระบุประสบการณ์ของผู้ใช้ขณะโต้ตอบกับเทคโนโลยี AAL ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะได้อย่างถูกต้อง ซึ่งช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นและปรับปรุงการมีส่วนร่วมของผู้ใช้และการยอมรับเงื่อนไขของเทคโนโลยี AAL ในการศึกษานี้ได้ตรวจสอบความเป็นไปได้ในการประเมินประสบการณ์ของผู้สูงอายุในขณะที่ใช้โปรแกรมกระตุ้นความรู้ความเข้าใจ โดยใช้เครือข่ายประสาทที่ได้รับการฝึกฝนเพื่อรับรู้อารมณ์จากคลื่นไฟฟ้าสมอง electroencephalography (EEG) โดยใช้เครื่อง Emotive Epoc วัดสัญญาณ แอลฟา เบต้า และซีต้า และเครือข่ายเชื่อมโยงการทำงานของสมอง โดยมีการประเมินผลประสบการณ์ของผู้ใช้ และรายงานในเชิงคุณภาพ ผลการศึกษา ปรากฏว่ามีความเป็นไปได้ในการประเมิน UX ของผู้สูงอายุโดยใช้เครือข่ายประสาทที่ใช้สัญญาณ EEG ความแม่นยำ ในการจำแนกประเภทของเครือข่ายประสาทมีค่า 60.87%-82.61% การประเมินผลการศึกษาประสบการณ์ของผู้ใช้ในอนาคตโดยใช้ สามวิธีที่แตกต่างกันตามลำดับเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์

Gaubá et al. (2017) ได้ศึกษาแนวทางใหม่ในการทำนายคะแนนวิตีโอโฆฆณาในรูปแบบมัลติโมดัลเน็ต โดยใช้คลื่นไฟฟ้าสมอง Electroencephalogram (EEG) ของผู้ใช้อินเทอร์เน็ต และความคิดเห็นจากที่วิตีโอโฆฆณาเพื่อให้เข้าใจถึงความชอบของผู้ใช้อย่างแม่นยำมากขึ้น วิธีการคือให้ผู้ใช้ดูโฆฆณาวิตีโอโฆฆณาและมีการบันทึกสัญญาณ EEG โดยใช้เครื่อง Emotive Epoc 14 ช่องสัญญาณและบันทึกผล นอกจากนี้ยังเก็บรวบรวมข้อมูลมัลติมีเดียที่ประกอบด้วยความคิดเห็นของผู้ชมทั่วโลก ประมวลผลโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) สำหรับการวิเคราะห์ความเชื่อมั่น ใช้เทคนิคการถอดถอดการให้คะแนนของโฆฆณาโดยใช้ข้อมูลจากสัญญาณ EEG สุดท้ายการประเมินโดยอิงจาก EEG ร่วมกับ NLPbased เพื่อให้เข้าใจถึงความรู้สึกของผู้ใช้วิตีโอโฆฆณา ดำเนินการโดยดูคลิปวิตีโอโฆฆณา 15 คลิป ในรูปของโฆฆณาออนไลน์ของผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 25 คน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ผลเป็นที่น่าพอใจและมีข้อเสนอแนะว่าควรมีแนวทางแบบอื่น ๆ หลายรูปแบบที่จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ใช้ข้อมูลจาก EEG เท่านั้น

Kumar, Saini, Pratim Roy, and Prosad Dogra (2017) ได้ศึกษาการใช้โทรศัพท์มือถือ ในปัจจุบันมักมีหน่วยประมวลผลในระดับสูงและพื้นที่เก็บข้อมูลขนาดใหญ่ ผู้ใช้โทรศัพท์มือถือมักจัดเก็บข้อมูลมัลติมีเดียเป็นส่วนตัวและเป็นทางการจำนวนมาก ซึ่งความปลอดภัยของอุปกรณ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับ PIN (หมายเลขประจำตัวส่วนบุคคล) อย่างไรก็ตามกลไกเหล่านี้มีช่องโหว่ด้านความปลอดภัยและมีแนวโน้มที่จะไม่ปลอดภัย สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Electroencephalography (EEG) สามารถนำมาใช้เพื่อลบข้อเสียบางส่วนของระบบที่มีอยู่ได้ สัญญาณดังกล่าวสามารถ

ประมวลผล บันทึกผลและส่งผ่านสื่อไร้สายได้ ในเอกสารนี้ได้เสนอกรอบแนวคิดใหม่ในการรักษาความปลอดภัยให้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ใช้สัญญาณ EEG พร้อมกับการตรวจสอบตามรูปแบบที่มีอยู่ โดยได้ตรวจสอบการใช้สัญญาณ EEG ที่บันทึกระหว่างการวาดลวดลายลงในหน้าจอของอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยใช้เครื่อง Emotive EPOC แบบ 14 ช่องสัญญาณ กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 128 คน ผลปรากฏว่า สัญญาณ EEG ใช้แบบจำลอง Hidden Markov Model (HMM) จำแนกประเภทไบนารีโดยใช้กับเวกเตอร์การสนับสนุน (SVM) เพื่อยืนยันความถูกต้องของรูปแบบการทดสอบ มีการตรวจสอบโดยใช้เมตริกซ์รักษาความปลอดภัยสามแบบคือ Detection Error Tradeoff (DET) โดยใช้เทคนิคอัตราความผิดพลาดรวมครึ่ง (HTER) และเส้นโค้งการทำงานของตัวรับสัญญาณ (ROC) จากการทดลอง ปรากฏว่าเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ในการพัฒนาโปรโตคอลการตรวจสอบของอุปกรณ์มือถือที่น่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น

Shearer and Karanian (2017) ได้ศึกษาเรื่อง ประสาทวิทยาของเชาวน์ปัญญา: หลักฐานเชิงประจักษ์สนับสนุนทฤษฎีพหุปัญญา (The neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences) เป็นการทบทวนสังเคราะห์งานวิจัยจำนวน 318 เรื่อง ที่เกี่ยวกับเชาวน์ปัญญาแต่ละด้าน ในที่นี้ขอนำเสนอเฉพาะด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ ผลการศึกษา ปรากฏว่า เชาวน์ปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ เกี่ยวข้องกับการให้เหตุผลเชิงคณิตศาสตร์ การให้เหตุผลเชิงตรรกะ มีการทำงานของสมองส่วน Frontal Cortex ในส่วน PFC Inferior Frontal Gyrus, Parietal ในส่วน Intraparietal Sulcus, Inferior Parietal Lobule, Angular Gyrus และใน ส่วน Temporal Cortex บริเวณ Medial Temporal Lobe

Mijalkov et al (2017) ได้กล่าวถึง โปรแกรมทฤษฎีกราฟ (BRAPH) สำหรับวิเคราะห์เครือข่ายการเชื่อมโยงการทำงานของสมอง กรณีศึกษาผู้ป่วยอัลไซเมอร์ โดยศึกษาภาพฉายจากสมองสรุปได้ว่า สมองเป็นเครือข่ายที่ซับซ้อนขนาดใหญ่ที่มีการทำงานขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ มีการศึกษาการทำงานร่วมกันของเครือข่ายของสมองมนุษย์โดยใช้ทฤษฎีกราฟอย่างกว้างขวาง แสดงด้วยชุดของโหนด (Nodes) ที่เชื่อมต่อกันด้วยเส้นเชื่อมโยง (Edges) การแสดงพื้นที่สมองนี้ การเชื่อมโยงสามารถนำมาใช้ในการประเมินที่สำคัญ สะท้อนถึงโครงสร้างทาง Topological ได้ การพัฒนาซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นฟรีแวร์ที่ให้เปล่า ทำงานบนโปรแกรม MATLAB ชื่อว่า BRAPH (Brain Analysis using Graph Theory) โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์การเชื่อมโยงการทำงานของสมอง จากข้อมูลการฉายภาพด้วยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI) การถ่ายภาพการทำงานด้วยคลื่นสนามแม่เหล็ก (fMRI) การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Electroencephalogram (EEG) และการถ่ายภาพเอกซเรย์ (PET) โปรแกรม BRAPH ช่วยให้สามารถสร้างเมตริกซ์การเชื่อมต่อการคำนวณเครือข่ายสมองในระดับกลุ่มใหญ่ (Global) และกลุ่มย่อย (Local) การดำเนินการแบบไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับการเปรียบเทียบกลุ่ม การประเมินรูปแบบในเครือข่าย และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับเครือข่ายแบบสุ่มด้วยกล่องเครื่องมือ สามารถเปรียบเทียบของผู้ป่วยรายเดิมในเวลาต่างกันในระยะยาว นอกจากนี้

ลักษณะของโปรแกรมจะเป็นโมดูล (เชิงวัตถุ) เพื่อให้สามารถขยายและปรับแต่งได้ง่าย ผู้วิจัยใช้โปรแกรม BRAPH วิเคราะห์โครงสร้างทางกราฟิกและโครงสร้างการทำงาน โดยศึกษาจากงานวิจัย 2 งาน งานแรกใช้ข้อมูลจาก MRI โดยประเมินความแตกต่างของโทโพโลยีเครือข่ายส่วนกลาง และจุดสำคัญในการควบคุมที่ดีต่อสุขภาพของผู้ป่วยที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาระดับต่ำ และผู้ป่วยอัลไซเมอร์ งานที่ 2 ใช้ข้อมูลจาก fMRI แบบ โดยเปรียบเทียบการควบคุมสุขภาพกับผู้ป่วยพาร์คินสันที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาระดับต่ำ

Hu et al. (2017) ได้วิจัยการวิเคราะห์เครือข่ายสมองที่มีประสิทธิภาพจากข้อมูลการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เลิกเสพยาเฮโรอีนและไม่เคยเสพยาเฮโรอีน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระบบการเชื่อมโยงการทำงานของสมอง (BFS) ที่เกิดจากการเสพยาเฮโรอีน โดยศึกษากับผู้ที่เคยเสพยา 15 ราย และผู้ที่ไม่เคยเสพยา 14 ราย ใช้การวิเคราะห์การเชื่อมโยงการทำงานของสมอง เปรียบเทียบวิถีของเครือข่ายเปลือกสมองโดยวิธี Bootstrap ผลการวิจัยพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเครือข่ายการเชื่อมโยงสมองอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่เลิกเสพยาเฮโรอีน พื้นที่สมอง Parietal และบริเวณท้ายทอยด้านซ้าย (Left Occipital Region) เป็นจุดศูนย์กลางที่ชัดเจนของเส้นทางสาเหตุที่ผิดปกติอย่างมาก การค้นพบนี้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ว่าการเสพยาเสพติดเรื้อรัง ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของสมองในการเชื่อมโยงการทำงานของสมองอย่างมีนัยสำคัญ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเคลื่อนที่ Emotive รุ่น Epoc พบว่า เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเคลื่อนที่ Emotive รุ่น Epoc สามารถใช้งานได้ในทุกสถานการณ์ เช่น ในเรื่องของรูปแบบการตัดสินใจ กระบวนการคิดภายใน การตอบสนองเกี่ยวกับการเลี้ยววัตถุ การกระทำในสิ่งที่ชอบและไม่ชอบ ผ่านการทำกิจกรรมต่างๆ และปฏิสัมพันธ์อื่นๆ สำหรับความถี่ ความหลากหลายของการใช้งาน ปฏิสัมพันธ์ของการพูด ปฏิสัมพันธ์ของสายตาและระบบสมอง และยังมีประโยชน์ใช้ในการสื่อสารประจำวันและการรักษาความปลอดภัย ปรับปรุงสุขภาพและสภาวะสุขภาพของ ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีของโทรศัพท์มือถือในปัจจุบัน สามารถทำนายคะแนนวิดีโอโฆษณาในรูปแบบมัลติโมเดอลเน็ตสมอง อีกทั้งศึกษาผู้ป่วยอัลไซเมอร์ โดยศึกษาภาพฉายจากสมอง โดยใช้ทฤษฎีกราฟและศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เลิกเสพยาเฮโรอีนและไม่เคยเสพยาเฮโรอีน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระบบการเชื่อมโยงการทำงานของสมอง (BFS) ที่เกิดจากการเสพยาเฮโรอีน สรุปได้ว่า เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเคลื่อนที่ Emotive รุ่น Epoc สามารถใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองได้เป็นอย่างดี สะดวกต่อการใช้งานในสถานที่จริงและเป็นแนวทางใหม่ในการศึกษาเรื่องคลื่นไฟฟ้าสมอง

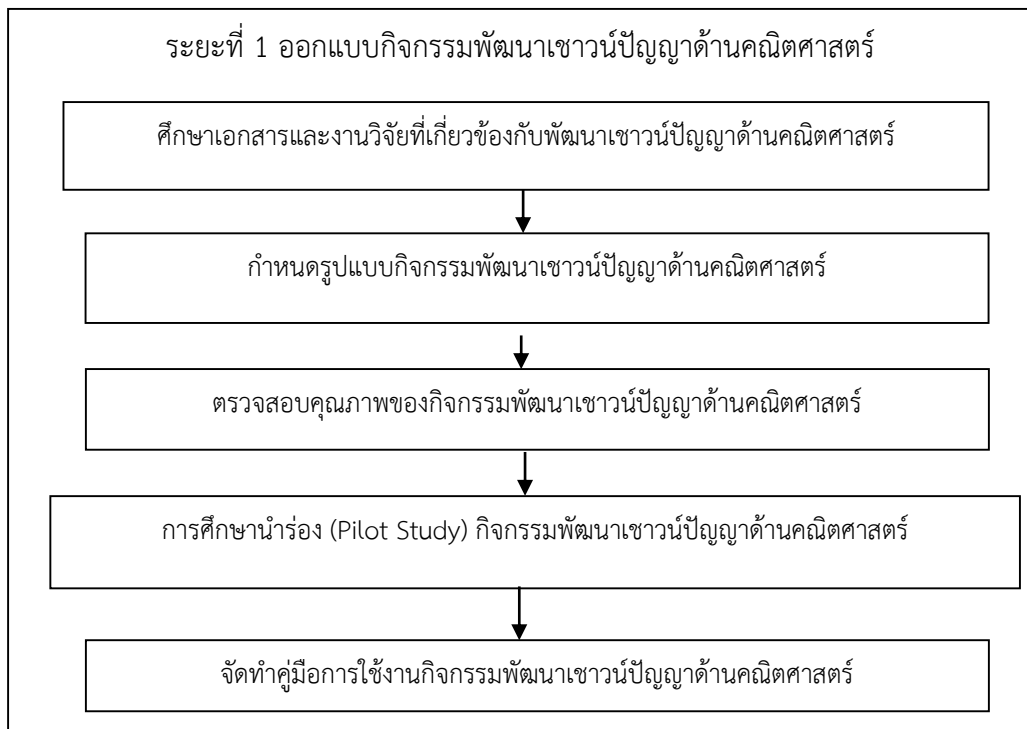
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

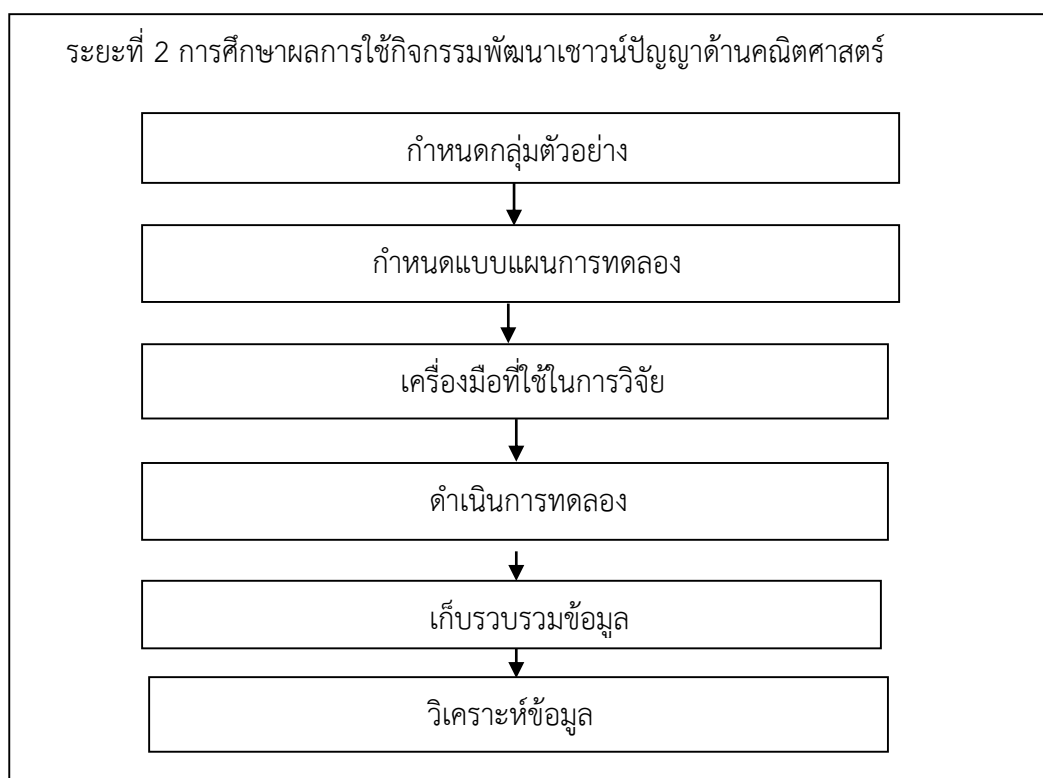
การวิจัยนี้ ใช้การวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกิจกรรมพัฒนาเยาวชน
ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียน
ระดับประถมศึกษาในประเด็นคะแนนตอบถูก และคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนที่ผ่านการพัฒนาด้วย
กิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยแบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ออกแบบกิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ระยะที่ 2 การศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียน
ระดับประถมศึกษาในประเด็นคะแนนตอบถูก และคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนที่ผ่านการฝึกด้วย
กิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แต่ละขั้นตอนของวิธีดำเนินการวิจัยแสดงรายละเอียด
ดังภาพที่ 3-1 และ 3-2



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย ระยะที่ 1



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย ระยะที่ 2

จากภาพที่ 3-1 และ 3-2 แสดงการสรุปขั้นตอนหลักของการวิจัย ซึ่งการศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เริ่มต้นจากออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ก่อน แล้วศึกษาผลการใช้กิจกรรมที่สร้างขึ้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนหลักของการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

ขั้นที่ 1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 2 สร้างกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 4 การศึกษานำร่อง (Pilot Study) กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 5 จัดทำคู่มือการใช้งานกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

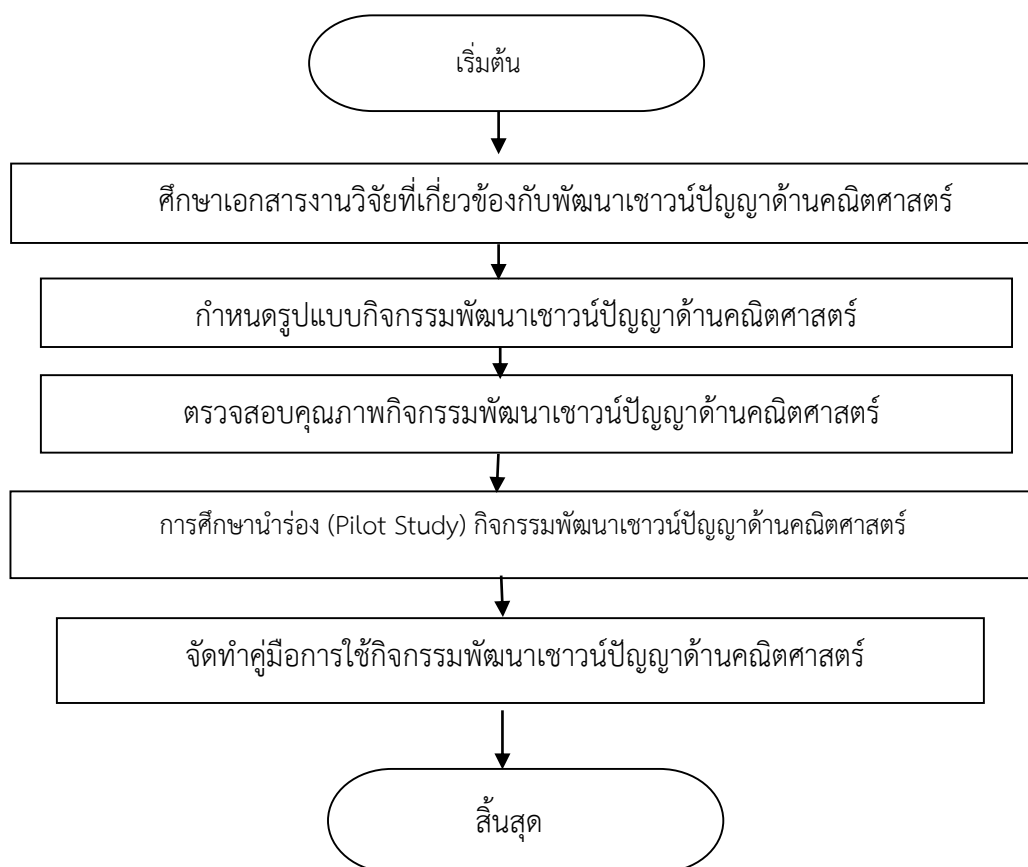
หลังจากได้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาแล้ว นำไปสู่การวิจัยในระยะที่ 2 การศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียน

ระดับชั้นประถมศึกษา ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

- ขั้นที่ 1 กำหนดกลุ่มตัวอย่าง
- ขั้นที่ 2 กำหนดแผนการทดลอง
- ขั้นที่ 3 พัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- ขั้นที่ 4 ดำเนินการทดลอง
- ขั้นที่ 5 เก็บรวบรวมข้อมูล
- ขั้นที่ 6 วิเคราะห์ข้อมูล

ระยะที่ 1 การออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา



ภาพที่ 3-3 ออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา

การออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา มีวิธีการ ดังนี้

ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดโครงสร้างกรอบแนวคิด ของกิจกรรมการ พัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ดังนี้

ศึกษาหลักสูตรตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระ การเรียนรู้คณิตศาสตร์ ผู้เรียนต้องนำความรู้ ทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปใช้แก้ปัญหา ในการดำเนินชีวิตและศึกษาต่อ การมีเหตุผลมีเจตคติที่ดีต่อคณิตศาสตร์ พัฒนาการคิดอย่างเป็น ระบบและสร้างสรรค์ และศึกษาทฤษฎีเขาวนปัญญาของการ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) เขาวนปัญญา ด้านคณิตศาสตร์ (Logical-Mathematical Intelligence) เป็นความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหา เชิงตรรกะ การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Lipnevich, Preckel, & Krumm, 2016) เป็น ความสามารถทางพหุปัญญาของการ์ดเนอร์ ที่เชื่อว่าคนนั้น มีความสามารถหลาย ๆ ด้าน มิใช่มีแต่ ความฉลาดเพียงอย่างเดียวซึ่งความสามารถในด้านคณิตศาสตร์นี้ สามารถวัดได้จาก ลักษณะดังนี้ คือ สามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับการทำงานของทุกสิ่งที่พบ ทำงานกับตัวเลขอย่างมีความสุข มีความสุขใน ชั้นเรียนคณิตศาสตร์ (สนุกกับการคำนวณและตัวเลข) สนใจในเกมคอมพิวเตอร์ (สนใจในเกม คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์) สนใจในวิธีการแก้ปัญหาในเกม มีความมุ่งมั่นในการเอาชนะในเกม สนุกกับเกมปริศนาต่าง ๆ สนุกกับเกมเชิงตรรกะ ชอบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ สามารถไขว้และ นำเสนอการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ และสามารถอธิบายความคิดเชิงตรรกะได้ และแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือการอธิบายระบบ ต่าง ๆ โดยใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และภาษา กระบวนการในการพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์เรียกว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ (เช่นฟิสิกส์ ชีววิทยา วิทยาศาสตร์โลก เคมี) และสาขาวิศวกรรมศาสตร์ (เช่นวิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรม ไฟฟ้า) ตลอดจนในสังคมศาสตร์ (เช่นเศรษฐศาสตร์ จิตวิทยา สังคมวิทยา การเมือง วิทยาศาสตร์) แบบจำลองอาจช่วยอธิบายระบบและศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบต่าง ๆ และเพื่อคาดการณ์ เกี่ยวกับพฤติกรรม (Dubois, Taylor, & Francis, 2018) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถมีได้ หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบไดนามิก โมเดลทางสถิติสมการเชิงอนุพันธ์หรือแบบจำลองทางทฤษฎีเกม แบบจำลองและรูปแบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างนามธรรมที่หลากหลาย โดยทั่วไปแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์อาจรวมถึงโมเดลในด้านตรรกะ ในหลาย ๆ กรณีคุณภาพของสาขาวิชาทาง วิทยาศาสตร์ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในด้านทฤษฎี สอดคล้องกับผลของการ ทดลองที่ทำซ้ำ ๆ ได้ ข้อตกลงระหว่างแบบจำลองทางทฤษฎีและการวัดเชิงทดลองมักนำไปสู่ ความก้าวหน้าที่สำคัญเนื่องจากการพัฒนาทฤษฎีที่ดีขึ้น

ในการนี้ผู้วิจัยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นฐานในการสร้างกิจกรรมพัฒนาเขาวน ปัญญาด้านคณิตศาสตร์โดยกำหนดโครงสร้างของกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence Training: MIT) เพื่อพัฒนานักเรียนในระดับประถมศึกษาให้มี ลักษณะด้านคณิตศาสตร์ที่สูงขึ้น

Kowal, Toth, Exton, and Campbell (2018) ได้ศึกษาการเล่นเกมที่แก้ปริศนาวิดีโอ โดยต้องการพัฒนาองค์ความรู้ของผู้เล่นที่สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วและตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น การมองเห็นและการได้ยินที่รวดเร็วและเพื่อลดการกระทำที่ผิดพลาด การศึกษาครั้งนี้ได้มีการตรวจสอบ ประสิทธิภาพเกี่ยวกับวิดีโอเกมแก้ปริศนาที่เกี่ยวข้องกับความได้เปรียบในงานด้านความรู้ ความเข้าใจที่ได้มาตรฐานโดยเฉพาะอย่างยิ่งได้ตรวจสอบว่าบุคคลที่เล่นเกมแก้ปริศนาวิดีโอได้เพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต่อไปนี้คือ ความเร็วในการรับรู้ ความสามารถทางปัญญา ความสามารถในการสลับงานและการยับยั้ง กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยผู้ส่งข้อมูลคนแรก (FPS) และการต่อสู้ทางออนไลน์ (MOBA) ผู้เล่นวิดีโอเกมที่มีประสิทธิภาพ (AVGPs) และบุคคลทั่วไปที่เล่นวิดีโอเกมเพียงเล็กน้อย (NVGP) ดำเนินการ ทดสอบ Stroop และการทำ Trail-Making Test (TMT A & B) ผลการวิจัยพบว่าเมื่อทดสอบ Stroop, AVGPs ตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญได้เร็วกว่า NVGPs อย่างมีนัยสำคัญ หรืออีกวิธีหนึ่งคือในการทดสอบ TMT AVGPs แสดงเวลาในการตอบสนองได้เร็วขึ้นในขณะที่อัตราความผิดพลาดไม่แตกต่างไปจาก NVGPs ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าในขณะที่ AVGPs มีความเร็วในการประมวลผลที่เพิ่มขึ้น และการสลับงาน AVGPs สามารถนำมาช่วยเพิ่มความเร็วในการตรวจสอบความสามารถในการยับยั้ง ความรู้ความเข้าใจทางปัญญาข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นยืนยันและสนับสนุน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงข้อมูลด้านความรู้ความเข้าใจที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละบุคคลที่เล่นวิดีโอเกมโดยเฉพาะ

Skok, Ivankovic, and Zbunjak (2018) ได้ศึกษาการดำเนินงานและการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังสูงซึ่งขึ้นอยู่กับความรู้เกี่ยวกับสถานะแบบไดนามิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงไฟฟ้าพลังน้ำมีผลกระทบมากที่สุดในการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าโดยรวม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบไดนามิกของโรงงานไฟฟ้าพลังน้ำที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทำการวิจัยทางทฤษฎีของสถานะของระบบส่งกำลังแบบไดนามิกในระหว่างการทำงานปกติและผิดปกติ ไปยังสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โดยใช้การวัด Phasor ที่ทำข้อมูลให้ตรงกันจาก Phasor ใช้สำหรับระบบไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ที่บันทึกโดยระบบ WAM (Wide Area Monitoring) ใช้เพื่อปรับแต่งค่าทางคณิตศาสตร์แบบไดนามิกตามแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ และตรวจสอบความถูกต้องเพิ่มเติมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ MatLab ในการคำนวณ

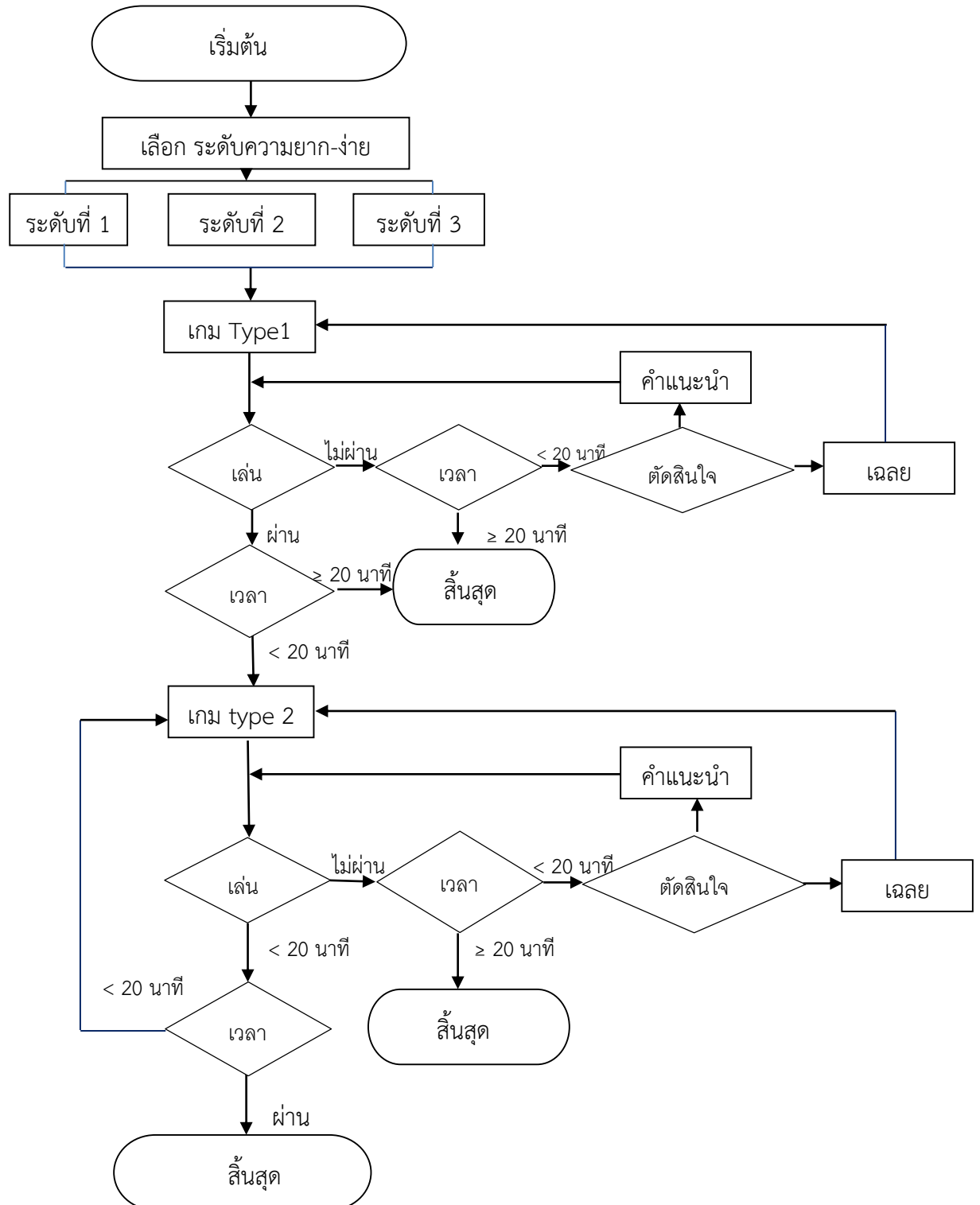
Langemann, Reisch, and Dierkes (2018) ได้เสนอกรอบทฤษฎีที่ช่วยให้สามารถดำเนินการตามขั้นตอนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเพื่อหารือเกี่ยวกับรูปแบบที่เลือกคือเหมาะสมถูกต้องหรือครบถ้วนเกี่ยวกับโปรแกรมประยุกต์บางอย่าง ปัญหาในปรัชญาถูกแยกออกจากคำถามเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองในสาขาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ อยู่ในโปรแกรมประยุกต์ด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยธรรมชาติและความไม่แน่นอนของปริมาณและช่วงเวลาอาจไม่ชัดเจนถึงลำดับขั้นของกลไก คำอธิบายผลลัพธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็น

ค่าประมาณโดยทั่วไป ในการศึกษารูปแบบของครอบครัวการสืบทอดสมบัติของโมเดลโมเดลระบุรูปแบบที่น้อยที่สุดและ optimality ของแบบจำลองภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน

ผู้วิจัยนำแนวคิดดังกล่าวมาออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 1 กิจกรรม ดังนี้

2. กำหนดรูปแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยนำแนวคิดและทฤษฎีที่ส่งผลต่อการพัฒนาด้านคณิตศาสตร์ (Logica-Mathematical Intelligence) ตามทฤษฎีเชาวน์ปัญญาของโฮเวิร์ด การ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) ที่ได้จากขั้นที่ 1 มาออกแบบเป็นกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Flash SC6 บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้ตัวอักษรขนาด 46 point หน้าจอมีขนาด 17 นิ้ว มีระยะห่างจากสายตา 80 เซนติเมตร จำนวน 1 กิจกรรม มีจำนวน 14 ข้อ (3 ระดับ) ดังนี้

การออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา
(Mathematical Intelligence Training: MIT)



ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

จากภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

การออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา จำนวน 1 กิจกรรม เป็นลักษณะกิจกรรมที่ดำเนินการผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังนี้

- 1) ก่อนการฝึก กลุ่มทดลองจะได้รับคำแนะนำให้ศึกษาในคู่มือการฝึกให้เข้าใจ
- 2) ลักษณะตัวเลขเป็นสีฟ้า
- 3) ใช้พื้นสีชมพู/ เหลือง
- 4) กำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติกิจกรรมแต่ละครั้ง เป็นเวลาประมาณ 20 นาที
- 5) กลุ่มทดลองสามารถเลือกกิจกรรมในแต่ละระดับก่อนการฝึกได้ ซึ่งกิจกรรมมีทั้งหมด

3 ระดับ ตามความยาก-ง่าย

6) เมื่อกลุ่มทดลองฝึกครบตามกำหนดระยะเวลาแล้ว เกมยังไม่จบ สามารถฝึกใหม่ได้ในวันที่ต่อไป

7) ในขณะที่ฝึก กลุ่มทดลองสามารถเข้าไปดูคำแนะนำ (Hints) ได้

8) ในขณะที่ฝึก หลังจากเข้าไปดูคำแนะนำแล้ว ยังไม่สามารถทำได้ กลุ่มทดลองเข้าไปดูเฉลยในข้อนั้น ๆ ได้ แต่ต้องเริ่มฝึกตั้งแต่เริ่มต้นใหม่

9) ในขณะที่ฝึก เมื่อกลุ่มทดลองสามารถเล่นเกมที่ 1 แล้ว สามารถเล่นเกมในระดับที่ยากขึ้นไป ในเกมที่ 2 ต่อไป

10) เมื่อฝึกครบแล้ว และยังไม่หมดเวลา กลุ่มทดลองสามารถฝึกเกมในระดับต่อไปได้

11) กลุ่มทดลองได้รับการฝึกให้ตอบสนองอย่างรวดเร็วที่สุดและถูกต้องที่สุดเท่าที่จะทำได้

12) ก่อนทำการทดลอง ผู้ทดลองแต่ละคนจะได้รับการฝึก จำนวน 2 ครั้ง ซึ่งกิจกรรมในรูปแบบฝึกทดลอง จะไม่ปรากฏในกิจกรรมทดลองจริง เพื่อทดสอบว่าผู้ถูกทดลองทุกคน ได้เข้าใจในกระบวนการวัดอย่างแท้จริง

3. การตรวจสอบคุณภาพของกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ

3.1 การตรวจสอบคุณภาพของกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ ดำเนินการดังนี้

กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น และคู่มือการใช้กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ฉบับร่าง นำเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน เพื่อประเมินความเหมาะสมด้านเนื้อหาและด้านลำดับขั้นตอนการใช้กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ก่อนที่จะนำไปใช้พัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ สำหรับของนักเรียนระดับประถมศึกษา

การประเมินความเหมาะสมด้านเนื้อหาของกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ประเมินใน 4 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1) ความสามารถของบุคคลในการ

คิดแบบมีเหตุผลในด้านตรรกะและจำนวนรูปแบบทางด้านตัวเลข 2) การคิดเชิงนามธรรม การคิด
 คาดการณ์ คิดวิเคราะห์แยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ดี และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ 3) สร้างความ
 เชื่อมโยงระหว่างข้อมูลหลาย ๆ จัดเก็บตัวแปรหลาย ๆ ตัว และสร้างสมมติฐานได้ และ 4) ประเมิน
 และยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานแต่ละข้ออย่างรวดเร็ว รวมทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สนุกกับ
 การแก้ปัญหาที่ต้องสรรหาเหตุผลมาประกอบ แบบประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ มีลักษณะเป็นมาตรา
 ประเมินค่า 4 ระดับ (Likert Scale) โดยมีคะแนนการประเมิน ดังนี้

- 1 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่สอดคล้องกับนิยามเชิง
 ปฏิบัติการ
- 2 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต้องปรับปรุงมากจึงจะ
 สอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ
- 3 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต้องปรับปรุงน้อยจึงจะ
 สอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ
- 4 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับนิยาม
 เชิงปฏิบัติการมาก

การแปลผลการตรวจสอบความเหมาะสมด้านเนื้อหา

นำผลการประเมินรายด้านไปคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและนำมาเทียบกับเกณฑ์ โดยมีเกณฑ์
 การประเมิน ดังนี้

- คะแนน 3.50-4.00 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์
 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นประถม
 ศึกษา ในระดับมากที่สุด
- คะแนน 2.50-3.49 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์
 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นประถม
 ศึกษา ในระดับมาก
- คะแนน 1.50-2.49 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์
 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นประถม
 ศึกษา ในระดับน้อย
- คะแนน 1.00-1.49 หมายถึง กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์
 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นประถม
 ศึกษา ในระดับน้อยที่สุด

การคำนวณค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI)

เกณฑ์การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา จะพิจารณาจากค่า CVI ต้องมีค่าตั้งแต่ .80 ขึ้น
 ไป (Soeken, 2010, p. 165) โดยมีสูตรการคำนวณค่า CVI ดังนี้

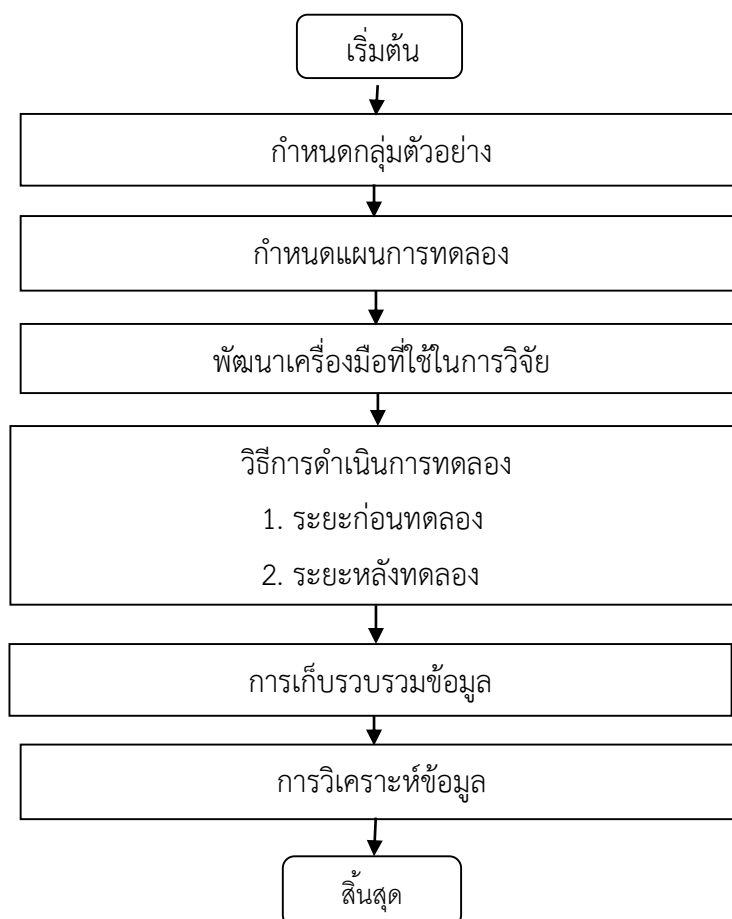
$$CVI = \frac{\text{จำนวนข้อที่ผู้ทรงคุณวุฒิทุกคนให้ความคิดเห็นในระดับ 3 และ 4}}{\text{จำนวนรายการทั้งหมด}}$$

4. การทดลองใช้

หลังจากปรับปรุงกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับเพิ่มเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ตามข้อเสนอแนะและผู้ใช้งานแล้ว ผู้วิจัยได้นำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ไปทดลองใช้ (Pilot Study) กับนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษา ที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 8 คน เป็นเวลา 8 วัน วันละ 10 นาที เพื่อศึกษาผลของกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยการเปรียบเทียบคะแนนตอบถูกจากการทำแบบทดสอบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

5. จัดทำคู่มือการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ในคู่มือการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (ฉบับร่าง) ประกอบด้วย การแนะนำกิจกรรม วัตถุประสงค์ของการฝึกเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ประโยชน์ที่ได้รับ อุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ขั้นตอนการปฏิบัติก่อนการฝึกด้วยกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ และกิจกรรมตัวอย่างในกิจกรรมพัฒนาเพิ่มเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยได้จัดทำเป็นคู่มือฉบับร่าง เพื่อส่งผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพ

ระยะที่ 2 การศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการศึกษาผลการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดพลงช้างเผือก อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 ซึ่งเป็นอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยที่ได้รับการอนุญาตจากผู้ปกครอง กลุ่มตัวอย่างทุกคนมีลักษณะตามเกณฑ์ที่กำหนด

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

รับนักเรียนอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยที่โรงเรียนวัดพลงช้างเผือก อำเภอแกลง จังหวัดระยอง โดยให้นักเรียนอาสาสมัครกรอกข้อมูลส่วนตัวและทำแบบทดสอบที่มีอยู่ในเกณฑ์การคัดเลือกเป็นกลุ่มตัวอย่าง และนำข้อมูลของนักเรียนอาสาสมัครมาคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดให้เพศชายและเพศหญิงมีจำนวนใกล้เคียงกัน และมีจำนวนนักเรียนเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครการวิจัย จำนวน 160 คน จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาสุ่มเข้ากลุ่มโดยใช้หลักการสุ่มเข้ากลุ่มแบบจับคู่ (Random

Assignment with Matching) ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) แบบการจับฉลากรายชื่อคู่เพศเดียวกัน (Genders Matching) แบบไม่คืนที่ แล้วสุ่มแยกคู่เข้ากลุ่ม (McMillan & Schumacher, 2014, p. 273) หลังจากสุ่มเข้ากลุ่ม ได้กลุ่มตัวอย่าง ที่เป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 80 คน แยกเป็นชาย 40 คน หญิง 40 คน และกลุ่มทดลอง ที่เป็นเพศชาย 40 คน เพศหญิง 40 คน ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

ตามกฎทั่วไป (Rule of Thumb) ในการประมาณขนาดตัวอย่าง ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับการวิจัยเชิงทดลองควรมีจำนวนอย่างน้อย 15 คน ต่อกลุ่มที่ศึกษา แต่เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำมากขึ้น ขนาดกลุ่มตัวอย่างจึงควรมีจำนวน 20 คนต่อกลุ่มการศึกษา (McMillan & Schumacher, 2014, p. 272) สอดคล้องตามเกณฑ์การพิจารณาขนาดกลุ่มตัวอย่างตามหลักทางสถิติสำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่ม โดยกำหนดค่าขนาดอิทธิพล (Effect Size: ES) กับ .80 ค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการทดสอบแบบทางเดียวประเภทที่หนึ่ง (Type I Error หรือค่านัยสำคัญทางสถิติ) $\alpha_1 = .05$ และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ .80 จากตารางขนาดอิทธิพล (Power Tables for T-test) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวนอย่างน้อย 20 คนต่อกลุ่มศึกษา (Cohen, 1992, p. 157; Cohen, Manion, & Morrison, 2007, p. 521; Kellar & Kelvin, 2013, p. 110) เพื่อป้องกันการขาดหายไปของกลุ่มตัวอย่าง (Dropout) ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็น 20 คนต่อกลุ่มที่ศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้ประกอบด้วยกลุ่มควบคุม 4 กลุ่ม คือเพศชายและเพศหญิง โดยเป็นชาย 40 คน ซึ่งมีลักษณะด้านคณิตศาสตร์ ในระดับสูง 20 คน และในระดับต่ำ 20 คน เป็นหญิง 40 คน ซึ่งมีลักษณะด้านคณิตศาสตร์ ในระดับสูง 20 คนและในระดับต่ำ 20 คน และกลุ่มทดลอง 4 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่ม จำแนกเป็นเพศชายและเพศหญิง โดยเป็นชาย 40 คน ซึ่งมีลักษณะด้านคณิตศาสตร์ ในระดับสูง 20 คน และในระดับต่ำ 20 คน เป็นหญิง 40 คน ซึ่งมีลักษณะด้านคณิตศาสตร์ ในระดับสูง 20 คนและในระดับต่ำ 20 คน ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้จึงมีจำนวนเท่ากับ 160 คน แสดงดังตารางที่ 3-1 โดยให้อาสาสมัครกรอกแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล และพิจารณาตามเกณฑ์การคัดเข้า (Inclusions Criteria) และเกณฑ์การคัดออก (Exclusions Criteria) ดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกเข้า (Inclusion Criteria) ได้แก่

1. มีอายุระหว่าง 10-12 ปี
2. มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวหรือรับประทานยารักษาโรคเป็นประจำ ไม่เคยมีประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะหรือประวัติการได้รับอุบัติเหตุอย่างรุนแรง
3. มีการได้ยินเป็นปกติ โดยไม่ติดตั้งเครื่องช่วยในการได้ยิน
4. มีการมองเห็นที่ระยะใกล้ (Near Vision) หรือแก้ไขให้เป็นปกติด้วยการสวมแว่นสายตาทดสอบได้โดยใช้แผ่นทดสอบที่ระยะใกล้แบบพกพาที่เรียกว่า Near Chart หรือ Rosenbaum Pocket Vision Screener

5. ถนัดมือขวา ประเมินความถนัดการใช้มือขวา โดยใช้แบบสำรวจความถนัดการใช้มือ Edinburgh Handedness Inventory ของ Oldfield (1971) โดยผู้เข้าร่วมการทดลองต้องมีผลคะแนนรวมที่แสดงความถนัดมือขวา 80 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน

6. ไม่มีความบกพร่องในการรับรู้สี ประเมินได้จากแผ่นทดสอบตาบอดสี (Test of Colour-Deficiency) มาตรฐานชนิดตัวเลขของภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล โดยพิจารณาจากการอ่านตัวเลขถูกต้องตั้งแต่ 13 แผ่นขึ้นไป

7. มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยแบ่งกลุ่มดังนี้ กลุ่มสูงมีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ มีคะแนนรวมร้อยละ 60 % ขึ้นไป กลุ่มต่ำมีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ มีคะแนนรวมร้อยละ 39 % ลงมา โดยวัดจากแบบคัดกรองลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของ Shearer (2007, p. 36)

8. มีความเต็มใจเข้าร่วมการทดลองตามเวลาที่กำหนด และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครอง

เกณฑ์การคัดออก (Exclusions Criteria) มีดังนี้

1. มีข้อห้ามในการใช้สายตา ระหว่างการเข้าร่วมการวิจัย
2. มีปัญหาสุขภาพ หรืออาการเจ็บป่วยที่ต้องรับการรักษา ระหว่างที่มีการเข้าร่วมการวิจัย
3. ไม่สามารถเข้าร่วมการทดลองได้อย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 3-1 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่ม	เพศ	ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์		รวม
		สูง	ต่ำ	
ทดลอง	ชาย	20	20	40
	หญิง	20	20	40
ควบคุม	ชาย	20	20	40
	หญิง	20	20	40
	รวม	80	80	160

แบบแผนการทดลอง

การวิจัยนี้ใช้เทคนิคการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้แบบแผนการทดลองแบบ Pretest and Posttest Control Group Design (Edmonds & Kennedy, 2017, p.53) ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แบบแผนการทดลองแบบ Pretest and Posttest Control Group Design

Assignment	Group	Pretest	Treatment	Posttest
R	EA	O _{EA1}	X	O _{EA2} O _{EA3}
R	EB	O _{EB1}	X	O _{EB2} O _{EB3}
R	EC	O _{EC1}	X	O _{EC2} O _{EC3}
R	ED	O _{ED1}	X	O _{ED2} O _{ED3}
R	CA	O _{CA1}	-	O _{CA2}
R	CB	O _{CB1}	-	O _{CB2}
R	CC	O _{CC1}	-	O _{CC2}
R	CD	O _{CD1}	-	O _{CD2}
Time >				

ความหมายของสัญลักษณ์

R	หมายถึง	การสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (Random Assignment)
EA	หมายถึง	กลุ่มทดลองที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ
EB	หมายถึง	กลุ่มทดลองที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง
EC	หมายถึง	กลุ่มทดลองที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ
ED	หมายถึง	กลุ่มทดลองที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง
CA	หมายถึง	กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ
CB	หมายถึง	กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง
CC	หมายถึง	กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ
CD	หมายถึง	กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง
X	หมายถึง	ใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กับกลุ่มตัวอย่าง
O _{EA1}	หมายถึง	การวัดตัวแปรตาม กลุ่มทดลองที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ ก่อนการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์
O _{EA2}	หมายถึง....	การวัดตัวแปรตาม กลุ่มทดลองที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญา...ด้านคณิตศาสตร์ต่ำ หลังการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา...ด้านคณิตศาสตร์
O _{EA3}	หมายถึง....	การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มทดลองที่เป็นเพศชาย มีลักษณะ...เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ หลังการใช้กิจกรรมการ...ทดลองเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

- O_{CA2} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์ต่ำ หลังการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์
- O_{CB1} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์สูง ก่อนการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์
- O_{CB2} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศชาย มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์สูง หลังการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์
- O_{CC1} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์ต่ำ ก่อนการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์
- O_{CC2} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์ต่ำ หลังการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์
- O_{CD1} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์สูง ก่อนการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์
- O_{CD2} หมายถึง....การวัดตัวแปรตาม กลุ่มควบคุมที่เป็นเพศหญิง มีลักษณะเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์สูง หลังการใช้กิจกรรมการทดลองเขาวนปัญญา
...ด้านคณิตศาสตร์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ประกอบด้วย

1.1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ โรคประจำตัว การมองเห็น การได้ยิน ความถนัดในการใช้มือขวา

1.2 แบบสำรวจความถนัดมือขวา โดยใช้แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ (Edinburgh Handedness Inventory) พัฒนาโดยโอฟิลด์ (Oldfield, 1871) เป็นแบบสำรวจความชำนาญหรือความชอบในการใช้มือ เพื่อทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

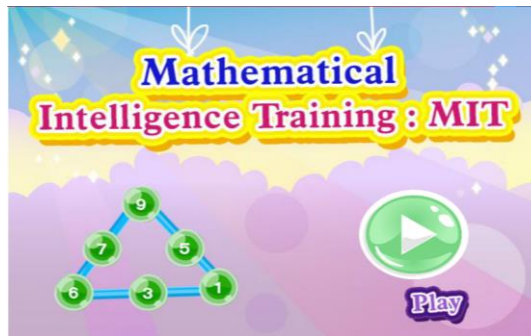
1.3 แผ่นวัดระดับการมองเห็นในระยะใกล้ (Near Vision) ทดสอบได้โดยใช้แผ่นทดสอบที่ระยะใกล้ โดยการวัดทำในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอและทำการวัดโดยการปิดตาทีละข้าง จากนั้นกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างอ่านระยะที่กำหนดคือ 14 นิ้ว หรือ 33 เซนติเมตร ตั้งแต่แถวที่อยู่บนสุดจนถึงแถวที่ตัวเล็กที่สุดที่สามารถอ่านได้ แล้วบันทึกผลระดับการมองเห็นตามเลขที่กำกับแต่ละแถว หากกลุ่มตัวอย่างสามารถอ่านได้ถึงแถวที่มีเลขกำกับ 20/25 หรือ J1 ถือว่ากลุ่มตัวอย่างมีระดับการมองเห็นที่ระยะปกติ

1.5 แผ่นทดสอบตาบอดสี (Test of Colour-Deficiency) เป็นแบบทดสอบการรับรู้สี ใช้ทดสอบผู้ที่มีความบกพร่องในการรับรู้สี (Test of Colour Blindness) โดยใช้แผ่นทดสอบตาบอดสีที่เป็นตัวเลข จำนวน 15 แผ่น พิจารณาจากความถูกต้องในการอ่านตัวเลขเป็นภาพ ตามเกณฑ์ของภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งกำหนดว่า ผู้ที่ไม่มีความบกพร่องในการรับรู้สีจะสามารถอ่านแผ่นทดสอบตาบอดสีได้ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 13 แผ่น ส่วนผู้ที่มีความบกพร่องในการรับรู้สี จะสามารถอ่านแผ่นภาพทดสอบตาบอดสีได้ถูกต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 9 แผ่น

1.6 แบบคัดกรองลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์จากแบบคัดกรองลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของ Deboarah (2010) โดยแบ่งกลุ่มดังนี้ กลุ่มสูงมีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ในระดับ 60 ขึ้นไป กลุ่มต่ำมีลักษณะเขาวนปัญญา ด้านคณิตศาสตร์ ในระดับ 39 ลงมา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

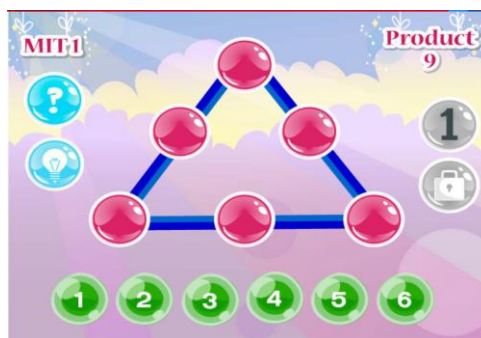
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กิจกรรมที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้ว มีลักษณะเป็นกิจกรรมที่ฝึกเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ โดยสร้างจากโปรแกรม Flash และทฤษฎีปัญหาของการ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) และ Armstrong (2018, p. 31) ที่เสนอแนะว่า ผู้เรียนที่มีความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์ ควรจะมีลักษณะดังนี้ คือ สามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับการทำงานของทุกสิ่งที่พบ ทำงานกับตัวเลขอย่างมีความสุข มีความสุขในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ (สนุกกับการคำนวณและตัวเลข) สนใจในเกมคอมพิวเตอร์ (สนใจในเกมคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์) สนใจในวิธีการแก้ปัญหาในเกม มีความมุ่งมั่นในการเอาชนะในเกม สนุกกับเกมปริศนาต่างๆ สนุกกับเกมเชิงตรรกะ ชอบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ สามารถไขว้และนำเสนอการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ และสามารถอธิบายความคิดเชิงตรรกะได้ ดังภาพที่ 3-6 ถึงภาพที่ 3-10



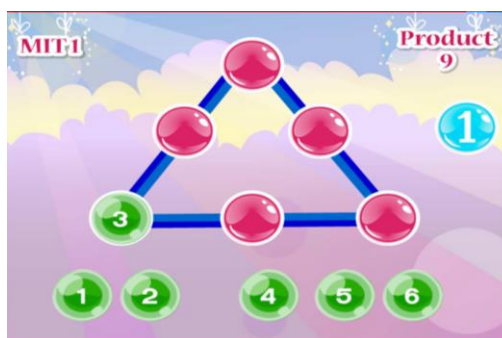
ภาพที่ 3-6 ตัวอย่างแบบฝึกเซวาร์นปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligent Training: MIT)



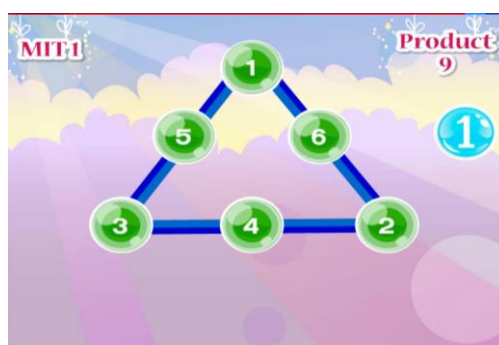
ภาพที่ 3-7 ตัวอย่างแบบฝึกเซวาร์นปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เลือกระดับการฝึก (Mathematical Intelligent Training: MIT)



ภาพที่ 3-8 ตัวอย่างแบบฝึกเซวาร์นปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 (Mathematical Intelligent Training: MIT 1)



ภาพที่ 3-9 ตัวอย่างคำแนะนำ (Hints) การใช้แบบฝึกเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 (Mathematical Intelligent Training: MIT 1)



ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างเฉลย การใช้แบบฝึกเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 (Mathematical Intelligent Training: MIT 1)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรตาม แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1) เครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม และ 2) เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

3.1 เครื่องมือวัดด้านพฤติกรรม ในการทดลองนี้ใช้แบบวัดเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อวัดความสามารถด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษาก่อนการทดลอง (Pretest) และหลังการทดลอง (Posttest) โดยพัฒนาจากทฤษฎีหุปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของ การ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) และ Armstrong (2018, p. 31) และจากแบบวัดมาตรฐานของ Reynolds Adaptable Intelligenc Test; RAIT (2014) ได้แบบวัดเขาวงกตปัญญาด้านคณิตศาสตร์ 1 ชุด จำนวน 38 ข้อ ดังตัวอย่าง ภาพที่ 3-11 และภาพที่ 3-12

แบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คำชี้แจง

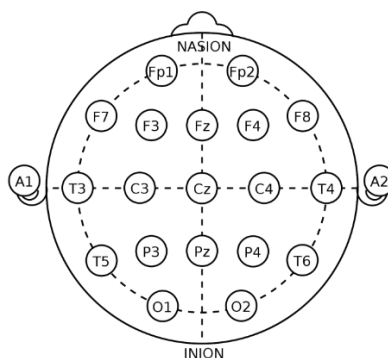
1. แบบวัดนี้มีทั้งหมด จำนวน 38 ข้อ
2. แต่ละข้อของแบบวัดมีตัวเลือก จำนวน 5 ตัวเลือก คือ 1 , 2 , 3 , 4 และ 5
3. ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวเท่านั้น

ภาพที่ 3-11 ตัวอย่างแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

1. เครื่องตีหมกกล่องหนึ่งมี 24 กระป๋อง ถ้าต้องการเครื่องตีหมก 48 กระป๋อง จะต้องซื้ออีกกี่กล่อง
 1. 1 กล่อง
 2. $1\frac{1}{2}$ กล่อง
 3. 2 กล่อง
 4. $2\frac{1}{2}$ กล่อง
 5. 3 กล่อง

ภาพที่ 3-12 ตัวอย่างแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1

3.2 เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv EPOC Neuroheadset เป็นเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีความแม่นยำ ใช้งานง่าย เพราะเป็นระบบไร้สายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง โดยใช้เซนเซอร์ 16 จุด ที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 (Electro Cap) 19 ช่องสัญญาณ (Chanel) แสดงดังภาพ 3-13

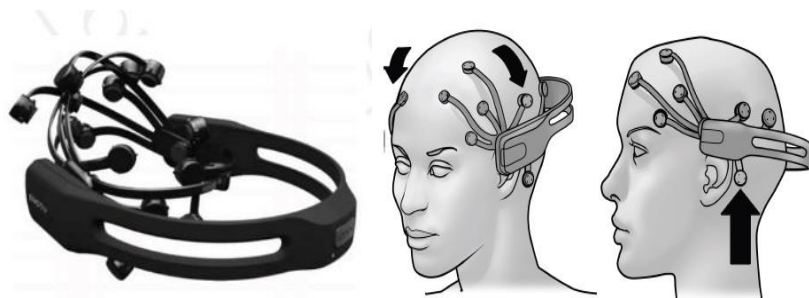


ภาพที่ 3-13 ระบบมาตรฐานสากล 10-20 (Electro-Cap System) 19 ช่องสัญญาณ

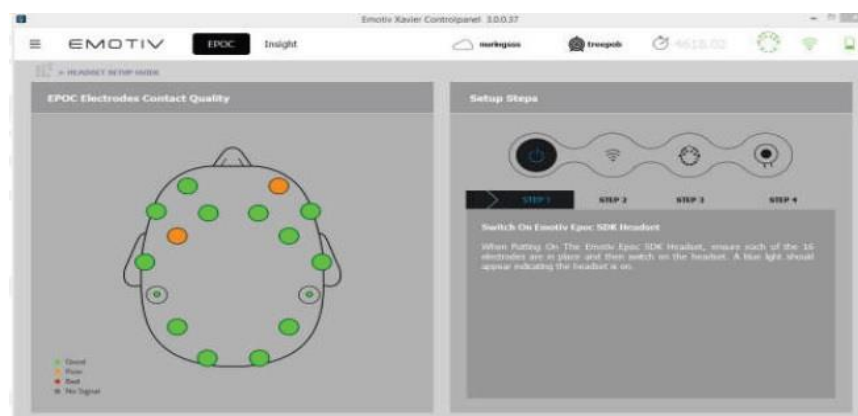
การวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) ค่าความจดจ่อ (Engagement)
- 2) ค่าความว้าวุ่น (Frustration)
- 3) ค่าสมาธิ (Meditation)
- 4) ค่าความตื่นเต้น (Excitement)
- 5) ความตื่นเต้นโดยรวม (Long - Term Excitement)

ผู้รับการทดสอบต้องสวมอุปกรณ์ Emotiv EPOC (ภาพที่ 3-15) โดยค่าต่าง ๆ จะแสดงต่อเมื่อทำการสวมเครื่อง Emotiv EPOC Neuroheadset และจุดเซนเซอร์ทั้งหมด 16 จุด (14 channel) ซึ่งต้องเป็นสีส้มหรือสีเขียวเท่านั้น จากนั้นค่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองทั้งหมดจะทำการแสดงออกมาจากข้อมูลที่เก็บได้จาก Neuroheadset การวัดคลื่นไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางชีวภาพการแพทย์ (Biomedical Signal) รูปแบบสัญญาณอยู่ในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่วิเคราะห์ด้วยแกนความถี่ (Frequency Domain Analysis) ดังภาพที่ 3-14, 3-15 และ 3-16



ภาพที่ 3-14 อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมอง Emotiv EPOC และรูปแบบวิธีการสวมใส่

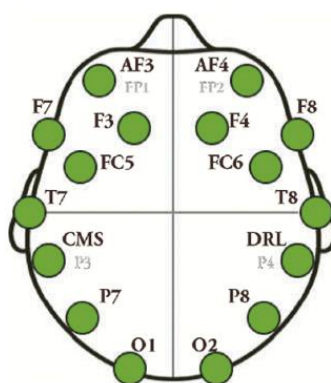


ภาพที่ 3-15 ตำแหน่งเซนเซอร์บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control



ภาพที่ 3-16 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง บนโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control

การวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ Emotiv EPOC เป็นตามระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (10/20 International System) โดยสวม Emotiv EEG Headset ใช้ติดขั้วไฟฟ้า (Saline Sensors) 14 ขั้ว (Channel) ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล ประกอบด้วย CMS, DRL = Ear Lobe, C = Central, P = Parietal, F = Frontal, T = Temporal Lobe, O = Occipital ดังภาพที่ 3-17



ภาพที่ 3-17 ตำแหน่งช่องสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv EEG

ตำแหน่งช่องสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง สำหรับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotive รุ่น EPOC สามารถแบ่งตามบริเวณได้ครอบคลุมบริเวณ ดังนี้

1. บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Frontal) ที่ตำแหน่ง AF3 AF4 F3 F4 F7 F8
2. บริเวณเปลือกสมองส่วนกลาง (Central) ที่ตำแหน่ง FC5 FC6

3. บริเวณเปลือกสมองส่วนขมับ (Temporal) ที่ตำแหน่ง T7 T8
4. บริเวณเปลือกสมองด้านข้าง (Parietal) ที่ตำแหน่ง P7 P8
5. บริเวณเปลือกสมองส่วนท้ายทอย (Occipital) ที่ตำแหน่ง O1 O2

การใช้วิธีการวัดแบบสองขั้ว บันทึกความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรด (Electrode)

ตำแหน่งหนึ่งบนหนังศีรษะกับอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) ที่กระดูกหลังหูข้างขวา และซ้าย ความถี่ในการสุ่ม 128 เฮิร์ตซ์ (Hz) มีความกว้างของแถบคลื่นความถี่ 0.2-45 เฮิร์ตซ์ (Hz) ตัวกรองรอยบากแบบดิจิทัลอยู่ที่ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz) และ 60 เฮิร์ตซ์ (Hz) สำหรับตำแหน่งเซนเซอร์ ทั้งหมด 14 ตำแหน่งบน Emotiv EEG Headset โดยไม่มีการทับซ้อนกัน ได้แก่ Delta (1-4 Hz), Theta (4-7 Hz), Alpha (7-13 Hz), Beta (13-25 Hz) และ Gamma (25-43 เฮิร์ตซ์) โดยนำคลื่นไฟฟ้าสมองมาคำนวณค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (relative Power: RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ จากค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละคลื่นความถี่ซึ่งคำนวณจากทั้ง 14 เซ็นเซอร์

2. ระยะเวลาการทดลอง

2.1 การวัดผลของตัวแปรตามก่อนการทดลอง (Pretest) จากแบบทดสอบด้าน

คณิตศาสตร์ ของ Nebraska State Accountability (2010) การวัดผลของตัวแปรตามก่อนการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการตามตารางนัดหมาย โดยผู้วิจัยได้ทำการชี้แจงกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับแบบทดสอบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ และอธิบายการใช้งานเครื่องบันทึกไฟฟ้าสมอง Emotiv EPOC ก่อนที่จะทำการวัดผลของตัวแปรตาม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1.1 การเตรียมตัวก่อนการทดลอง กลุ่มตัวอย่างสวมอุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งทำการ calibrate ด้วยโปรแกรม Emotiv Xavier SDK Control แล้ว หลังจากนั้น กลุ่มตัวอย่างได้รับคำชี้แจงขั้นตอนการปฏิบัติขณะตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยขอให้กลุ่มตัวอย่างหลีกเลี่ยงการเคลื่อนไหวร่างกาย และหลีกเลี่ยงการกระพริบตาขณะตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

2.1.2 ผู้วิจัยใส่อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv EPOC กับกลุ่มทดลอง การเตรียมอิเล็กโทรด Emotiv EPOC Neuroheadset ทำโดยใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) ในแต่ละตำแหน่งอิเล็กโทรด ก่อนการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

2.1.3 หลังการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพักตามสบาย พร้อมนัดหมายการใช้โปรแกรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ตามตารางนัดหมาย ณ สถานศึกษา

2.2 การฝึกด้วยโปรแกรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยจะดำเนินการฝึกที่โรงเรียนวัดพลวงข้างเฟือก อำเภอแก่ง จังหวัดระยอง ระหว่างวันที่ 16-27 พฤศจิกายน 2561 โดยแต่ละคนจะได้รับการฝึกวันละ 2 ครั้งๆ ละ 20 นาที (ช่วงเช้า เวลา 07.30-8.00 น. และเวลา 12.00-12.30) รวมจำนวน 20 ครั้ง

2.3 การวัดผลของตัวแปรตามหลังการทดลอง (Posttest) การวัดผลของตัวแปรตามหลังการทดลอง กับกลุ่มตัวอย่าง ตามตารางนัดหมาย โดยใช้แบบทดสอบเดิม (การวัดผลของตัวแปรตามก่อนการทดลอง) ผู้วิจัยได้ทำการชี้แจงกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับแบบทดสอบเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ตามขั้นตอนเดียวกับการวัดตัวแปรตาม ทั้งการทำแบบทดสอบทางพฤติกรรมและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่อง Emotiv รุ่น EPOC

ในการวัดผลของตัวแปรตาม กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่อง Emotiv EPOC ก่อน และต่อด้วยการทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม ดำเนินการวัดระหว่างวันที่ 28-29 พฤศจิกายน 2561 ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 วันและเวลาการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับกลุ่มตัวอย่าง หลังการทดลอง (Posttest)

วันที่	กลุ่มตัวอย่างที่บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง
28 พฤศจิกายน 2561	E001 ถึง E040
29 พฤศจิกายน 2561	E041 ถึง E080

หมายเหตุ E แทนกลุ่มตัวอย่างที่ฝึกด้วยโปรแกรมทดลองเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ มีขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ขออนุญาตจากวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ไปยังผู้อำนวยการโรงเรียนวัดพลงช้างเผือก อำเภอแกลง จังหวัดระยอง เพื่อขอความอนุเคราะห์ให้นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา เป็นกลุ่มทดลองเครื่องมือวิจัยและเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

2. หลังได้รับอนุญาตจากผู้อำนวยการโรงเรียน ได้ดำเนินการนัดหมายเพื่อประชุมชี้แจงนักเรียนให้ได้รับทราบถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย พร้อมสอบถามความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย

3. ดำเนินการรับสมัครและให้อาสาสมัครที่ประสงค์เข้าร่วมการวิจัยกรอกแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบคัดกรองลักษณะของบุคคลที่มีเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แบบประเมินนำไปเป็นข้อมูลสำหรับคัดกรองนักเรียนที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด

4. เมื่อได้นักเรียนอาสาสมัครที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์แล้ว จึงดำเนินการขออนุญาตเพื่อขอความอนุเคราะห์เข้าร่วมการวิจัย จากวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา จัดส่งไปยังผู้ปกครองของนักเรียนอาสาสมัคร เพื่อดำเนินการอนุญาตในแบบฟอร์มแสดงความยินยอม หากผู้ปกครองยินยอมให้นักเรียนเข้าร่วมโครงการวิจัย

5. ดำเนินการสุ่มเพื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างนักเรียนอาสาสมัคร เข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย โดยการจับฉลากรายชื่อคู่เพศเดียวกันแบบไม่คืนที่ แล้วสุ่มแยกคู่เข้ากลุ่ม เพื่อให้เพศหญิงและเพศชาย มีจำนวนใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่ม ได้กลุ่มตัวอย่างเป็น 8 กลุ่ม แบ่งเป็น กลุ่มทดลอง จำนวน 4 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม จำนวน 4 กลุ่ม โดยกลุ่มทดลองจะได้รับการฝึกด้วยชุด กิจกรรมการเพิ่มเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

6. จัดทำตารางนัดหมายนักเรียน เพื่อรับการฝึกที่ด้วยกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ ที่โรงเรียนวัดพลงช้างเผือก อำเภอแกลง จังหวัดระยอง

7. นัดประชุมนักเรียนกลุ่มตัวอย่างก่อนการฝึกด้วยกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ เพื่อชี้แจงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง การเตรียมตัวก่อนเข้ารับการทดลอง และ นัดหมายวันเวลา

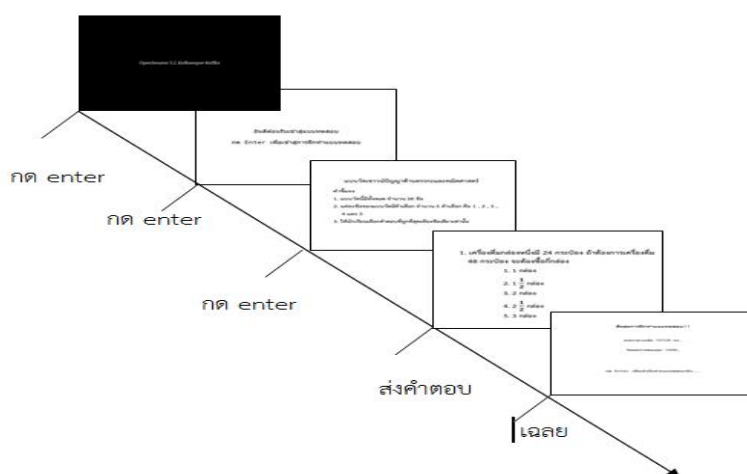
8. จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการเก็บ รวบรวมข้อมูล ณ สถานที่ศึกษาที่ทำการทดลองมีรายละเอียด ดังนี้

8.1 การชี้แจง เป็นช่วงอธิบายแสดงความเข้าใจ และยินยอมของกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย

8.1.1 การพิทักษ์สิทธิ์ เป็นการอธิบายผลการเข้าร่วมการทดลอง การเก็บรักษา ข้อมูลของผู้รับการทดลอง กลุ่มตัวอย่างสามารถเลือกเพื่อเข้าร่วมการทดลองหรือปฏิเสธการทดลองได้

8.1.2 คำชี้แจงการปฏิบัติ เป็นการอธิบายก่อนการทดสอบ เริ่มจากการทดลองฝึก ปฏิบัติ และการปฏิบัติจริง

8.1.3 คำแนะนำการปฏิบัติ เป็นการอธิบายการปฏิบัติกิจกรรมตามปกติ (Ongoing Task) และการปฏิบัติกิจกรรมตามแผน (Prospective Memory Task) ของแต่ละกิจกรรมการ ทดสอบ โดยช่วงการชี้แจงไม่มีการกำหนดเวลาตอบสนอง จนกว่ากลุ่มตัวอย่างเข้าใจคำอธิบายแต่ละ ช่วงการชี้แจง จึงตอบสนองเพื่อดำเนินการในลำดับถัดไป ดังภาพที่ 3-18



ภาพที่ 3-18 ลำดับขั้นตอนการทำแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

จากภาพที่ 3-18 การทดลองทำแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์เป็นการทดลองปฏิบัติก่อนปฏิบัติจริง เพื่อสร้างความเข้าใจของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 ข้อ ประกอบด้วย ข้อที่ 1 และ ข้อที่ 2 มีลำดับขั้นตอน ดังนี้

- 1) จากนั้นหน้าจอจะปรากฏภาพกิจกรรมตามปกติ หรือกิจกรรมตามแผน โดยผู้รับการทดลองตอบสนองตามเงื่อนไขของแต่ละแบบทดสอบ
- 2) ถ้าตอบถูกต้อง หน้าจอจะปรากฏคำว่า “ถูกต้อง” หรือตอบสนองไม่ถูกต้องจะปรากฏคำว่า “ไม่ถูกต้อง”
- 3) เมื่อตอบแบบวัด จนเสร็จสิ้น จำนวน 2 ข้อแล้ว จะปรากฏค่าคะแนน ปรากฏบนหน้าจอ
- 4) หลังจากนั้นทำแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ จนครบ 38 ข้อ จนเสร็จสิ้นลำดับขั้นตอนในการทดลองฝึกปฏิบัติ

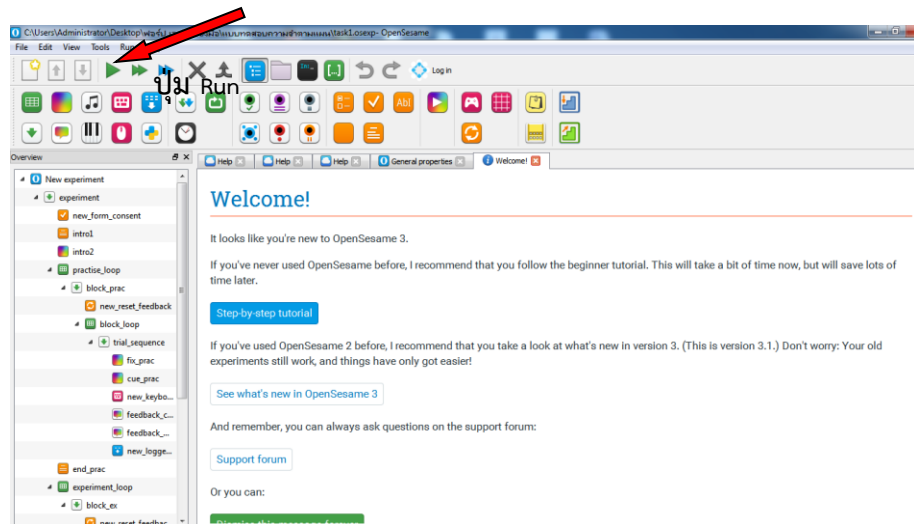
8.2 ส่วนของไอคอนสำหรับการเข้าใช้งานแบบทดสอบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นปุ่มนำไปสู่หน้าจอเริ่มต้นแบบทดสอบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 หน้าจอแสดงไอคอนสำหรับเข้าใช้งานแบบทดสอบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์

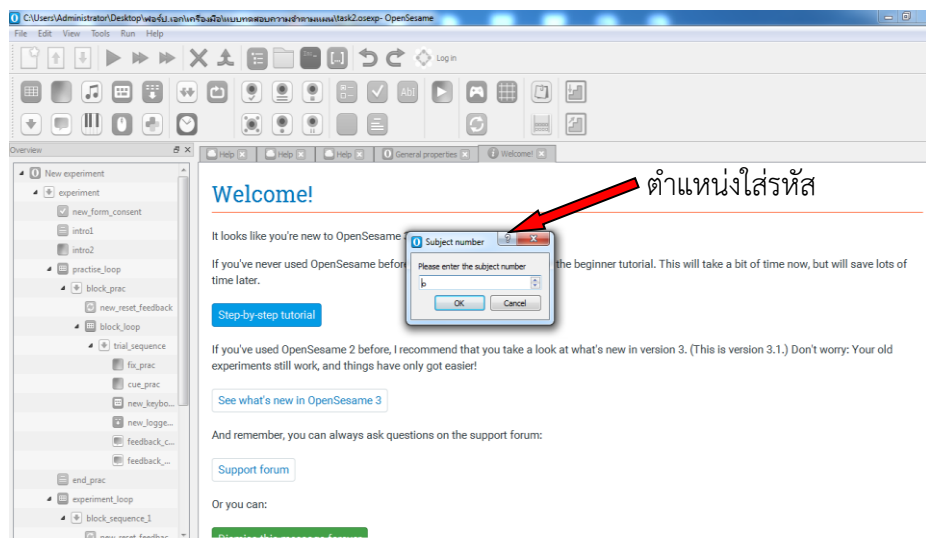
8.3 หน้าจอเริ่มกิจกรรมเป็นปุ่มเริ่มต้นปฏิบัติกิจกรรม ดังภาพที่ 3-20

run



ภาพที่ 3-20 หน้าจอแสดงปุ่ม Run สำหรับเริ่มต้นปฏิบัติกิจกรรม

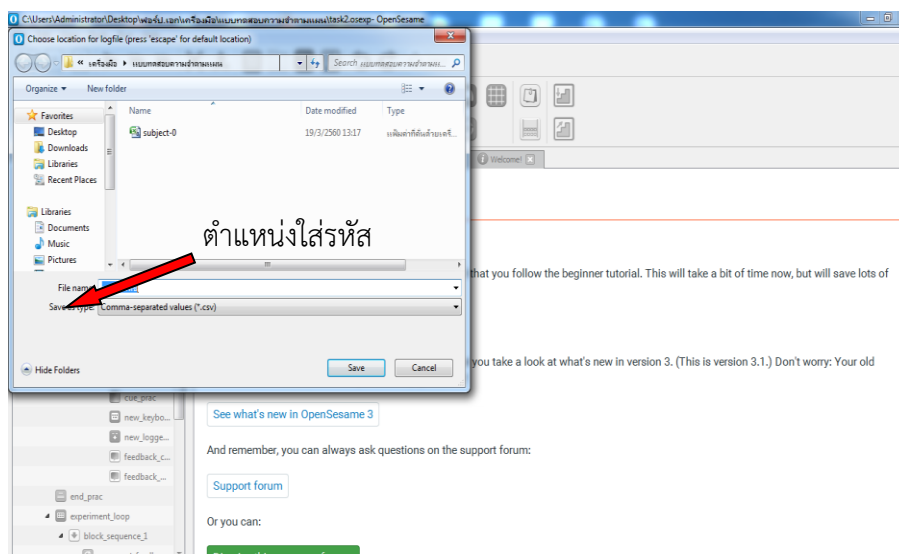
8.4 หน้าจอสำหรับใส่รหัสผู้รับการทดลอง ดังภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-21 หน้าจอสำหรับใส่รหัสผู้รับการทดลอง

8.5 หน้าจอแสดงตำแหน่งการสร้าง Text File เพื่อบันทึกข้อมูลการทดสอบ

ดังภาพที่ 3-22



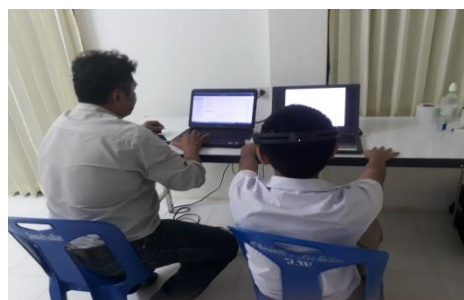
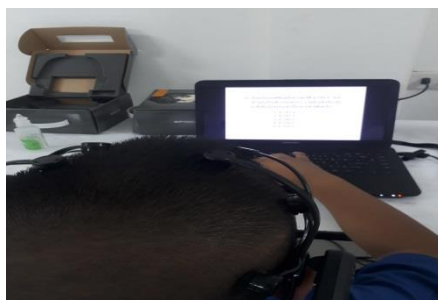
ภาพที่ 3-22 หน้าจอแสดงตำแหน่งการสร้าง Text File เพื่อบันทึกข้อมูลการทดสอบ

9. กิจกรรมการทดสอบ เป็นหน้าจอการทำกิจกรรมในแบบทดสอบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์ จำนวน 38 ข้อ มีลักษณะของกิจกรรม ดังนี้

9.1 กิจกรรมทดสอบ โปรแกรม Open Sesame Version 3.1 การกำหนดลำดับกิจกรรมการปฏิบัติจริง พร้อมกับวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนด้วยเครื่อง Emotive PRO โดยปรากฏข้อข้อแรกกลางหน้าจอ และนักเรียนตอบข้อความ

1) เริ่มต้น หน้าจอมีภาพวงกลมสีดำ “ 9.2 เมื่อนักเรียนตอบข้อ

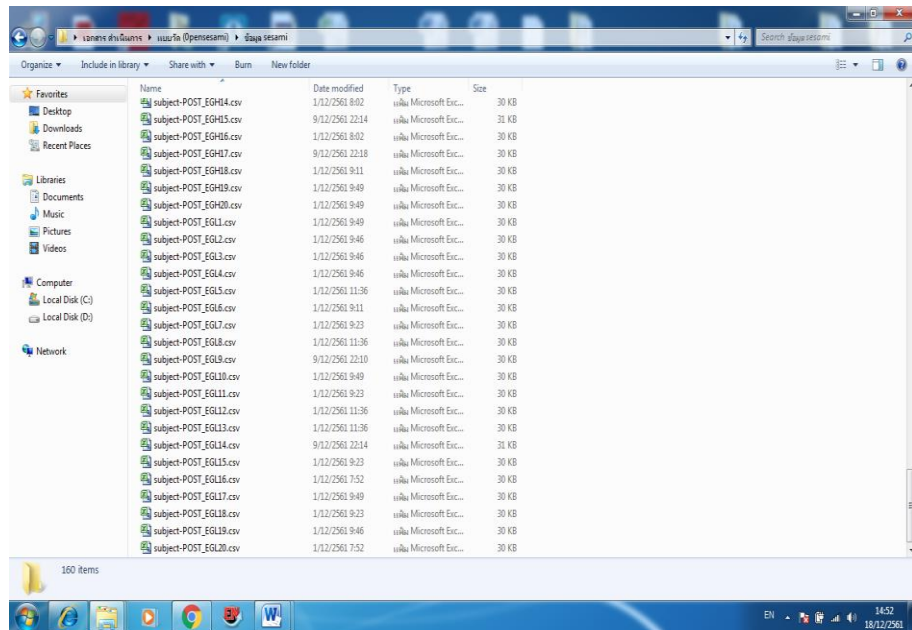
คำถามข้อที่ 1 เสร็จแล้ว จะปรากฏข้อความต่อไปเรื่อยๆ จนครบ 38 ข้อ จนเสร็จการวัดค่าคะแนนพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 ขณะวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและคะแนนพฤติกรรม

9.3 ส่วนบันทึกผลการทดสอบ ประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel การแสดงผลส่วนนี้เป็นส่วนที่โปรแกรมสำเร็จรูป Open Sesame Version 3.1 ก่อนเริ่มการทำ

กิจกรรมในลักษณะของ Text File และจัดเก็บใน Folder ตำแหน่งเดียวกันแต่ละกิจกรรม ตามรหัส
ของผู้รับการทดลองที่กรอกในส่วนเริ่มต้น ดังภาพที่ 3-24 และภาพที่ 3-25



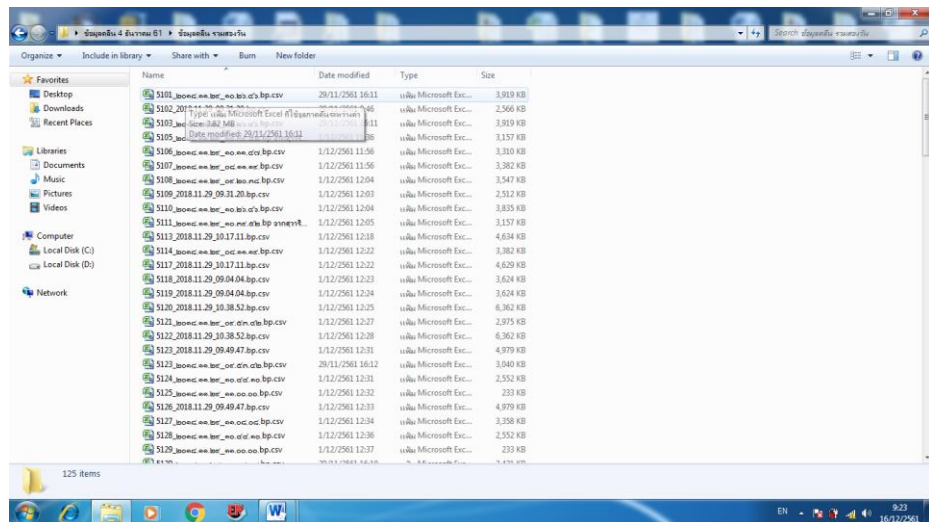
ภาพที่ 3-24 หน้าจอแสดง Folder จัดเก็บข้อมูลตามรายชื่อผู้รับการทดลอง

สำหรับคะแนน

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
18	40	NA	40	Slide15	11949.67	11949.67	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	v	0
19	37.5	NA	37.5	Slide16	11705.25	11705.25	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	x	0
20	35.20412	NA	35.20412	Slide17	11442.82	11442.82	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	z	0
21	38.88880	NA	38.88880	Slide18	10932	10932	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	z	0
22	42.10526	NA	42.10526	Slide19	10659.74	10659.74	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	v	0
23	40	NA	40	Slide20	10487.3	10487.3	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	c	0
24	38.09524	NA	38.09524	Slide21	10430.24	10430.24	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	b	0
25	36.36364	NA	36.36364	Slide22	10325.68	10325.68	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	b	0
26	34.78261	NA	34.78261	Slide23	10225.22	10225.22	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	v	0
27	33.33333	NA	33.33333	Slide24	10374.08	10374.08	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	x	0
28	32	NA	32	Slide25	10285.88	10285.88	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	v	0
29	34.61538	NA	34.61538	Slide26	10452.96	10452.96	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	c	0
30	37.03704	NA	37.03704	Slide27	10299.85	10299.85	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	c	0
31	35.71429	NA	35.71429	Slide28	10245.11	10245.11	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	z	0
32	34.48276	NA	34.48276	Slide29	10041.48	10041.48	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	z	0
33	33.33333	NA	33.33333	Slide30	10120.9	10120.9	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	c	0
34	32.25806	NA	32.25806	Slide31	10045.1	10045.1	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	v	0
35	34.375	NA	34.375	Slide32	9948.938	9948.938	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	z	0
36	33.33333	NA	33.33333	Slide33	9903.273	9903.273	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	v	0
37	32.35294	NA	32.35294	Slide34	9761.794	9761.794	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	c	0
38	31.42857	NA	31.42857	Slide35	9674.943	9674.943	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	c	0
39	30.55556	NA	30.55556	Slide36	9479.528	9479.528	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	x	0
40	29.72973	NA	29.72973	Slide37	9331.108	9331.108	white	no	legacy	NA	0	relative	1	undefined	1	1	v	0
41	28.94737	NA	28.94737	Slide38	9128.632	9128.632	white	no	legacy	NA	0	relative	0	undefined	0	1	x	0
42													18					

ภาพที่ 3-25 หน้าจอแสดงข้อมูลของแต่ละคน

9.4 ส่วนบันทึกผลการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ด้วยเครื่อง Emotiv การแสดงผลส่วนนี้เป็นการ Export จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv ในลักษณะของ Text File และจัดเก็บใน Folder ตำแหน่งเดียวกันแต่ละกิจกรรม ตามรหัสของผู้รับการทดลองที่กรอกในส่วนเริ่มต้น ดังภาพที่ 3-26 และภาพที่ 3-27



ภาพที่ 3-26 หน้าจอแสดง Folder จัดเก็บข้อมูลตามรายชื่อผู้รับการทดลอง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	5101		1.008032	0.436738	0.20524	0.184884	0.626641	7.111136	2.045277	0.894792	0.538117	0.309599	2.219674	1.0598	0.426946	0.234433	0.218445	2.338023
2	5102		10.70533	7.846749	3.248204	7.058009	6.311439	11.89485	7.157359	2.968224	4.890012	5.442209	9.134323	6.879776	2.84351	4.442825	5.059246	0.707375
3	5105		1.958283	0.945514	0.770406	1.490408	13.58225	7.478237	2.946342	1.624523	1.495065	2.289837	2.749747	1.342265	0.706703	0.500184	1.756495	6.907541
4	5106		9.216949	4.310071	2.736827	0.996115	0.506522	12.37216	3.340723	2.083917	0.790074	0.420537	3.177983	2.451485	1.460289	0.617046	0.267229	3.816125
5	5107		9.216949	4.310071	2.736827	0.996115	0.506522	12.37216	3.340723	2.083917	0.790074	0.420537	3.177983	2.451485	1.460289	0.617046	0.267229	3.816125
6	5108		1.008032	0.436738	0.20524	0.184884	0.626641	7.111136	2.045277	0.894792	0.538117	0.309599	2.219674	1.0598	0.426946	0.234433	0.218445	2.338023
7	5109		12.59322	3.20409	1.426787	1.046355	0.803334	21.24649	4.443241	1.46321	0.703491	0.476901	4.98596	1.493454	0.662321	0.379953	0.231523	6.072608
8	5110		6.689685	2.967172	1.138953	0.688704	0.425265	9.885633	2.933167	1.262412	1.022063	0.558543	1.694005	0.925093	0.40004	0.246288	0.425235	4.783529
9	5111		1.958283	0.945514	0.770406	1.490408	13.58225	7.478237	2.946342	1.624523	1.495065	2.289837	2.749747	1.342265	0.706703	0.500184	1.756495	6.907541
10	5113		7.86593	3.335897	1.567617	1.265261	1.199007	10.71183	3.262009	1.58854	1.519909	1.354677	2.847705	2.050667	1.530486	8.074014	5.929826	4.116103
11	5114		3.665966	1.38623	0.606207	0.295178	0.16098	3.340932	1.32206	0.662377	0.379058	0.254311	3.276142	1.32111	0.606914	0.292025	0.155204	2.248401
12	5117		7.860756	3.335572	1.567518	1.265065	1.199589	10.7026	3.262422	1.587376	1.518991	1.354615	2.846402	2.050568	1.530997	8.082681	5.936221	4.112842
13	5118		10.70533	7.846749	3.248204	7.058009	6.311439	11.89485	7.157359	2.968224	4.890012	5.442209	9.134323	6.879776	2.84351	4.442825	5.059246	0.707375
14	5119		10.70533	7.846749	3.248204	7.058009	6.311439	11.89485	7.157359	2.968224	4.890012	5.442209	9.134323	6.879776	2.84351	4.442825	5.059246	0.707375
15	5120		14.40424	5.20087	2.359129	2.79537	2.815779	33.53375	6.342903	3.844483	2.029302	0.90777	1.349616	1.140792	0.518324	8.886321	4.202781	6.336879
16	5121		0.927915	0.262633	0.124089	0.141015	1.264149	6.981266	4.369352	1.841408	0.651385	0.253685	6.793264	4.798714	2.188491	0.695428	0.215628	4.140449
17	5122		14.40424	5.20087	2.359129	2.79537	2.815779	33.53375	6.342903	3.844483	2.029302	0.90777	1.349616	1.140792	0.518324	8.886321	4.202781	6.336879
18	5123		11.95723	4.803152	2.910095	1.642617	0.967113	7.733473	3.754312	2.379327	1.250231	0.983418	3.355175	2.120099	1.170761	0.681953	0.552325	3.321191
19	5124		5.279571	2.543183	1.097189	0.441972	0.143849	4.552346	2.147801	1.025336	0.495529	0.222491	3.680345	1.833778	0.874053	0.362256	0.122046	2.161656
20	5125		23.58221	4.892125	2.55577	1.54071	0.997021	73.64923	10.75438	3.491626	1.359385	1.296912	6.148336	2.839966	1.803882	1.00775	0.933032	9.721178
21	5126		11.95723	4.803152	2.910095	1.642617	0.967113	7.733473	3.754312	2.379327	1.250231	0.983418	3.355175	2.120099	1.170761	0.681953	0.552325	3.321191
22	5127		27.84635	5.63788	1.932668	0.739702	0.330901	123.2207	21.61338	4.54502	1.134299	0.464788	6.666193	2.478169	1.501383	0.638955	0.309458	4.646697
23	5128		5.279571	2.543183	1.097189	0.441972	0.143849	4.552346	2.147801	1.025336	0.495529	0.222491	3.680345	1.833778	0.874053	0.362256	0.122046	2.161656
24	5129		23.58221	4.892125	2.55577	1.54071	0.997021	73.64923	10.75438	3.491626	1.359385	1.296912	6.148336	2.839966	1.803882	1.00775	0.933032	9.721178
25	5130		3.456248	1.157311	0.758362	0.358671	0.556646	12.34357	3.427975	2.01132	0.878854	0.33332	4.836124	1.924231	1.326386	0.60956	0.159539	4.078408
26	5131		1.547605	1.719407	0.41535	0.316185	0.22521	17.40888	7.285959	1.679046	1.268537	0.457771	5.096392	6.904627	1.458291	1.130204	0.271361	3.809975
27	5132		3.456248	1.157311	0.758362	0.358671	0.556646	12.34357	3.427975	2.01132	0.878854	0.33332	4.836124	1.924231	1.326386	0.60956	0.159539	4.078408

ภาพที่ 3-27 หน้าจอแสดงข้อมูลแต่ละแบบทดสอบในรูปไฟล์ Microsoft Office Excel

10. ดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบทดสอบทางพฤติกรรมไปพร้อมกัน ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ตามขั้นตอนการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

ด้วยเครื่อง Emotiv EPOC แบบ Real-Time Recorder โดยใช้ Emotiv EEG Headset ตามมาตรฐานสากล ระบบวางขั้วไฟฟ้าแบบ 10-20 ที่มีขั้วไฟฟ้า จำนวน 14 ขั้ว ได้แก่ FC5, FC6, AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, P7, P8, T7, T8, O1 และ O2 พร้อมกับตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิงจำนวน 2 ขั้ว ทำการเชื่อมต่อโดยใช้ USB Dongle Connection เมื่อเสร็จสิ้นการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มทดลองได้รับการทำความสะอาดศีรษะในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้

11. หลังจากการวัดตัวแปรตามก่อนการทดลองในกลุ่มตัวอย่างเสร็จสิ้น กลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลองเท่านั้นจะได้รับการฝึกด้วยกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เป็นเวลา 10 วัน จำนวน 20 ครั้ง

12. หลังจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลองได้รับการฝึกด้วยกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์เสร็จสิ้น จะได้รับการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองและทำแบบทดสอบทางพฤติกรรม

13. จัดเก็บรวบรวมข้อมูลด้านพฤติกรรม เช่น คะแนนตอบถูก และข้อมูลทางคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จากเครื่อง Emotiv EPOC เพื่อนำไปวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนคัดกรองข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังนี้

13.1 ทำการ Export ข้อมูลจากเครื่อง Emotiv ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้ไฟล์ Exel โดยเลือกมาวิเคราะห์เฉพาะไฟล์นามสกุล .bp.csv โดยกลุ่มตัวอย่าง 1 คน จะได้ 1 ไฟล์

13.2 ในแต่ละไฟล์ของกลุ่มตัวอย่างแต่ละย่านความถี่ เรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปหามาก แล้วตัดค่าของข้อมูลที่มากที่สุดและน้อยที่สุดออก 10% เพื่อเป็นการตัดข้อมูลที่ Outliner ออก

13.3 หลังจากตัดค่าคะแนน Outliner ออกแล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละค่า และนำไปกรอกข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง ขอนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา

ตอนที่ 2 ผลการทำกิจกรรมการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา แบ่งออกเป็น 10 ส่วน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาคณิตศาสตร์ ก่อนและหลังการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

ส่วนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระยะเวลาหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

ส่วนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างเพศชายกับหญิง

ส่วนที่ 5 ผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงกับต่ำ

ส่วนที่ 6 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ส่วนที่ 7 ผลการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศและลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ส่วนที่ 8 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศ หลังการทดลอง

ส่วนที่ 9 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์หลังการทดลอง

ส่วนที่ 10 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์หลังการทดลอง

สัญลักษณ์ และความหมายที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

<i>M</i>	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
<i>SD</i>	หมายถึง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
<i>n</i>	หมายถึง	กลุ่มตัวอย่าง
<i>t</i>	หมายถึง	การทดสอบที (t-test)
<i>df</i>	หมายถึง	องศาอิสระ (Degrees of Freedom)
<i>SS</i>	หมายถึง	ผลรวมคะแนนเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละตัวยกกำลังสอง (Sum of Square)
<i>MS</i>	หมายถึง	ความแปรปรวน (Mean of Square)
<i>ES</i>	หมายถึง	ขนาดอิทธิพล (Effect size)
Delta	หมายถึง	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วงความถี่ 0-4 Hz
Theta	หมายถึง	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วงความถี่ 4-8 Hz
Alpha	หมายถึง	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วงความถี่ 8-12 Hz
Beta	หมายถึง	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วงความถี่ 12-30 Hz
Gamma	หมายถึง	สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ช่วงความถี่ > 30 Hz

ตอนที่ 1 ผลการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะด้านคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา

1. การออกแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

1.1 กิจกรรมที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะเป็นกิจกรรมที่ฝึกเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ โดยสร้างจากโปรแกรม Flash SC 6 และอาศัยทฤษฎีปัญหาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ของการ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) และ Armstrong (2018, p. 31) ที่เสนอแนะว่า ผู้เรียนที่มีความสามารถทางด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ ควรจะมีลักษณะดังนี้ คือ สามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับการทำงานของทุกสิ่งทีพบทำงานกับตัวเลขอย่างมีความสุข มีความสุขในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ (สนุกกับการคำนวณและตัวเลข) สนใจในเกมคอมพิวเตอร์ (สนใจในเกมคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์) สนใจในวิธีการแก้ปัญหาในเกม มีความมุ่งมั่นในการเอาชนะในเกม สนุกกับเกมปริศนาต่าง ๆ สนุกกับเกมเชิงตรรกะ ชอบการทดลองทางวิทยาศาสตร์สามารถใช้และนำเสนอการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ และสามารถอธิบายความคิดเชิงตรรกะได้

กำหนดรูปแบบกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยนำแนวคิดและทฤษฎีที่ส่งผลต่อการพัฒนาด้านคณิตศาสตร์ (Logica-Mathematical Intelligence) ตามทฤษฎีเขาวนปัญญาของโฮเวอร์ต การ์ดเนอร์ (Gardner, 1995) และ Armstrong (2018, p. 31) และทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) มีสมการดังนี้

$$Y_1 = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$$

$$Y_2 = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) - 1$$

$$Y_3 = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) + 1$$

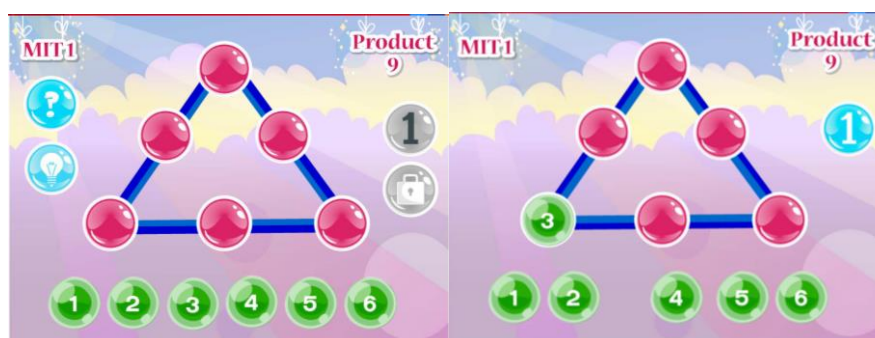
ออกแบบกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Flash SC6 บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้ ตัวอักษรขนาด 46 point หน้าจอมีขนาด 17 นิ้ว มีระยะห่างจากสายตา 80 เซนติเมตร จำนวน 1 กิจกรรม จำนวน 14 ข้อ (3 ระดับ)

1.2 ขั้นตอนการพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ โปรแกรมการพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ สามารถติดตั้งทั้งในคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะและคอมพิวเตอร์ชนิดพกพา (Notebook) ทั่วไป ดังภาพที่ 4-1




ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์/เลือกระดับกิจกรรม (Mathematical Intelligent Training: MIT)

จากภาพที่ 4-1 กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligent Training: MIT) การเริ่มเข้าสู่หน้าจอหลัก หลังจากกดปุ่ม Play จะปรากฏหน้าจอเลือกระดับ ให้นักเรียนเลือกระดับ คือกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ซึ่งแต่ละกลุ่มประกอบด้วยกลุ่มที่ 1 จำนวน 5 ข้อ กลุ่มที่ 2 จำนวน 5 ข้อ และกลุ่มที่ 3 จำนวน 4 ข้อ ในการเลือกแต่ละกลุ่มจะเป็นลักษณะของการสุ่ม




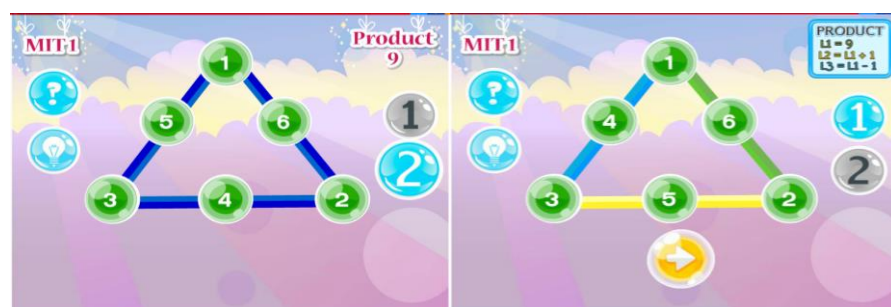
ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 และคำแนะนำ

จากภาพที่ 4-2 ตัวอย่างกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 และ คำแนะนำ (Mathematical Intelligent Training: MIT1) กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ จะประกอบด้วย กิจกรรมหลัก นักเรียนแต่ละคนใช้เวลาในการฝึกประมาณ 20 นาที ถ้านักเรียนสุ่มได้ ข้อที่ 1 ในกลุ่มที่ 1 เริ่มฝึกทักษะตามคำแนะนำ (Product =9) ถ้านักเรียนไม่ สามารถฝึกได้จบเกมภายในเวลาที่กำหนด สามารถดูคำแนะนำ (Hints) ได้ โดยกดปุ่ม  เพื่อดู คำแนะนำในการฝึกได้ โดยที่หน้าจอจะปรากฏคำแนะนำให้นักเรียนเห็นบางส่วน และฝึกต่อไปจน หมดเวลา




ภาพที่ 4-3 ตัวอย่างกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 ระดับที่ 2 และคำแนะนำ (Mathematical Intelligent Training: MIT 1)

จากภาพที่ 4-3 นักเรียนฝึกกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics Intelligence Training) ได้ในระดับที่ 1 แล้ว เลื่อนระดับไปฝึกในระดับที่ 2 โดยกดปุ่มหมายเลข 2 ในระดับที่ 2 โดยมีคำแนะนำดังนี้ ผลรวมของเส้นที่ 1 (สีฟ้า) =9 ($L1 = 9$), ผลรวมของเส้นที่ 2 (สีเหลือง) = 10 ($L2 = L1+1$) และผลรวมของเส้นที่ 3 (สีเขียว) =8 ($L3 = L1-1$) ถ้านักเรียนไม่ สามารถฝึกได้ภายในเวลาที่กำหนด สามารถดูคำแนะนำ (Hints) ได้ โดยกดปุ่ม  เพื่อดู คำแนะนำในการฝึกได้ โดยที่หน้าจอจะปรากฏ คำแนะนำให้นักเรียนเห็นบางส่วน



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างเฉลยกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ข้อที่ 1 ระดับที่ 2 (Mathematical Intelligent Training: MIT 1)

จากภาพที่ 4-4 ถ้านักเรียนไม่สามารถฝึกได้จริง ๆ ภายในเวลาที่กำหนด ก็สามารถดู
เฉลยได้ โดยกดที่ปุ่ม  เพื่อดูเฉลยนั้นๆ และฝึกจนจบเกม และไปฝึกต่อในข้อต่อไป โดยกดปุ่ม



1.3 จัดทำคู่มือการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับเพิ่มเขาวน
ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คู่มือการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับเพิ่มเขาวนปัญญาด้าน
คณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้ 1) คำชี้แจงกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ 2)
คำนำ 3) สารบัญ และ 4) คู่มือกิจกรรมข้อที่ 1-14 ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือเป็นรูปเล่มขนาด A4
(ภาคผนวก หน้า 168-174)

2. ผลการประเมินความเหมาะสม

2.1 ผลการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา ได้รับการ
ประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ใน 4 ประเด็น ได้แก่ 1) ความสามารถของบุคคลในการคิด
แบบมีเหตุผลในด้านตรรกะและจำนวน รูปแบบทางด้านตัวเลข 2) การคิดเชิงนามธรรม การคิด
คาดการณ์ คิดวิเคราะห์แยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ดี และการคิดคำนวณ ทางคณิตศาสตร์ 3) สร้างความ
เชื่อมโยงระหว่างข้อมูลหลาย ๆ ประเภท จัดเก็บตัวแปรหลาย ๆ ตัว และสร้างสมมติฐานได้ และ 4)
ประเมินและยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานแต่ละข้ออย่างรวดเร็ว รวมทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์
สนุกกับการแก้ปัญหาที่ต้องสรรหาเหตุผลมาประกอบ ได้ผลการประเมินเท่ากับ .85 (ภาคผนวก หน้า
216)

ตอนที่ 2 ผลการทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ด้วยการพัฒนาทักษะ ด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา แบ่งออกเป็น

กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ที่ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นกรอบในการกำหนดการ
พัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยกิจกรรม ดังนี้

1. กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยกิจกรรม Mathematical
Intelligence Training: MIT ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาขึ้นกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่เป็น
กลุ่มทดลอง โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย กลุ่มละ 40 คน จำนวน 2 กลุ่ม รวม 80 คน ระยะเวลาดำเนิน
กิจกรรมในแต่ละครั้ง ประมาณ 20 นาที ระหว่างวันที่ 16 พฤศจิกายน 2561- วันที่ 27 พฤศจิกายน
2561 โดยพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ วันละ 2 ครั้ง ระยะเวลา 07.40 – 08.00 น. และ
เวลา 12.00 – 12.20 น. ต่อเนื่องกันทุกวัน (ยกเว้นวันหยุดราชการ) ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 วันและเวลาในการฝึกกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ สำหรับพัฒนา
เชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

วันที่	ครั้งที่	ระดับของกิจกรรมพัฒนา	หมายเหตุ
16 พ.ย. 61	1,2	ระดับที่ 1 ข้อที่ 1,2	กลุ่มตัวอย่างทุกคน
17 พ.ย. 61	3,4	ระดับที่ 1 ข้อที่ 2,3	ได้รับการพัฒนาใน
19 พ.ย. 61	5,6	ระดับที่ 1 ข้อที่ 4,5	ชั่วโมงคอมพิวเตอร์อีก
20 พ.ย. 61	7,8	ระดับที่ 2 ข้อที่ 6,7	คนละ 2 ครั้ง รวม
21 พ.ย. 61	9,10	ระดับที่ 2 ข้อที่ 8,9	คนละ 20 ครั้ง
22 พ.ย. 61	11,12	ระดับที่ 2 ข้อที่ 9,10	
23 พ.ย. 61	13,14	ระดับที่ 3 ข้อที่ 11,12	
26 พ.ย. 61	15,16	ระดับที่ 3 ข้อที่ 12,13	
27 พ.ย. 61	17,18	ระดับที่ 3 ข้อที่ 13,14	

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวัดพลงช้างเผือก สังกัด

สำนักงานเขตพื้นที่ประถมศึกษาชระยอง เขต 2 จำนวน 160 คน รายละเอียดข้อมูลทั่วไปของกลุ่ม
ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเพศ และลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

เพศ	ลักษณะเชาวน์ปัญญา ด้านคณิตศาสตร์	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม
		จำนวน	จำนวน
ชาย	สูง	20	20
	ต่ำ	20	20
หญิง	สูง	20	20
	ต่ำ	20	20
รวม		80	80

จากตารางที่ 4-2 กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด จำนวน 160 คน เป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 80 คน
แบ่งเป็น เพศชายที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง จำนวน 20 คน และลักษณะเชาวน์
ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ จำนวน 20 คน เพศหญิงที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง
จำนวน 20 คน และลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ จำนวน 20 คน กลุ่มควบคุม จำนวน

80 คน แบ่งเป็น เพศชายที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง จำนวน 20 คน และลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ จำนวน 20 คน เพศหญิงที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง จำนวน 20 คน และลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ จำนวน 20 คน

ส่วนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ก่อนและหลังการใช้กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
กลุ่มทดลอง					
ก่อนการทดลอง	15.70	4.97	80	.79**	0.00
หลังการทดลอง	19.08	5.74	80		
กลุ่มควบคุม					
ก่อนการทดลอง	14.52	4.84	80	-.03	0.97
หลังการทดลอง	14.51	4.45	80		

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ คะแนนของกลุ่มทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยก่อนการทดลอง 15.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.79 ส่วนหลังการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 19.42 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.70 ส่วนผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนการทดลองกับค่าคะแนนหลังการทดลอง ปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 คะแนนของกลุ่มควบคุม มีคะแนนเฉลี่ยก่อนการทดลอง 14.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.84 ส่วนหลังการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 14.51 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.45 ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าคะแนนก่อนการทดลองกับค่าคะแนนหลังการทดลอง ปรากฏว่าไม่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระยะหลังการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถม
ศึกษาปีที่ 5 ระยะเวลาหลังทำการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

ตัวแปร	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
กลุ่มทดลอง	19.08	5.32	80	5.62**	0.00
กลุ่มควบคุม	14.51	4.45	80		

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-4 กลุ่มทดลองที่ทำกิจกรรมพัฒนาทักษะด้านคณิตศาสตร์ สำหรับพัฒนา
เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์หลังพัฒนา
เขาวนปัญญา เท่ากับ 19.08 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.32 ส่วนกลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยหลัง
ทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เท่ากับ 14.51 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.45
และแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ .01

ส่วนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัด
เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างเพศชายกับหญิง
แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัด
เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองระหว่างเพศ
ชายกับหญิง

ตัวแปร	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ก่อนการทดลอง					
ชาย	15.52	5.14	40	.31	0.75
หญิง	15.87	4.85	40		
หลังการทดลอง					
ชาย	18.67	5.78	40	-.63	0.52
หญิง	19.50	5.75	40		

* $P < .05$

จากตารางที่ 4-5 ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ด้วยคะแนนจาก
แบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างเพศชายกับ
หญิง ปรากฏว่าเพศชายมีค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ก่อนการทดลอง
เท่ากับ 15.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.14 เพศหญิงมีค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเขาวน

ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เท่ากับ 15.87 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.85 ผลการเปรียบเทียบ
 เชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่แตกต่างกัน ส่วนหลังการทดลอง ปรากฏว่าเพศชายมีค่าเฉลี่ยคะแนน
 จากแบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ก่อนการทดลองเท่ากับ 18.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 เท่ากับ 5.78 เพศหญิงมีค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เท่ากับ 19.50
 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.75 ผลการเปรียบเทียบเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่แตกต่างกัน
 ส่วนที่ 5 ผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่ม
 ทดลองระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงกับต่ำ แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง
 ระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงกับต่ำ

ลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ก่อนการทดลอง					
ลักษณะเชาวน์ปัญญาสูง	18.55	3.87	40	7.30**	0.00
ลักษณะเชาวน์ปัญญาต่ำ	12.55	3.79	40		
หลังการทดลอง					
ลักษณะเชาวน์ปัญญาสูง	23.40	3.57	40	10.16**	0.00
ลักษณะเชาวน์ปัญญาต่ำ	14.77	4.00	40		

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-6 ผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านตรรกะและ
 คณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงก่อนการทดลอง
 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.55 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.87 และคะแนนจากแบบวัดเชาวน์
 ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ
 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.55 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.79 ผลการเปรียบเทียบมีความ
 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเชาวน์
 ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงหลัง
 การทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.40 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.57 และคะแนนจาก
 แบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้าน
 คณิตศาสตร์ต่ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.77 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.00 ผลการ
 เปรียบเทียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ส่วนที่ 6 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่ม
 ทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
เพศ	13.61	1	13.61	.93**	.00
ลักษณะเขาวرنปัญญา	1487.81	1	1487.81	101.97**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวرنปัญญา		1	.93	.00	.33

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-7 การศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ปรากฏว่า เพศกับลักษณะเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

โดยสรุป จากการศึกษาเปรียบเทียบค่าคะแนนพฤติกรรมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ปรากฏว่า คะแนนจากแบบวัดเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ส่วนกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการทดลองไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 และคะแนนก่อนและหลังการทดลองระหว่างชายกับหญิงของกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยระหว่างลักษณะเขาวرنปัญญาสูงและลักษณะเขาวرنปัญญาต่ำของกลุ่มทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และความแตกต่างทางด้านเพศกับลักษณะเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

ส่วนที่ 7 ผลการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศและลักษณะเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์

จากผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า สมองกลีบหน้า (Frontal lobe) และ เปลือกสมองส่วนข้าง (Parietal) ทำหน้าที่เกี่ยวกับ ความคิด ความจำ สติปัญญา บุคลิก การรับรู้ ความเข้าใจ การมีเหตุผล การแก้ปัญหา การพูด และความจำในระยะยาว (Majkowski, Oskwarek, Kotodziej, & Rak, 2016, p. 686) ซึ่งสอดคล้องกับเขาวرنปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับบริเวณเปลือกสมองกลีบหน้า (Frontal lobe) คือ ตำแหน่ง AF3, AF4, F3, F3, F4, F7 และ F8 ส่วนตำแหน่งที่เปลือกสมองส่วนข้าง (Parietal) คือ ตำแหน่ง P7 และ P8 และประเภทของคลื่นไฟฟ้าสมองสามารถจำแนกตามความถี่ของคลื่นได้ (Frederick, Heim, Dunn, Powers, & Klein, 2016) อีกทั้งจากผลการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของเครื่อง Emotiv EPOC ที่แสดงย่านความถี่ Theta, Alpha, Low_Beta, High_Beta และ Gamma จึงขอแสดงผลการวิเคราะห์ของคลื่นไฟฟ้าสมองในส่วนที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ตารางที่ 4-8 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ที่สนองตอบต่อ
 เซาว์นปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ

คลื่นไฟฟ้าสมอง Theta (μv^2)	เพศชาย ($n = 40$)		เพศหญิง ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	10.56	8.87	13.29	10.95	-1.22	.22
F7	8.22	13.30	9.46	11.04	-.45	.65
F3	3.02	2.68	15.56	19.69	-3.98**	.00
F4	3.25	2.46	12.23	11.91	-4.67**	.00
F8	7.17	5.64	10.98	9.58	-3.64**	.00
AF4	4.57	5.64	10.98	9.58	-3.64**	.00
Parietal						
P7	2.37	2.24	2.94	2.89	-.97	.33
P8	2.99	3.12	15.30	19.98	-3.86**	.00

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเซาว์นปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า เพศหญิงมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองสูงกว่าเพศชายที่ตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8, และ AF4 และที่ตำแหน่ง F3, F4, F8, AF4 และ P8 เพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตารางที่ 4-9 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ที่สนองตอบต่อเซาว์น
 ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ

คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha (μv^2)	เพศชาย ($n = 40$)		เพศหญิง ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	8.68	9.59	4.90	3.43	2.34*	.02
F7	5.71	3.39	7.20	5.17	-1.52	.13
F3	8.64	10.15	5.67	4.18	1.71	.09
F4	9.37	10.98	6.73	6.67	1.29	.19
F8	13.28	14.78	7.66	4.47	2.30*	.02
AF4	7.89	8.79	4.82	4.87	1.93	.05

ตารางที่ 4-9 (ต่อ)

คลื่นไฟฟ้าสมอง	เพศชาย (n =40)		เพศหญิง (n = 40)		t	p
	M	SD	M	SD		
Alpha						
Parietal						
P7	1.85	1.14	2.25	2.04	-1.07	.28
P8	12.33	17.13	8.16	10.33	1.31	.19

* $p < .05$

จากตารางที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า เพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองโดยรวมไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ตำแหน่ง AF3 และ F8 และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_Beta) ที่สนองตอบต่อเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ

คลื่นไฟฟ้าสมอง	เพศชาย (n =40)		เพศหญิง (n = 40)		t	p
	M	SD	M	SD		
Low_Beta (μv^2)						
Frontal						
AF3	3.80	3.42	2.08	1.40	2.94**	.00
F7	4.63	4.51	2.81	1.86	2.35*	.02
F3	3.94	4.06	2.37	1.68	2.25*	.02
F4	4.29	4.41	2.59	1.85	2.25*	.02
F8	5.10	4.58	3.38	2.67	2.04*	.04
AF4	3.29	3.32	2.02	1.64	2.17*	.03
Parietal						
P7	1.82	1.98	1.27	1.02	1.54	.12
P8	5.43	5.60	3.84	4.20	1.41	.53

** $p < .01$, * $p < .05$

จากตารางที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_Beta) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ณ ตำแหน่งที่ F7, F3, F4, F8, AF4 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ณ ตำแหน่ง AF3

ตารางที่ 4-11 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ

คลื่นไฟฟ้าสมอง Hight_Beta (μV^2)	เพศชาย ($n = 40$)		เพศหญิง ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	2.18	1.90	1.37	1.38	2.17*	.03
F7	2.29	1.87	2.36	2.75	-.14	.80
F3	2.64	2.59	2.26	2.47	.67	.50
F4	1.83	1.70	1.63	1.53	.54	.59
F8	2.67	2.48	2.27	2.59	.70	.48
AF4	1.63	1.23	1.29	1.13	1.28	.20
Parietal						
P7	1.27	1.31	1.14	1.88	.35	.72
P8	2.99	3.24	1.83	1.70	-1.77	.80

* $p < .05$

จากตารางที่ 4-11 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันระหว่างเพศหญิงกับเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ที่ตำแหน่ง AF3

ตารางที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างเพศ

คลื่นไฟฟ้าสมอง Gamma (μV^2)	เพศชาย ($n = 40$)		เพศหญิง ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	2.22	3.16	1.23	1.51	1.79	.07
F7	2.09	2.46	1.80	2.43	.52	.59
F3	2.21	2.34	1.47	1.88	1.54	.12
F4	1.30	1.29	1.11	.50	.61	.54
F8	2.01	2.62	1.64	2.25	.67	.49
AF4	1.34	1.31	1.46	1.89	-.32	.74
Parietal						
P7	1.13	1.52	1.01	1.77	.33	.73
P8	5.45	14.34	14.31	13.40	-1.54	.12

จากตารางที่ 4-12 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงว่า ทุกตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-13 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ที่สนองต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คลื่นไฟฟ้าสมอง Theta (μV^2)	ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์สูง ($n = 40$)		ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ต่ำ ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	10.56	8.87	13.29	10.95	-1.22	.22
F7	13.66	4.02	15.05	4.03	3.84**	.00
F3	10.26	19.12	8.31	10.40	.56	.57
F4	6.74	7.55	8.74	11.41	-.92	.35
F8	16.85	12.74	11.49	15.85	1.68	.09
AF4	8.42	7.73	7.13	9.17	.67	.49
Parietal						
P7	3.22	3.06	2.09	1.88	1.97	.05
P8	1.27	12.67	11.01	17.76	-1.08	.28

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-13 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองสูงกว่ากลุ่มที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงที่ตำแหน่ง AF3, F7 และที่ตำแหน่ง F7 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตารางที่ 4-14 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ที่สนองต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha (μV^2)	ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์สูง ($n = 40$)		ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ต่ำ ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	3.77	2.65	9.81	9.24	-3.79**	.00
F7	5.84	4.34	7.06	4.44	-1.24	.21

ตารางที่ 4-14 (ต่อ)

คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha (μV^2)	ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์สูง ($n=40$)		ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ต่ำ ($n=40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
F3	3.66	3.30	10.65	9.44	-4.41**	.00
F4	4.63	6.11	11.47	10.36	-3.59**	.00
F8	6.13	3.50	14.81	14.27	-3.73**	.00
AF3	3.77	2.65	9.81	9.24	-3.79**	.00
AF4	3.94	4.49	8.87	8.58	-3.16**	.00
Parietal						
P7	1.68	1.29	2.43	1.90	-2.09*	.04
P8	5.63	9.80	14.87	16.41	-3.05**	.00

** $p < .01$, * $p < .05$

จากตารางที่ 4-14 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกับกลุ่มที่มีลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำที่ตำแหน่ง AF3, F3, F4, F8, AF4 และ P8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และที่ตำแหน่ง P7 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 4-15 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_beta) ที่สนองตอบต่อเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คลื่นไฟฟ้าสมอง Low_beta (μV^2)	ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์สูง ($n=40$)		ลักษณะเขาวนปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ต่ำ ($n=40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	1.76	1.20	4.11	3.31	-4.21**	.00
F7	2.35	1.38	5.09	4.45	-3.71**	.00
F3	1.70	1.38	4.61	3.79	-4.55**	.00
AF3	1.76	1.20	4.11	3.31	-4.21**	.00
AF4	1.78	1.62	3.53	3.21	-3.06**	.00

ตารางที่ 4-15 (ต่อ)

Parietal						
P7	.98	.70	2.11	1.99	-3.36**	.00
P8	2.69	3.52	6.58	5.42	-3.80**	.00

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-15 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_beta) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างจากกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกตำแหน่ง

ตารางที่ 4-16 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองความถี่ไฮเบต่ำ (Hight_beta) ที่สนองตอบต่อเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คลื่นไฟฟ้าสมอง Hight_beta (μv^2)	ลักษณะเชาวน์ปัญญาด้าน คณิตศาสตร์สูง ($n = 40$)		ลักษณะเชาวน์ปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ต่ำ ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	1.68	1.91	1.87	1.47	-.52	.60
F7	1.87	2.08	2.87	2.50	-1.72	.08
F3	2.45	2.92	2.45	2.08	-.00	.99
F4	1.14	1.21	2.32	1.76	-3.48**	.00
F8	2.12	2.63	2.82	2.41	-1.22	.22
AF4	1.28	1.07	1.65	1.28	-1.37	.17
Parietal						
P7	1.10	1.89	1.32	1.28	-.62	.53
P8	4.18	12.01	6.98	14.11	-.94	.34

** $p < .01$

จากตารางที่ 4-16 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต่ำ (Hight_beta) หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกับกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำที่ตำแหน่ง F4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตารางที่ 4-17 ผลการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ที่สนองตอบต่อ
 เซาว์รปัญญาด้านคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะเซาว์รปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คลื่นไฟฟ้าสมอง Gamma (μv^2)	ลักษณะเซาว์รปัญญาด้าน คณิตศาสตร์สูง ($n = 40$)		ลักษณะเซาว์รปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ต่ำ ($n = 40$)		t	p
	M	SD	M	SD		
Frontal						
AF3	2.16	3.21	1.28	1.44	1.58	.11
F7	1.60	2.16	2.29	2.67	-1.26	.21
F3	1.75	2.11	1.94	2.19	-.39	.69
F4	.86	1.04	1.55	1.61	-2.26*	.02
F8	1.61	2.44	2.05	2.44	-.80	.42
AF4	1.64	1.92	1.16	1.21	1.50	.19
Parietal						
P7	1.00	1.52	1.14	1.76	-.37	.70
P8	7.14	22.95	12.62	28.02	-.94	.34

* $p < .05$

จากตารางที่ 4-17 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) หลังทำ
 กิจกรรมพัฒนาเซาว์รปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเซาว์รปัญญาด้าน
 คณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างจากกลุ่มที่มีลักษณะเซาว์รปัญญาด้าน
 คณิตศาสตร์ต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ที่ตำแหน่ง F4

สรุปได้ว่า คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนจำแนกตามเพศ โดยรวมไม่แตกต่างกัน แต่ในย่าน
 ความถี่ธัตา (Theta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง F3, F4, F8 และ AF4 ส่วนย่านความถี่ อัลฟา (Alpha)
 แตกต่างกันที่ตำแหน่ง AF3 และ F8 ในย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) แตกต่างกันทุกตำแหน่ง ใน
 ย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง AF3 และในย่านความถี่แกมมา (Gamma)
 ไม่แตกต่างกัน และคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนจำแนกตามลักษณะเซาว์รปัญญา โดยรวมไม่แตกต่าง
 กัน ในย่านความถี่ธัตา (Theta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง F7 ส่วนย่านความถี่อัลฟา (Alpha) แตกต่าง
 กันที่ตำแหน่ง AF3, F3, F4, F8, AF4, P7 และ P8 ในย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) แตกต่างกัน
 ทุกตำแหน่ง ในย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง F4 และในย่านความถี่
 แกมมา (Gamma) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง F4

ส่วนที่ 10 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง
 ระหว่างเพศและลักษณะเซาว์รปัญญาด้านคณิตศาสตร์หลังการทดลอง

ตารางที่ 4-18 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ต่ำ (Theta) ระหว่างเพศกับ
ลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Frontal (μV^2)					
AF3					
เพศ	149.76	1	149.76	1.56*	.01
ลักษณะเขาวนปัญญา	149.76	1	149.76	.50*	.01
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	65.96	1	65.96	.66**	.00
F7					
เพศ	30.64	1	30.64	.24	.62
ลักษณะเขาวนปัญญา	1858.23	1	1858.23	15.01**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	396.48	1	396.48	3.20	.07
F3					
เพศ	3144.06	1	3144.06	15.58**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	75.83	1	75.83	.37	.54
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	.87	1	.87	.00	.94
F4					
เพศ	1615.95	1	1615.95	23.67**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	80.11	1	80.11	1.17	.28
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	508.06	1	508.06	7.44**	.00
F8					
เพศ	3925.80	1	3925.80	26.77**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	575.63	1	575.63	3.92	.05
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	796.64	1	796.64	5.43	.02
AF4					
เพศ	821.80	1	821.80	14.19**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	39.15	1	39.15	.57	.45
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	390.35	1	390.35	6.74*	.01

ตารางที่ 4-18 (ต่อ)

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
Parietal (μv^2)					
P7					
เพศ	6.45	1	6.45	.99	.32
ลักษณะเขาวนปัญญา	25.25	1	25.25	3.87	.05
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	4.00	1	4.00	.61	.43
P8					
เพศ	3030.45	1	3030.45	15.95**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	279.82	1	279.82	1.47	.22
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	1111.87	1	1111.87	5.85*	.01

** $p < .05$, * $p < .01$

จากตารางที่ 4-18 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อีต้า (Theta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า เพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ที่ตำแหน่ง AF3, F4, AF4 และ P8

ตารางที่ 4-19 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
Frontal (μv^2)					
AF3					
เพศ	284.99	1	284.99	7.26**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	729.28	1	729.28	18.59**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	338.64	1	338.64	8.62**	.00
F7					
เพศ	44.35	1	44.35	2.34*	.03
ลักษณะเขาวนปัญญา	29.70	1	29.70	1.57*	.02
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	24.12	1	24.12	1.27*	.01

ตารางที่ 4-19 (ต่อ)

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
F3					
เพศ	176.96	1	176.96	4.18*	.04
ลักษณะเขาวนปัญญา	977.54	1	977.54	23.13**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	519.72	1	519.72	12.30**	.00
F4					
เพศ	139.60	1	139.60	2.20	.14
ลักษณะเขาวนปัญญา	935.34	1	935.34	14.78**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	702.41	1	702.41	11.09**	.00
F8					
เพศ	631.99	1	631.99	7.39**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	1506.21	1	1506.21	17.62**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	1297.72	1	1297.72	15.18**	.00
AF4					
เพศ	188.35	1	188.35	4.65**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	469.22	1	469.22	11.60**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	398.00	1	398.00	9.84**	.00
Parietal (μv^2)					
P7					
เพศ	3.17	1	3.17	1.18	.27
ลักษณะเขาวนปัญญา	11.13	1	11.13	4.16	.04
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	.41	1	.41	.15	.69
P8					
เพศ	348.22	1	348.22	2.08	.15
ลักษณะเขาวนปัญญา	1709.21	1	1709.21	10.25**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	1299.71	1	1299.71	7.43**	.00

** $p < .01$, * $p < .05$

จากตารางที่ 4-19 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ในตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8, AF4 และ P8

ตารางที่ 4-20 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_Beta)
ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
Frontal (μV^2)					
AF3					
เพศ	59.25	1	59.25	12.48**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	110.34	1	110.34	23.13**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	63.06	1	63.06	13.22**	.00
F7					
เพศ	66.40	1	66.40	7.71**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	149.94	1	149.94	17.40**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	127.06	1	127.06	14.75**	.00
F3					
เพศ	49.30	1	49.30	8.00**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	169.07	1	169.07	27.46**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	118.69	1	118.69	19.28**	.00
F4					
เพศ	58.15	1	58.15	7.92**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	201.75	1	201.75	27.49**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	136.39	1	136.39	18.58**	.00
F8					
เพศ	58.95	1	58.95	5.84**	.00
ลักษณะเขาวนปัญญา	152.14	1	152.14	15.08**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	179.75	1	179.75	17.81**	.00
AF4					
เพศ	32.35	1	32.35	5.90*	.01
ลักษณะเขาวนปัญญา	61.07	1	61.07	11.14**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	57.62	1	57.62	10.51**	.00

ตารางที่ 4-20 (ต่อ)

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
Parietal (μv^2)					
P7					
เพศ	5.98	1	5.98	2.81	.09
ลักษณะเขาวนปัญญา	25.48	1	25.48	11.97*	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	7.74	1	7.74	3.63	.06
P8					
เพศ	50.12	1	50.12	2.71	.10
ลักษณะเขาวนปัญญา	302.71	1	302.71	16.37**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	174.06	1	174.06	9.41**	.00

** $p < .05$, * $p < .05$

จากตารางที่ 4-20 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_Beta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ในตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8, AF4 และ P8

ตารางที่ 4-21 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต่ำ (Hight_Beta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
Frontal (μv^2)					
AF3					
เพศ	13.14	1	13.14	4.63*	.03
ลักษณะเขาวนปัญญา	.79	1	.79	.28	.59
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	.55	1	.55	.19	.66
F7					
เพศ	.11	1	.11	.02	.88
ลักษณะเขาวนปัญญา	16.23	1	16.23	2.98	.08
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	2.53	1	2.53	.46	.49

ตารางที่ 4-21 (ต่อ)

ตัวแปร	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
F3					
เพศ	2.96	1	2.96	.44	.50
ลักษณะเขาวนปัญญา	4.46	1	4.46	.00	.99
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	.09	1	.09	.01	.90
F4					
เพศ	.77	1	.77	.36	.54
ลักษณะเขาวนปัญญา	27.77	1	27.77	13.07**	.00
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	16.40	1	16.40	7.72**	.00
F8					
เพศ	3.16	1	3.16	.49	.48
ลักษณะเขาวนปัญญา	9.63	1	9.63	1.49	.22
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	4.69	1	4.69	.72	.39
AF4					
เพศ	2.30	1	2.30	1.70	.19
ลักษณะเขาวนปัญญา	2.66	1	2.66	1.96	.16
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	4.20	1	4.20	3.10	.08
Parietal (μv^2)					
P7					
เพศ	.33	1	.33	.12	.72
ลักษณะเขาวนปัญญา	1.02	1	1.02	.38	.53
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	1.56	1	1.56	.58	.44
P8					
เพศ	526.31	1	526.31	3.10	.08
ลักษณะเขาวนปัญญา	152.33	1	152.33	.89	.34
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	.27	1	.27	.00	.96

** $p < .01$, * $p < .05$

จากตารางที่ 4-21 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศและลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่ตำแหน่ง F4

ตารางที่ 4-22 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma)
ระหว่างเพศกับระดับเซาว์นปัญญาด้านคณิตศาสตร์

ตัวแปร	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Frontal (μv^2)					
AF3					
เพศ	19.71	1	19.71	3.29	.07
ลักษณะเซาว์นปัญญา	15.54	1	15.54	2.62	.11
เพศ*ลักษณะเซาว์นปัญญา	12.31	1	12.31	2.07	.15
F7					
เพศ	1.68	1	1.68	.28	.59
ลักษณะเซาว์นปัญญา	9.47	1	9.47	1.57	.21
เพศ*ลักษณะเซาว์นปัญญา	3.27	1	3.27	.54	.46
F3					
เพศ	10.80	1	10.80	2.33	.13
ลักษณะเซาว์นปัญญา	.72	1	.72	.15	.69
เพศ*ลักษณะเซาว์นปัญญา	.00	1	.00	.00	.96
F4					
เพศ	.73	1	.73	.39	.53
ลักษณะเซาว์นปัญญา	9.49	1	9.49	5.07*	.02
เพศ*ลักษณะเซาว์นปัญญา	1.22	1	1.22	.65	.42
F8					
เพศ	2.75	1	2.75	.45	.50
ลักษณะเซาว์นปัญญา	3.82	1	3.82	.63	.43
เพศ*ลักษณะเซาว์นปัญญา	1.65	1	1.65	.27	.60
AF4					
เพศ	.28	1	.28	.10	.74
ลักษณะเซาว์นปัญญา	4.42	1	4.42	1.67	.20
เพศ*ลักษณะเซาว์นปัญญา	1.63	1	1.63	.61	.43

ตารางที่ 4-22 (ต่อ)

ตัวแปร	SS	df	MS	F	p
Parietal (μv^2)					
P7					
เพศ	.31	1	.31	.11	.73
ลักษณะเขาวนปัญญา	.38	1	.38	.13	.71
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	.51	1	.51	.19	.66
P8					
เพศ	1569.11	1	1569.11	2.38	.13
ลักษณะเขาวนปัญญา	600.53	1	600.53	.89	.34
เพศ*ลักษณะเขาวนปัญญา	149.49	1	149.49	.22	.63

* $p < .05$

จากตารางที่ 4-22 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันในทุกตำแหน่ง

จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า ที่ย่านความถี่อัลฟา (Alpha) และย่านความถี่โลเบต้า (Low_beta) เพศมีปฏิสัมพันธ์กับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ทุกตำแหน่ง ส่วนย่านความถี่ธิต้า (Theta) มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง AF3, F4, และ AF4 ส่วนย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง F4

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นการวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนวัดพลงช้างเผือก อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 มีอายุระหว่าง 10-12 ปี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย กิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics Intelligence Training; MIT) แบบวัดเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์และวัดคลื่นไฟฟ้าสมองหลังการทดลอง ด้วยเครื่อง Emotiv รุ่น EPOC วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต สอนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างเพศชายกับเพศหญิง และลักษณะเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วย Two-way ANOVA

สรุปผลการวิจัย

ผลการพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการออกแบบกิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะด้านคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา กิจกรรมที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะเป็นกิจกรรมที่ฝึกเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ โดยสร้างจากโปรแกรม Flash CS6 และอาศัยทฤษฎีพหุปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของ การ์ดเนอร์ Gardner, 1995) และ Armstrong (2018, p. 31) โดยอิงทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) จำนวน 1 ชุด คือ Mathematical Intelligence Training: MIT จำนวน 1 ชุด 14 ข้อ ระดับ ระดับที่ 1 จำนวน 5 ข้อ ระดับที่ 2 จำนวน 5 ข้อ และระดับที่ 3 จำนวน 4 ข้อ การฝึกกิจกรรมแต่ละระดับเป็นลักษณะของการสุ่มในแต่ละข้อ โดยกำหนดให้นักเรียนฝึกทั้งหมด 10 วันๆ ละ 2 ครั้ง รวมจำนวน 20 ครั้ง

ตอนที่ 2 ผลการทำกิจกรรมการพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา

1. ผลการเปรียบเทียบเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ก่อนและหลังการใช้กิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ในกลุ่มทดลองปรากฏว่าค่าคะแนนก่อนการทดลองกับค่าคะแนนหลังการทดลองแตกต่างกัน ส่วนในกลุ่มควบคุมค่าคะแนนก่อนการทดลองกับค่าคะแนนหลังการทดลองไม่แตกต่างกัน

2. ผลการเปรียบเทียบเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเยาวชนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ระยะหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม แตกต่างกัน

3. ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ด้วยคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลอง ระหว่างเพศชายกับหญิง ผลการเปรียบเทียบเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่แตกต่างกัน

4. ผลการเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงกับต่ำ ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ผลการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกัน

5 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคะแนนเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

จากการศึกษาเปรียบเทียบค่าคะแนนพฤติกรรมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ปรากฏว่า คะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองแตกต่างกัน ส่วนกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการทดลอง ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแตกต่างกัน และคะแนนก่อนและหลังการทดลองระหว่างชายกับหญิงของกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาสูงและลักษณะเขาวนปัญญาต่ำของกลุ่มทดลองแตกต่างกัน และความแตกต่างทางด้านเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

6 ผลการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศและลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏผลดังนี้

6.1 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธิต้า (Theta) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า เพศหญิงมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองสูงกว่าเพศชายที่ตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8, และ AF4 และที่ตำแหน่ง F3, F4, F8, AF4 และ P8 เพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน

6.2 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า เพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองในภาพรวมไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ตำแหน่ง AF3 และ F8 และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน

6.3 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่ง AF3 มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน

6.4 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันระหว่างเพศหญิงกับเพศชาย ที่ตำแหน่ง AF3

6.5 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า เพศชายมีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้า

สมองสูงกว่าเพศหญิงที่ตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, และ F8 ส่วนเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเพศชายที่ตำแหน่ง AF4

6.6 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธีต้า (Theta) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองสูงกว่ากลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง ที่ตำแหน่ง AF3, F7 และที่ตำแหน่ง F7 แตกต่างกัน

6.7 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกับกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงที่ตำแหน่ง AF3, F3, F4, F8, AF4 และ P8 แตกต่างกัน

6.8 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_beta) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างจากกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำทุกตำแหน่ง

6.9 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_beta) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกับกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำที่ตำแหน่ง F4

6.10 ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ของกลุ่มตัวอย่าง หลังทำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง มีค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างจากกลุ่มที่มีลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำอย่างมีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง F4

สรุปได้ว่า คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนกลุ่มทดลอง เพศชายและเพศหญิง โดยรวมไม่แตกต่างกัน แต่ในย่านความถี่ธีต้า (Theta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง F3, F4, F8 และ AF4 ส่วนย่านความถี่ อัลฟา (Alpha) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง AF3 และ F8 ในย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) แตกต่างกันทุกตำแหน่ง ในย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง AF3

7 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ ระหว่างเพศและลักษณะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

7.1 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธีต้า (Theta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเชาวน์ปัญญาด้าน คณิตศาสตร์ ปรากฏว่า มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง AF3, F4, AF4 และ P8

7.2 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ของกลุ่มทดลอง มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า มีปฏิสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8, และ AF4

7.3 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า มีปฏิสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง AF3, F7, F3, F4, F8, AF4 และ P8

7.4 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต่ำ (Hight_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า มีปฏิสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง F4

7.5 ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศกับลักษณะเขาวนปัญญา ด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์กันในทุกตำแหน่ง

จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่ผ่านการพัฒนาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า ที่ย่านความถี่อัลฟา (Alpha) และย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_beta) มีปฏิสัมพันธ์กันทุกตำแหน่ง ส่วนย่านความถี่ธิต้า (Theta) มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง AF3, F4, AF4 และ P8 ส่วนย่านความถี่ไฮเบต่ำ (Hight_Beta) มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง F4

อภิปรายผล

การศึกษาผลของการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

ด้านพฤติกรรม

จากผลการศึกษา ปรากฏว่า คะแนนจากแบบวัดเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองแตกต่างกัน ส่วนกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการทดลอง ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแตกต่างกัน และคะแนนก่อนและหลังการทดลองระหว่างชายกับหญิงของกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยระหว่างลักษณะเขาวนปัญญาสูงและลักษณะเขาวนปัญญาต่ำของกลุ่มทดลองแตกต่างกัน และความแตกต่างทางด้านเพศกับลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า นักเรียนกลุ่มทดลอง ได้รับการพัฒนาด้วยกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence Training: MIT) ที่พัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบโดยอิงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) โดยสร้างจากโปรแกรม Flash CS6 และอาศัยทฤษฎีปัญหาด้านคณิตศาสตร์ของ การ์ดเนอร์ Gardner, 1995) และ Armstrong (2018, p. 31) ทำให้นักเรียนกลุ่มทดลอง มีค่าคะแนนพฤติกรรมที่สูงขึ้นและแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ Mei-Ju, Pin-

Chen, and Chen-Hsin (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้และสุนทรียภาพของเด็กที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเสนอโดยสำนักการศึกษาในโรงเรียนอนุบาลในหลักสูตรการเรียนการสอนและหลักสูตรการศึกษาสาธารณะสิบสองปี โดยใช้การสอนด้วยทฤษฎีเชาวันปัญญาและการปฏิบัติที่เหมาะสมกับพัฒนาการเด็ก

Asadollahfam, Salimi, and Pashazadeh (2012) ได้ศึกษาทฤษฎีเชาวันปัญญาของ Howard Gardner ในปี พ. ศ. 2526 กำหนดแนวคิดเรื่องสติปัญญาในมุมมองของ Gardner แบบดั้งเดิมของปัญญา ผลการศึกษาปรากฏว่าพบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างทักษะด้านบุคคลและความรู้ด้านคำศัพท์ การวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าหญิงมีความรู้เรื่องคำศัพท์สูงกว่าเพศชาย ส่วน Kowal, Toth, Exton, and Campbell (2018) ที่พัฒนาเกมวิดีโอโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละบุคคลที่เล่นวิดีโอเกมโดยเฉพาะ ส่วน Langemann, Reisch, and Dierkes (2018) ศึกษารูปแบบของครอบครัวการสืบทอดสมบัติของโมเดลโมเดลระบุรูปแบบที่น้อยที่สุดและ Optimality ของแบบจำลองภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน

ด้านคลื่นไฟฟ้าสมอง

จากผลการศึกษาปรากฏว่า ในกลุ่มทดลองคลื่นไฟฟ้าสมองไม่แตกต่างกัน หลังการทดลองระหว่างเพศและลักษณะเชาวันปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า คลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนกลุ่มทดลอง เพศชายและเพศหญิง โดยรวมไม่แตกต่างกัน แต่ในย่านความถี่อีต้า (Theta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง F3, F4, F8 และ AF4 ส่วนย่านความถี่ อัลฟา (Alpha) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง AF3 และ F8 ในย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) แตกต่างกันทุกตำแหน่ง ในย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) แตกต่างกันที่ตำแหน่ง AF3 และจากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนชั้นประถม ศึกษา ปีที่ 5 ที่ผ่านการพัฒนาด้านคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า ที่ย่านความถี่อัลฟา (Alpha) และย่านความถี่โลเบต้า (Low_beta) มีปฏิสัมพันธ์กันทุกตำแหน่ง ส่วนย่านความถี่อีต้า (Theta) มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง AF3, F4, AF4 และ P8 ส่วนย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) มีปฏิสัมพันธ์กันที่ตำแหน่ง F4 ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มทดลองได้รับการพัฒนากิจกรรมด้านคณิตศาสตร์ มาแล้วเหมือนกัน คือจำนวน 20 ครั้งๆ ละ ประมาณ 20 นาที ทำให้นักเรียนมีศักยภาพของคลื่นไฟฟ้าสมองด้านคณิตศาสตร์ในระดับเดียวกัน ซึ่งการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv EEG Headset รุ่น EPOC วัด 14 ตำแหน่ง (Channels) ควบคุม 2 ทิศทาง อิเล็กโทรดที่วัด ได้แก่ ตำแหน่ง AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 ตามระบบมาตรฐานสากล 10-20 อิเล็กโทรด 2 ตำแหน่งที่เหนือหูของผู้ร่วมวิจัยทั้งสองข้างใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง (Refernces) ซึ่งสอดคล้องกับ Shearer and Karanian (2017) ได้ศึกษาเรื่อง ประสาทวิทยาของเชาวันปัญญา: หลักฐานเชิงประจักษ์สนับสนุนทฤษฎีพหุปัญญา (The neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences) เป็นการทบทวนสังเคราะห์งานวิจัยจำนวน 318 เรื่อง ที่เกี่ยวกับเชาวันปัญญาแต่ละด้าน ในที่นี้ขอนำเสนอเฉพาะด้านคณิตศาสตร์ ผลการศึกษาปรากฏว่า เชาวันปัญญาด้าน

คณิตศาสตร์ เกี่ยวข้องกับการให้เหตุผลเชิงคณิตศาสตร์ การให้เหตุผลเชิงตรรกะ มีการทำงานของสมองส่วน Frontal Cortex ในส่วน PFC Inferior Frontal Gyrus, Parietal ในส่วน Intraparietal Sulcus, Inferior Parietal Lobule, Angular Gyrus และในส่วน Temporal Cortex บริเวณ Medial Temporal Lobe ส่วนงานของ Khushaba et al. (2012) พบคลื่น theta จากปริมาณที่น้อยและมากขึ้นเมื่อทำกิจกรรมจากสมองส่วนหน้า (Frontal) ส่วนบน (Parietal) และส่วนท้ายทอย (Occipital) โดยพบคลื่นแอลฟา (Alpha) บริเวณสมองส่วนหน้า และส่วนบน นอกจากนั้นยังพบคลื่นเบต้า (Beta) ที่สมองส่วนท้ายทอยและส่วนข้าง (Temporal) และงานของ Kristoffersen, Obel, and Smith (2015) ได้ศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างทางเพศในปัญหาพฤติกรรมและผลลัพธ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ พบว่าโดยเฉลี่ยมีคะแนนในการอ่านและการทดสอบทางคณิตศาสตร์มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่สามารถนำมาใช้กับเพศและความแตกต่างในบุคคลที่มีคะแนนต่ำที่มีปัญหาทางพฤติกรรม

การทดสอบระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง คลื่นไฟฟ้าสมองไม่แตกต่างกัน ทั้งในด้านเพศ และลักษณะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ในกลุ่มทดลองนั้นนักเรียนได้รับการพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 20 ครั้ง และกลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มที่จัดการเรียนการสอนแบบปกติ หลังจากนั้นนำนักเรียนทั้งสองกลุ่มมาวัดคลื่นไฟฟ้าสมองปรากฏว่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกลุ่มทดลองนั้นได้รับการพัฒนาโดยกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นแต่กลุ่มควบคุมอาจจะได้รับการพัฒนาโดยวิธีอื่น ๆ จากการสอนปกติของครูในชั้นเรียนปกติ และการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ด้วยเครื่อง Emotiv EEG Headset รุ่น EPOC อีเลคโทรด 14 ตำแหน่ง มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก ในเรื่องของความเที่ยงตรงในการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น ห้องที่ใช้วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ความตั้งใจในการทำแบบทดสอบของนักเรียนในขณะที่วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง เสียงรบกวน และอื่นๆ ทำให้ได้ที่ได้ไม่ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับงานของ Rogers, Johnstone, Aminov, Donnelly, and Wilson (2016) ที่ได้ศึกษาระบบบันทึกข้อมูล Electroencephalogram (EEG) แบบดั้งเดิมที่ใช้ห้องปฏิบัติการ ข้อบกพร่องของวิธีนี้และความสะดวกในการใช้งานและการพกพาของเทคโนโลยี EEG แบบไร้สายที่เกิดขึ้นใหม่ เทียบได้กับ EE ที่บันทึกจากห้องปฏิบัติการ โดยใช้การทดสอบความน่าเชื่อถือ (RP) ของแถบความถี่ delta, theta, alpha และ beta มาจาก EEG งานเหล่านี้จะน่าเชื่อถือมากขึ้นโดยกระบวนการทำซ้ำ ๆ อีกประการหนึ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนคือความวิตกกังวลเกี่ยวเครื่องมือที่ใช้วัด ทำให้นักเรียนเกิดอาการเครียดกลัวเกิดอันตราย หรืออื่นๆ สอดคล้องกับงานของ Klados, Pandria, Micheloyannis, Margulies, and Bamidis (2017) ได้ศึกษาและสำรวจความแตกต่างในโครงสร้างเครือข่ายของสมอง ความวิตกกังวลด้านคณิตศาสตร์ต่ำ (LMA) (HMA) ในช่วงก่อนการคำนวณการทดลอง โดยการบันทึก EEG และการคำนวณแต่ละเครือข่ายแยกออกจากกัน โดยใช้เมตริกการเชื่อมโยงกันเป็นตารางสเกล พบว่าความแตกต่างในการแบ่งแยกและการรวมกลุ่มใน EEG

ของ HMA เมื่อเทียบกับ LMA บ่งบอกถึงอิทธิพลของความวิตกกังวลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นก่อนการคำนวณ และ Hibar (2017) ได้ศึกษาให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์กับประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ในเด็กเล็ก พบว่าความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์เป็นอิสระจากการมีส่วนร่วมในการทำงานทางคณิตศาสตร์ ทักษะด้านจำนวนทั่วไปและความวิตกกังวลในการทดสอบ อย่างไรก็ตามความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์ไม่ส่งผลกระทบต่อเด็กทุกคนและประสิทธิภาพทางคณิตศาสตร์ทุกประเภท ความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์ มีผลกระทบที่เด่นชัดมากขึ้นเกี่ยวกับปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ต้องใช้การประมวลผลเมื่อเทียบกับเลขคณิตง่าย ๆ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. บุคลากรทางการศึกษา และนักวิชาการ สามารถนำกิจกรรมการพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการกระตุ้นความสนใจในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนได้

2. โรงเรียน หรือสถาบันการศึกษา สามารถนำข้อมูลผลการวิจัย ไปประกอบการสอน การวิจัย และการบริการวิชาการ อบรม สัมมนาประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการรับรู้ เชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์หรือเชาวน์ปัญญาด้านอื่น ๆ เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่มีลักษณะเป็นกิจกรรมพัฒนาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น Mathematical Intelligence Training: MIT ที่พัฒนาขึ้น

3. การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่อง Emotiv รุ่น Epoc ซึ่งเป็นเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพา ทำให้มีข้อจำกัดค่อนข้างมากในการรายงานผลวิจัย การนำไปใช้ควรศึกษาอย่างละเอียด
ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียน ช่วงอายุระหว่าง 10-12 ปี และได้รับการพัฒนาโดยใช้กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ จึงควรที่จะมีการศึกษากับกลุ่มตัวอย่างในช่วงวัยอื่น หรือมีเชาวน์ปัญญาในด้านอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบเชาวน์ปัญญาของบุคคลในกลุ่มที่ต่างไป

2. การวิจัยครั้งนี้ ใช้กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ คือ Mathematical Intelligence Training: MIT ที่พัฒนาขึ้นมา และวัดด้วยแบบวัดเพื่อศึกษาด้านพฤติกรรมของนักเรียน ควรที่จะมีการนำสิ่งเร้าในลักษณะที่แตกต่างกันเช่น เกม กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ หรือการนำกิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านอื่น ๆ ผสมกัน เป็นต้น มาใช้เพื่อเปรียบเทียบเชาวน์ปัญญาจากการถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่แตกต่าง

3. การวิจัยนี้ในส่วนของการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองคือ Emotiv รุ่น Epoc สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเป็นเครื่องวัดแบบพกพา ทำให้มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก ผู้วิจัยควรคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อความสมบูรณ์ถูกต้องของงานวิจัยครั้งต่อไป

บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สำนักทดสอบทางการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวง ศึกษาธิการ . (2557). *ผลการประเมินคุณภาพผู้เรียน*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวง ศึกษาธิการ .(2559). *แบบฝึกเทคนิคการคิดคำนวณโดยใช้สมบัติและความคิดรวบยอดทางคณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สสวท. (2559). *สรุปผลการวิจัยโครงการ TIMSS 2015, สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. พิมพ์เผยแพร่, 33 หน้า.
- Abdi, A., & Rostami, M. (2012). The Effect Multiple Intelligences-Based Instruction on Student's Creative Thinkingability at 5th Grade in Primary School. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 105-108. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.621
- Adleman, N. E., Menon, V., Blasey, C. M., White, C. D., Warsofsky, I. S., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2002). A developmental fMRI study of the Stroop color-word task. *Neuroimage*, 16(1), 61-75.
- Al-Hudhud, G., Abdulaziz Alzamel, M., Alattas, E., & Alwabil, A. (2014). Using brain signals patterns for biometric identity verification systems. *Computers in Human Behavior*, 31, 224-229. doi: 10.1016/j.chb.2013.09.018
- Amiryousefi, M., & Dastjerdi, H. V. (2011). The Relation Between MI and Motivation and Students' Likes and Dislikes of Course Books: A Comparison Between Interchange and Top Notch Elementary Books. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 30, 1709-1713. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.10.330
- Amorim, T., Tapparo, L., Marranghello, N., Silva, A. C. R., & Pereira, A. S. (2014). A Multiple Intelligences Theory-based 3D Virtual Lab Environment for Digital Systems Teaching. *Procedia Computer Science*, 29, 1413-1422. doi: 10.1016/j.procs.2014.05.128
- Ansari, D. (2010). Neurocognitive approaches to developmental disorders of numerical and mathematical cognition: The perils of neglecting the role of development. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 123-129.
- Aris, Rutherford. (1994). *Mathematical Modelling Techniques.*, New York: Dover. ISBN 0-486-68131-9
- Armstrong, T. (2018). *Multiple Intelligences in the Classroom* (3rd ed.). Alexandria, Virginia: USA.

- Arnold, J., & Fonseca, M. C. (2009). Multiple intelligence theory and foreign language learning: A brain-based perspective. *International Journal of English Studies*, 4(1), 119-136.
- Asadollahfam, H., Salimi, A., & Pashazadeh, F. M. (2012). Emotional Intelligence, Gender and Vocabulary. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46, 833-837. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.05.208
- Aunola, K., Nurmi, J. E., Niemi, P., Lerkkanen, M. K., & Rasku-Puttonen, H. (2002). Developmental dynamics of achievement strategies, reading performance, and parental beliefs. *Reading Research Quarterly*, 37(3), 310-327.
- Bae, S., Kim, H., Lee, Y., Xu, X., Park, J.-S., Zheng, Y., Song, Y. I. (2010). Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes. *Nature Nanotechnology*, 5(8), 574.
- Baker, D. P., & Jones, D. P. (1993). Creating gender equality: Cross-national gender stratification and mathematical performance. *Sociology of Education*, 91-103.
- Baker, D. P., Riordan, C., & Schaub, M. (1995). The effects of sex-grouped schooling on achievement: The role of national context. *Comparative Education Review*, 39(4), 468-482.
- Bauer, P. J. (2008). Toward a neuro-developmental account of the development of declarative memory. *Developmental Psychobiology*, 50(1), 19-31.
- Bender, E. A. (2000). *An Introduction to Mathematical Modeling.*, New York: Dover. ISBN 0-486-41180-X
- Berteletti, I., Lucangeli, D., Piazza, M., Dehaene, S., & Zorzi, M. (2010). Numerical estimation in preschoolers. *Developmental psychology*, 46(2), 545.
- Billings S.A. (2013), *Nonlinear System Identification: NARMAX Methods in the Time, Frequency, and Spatio-Temporal Domains*, Wiley.
- Billingsley, R. L., Smith, M. L., & McAndrews, M. P. (2002). Developmental patterns in priming and familiarity in explicit recollection. *J Exp Child Psychol*, 82(3), 251-277.
- Biswal, B. B., Mennes, M., Zuo, X.-N., Gohel, S., Kelly, C., Smith, S. M., . . . Colcombe, S. (2010). Toward discovery science of human brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10), 4734-4739.
- Blinowska, K. J., Rakowski, F., Kaminski, M., De Vico Fallani, F., Del Percio, C., Lizio, R., & Babiloni, C. (2017). Functional and effective brain connectivity for discrimination between Alzheimer's patients and healthy individuals: A study on resting state EEG rhythms. *Clin Neurophysiol*, 128(4), 667-680. doi: 10.1016/j.clinph.2016.10.002

- Bordei, S. (2014). Aspects of the application of Theory of Multiple Intelligences in Romanian school with students between 10 and 14 years old. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 128, 269-274.
- Bonne, L., & Johnston, M. (2016). Students' beliefs about themselves as mathematics learners. *Thinking Skills and Creativity*, 20, 17-28.
- Bonny, J. W., & Lourenco, S. F. (2013). The approximate number system and its relation to early math achievement: Evidence from the preschool years. *J Exp Child Psychol*, 114(3), 375-388.
- Boring, A. (2017). Gender biases in student evaluations of teaching. *Journal of Public Economics*, 145, 27-41. doi: 10.1016/j.jpubeco.2016.11.006
- Bouwmeester, S., & Verkoeijen, P. P. (2012). Multiple Representations in Number Line Estimation: A Developmental Shift or Classes of Representations? *Cognition and Instruction*, 30(3), 246-260.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228.
- Bullmore, E., Barnes, A., Bassett, D. S., Fornito, A., Kitzbichler, M., Meunier, D., & Suckling, J. (2009). Generic aspects of complexity in brain imaging data and other biological systems. *Neuroimage*, 47(3), 1125-1134.
- Bunge, S. A., & Wright, S. B. (2007). Neurodevelopmental changes in working memory and cognitive control. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 243-250.
- Cacioppo, J. T., Amaral, D. G., Blanchard, J. J., Cameron, J. L., Carter, C. S., Crews, D., . . . Kozak, M. J. (2007). Social neuroscience: Progress and implications for mental health. *Perspectives on Psychological Science*, 2(2), 99-123.
- Cai, D., Viljaranta, J., & Georgiou, G. K. (2018). Direct and indirect effects of self-concept of ability on math skills. *Learning and Individual Differences*, 61, 51-58.
- Caviola, S., Gerotto, G., & Mammarella, I. C. (2016). Computer-based training for improving mental calculation in third- and fifth-graders. *Acta Psychol (Amst)*, 171, 118-127. doi: 10.1016/j.actpsy.2016.10.005
- Charles, M., & Bradley, K. (2009). Indulging our gendered selves? Sex segregation by field of study in 44 countries. *American journal of sociology*, 114(4), 924-976.
- Chen, H.-Y., Chen, M.-F., Lee, Y.-S., Chen, H.-P., & Keith, T. Z. (2013). Gender reality regarding mathematic outcomes of students aged 9 to 15years in Taiwan. *Learning and Individual Differences*, 26, 55-63. doi: 10.1016/j.lindif.2013.04.009

- Cho, S., Ryali, S., Geary, D. C., & Menon, V. (2011). How does a child solve 7+ 8? Decoding brain activity patterns associated with counting and retrieval strategies. *Developmental Science*, *14*(5), 989-1001.
- Christison, M. A. (2006). Multiple intelligences and language learning: A guidebook of theory, activities, inventories, and resources. *TESL-EJ*, *10*(1).
- Clark, M. (2007). Applying Multiple Intelligences to Clinical Simulation. *Clinical Simulation in Nursing*, *3*(1), e37-e39. doi: 10.1016/j.ecns.2009.05.038
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, *112*(1), 155-159.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed.). London: Routledge.
- Compumedics, N. (2003). Offline analysis of acquire data (SCAN 4.3-Vol. II, EDIT 4.3)[Software Manual]. *El Paso, TX. Computational Biology*, *4*(10), e1000196.
- correlates of serial abacus mental calculation in children: A functional MRI
- Cotton, C., McIntyre, F., & Price, J. (2013). Gender differences in repeated competition: Evidence from school math contests. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *86*, 52-66. doi: 10.1016/j.jebo.2012.12.029
- Davachi, L. (2006). Item, context and relational episodic encoding in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*(6), 693-700.
- de Hevia, M. D., Vallar, G., & Girelli, L. (2008). Visualizing numbers in the mind's eye: The role of visuo-spatial processes in numerical abilities. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *32*(8), 1361-1372.
- De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, *2*(2), 48-55.
- De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *J Exp Child Psychol*, *103*(4), 469-479.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, *20*(3-6), 487-506.
- Delgoshaei, Y., & Delavari, N. (2012). Applying multiple-intelligence approach to education and analyzing its impact on cognitive development of pre-school children. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *32*, 361-366. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.01.054
- Diekelmann, S., Wilhelm, I., & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*, *13*(5), 309-321.

- Dowker, A. (2008). Individual differences in numerical abilities in preschoolers. *Developmental Science, 11*(5), 650-654.
- Dubois, G., Taylor & Francis, (2018). Modeling and Simulation, CRC Press
- Duvinage M, Castermans T, Jimenez-Fabian R, Hoellinger T, De Saedeleer C, Dutoit T, Petieau M, (2012). A five-state P300-based foot lifter orthosis: Proof of concept. In *Proceedings of the Biosignals and Biorobotics Conference (BRC), 2012 ISSNIP*. Manaus, Brazil: IEEE society;1-6.
- Eccles, J. S., & Jacobs, J. E. (1986). Social forces shape math attitudes and performance. *Signs: Journal of Women in Culture and Society, 11*(2), 367-380.
- Eccles, J. S., Jacobs, J. E., & Harold, R. D. (1990). Gender role stereotypes, expectancy effects, and parents' socialization of gender differences. *Journal of Social Issues, 46*(2), 183-201.
- Edmonds, W., & Kennedy, T. (2017). An applied guide to research designs: Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Efthymiou, E., Renzel, R., Baumann, C. R., Poryazova, R., & Imbach, L. L. (2017). Predictive value of EEG in postanoxic encephalopathy: A quantitative model-based approach. *Resuscitation, 119*, 27-32. doi: 10.1016/j.resuscitation.2017.07.020
- Else-Quest, N. M., Hyde, J. S., & Linn, M. C. (2010). Cross-national patterns of gender differences in mathematics: a meta-analysis. *Psychological Bulletin, 136*(1), 103.
- Estrada, E. (2012). *The structure of complex networks: theory and applications*. Oxford University Press. Oxford: UK.
- Fehr, T., Code, C., & Herrmann, M. (2008). Auditory task presentation reveals
- Fias, W., Menon, V., & Szucs, D. (2013). Multiple components of developmental dyscalculia. *Trends in Neuroscience and Education, 2*(2), 43-47.
- Fitzmaurice, C., Allen, C., Barber, R. M., Barregard, L., Bhutta, Z. A., Brenner, H., Dandona, L. (2017). Global, regional, and national cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and disability-adjusted life-years for 32 cancer groups, 1990 to 2015: A systematic analysis for the global burden of disease study. *JAMA oncology, 3*(4), 524-548.
- Fox, M. D., & Raichle, M. E. (2007). Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature Reviews Neuroscience, 8*(9), 700-711.

- Franceschini, G., Galli, S., Chiesi, F., & Primi, C. (2014). Implicit gender–math stereotype and women's susceptibility to stereotype threat and stereotype lift. *Learning and Individual Differences, 32*, 273-277. doi: 10.1016/j.lindif.2014.03.020
- Frederick, J. A., Heim, A. S., Dunn, K. N., Powers, C. D., & Klein, C. J. (2016). Generalization of skills between operant control and discrimination of EEG alpha. *Conscious Cogn, 45*, 226-234. doi: 10.1016/j.concog.2016.09.009
- Freeman, J. B., Ambady, N., & Holcomb, P. J. (2010). The face-sensitive N170 encodes social category information. *Neuroreport, 21*(1), 24.
- Frigg, R. and Hartmann, S. (2006). Models in Science, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, (Spring 2006 Edition).
- Fuchs, M., Kastner, J., Wagner, M., Hawes, S., & Ebersole, J. S. (2002). A standardized boundary element method volume conductor model. *Clinical Neurophysiology, 113*(5), 702-712.
- Gallistel (1990). *The Organization of Learning*. Cambridge: The MIT Press. ISBN 0-262- 07113-4.
- Gardner, H. (1995). " Multiple Intelligences" as a Catalyst. *The English Journal, 84*(8), 16-18.
- Gardner, H. (2011). *Frame of mind: The theory of multiple intelligences* (3rd ed.). New York: BasicBooks.
- Gauba, H., Kumar, P., Roy, P. P., Singh, P., Dogra, D. P., & Raman, B. (2017). Prediction of advertisement preference by fusing EEG response and sentiment analysis. *Neural Netw, 92*, 77-88. doi: 10.1016/j.neunet.2017.01.013
- Gauba, H., Kumar, P., Roy, P. P., Singh, P., Dogra, D. P., & Raman, B. (2017). Prediction of advertisement preference by fusing EEG response and sentiment analysis. *Neural Netw, 92*, 77-88. doi: 10.1016/j.neunet.2017.01.013
- Geary, D. C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: a 5-year longitudinal study. *Developmental psychology, 47*(6), 1539.
- Geary, D. C., & Hoard, M. K. (2002). Learning disabilities in basic mathematics. *Mathematical Cognition, 93*-115.
- Geary, D. C., Byrd-Craven, J., Hoard, M. K., Vigil, J., & Numtee, C. (2003). Evolution and development of boys' social behavior. *Developmental Review, 23*(4), 444-470.
- Gebuis, T., Kadosh, R. C., de Haan, E., & Henik, A. (2009). Automatic quantity processing in 5-year olds and adults. *Cognitive Processing, 10*(2), 133-142.

- Gershensfeld, N. (1998). *The Nature of Mathematical Modeling*, Cambridge University Press ISBN 0-521-57095-6
- Gignac, G. E., Bates, T. C., (2017). Brain volume and intelligence: The moderating role of intelligence measurement quality. *Intelligence*, 64, 18-29
- Ghetti, S., DeMaster, D. M., Yonelinas, A. P., & Bunge, S. A. (2010). Developmental differences in medial temporal lobe function during memory encoding. *Journal of Neuroscience*, 30(28), 9548-9556.
- Gollan, J. K., Hoxha, D., Chihade, D., Pflieger, M. E., Rosebrock, L., & Cacioppo, J. (2014). Frontal alpha EEG asymmetry before and after behavioral activation treatment for depression. *Biol Psychol*, 99, 198-208. doi: 10.1016/j.biopsycho.2014.03.003
- Gong, X., Ding, Y., & Tsang, M.C. (2014). Gender differences of academic performance in compulsory education in rural Southwestern China. *International Journal of Educational Development* .39, 203-214.
- Griffiths, E. C. Giannuzzi, GM, Lauria, D, Pisani, C, Sattinger, W. & Villacci, D. A., (2010) Dynamic equivalencing preliminary study on ENTSO-E CESA power system; 2015 AEIT
- Guiso, L., Monte, F., Sapienza, P., & Zingales, L. (2008). Culture, gender, and math. *Scienc Newyork then Washington*, 320(5880), 1164.
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44(5), 1457.
- Hannula, M. M., & Lehtinen, E. (2005). Spontaneous focusing on numerosity and mathematical skills of young children. *Learning and Instruction*, 15(3), 237-256.
- Hanson, R. S., & Hanson, T. E. (1996). Methanotrophic bacteria. *Microbiological Reviews*, 60(2), 439-471.
- Hibar, D. P., Adams, H. H., Jahanshad, N., Chauhan, G., Stein, J. L., Hofer, E., Ikram, M. K. (2017). Novel genetic loci associated with hippocampal volume. *Nature Communications*, 8, 13624.
- Hinault, T., & Lemaire, P. (2016). What does EEG tell us about arithmetic strategies? A review. *Int J Psychophysiol*, 106, 115-126. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2016.05.006
- Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *J Exp Child Psychol*, 103(1), 17-29.

- Honey, C. J., Thivierge, J.-P., & Sporns, O. (2010). Can structure predict function in the human brain? *Neuroimage*, *52*(3), 766-776
- Howard, G. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basics.
- Hu, B., Dong, Q., Hao, Y., Zhao, Q., Shen, J., & Zheng, F. (2017). Effective brain network analysis with resting-state EEG data: a comparison between heroin abstinent and non-addicted subjects. *J Neural Eng*, *14*(4), 046002. Doi: 10.1088/1741-2552/aa6c6f
- Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(6), 1222-1229.
- luculano, T., Tang, J., Hall, C. W., & Butterworth, B. (2008). Core information processing deficits in developmental dyscalculia and low numeracy. *Developmental Science*, *11*(5), 669-680.
- Kail, R. V., & Ferrer, E. (2007). Processing speed in childhood and adolescence: Longitudinal models for examining developmental change. *Child Development*, *78*(6), 1760-1770.
- karamikabir, N. (2012). Gardner's Multiple Intelligence and Mathematics Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *31*, 778-781. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.12.140
- Karmiloff-Smith, A. (2010). Neuroimaging of the developing brain: Taking "developing" seriously. *Human Brain Mapping*, *31*(6), 934-941.
- Kellar, S. P., & Kelvin, E. A. (2013). *Munro's statistical methods for health care research* (7th ed.). New York: Lippincott Williams & Wilkins.
- Khushaba, R. N., Greenacre, L., Kodagoga, S., Louviere, J., Burke, S., & Dissanayake, G. (2012). Choice modeling and the brain: A study on the electroencephalogram (EEG) of preferences. *Expert Systems with Applications*, *39*(1), 12378-12388.
- Kim, D. H., & Law, H. (2012). Gender gap in maths test scores in South Korea and Hong Kong: Role of family background and single-sex schooling. *International Journal of Educational Development*, *32*(1), 92-103.
- Klados, M. A., Pandria, N., Micheloyannis, S., Margulies, D., & Bamidis, P. D. (2017). Math anxiety: Brain cortical network changes in anticipation of doing mathematics. *Int J Psychophysiol*. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2017.05.003

- Korotayev A., Malkov A., Khaltourina D. (2006). Introduction to Social Macrodynamics: Compact Macromodels of the World System Growth. Moscow: Editorial URSS ISBN 5-484-00414-4
- Kowal, M., Toth, A. J., Exton, C., & Campbell, M. J. (2018). Different cognitive abilities displayed by action video gamers and non-gamers. *Computers in Human Behavior, 88*, 255-262. doi: 10.1016/j.chb.2018.07.010
- Kristoffersen, J. H. G., Obel, C., & Smith, N. (2015). Gender differences in behavioral problems and school outcomes. *Journal of Economic Behavior & Organization, 115*, 75-93. doi: 10.1016/j.jebo.2014.10.006
- Kumar, P., Saini, R., Pratim Roy, P., & Prosad Dogra, D. (2017). A bio-signal based framework to secure mobile devices. *Journal of Network and Computer Applications, 89*, 62-71. doi: 10.1016/j.jnca.2017.02.011
- Kumari, P., & Vaish, A. (2015). Brainwave based user identification system: A pilot study in robotics environment. *Robotics and Autonomous Systems, 65*, 15-23. doi: 10.1016/j.robot.2014.11.015
- Kwon, H., Reiss, A. L., & Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 99*(20), 13336-13341.
- Landerl, K., & Kölle, C. (2009). Typical and atypical development of basic numerical skills in elementary school. *J Exp Child Psychol, 103*(4), 546-565.
- Langemann, D., Reisch, C., & Dierkes, J. (2018). A mathematical model of modelling – epistemology and natural sciences. *Computational Mathematics*, Technische Universität Braunschweig, Germany
- Lanza, S. T., & Cooper, B. R. (2016). Latent class analysis for developmental research. *Child Development Perspectives, 10*(1), 59-64.
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition, 105*(2), 395-438.
- Lee, C. M., Li, H., & Zhang, J. (2009). Gender earnings differentials in Hong Kong. *Mainstreaming gender in Hong Kong Society, 81-106*.
- Lee, J.-S., Leem, S.-H., Lee, S.-Y., Kim, S.-C., Park, E.-S., Kim, S.-B., Chu, I.-S. (2010). Expression signature of E2F1 and its associated genes predict superficial to invasive progression of bladder tumors. *Journal of Clinical Oncology, 28*(16), 2660-2667.

- Levine, S. C., Vasilyeva, M., Lourenco, S. F., Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2005). Socioeconomic status modifies the sex difference in spatial skill. *Psychological Science, 16*(11), 841-845.
- Li, Q. (1999). Teachers' beliefs and gender differences in mathematics: A review. *Educational Research, 41*(1), 63-76.
- Lin, C. C. & Segel, L. A. (1988). Mathematics Applied to Deterministic Problems in the Natural Sciences, *Philadelphia: SIAM*. ISBN 0-89871-229-7
- Lipnevich, A. A., Preckel, F., & Krumm, S. (2016). Mathematics attitudes and their unique contribution to achievement: Going over and above cognitive ability and personality. *Learning and Individual Differences, 47*, 70-79. doi: 10.1016/j.lindif.2015.12.027.
- Liu, X., Wang, G., Gao, J., & Gao, Q. (2017). A Quantitative Analysis for EEG Signals Based on Modified Permutation-Entropy. *Irbm, 38*(2), 71-77. doi: 10.1016/j.irbm.2017.02.001
- Luck, S. J., & Kappenman, E. S. (2011). *The Oxford handbook of event-related potential components*: Oxford university press. Oxford: UK.
- Macnamara, J. (2016). Multiple intelligences and minds as attributes to reconfigure PRA critical analysis. *Public Relations Review, 42*(2), 249-257. doi: 10.1016/j.pubrev.2015.03.002
- Mael, F. A. (1998). Single-sex and coeducational schooling: Relationships to socioemotional and academic development. *Review of Educational Research, 68*(2), 101-129.
- Magnusson, D. (2003). The person approach: Concepts, measurement models, and research strategy. *New Directions For Child and Adolescent Development, 2003*(101), 3-23.
- Majkowski, A., Oskwarek, Ł., Kołodziej, M., & Rak, R. J. (2016). An attempt to localize brain electrical activity sources using EEG with limited number of electrodes. *Biocybernetics and Biomedical Engineering, 36*(4), 686-696. doi: 10.1016/j.bbe.2016.07.002
- Matthews, G., Reinerman-Jones, L., Abich IV, J., & Kustubayeva, A. (2017). Metrics for individual differences in EEG response to cognitive workload: Optimizing performance prediction. *Personality and Individual Differences, 118*, 22-28.
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (2014). *Research in education: Evidence-based inquiry.*: Pearson Higher Ed.

- Mei-Ju, C., Pin-Chen, H., & Chen-Hsin, Y. (2014). Same Theory, Different Day: Inquiry into Preschool Children's Multiple Intelligence and Aesthetics Ability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *143*, 534-541. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.07.432
- Meza-Kubo, V., Moran, A. L., Carrillo, I., Galindo, G., & Garcia-Canseco, E. (2016). Assessing the user experience of older adults using a neural network trained to recognize emotions from brain signals. *J Biomed Inform*, *62*, 202-209. doi: 10.1016/j.jbi.2016.07.004
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (2014). *Research in education: Evidence-based inquiry* (7th, Pearson new international ed.). Harlow: Pearson Education.
- Mijakov, M., Kakaei, E., Pereira, J. B., Westman, E., Volpe, G., & Alzheimer's disease Neuroimaging, I. (2017). BRAPH: A graph theory software for the analysis of brain connectivity. *PLoS One*, *12*(8), e0178798. doi: 10.1371/journal.pone.0178798
- Moran, S. (2011). *Multiple Intelligences*. 161-165. doi: 10.1016/b978-0-12-375038-9.00156-4
- Müller, A., Peters, F., Pope, M. T., & Gatteschi, D. (1998). Polyoxometalates: very large clusters nanoscale magnets. *Chemical reviews*, *98*(1), 239-272.
- Mulvey, K. L., Miller, B., & Rizzardi, V. (2017). Gender and engineering aptitude: Is the color of science, technology, engineering, and math materials related to children's performance? *J Exp Child Psychol*, *160*, 119-126. doi: 10.1016/j.jecp.2017.03.006
- Murphy, M. M., & Mazzocco, M. M. (2008). Mathematics learning disabilities in girls with fragile X or Turner syndrome during late elementary school. *Journal of Learning Disabilities*, *41*(1), 29-46.
- Mussolin, C., Mejias, S., & Noël, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition*, *115*(1), 10-25.
- Mussolin, C., Nys, J., & Leybaert, J. (2012). Relationships between approximate number system acuity and early symbolic number abilities. *Trends in Neuroscience and Education*, *1*(1), 21-31.
- Nurmi, J.-E., & Aunola, K. (2005). Task-motivation during the first school years: A person-oriented approach to longitudinal data. *Learning and Instruction*, *15*(2), 103-122.

- Oakes, J. (1990). Chapter 3: Opportunities, achievement, and choice: women and minority students in science and mathematics. *Review of Research in Education*, 16(1), 153-222.
- OECD. (2007). *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World: Volume 1: Analysis*. Paris: OECD.
- OECD. (2016). *Pisa 2015 results in focus*. Paris: OECD.
- Ofrim-Stăncună, L.-A. (2014). "A Multiple Intelligences Approach 2: Project-based Assessment". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 128, 504-508. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.196
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *J Exp Child Psychol*, 88(4), 348-367.
- Peierls, R. (1980). "Model-making in physics". *Contemporary Physics*. 21: 3–17. Bibcode:1980 ConPh..21....3P. doi:10.1080/00107518008210938
- Penner, A. M., & Paret, M. (2008). Gender differences in mathematics achievement: Exploring the early grades and the extremes. *Social Science Research*, 37(1), 239-253.
- Petit, G., Kornreich, C., Maurage, P., Noël, X., Letesson, C., Verbanck, P., & Campanella, S. (2012). Early attentional modulation by alcohol-related cues in young binge drinkers: an event-related potentials study. *Clinical Neurophysiology*, 123(5), 925-936.
- Petruta, G.-P. (2013). Multiple Intelligences Stimulated within the Lessons by the Practicant Students from the Faculty of Sciences. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 76, 676-680. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.04.185
- Piaw.,C,Y. Donb.,Z,M., (2014). Predictors of multiple intelligence abilities for Malaysian school leaders. *Social and Behavioral Sciences*, 116, 5164 – 5168
- Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12), 542-551.
- Pol, H. H., & Bullmore, E. (2013). Neural networks in psychiatry. *European Neuropsychopharmacology*, 23(1), 1-6.
- Post, D. (2003). Hong Kong Higher Education, 1981–2001: public policy and re-emergent social stratification. *Oxford Review of Education*, 29(4), 545-570.
- Pyke, G. H. (1984). "Optimal Foraging Theory: A Critical Review". *Annual Review of Ecology and Systematics*. 15.: 523–575.

- Reynolds, C. R., (2014). *RAIT Reynolds Adaptationable Intelligence Test*.
- Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review*, 515-521.
- Rile, L. G., Opulencia, M. J. C., Decenorio, N. M., & Tan, N. L. (2015). Multiple Intelligences of Students with Learning Disabilities: Its Implication for Business Curriculum Development in United Arab Emirates. *Procedia Economics and Finance*, 23, 894-898. doi: 10.1016/s2212-5671(15)00517-1
- Rogers, J. M., Johnstone, S. J., Aminov, A., Donnelly, J., & Wilson, P. H. (2016). Test-retest reliability of a single-channel, wireless EEG system. *Int J Psychophysiol*, 106, 87-96. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2016.06.006
- Roper, J. (2016). Futures intelligence: Applying Gardner to public relations. *Public Relations Review*, 42(2), 258-263. doi: 10.1016/j.pubrev.2015.04.005
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395.
- Sasanguie, D., De Smedt, B., Defever, E., & Reynvoet, B. (2012). Association between basic numerical abilities and mathematics achievement. *British Journal of Developmental Psychology*, 30(2), 344-357.
- Schutte, G. M., Duhon, G. J., Solomon, B. G., Poncy, B. C., Moore, K., & Story, B. (2015). A comparative analysis of massed vs. distributed practice on basic math fact fluency growth rates. *J Sch Psychol*, 53(2), 149-159.
- Sheahan, L., While, A., & Bloomfield, J. (2015). An exploratory trial exploring the use of a multiple intelligences teaching approach (MITA) for teaching clinical skills to first year undergraduate nursing students. *Nurse Educ Today*, 35(12), 1148-1154. doi: 10.1016/j.nedt.2015.05.002
- Shearer, C. B., & Karanian, J. M. (2017). The neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences?. *Trends in Neuroscience and Education*, 6(1), 211-223.
- Siems, M., Pape, A.-A., Hipp, J. F., & Siegel, M. (2016). Measuring the cortical correlation structure of spontaneous oscillatory activity with EEG and MEG. *Neuroimage*, 129, 345-355.
- Sirin, S. R. (2005). Socioeconomic status and academic achievement: A meta-analytic review of research. *Review of educational research*, 75(3), 417-453.
- Skrandies, W., Klein, A., (2015). Brain activity and learning of mathematical rules Effects on the frequencies of EEG; *Brain Research*, 1603, 133-140)

- Skok, S., Ivankovic, I., & Zbunjak, Z. (2018). Two layer hydropower plant dynamic mathematical modelling using synchronized measurements. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *103*, 302-309. doi: 10.1016/j.ijepes.2018.05.008
- Skudlarski, P., Jagannathan, K., Calhoun, V. D., Hampson, M., Skudlarska, B. A., & Pearlson, G. (2008). Measuring brain connectivity: diffusion tensor imaging validates resting state temporal correlations. *Neuroimage*, *43*(3), 554-561.
- Smyth, E. (2005). Gender differentiation and early labour market integration across Europe. *European Societies*, *7*(3), 451-479.
- Sonnert, G. (2009). Parents who influence their children to become scientists: Effects of gender and parental education. *Social Studies of Science*, *39*(6), 927-941.
- Soeken, K. L. (2010). Instrumentation and data collection. In Strickland, O. L., Lenz, E. R., & Waltz, C. (Eds.), *Measurement in nursing and health research* (4th ed., pp. 163-201). New York: Springer Publishing.
- Steinmayr, R., Wirthwein, L., & Schöne, C. (2014). Gender and numerical intelligence: Does motivation matter? *Learning and Individual Differences*, *32*, 140-147.
- Stinson, B., & Arthur, D. (2013). A novel EEG for alpha brain state training, neurobiofeedback and behavior change. *Complement Ther Clin Pract*, *19*(3), 114-118. doi: 10.1016/j.ctcp.2013.03.003
- Sullivan, A. (2009). Academic self-concept, gender and single-sex schooling. *British Educational Research Journal*, *35*(2), 259-288.
- Supekar, K., Musen, M., & Menon, V. (2009). Development of large-scale functional brain networks in children. *PLoS Biology*, *7*(7), e1000157.
- Truesdell, Clifford (1984). *An Idiot's Fugitive Essays on Science*. Springer. pp. 12 –7. ISBN 3-540-90703-3.
- Toga, A. W., Thompson, P. M., & Sowell, E. R. (2006). *Mapping brain maturation. Focus.*
- Tolegenova, A., Aimaganbetova, O., Naurzalina, D., Kunanbayeva, M., & Algozhayeva, N. (2016). EEG Study of Emotional Intelligence Among Adolescents. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *217*, 801-805. doi: 0.1016/j.sbspro.2016.02.148
- Tse, D., Langston, R. F., Kakeyama, M., Bethus, I., Spooner, P. A., Wood, E. R., . . . Morris, R. G. (2007). Schemas and memory consolidation. *Science*, *316*(5821), 76-82.
- Ueda, K., Brown, E. C., Kojima, K., Juhasz, C., & Asano, E. (2015). Mapping mental calculation systems with electrocorticography. *Clin Neurophysiol*, *126*(1), 39-46. doi: 10.1016/j.clinph.2014.04.015

- Van Den Heuvel, M. P., & Sporns, O. (2011). Rich-club organization of the human connectome. *Journal of Neuroscience*, *31*(44), 15775-15786.
- Van Kesteren, M. T., Ruitter, D. J., Fernández, G., & Henson, R. N. (2012). How schema and novelty augment memory formation. *Trends Neurosci*, *35*(4), 211-219.
- Viljaranta, J., Tolvanen, A., Aunola, K., & Nurmi, J.-E. (2014). The developmental dynamics between interest, self-concept of ability, and academic performance. *Scandinavian Journal of Educational Research*, *58*(6), 734-756.
- Wang, S.-H., & Morris, R. G. (2010). Hippocampal-neocortical interactions in memory formation, consolidation, and reconsolidation. *Annual Review of psychology*, *61*, 49-79.
- Warrington, M., & Younger, M. (2001). Single-sex classes and equal opportunities for girls and boys: perspectives through time from a mixed comprehensive school in England. *Oxford Review of Education*, *27*(3), 339-356.
- Whishaw, I. Q.; Hines, D.J.; Wallace, D. G. (2001). "Dead reckoning (path integration) requires the hippocampal formation: Evidence from spontaneous exploration and spatial learning tasks in light (allothetic) and dark (idiothetic) tests". *Behavioural Brain Research*. 127(1-2): 49-69. doi:10.1016/S0166-4328(01)00359-X. PMID
- Wong, K.-C., Lam, Y. R., & Ho, L.-M. (2002). The effects of schooling on gender differences. *British Educational Research Journal*, *28*(6), 827-843.
- Xie, Y., & Shauman, K. A. (2003). *Women in science*: Harvard university press.
- Zadeh, Z. Y., Farnia, F., & Ungerleider, C. (2010). How home enrichment mediates the relationship between maternal education and children's achievement in reading and math. *Early Education and Development*, *21*(4), 568-594.
- Zalesky, A., Fornito, A., Harding, I. H., Cocchi, L., Yücel, M., Pantelis, C., & Bullmore, E. T. (2010). Whole-brain anatomical networks: Does the choice of nodes matter? *Neuroimage*, *50*(3), 970-983.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ภาคผนวก ก

เครื่องมือคัดกรองผู้เข้าร่วมการทดลอง

- ก1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล
- ก2 แบบคัดกรองลักษณะของบุคคลที่มีเขาวนปัญญา
ด้านตรรกะและคณิตศาสตร์
- ก3 แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ
- ก4 แผ่นวัดระดับการมองเห็นระยะใกล้
- ก5 แผ่นทดสอบตาบอดสีชนิดตัวเลข

ก1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

คำชี้แจง ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย X หน้าข้อความ และกรอกข้อมูลในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงเกี่ยวกับตัวนักเรียน

1. เพศ

ชาย หญิง

2. อายุ.....ปี (เศษของปี เกิน 6 เดือน นับเป็นอีก 1 ปี)

3. ความถนัดในการใช้มือ

ถนัดมือขวา ถนัดมือซ้าย
 ถนัดทั้งสองมือ

4. การรับประทานอาหารหลักในแต่ละวัน

ครบ 3 มื้อ ไม่ครบ 3 มื้อ (ไม่รับประทานอาหาร.....)

5. โรคประจำตัว

ไม่มี มี โปรดระบุโรค.....

6. เคยได้รับบาดเจ็บที่สมองหรือผ่าตัดสมอง

ไม่เคย เคย

7. การรับประทานยาหรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

เคย นาน ๆ ครั้ง (โปรดระบุชนิด.....)
 เป็นประจำทุกวัน (โปรดระบุชนิด.....)

8. การมองเห็น

ปกติ ต้องใส่แว่นสายตาช่วย

9. การเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อตา หรือเคยได้รับการผ่าตัดกล้ามเนื้อตา

ไม่เคย เคย

10. การนอนหลับวันละ.....ชั่วโมง

11. การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

ไม่เป็น เป็น

12. การเล่นเกมในคอมพิวเตอร์ หรือโทรศัพท์มือถือ

ทุกวัน 3-5 วันต่อสัปดาห์
 1 วันต่อสัปดาห์ ไม่เคยเล่นเลย

การแปลความหมายคะแนน

คะแนนรวมร้อยละ	0-19	หมายถึง	บุคคลนั้นมีลักษณะของบุคคลที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำมาก
คะแนนรวมร้อยละ	20-39	หมายถึง	บุคคลนั้นมีลักษณะของบุคคลที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ต่ำ
คะแนนรวมร้อยละ	40-59	หมายถึง	บุคคลนั้นมีลักษณะของบุคคลที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ปานกลาง
คะแนนรวมร้อยละ	60-79	หมายถึง	บุคคลนั้นมีลักษณะของบุคคลที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูง
คะแนนรวมร้อยละ	80-100	หมายถึง	บุคคลนั้นมีลักษณะของบุคคลที่มีเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงมาก

ก3 แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือ (Edinburgh Handedness Inventory)

ชื่อ-สกุล (เด็กชาย/เด็กหญิง).....อายุ.....ปี
คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย X ลงในช่องที่ตรงกับการใช้มือของนักเรียนในกิจกรรมต่อไปนี้

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

การให้คะแนน

ใช้มือขวาเป็นประจำ	เท่ากับ	100	คะแนน
ใช้มือขวาบ่อย	เท่ากับ	50	คะแนน
ใช้มือทั้งสองข้างเท่ากัน	เท่ากับ	0	คะแนน
ใช้มือซ้ายบ่อย	เท่ากับ	-50	คะแนน
ใช้มือซ้ายเป็นประจำ	เท่ากับ	-100	คะแนน

การแปลผลคะแนน

ผู้ที่ถนัดการใช้มือซ้าย	อยู่ในช่วงคะแนนระหว่าง	-80 ถึง -100
ผู้ที่ถนัดการใช้มือทั้งสองข้าง	อยู่ในช่วงคะแนนระหว่าง	-75 ถึง 75
ผู้ที่ถนัดการใช้มือขวา	อยู่ในช่วงคะแนนระหว่าง	80 ถึง 100

ก4 แผ่นวัดระดับการมองเห็นระยะใกล้ (Near Vision)

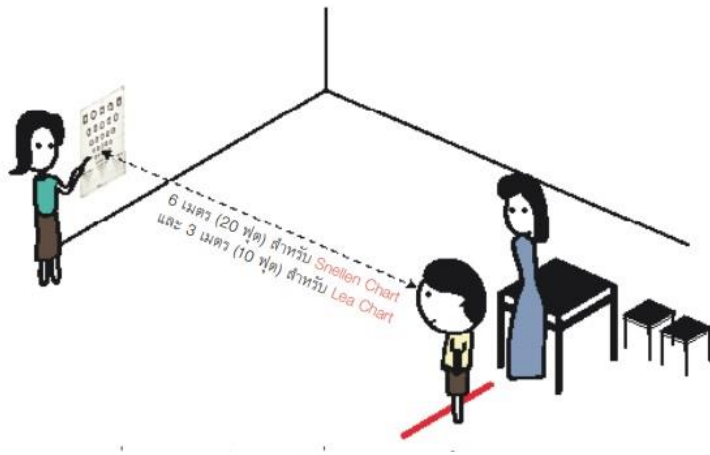
การตรวจระดับการเห็นในเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษาที่สามารถอ่านตัวเลขได้ ด้วย Snellen Chart โดยใช้ Snellen Chart



การเลือกห้องตรวจและเตรียมสถานที่

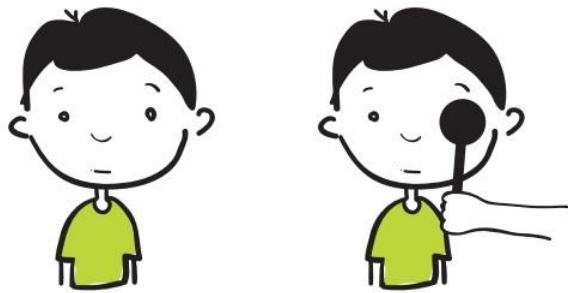
1. ห้องสำหรับใช้ตรวจคัดกรองควรเป็นห้องที่มีขนาดกว้างและยาว อย่างน้อย 6 เมตร หรือ 20 ฟุต
2. เลือกผนังด้านที่ไม่มีรูปภาพเกะกะ มีแสงสว่างส่องถึงเพียงพอ
3. ติดแผ่น 'Snellen Chart' บนผนัง โดยให้ตัวเลข แถวที่ 5 หรือแถว 40 ฟุต (20/40) อยู่ในระดับเดียวกับตาของเด็กที่มี ระดับความสูงเฉลี่ย (ขณะอยู่ในท่าทดสอบ)
4. วางโต๊ะ 1 ตัวและเก้าอี้ 2 ตัวไว้ข้าง ๆ ตำแหน่งเด็กที่จะเข้ารับการตรวจคัดกรอง
5. ติดเทปกาวบนพื้นระยะห่างจากแผ่นทดสอบระดับสายตาประมาณ 6 เมตร (20 ฟุต) สำหรับ Snellen Chart

6. ผู้ทดสอบไม่ควรยืนบังเด็ก แต่หันหลังให้ผนัง และเห็นหน้าเด็กตลอดเวลาที่ตรวจ
7. แยกพื้นที่สำหรับกลุ่มเด็กที่กำลังรอเข้ารับการตรวจแยกอยู่ห่าง จากบริเวณห้องตรวจ
8. ไม่ทำกิจกรรมอื่น ๆ ภายในห้องขณะตรวจ เพื่อไม่ให้เด็กเสียสมาธิ



รูปการเตรียมสถานที่และระยะทางในการทดสอบสายตา

ขั้นตอน 1. ให้เด็กยืนหรือนั่งห่างจากแผ่นทดสอบ เป็นระยะ 20 ฟุต หรือ 6 เมตร (ดูรูปประกอบ)



2. เริ่มการทดสอบที่ละตา เริ่มจากตาขวา ใช้ไม้ปิดตาข้างซ้ายให้มิด โดยไม่ต้องหลับตาหรือหรีตาข้างซ้าย
3. ให้เด็กอ่านตัวเลขจากแถวด้านบนสุดก่อน จากนั้นค่อยๆอ่านแถวถัดมา จนกระทั่งไม่สามารถอ่านตัวเลขได้
4. หากอ่านตัวเลขตั้งแต่แถวที่ 1 ไม่ได้ให้จดบันทึกว่า “<math><20/200</math>”
5. ให้เด็กอ่านตัวเลขในแผ่นทดสอบ เรียงลำดับทีละตัวจากซ้ายไปขวา และเรียงจากแถวบนสุดลงมาทีละแถวจนอ่านตัวเลขต่อไปอีกไม่ได้ เมื่อสิ้นสุดที่แถวใดให้ดูตัวเลขแสดงระดับการเห็นที่กำกับอยู่ท้ายแถว จากนั้นให้จดบันทึก เช่น ถ้าอ่านตัวเลขได้ถึงแถวที่ 7 ระดับการเห็น คือ 20/20 หรือ 6/6

6. แถวสุดท้ายที่อ่านตัวเลขได้คือแถวตัวเลขที่อ่านแล้ว ถูกต้องเท่ากับ หรือมากกว่าครึ่งของจำนวนตัวเลขในแถวนั้น

7. วิธีบันทึกผลการเห็น

กรณีที่ 1 หากสามารถอ่านตัวเลขได้น้อยกว่ากึ่งหนึ่ง เช่น 2 ใน 5 ตัวเลข หรือ 1 ใน 5 ตัวเลข ให้ลงจำนวนตัวเลขที่อ่านได้เป็น ค่าบวกของระยะที่ปรากฏในแถวก่อนหน้าที่ย่านตัวเลขได้

ตัวอย่างการอ่าน Snellen Chart กรณีที่ 1	การจดบันทึกผล
8 7 5 4 (ระยะที่ปรากฏท้ายแถว) 20/70	20/70
1.1 8 8 8 8 2 (ระยะที่ปรากฏท้ายแถว) 20/50	20/70+1
1.2 8 8 8 5 2 (ระยะที่ปรากฏท้ายแถว) 20/50	20/70+2

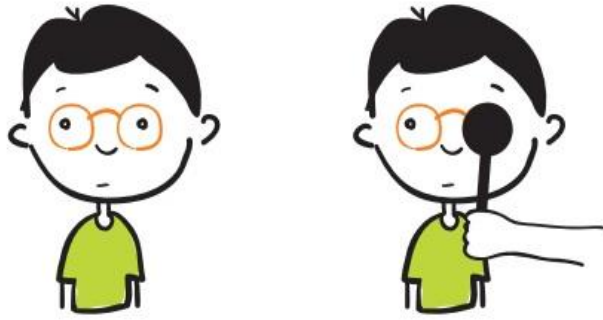
หมายเหตุ: / แทนตัวเลขที่อ่านได้ X แทนตัวเลขที่อ่านไม่ได้

กรณีที่ 2 หากสามารถอ่านตัวเลขได้มากกว่ากึ่งหนึ่ง เช่น 3 ใน 5 ตัวเลข หรือ 4 ใน 5 ตัวเลข ให้ลงจำนวนตัวเลขที่อ่านไม่ได้เป็น ค่าลบของระยะที่ปรากฏในแถวที่ย่านตัวเลขได้

ตัวอย่างการอ่าน Snellen Chart กรณีที่ 2	การอ่านผล
8 7 5 4 (ระยะที่ปรากฏท้ายแถว) 20/70	20/70
2.1 8 3 9 5 2 (ระยะที่ปรากฏท้ายแถว) 20/50	20/50-1
2.2 8 8 9 5 2 (ระยะที่ปรากฏท้ายแถว) 20/50	20/50-2

หมายเหตุ: / แทนตัวเลขที่อ่านได้ X แทนตัวเลขที่อ่านไม่ได้

8. กรณีที่ได้ก็มีแว่นสายตาอยู่แล้ว ชั้นแรกให้อ่านด้วยตาเปล่าก่อน จากนั้นให้อ่านซ้ำอีกครั้ง โดยสวมแว่น แล้วจดบันทึกผลการอ่านด้วยแว่นว่า “VA with gl =.....” (gl ย่อมาจาก glasses)



9. สลับมาทดสอบตาซ้าย

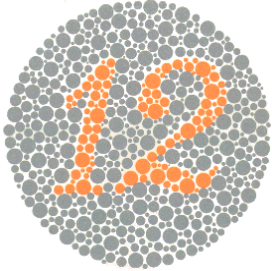
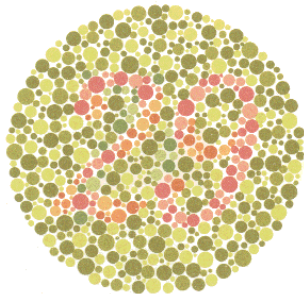
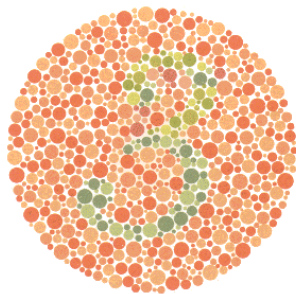
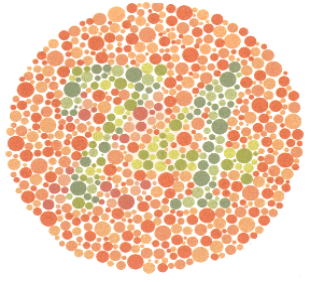
เกณฑ์การตัดสินว่าผิดปกติ คือ เห็นน้อยกว่า 6 แถว (<20/30) ในตาข้างใดข้างหนึ่ง หรือ ตาสองข้างเห็นต่างกันตั้งแต่สองแถวขึ้นไป

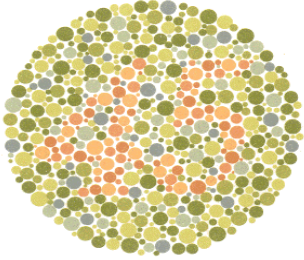
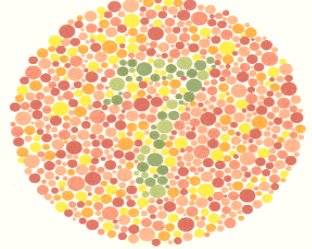
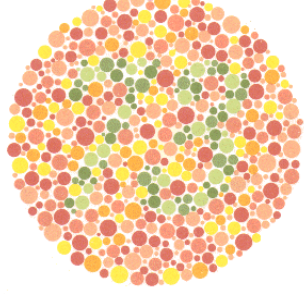
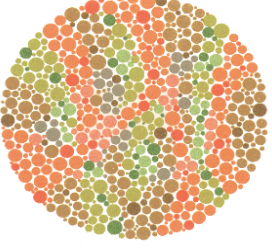
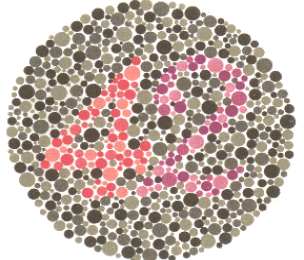
หมายเหตุ

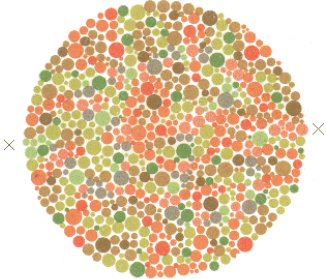
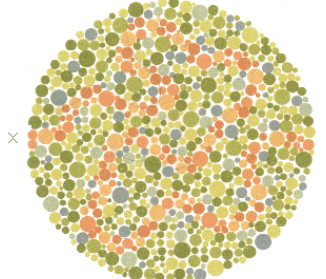
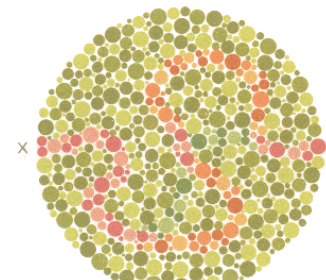
1. สำหรับเด็กชั้นประถมศึกษา ถ้าไม่แน่ใจว่าเด็กสามารถอ่านตัวเลขได้ ให้ใช้แผ่นทดสอบ Lea Chart
2. ขณะตรวจผู้ทดสอบควรสังเกตพฤติกรรมกรรมการอ่านของเด็กว่ามีท่าทาง ผิดปกติหรือไม่ เช่น หรีตา ตะแคงเอียงคอ ขมวดคิ้ว หรือมีน้ำตาไหล หากมีให้สงสัยว่าเด็กมีความผิดปกติทางสายตาและให้จดบันทึกลงใน แฟ้มประวัติของเด็ก เพื่อส่งต่อให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

ก5 แบบทดสอบตาบอดสี

การทดสอบตาบอดสีนี้เป็นวิธีของ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี เป็นแบบทดสอบที่มีวงกลมใหญ่และมีจุดสีเล็กๆ ข้างในจะซ่อนตัวเลขและเส้นเอาไว้ มีทั้งหมด 24 แบบ และให้ผู้ทดสอบอ่าน หากสามารถอ่าน และลากเส้นได้ถูกต้องทั้งหมดถือว่าตาปกติ ทั้งนี้ ได้นำมาให้ทดสอบ 12 แบบ ลองทดสอบกันดูก่อนตัดสินใจดำเนินการในขั้นตอนต่อไป (ส่วนมากไม่ต้องดูทั้งหมดก็ทราบแล้วว่าตาบอดสี)

ภาพทดสอบ	Plate ที่ และคำอธิบาย
	Plate 1 ตาปกติ และตาบอดสี จะอ่านได้หมายเลขเดียวกัน คือ 12
	Plate 3 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 29 ตาบอดสีแดง-เขียวจะอ่านได้หมายเลข 70 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านได้
	Plate 5 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 3 ตาบอดสีแดง-เขียวจะอ่านได้หมายเลข 5 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านได้
	Plate 7 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 74 ตาบอดสีแดง-เขียวจะอ่านได้หมายเลข 21 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านเป็นตัวเลขได้

	<p>Plate 9 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 45 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านได้</p>
	<p>Plate 11 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 7 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านเป็นตัวเลขได้</p>
	<p>Plate 13 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 73 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านเป็นตัวเลขได้</p>
	<p>Plate 15 ตาปกติจะไม่สามารถอ่านเป็นตัวเลขได้ ตาบอดสีแดง-เขียวจะอ่านได้หมายเลข 45 ตาบอดสีจะไม่สามารถอ่านเป็นตัวเลขได้</p>
	<p>Plate 17 ตาปกติจะอ่านได้หมายเลข 42</p>

	<p>Plate 19 ตาปกติจะไม่สามารถลากเส้นจาก X ไป X ได้ ตาบอดสีแดง-เขียว จะสามารถลากเส้นจาก X ไป X ได้ ตาบอดสีจะไม่สามารถลากเส้นจาก X ไป X ได้</p>
	<p>Plate 21 ตาปกติจะสามารถลากเส้นตามสีส้มจาก X ไป X ได้ ตาบอดสีจะไม่สามารถลากเส้นจาก X ไป X ได้ หรือลากได้ก็คนละเส้นทาง</p>
	<p>Plate 23 ตาปกติจะสามารถลากเส้นตามสีม่วง ต่อกับสีส้ม จาก X ไป X ได้ ตาบอดสีแดง-เขียวจะลากเส้นตามสีม่วง ต่อกับสีฟ้า-เขียว จาก X ไป X ได้ ตาบอดสีจะไม่สามารถลากเส้นจาก X ไป X ได้ หรือลากได้ก็คนละเส้นทาง</p>

Name.....Age.....

HN.....Date.....

Examiner.....

แผ่นแปลผลชนิด 36 รูป ของการตรวจตาบอดสี ชุด Ishihara

Number Of Plate	Normal Person	Person with Red-Green Deficiencies		Person with Total Color Blindness and Weakness	คนใช้อ่าน			
					RE	LE	BE	
1	12	12		12				
2	8	3		X				
3	6	5		X				
4	29	70		X				
5	57	35		X				
6	5	2		X				
7	3	5		X				
8	15	17		X				
9	74	21		X				
10	2	X		X				
11	6	X		X				
12	97	X		X				
13	45	X		X				
14	5	X		X				
15	7	X		X				
16	16	X		X				
17	73	X		X				
18	X	5		X				
19	X	2		X				
20	X	45		X				
21	X	73		X				
		Protan		Deutan				
		Strong	Mild	Strong	Mild			
22	26	6	(2)6	2	2(6)			
23	42	2	(4)2	4	4(2)			
24	35	5	(3)5	3	3(5)			
25	96	6	(9)6	9	9(6)			

ใช้กากบาท X แทนเลขที่นักเรียนอ่านไม่ได้ (ไม่เห็นเลขเลยหรือผิด)

ใช้ช่องว่าง ถ้าแปลผลไม่ได้

ใช้เลขในวงเล็บ คือ อ่านได้แต่เห็นไม่ชัด

การแปลผล

1. แผ่นที่ 1-21 บอกถึง color vision ว่าปกติหรือผิดปกติ
 ถ้าอ่านถูก 17 แผ่นหรือมากกว่า 17 แผ่น ใน 21 แผ่นนี้ ถือว่าปกติ
 ถ้าอ่านถูก 13 แผ่น หรือน้อยกว่า ถือเป็น color deficiency
2. ถ้าอ่านแผ่นที่ 18-21 ได้ (คนปกติมองไม่เห็น)
 และอ่านได้ชัดเจนกว่าแผ่นที่ 14, 10, 13, 17 ถือเป็น Abnormal
3. แผ่นที่ 14-16 คนปกติก็อ่านผิดได้ ให้ตรวจ confirm ด้วย test อื่นด้วย
4. ถ้าต้องการ SCREENING คนจำนวนมาก ให้ตรวจแผ่นที่ 1, 4, 8, 12, 16, 20 ถ้าถูกหมด
 ถือเป็นปกติ
5. ถ้าตรวจพบว่ามี color deficiency ชนิด red-green ให้ตรวจแผ่นที่ 22-25 เพื่อแยกชนิด
 Protan, Deutan

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- ข1 แบบวัดเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา
- ข2 กิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา

ข1 แบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา
(ตัวอย่าง)

แบบวัดเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

คำชี้แจง

1. แบบวัดนี้มีทั้งหมด จำนวน 38 ข้อ
2. แต่ละข้อของแบบวัดมีตัวเลือก จำนวน 5 ตัวเลือก คือ 1 , 2 , 3 , 4 และ 5
3. ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวเท่านั้น

1. เครื่องตีหมกกล่องหนึ่งมี 24 กระจบอง ถ้าต้องการเครื่องตีหมก 48 กระจบอง จะต้องซื้อกี่กล่อง

1. 1 กล่อง
2. $1\frac{1}{2}$ กล่อง
3. 2 กล่อง
4. $2\frac{1}{2}$ กล่อง
5. 3 กล่อง

ข2 กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียน
ระดับประถมศึกษา (ตัวอย่าง)

คู่มือการใช้แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์
(Mathematics Intelligence Training; MIT)



พัฒนาโดย
นายวิสุทธิ์ กล้าหาญ

นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

คำนำ

แบบฝึกทักษะเชาว์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ฉบับนี้พัฒนาขึ้นเพื่อฝึกทักษะด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนในระดับประถมศึกษา ตามทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ดเนอร์ที่เชื่อว่าเชาว์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematical Intelligence) ที่เชื่อว่าบุคคลที่มีเชาว์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงคือความสามารถของบุคคลในการคิดแบบมีเหตุผล ตรรกะและจำนวน และรูปแบบทางด้านตัวเลข การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ คิดวิเคราะห์แยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ดี และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังสามารถสร้างความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลหลาย ๆ ด้าน ผู้มีปัญญาด้านนี้สูงจะสามารถจับเก็บตัวแปรหลาย ๆ ตัว และสร้างสมมติฐานได้มากมาย สามารถประเมินและยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานแต่ละข้ออย่างรวดเร็ว สามารถรวมทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สนุกกับการแก้ปัญหาที่ต้องสรรหาเหตุผลมาประกอบ

ผู้พัฒนาแบบฝึกทักษะนี้คาดหวังว่า แบบฝึกทักษะนี้จะช่วยให้ผู้ที่ฝึกทักษะนี้อย่างครบถ้วนตามขั้นตอนและกระบวนการต่าง ๆ มีลักษณะเชาว์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สูงขึ้น

นายวิสุทธิ กล้าหาญ
ผู้พัฒนา

สารบัญ

หน้า

คำชี้แจง.....	1
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 1.....	2
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 2	5
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 3	8
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 4	11
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 5	14
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 6	17
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 7	20
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 8	23
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 9	26
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 10	29
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 11	32
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 12	35
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 13	38
แบบฝึกทักษะเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 14	40

คำชี้แจง

แบบฝึกทักษะเชาว์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์ฉบับนี้พัฒนาขึ้นเพื่อฝึกทักษะด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนในระดับประถมศึกษา ตามทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ดเนอร์ ประกอบด้วย แบบฝึกทักษะด้านคณิตศาสตร์จำนวน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 5 ข้อกลุ่มที่ 2 จำนวน 5 ข้อ และกลุ่มที่ 3 จำนวน 4 ข้อ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 1 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 2 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 3 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 4 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 5 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 6 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 7 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 8 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 9 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 2 ข้อที่ 10 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 11 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 12 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 13 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที
- กลุ่มที่ 3 ข้อที่ 14 ระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ใช้เวลาฝึก 20 นาที

ดังปรากฏรายละเอียดในแต่ละแบบฝึกทักษะ

แบบฝึกทักษะเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์

กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 1

วันที่.....เวลา.....

เวลาในการทดลอง 20 นาที

จุดประสงค์ : นักเรียนสามารถฝึกทักษะจนสำเร็จได้ ภายในเวลาที่กำหนดให้

กิจกรรม กลุ่มที่ 1 ข้อที่ 4 มี 2 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1

1. นักเรียนเปิดโปรแกรมฝึกทักษะด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics Intelligence Training) และเลือกกลุ่มที่ 1 (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2)




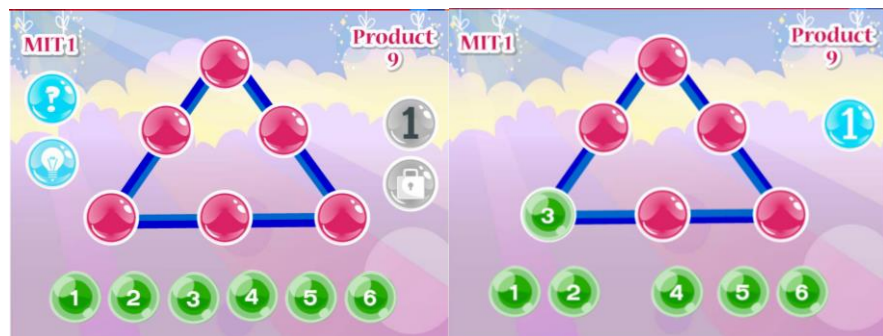
ภาพที่ 1



ภาพที่ 2

2. นักเรียนสุ่มได้ ข้อที่ 1 ในกลุ่มที่ 1 เริ่มฝึกทักษะตามคำแนะนำ (Product = 9) ถ้านักเรียนไม่



สามารถเล่นได้จบเกม ภายในเวลาที่กำหนด สามารถดูคำแนะนำ (Hints) ได้ โดยกดปุ่ม  เพื่อดูคำแนะนำในการเล่นได้ โดยที่หน้าจอจะปรากฏ คำแนะนำให้นักเรียนเห็นบางส่วน (ภาพที่ 3 และภาพที่ 4)



ภาพที่ 3

ภาพที่ 4

3. ถ้านักเรียนไม่สามารถเล่นได้จริงๆ ภายในเวลาที่กำหนด ก็สามารถดูเฉลยได้ โดยกดที่ปุ่ม

 เพื่อดูเฉลยนั้นๆ และเล่นจนจบเกม และไปเล่นต่อในระดับที่ 2 โดยกดปุ่ม  (ภาพที่ 5 และภาพที่ 6)



ภาพที่ 5

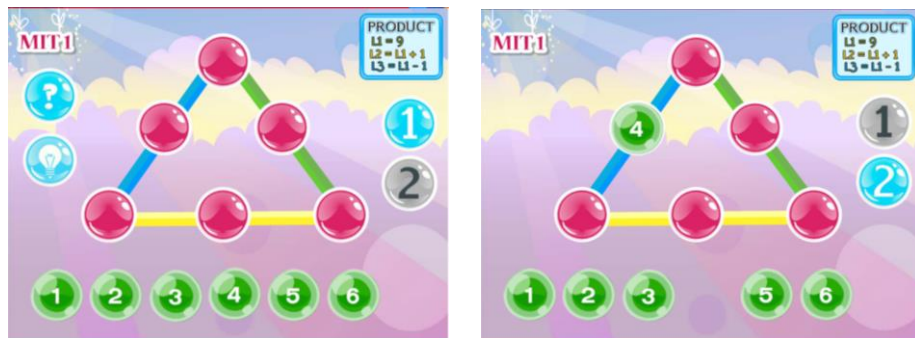
ภาพที่ 6

ระดับที่ 2

4. นักเรียนเล่นเกมฝึกทักษะด้านคณิตศาสตร์ (Logical Mathematics Intelligence Training)

ในระดับที่ 2 โดยมีคำแนะนำดังนี้ ผลรวมของเส้นที่ 1 (สีฟ้า) = 9 ($L1 = 9$) , ผลรวมของเส้นที่ 2 (สีเหลือง) = 10 ($L2 = L1+1$) และผลรวมของเส้นที่ 3 (สีเขียว) = 8 ($L3 = L1-1$) ถ้านักเรียนไม่สามารถเล่นได้จบเกมภายในเวลาที่กำหนด สามารถดูคำแนะนำ (Hints) ได้ โดยกดปุ่ม

 เพื่อดูคำแนะนำในการเล่นได้ โดยที่หน้าจอก็จะปรากฏ คำแนะนำให้นักเรียนเห็นบางส่วน (ภาพที่ 7 และภาพที่ 8)



ภาพที่ 7

ภาพที่ 8

5. ถ้านักเรียนไม่สามารถเล่นได้จริงๆ ภายในเวลาที่กำหนด ก็สามารถดูเฉลยได้ โดยกดที่ปุ่ม



เพื่อดูเฉลยนั้นๆ และเล่นจนจบเกม และไปเล่นต่อในข้อต่อไป โดยกดปุ่ม



(ภาพที่ 9 และภาพที่ 10)



ภาพที่ 9

ภาพที่ 10

พัฒนาโดย

นายวิสุทธิ์ กล้าหาญ

นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม

- ค1 เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotive รุ่น Epoc
14 ช่องสัญญาณ

ค1 ค1 เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotive รุ่น Epoc
14 ช่องสัญญาณ



ภาคผนวก ง

- ง1 หนังสือรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
- ง2 ตัวอย่างหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย

ที่ ๐๗๙/๒๕๖๑



เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา

๑. ชื่อเรื่องคุณูปนิพนธ์

ชื่อเรื่อง: การพัฒนาเขาวานปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษา:
การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง

TITLE: ENHANCING LOGICAL-MATHEMATICAL INTELLIGENCE AMONG PRIMARY SCHOOL
STUDENTS: BEHAVIORAL AND EEG STUDY

๒. ชื่อนิติ: นายวิสุทธิ์ กล้าหาญ

หลักสูตร ปรัชญาคุณูปบัณฑิต (Ph.D.) สาขาวิชา การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
รหัส ๕๓๘๑๐๒๘๗

๓. ผลการพิจารณาของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา ได้พิจารณาแล้วเห็นว่า คำโครงคุณูปนิพนธ์ดังกล่าวเป็นไปตามหลักการของจริยธรรม
การวิจัยในมนุษย์ โดยที่ผู้วิจัยเคารพสิทธิและศักดิ์ศรีในความเป็นมนุษย์ ไม่มีการล่วงละเมิดสิทธิ สวัสดิภาพ
และไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ตัวอย่างการวิจัย กลุ่มตัวอย่าง และผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยในขอบข่ายของคำโครงคุณูปนิพนธ์ที่เสนอได้ ตั้งแต่วันที่ออกเอกสาร
รับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ฉบับนี้ จนถึงวันที่ ๓๐ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

ออกให้ ณ วันที่ ๑๕ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๖๑

ลงนาม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวดี มากมี)

คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา

มหาวิทยาลัยบูรพา

ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

(กลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 7 – 12 ปี)

หัวข้อวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ของ
นักเรียนระดับประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมอง

วันที่ให้คำยินยอม วันที่เดือน.....พ.ศ.

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึง
วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดและมีความ
เข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการ
เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อ
ข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบัง ซ่อนเร้นจน
ข้าพเจ้าพอใจ ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าจะถูกเก็บเป็นความลับและจะเปิดเผยในภาพรวมที่เป็น
การสรุปผลการวิจัย

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามใน
ใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(.....)

ข้าพเจ้า.....บิดา/มารดาหรือผู้ปกครอง ยินยอมให้
.....เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้

กรณีที่ข้าพเจ้าไม่สามารถอ่านหรือเขียนหนังสือได้ ผู้วิจัยได้อ่านข้อความในเอกสารแสดงความ
ยินยอมให้แก่ข้าพเจ้าฟังจนเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้าจึงลงนามหรือประทับลายนิ้วหัวแม่มือของข้าพเจ้าใน
เอกสารแสดงความยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม

(.....)

บิดา/มารดาหรือผู้ปกครอง

ลงนามพยาน

(.....)

หมายเหตุ ๑. กรณีที่บิดา/มารดาหรือผู้ปกครองให้ความยินยอมด้วยการประทับลายนิ้วหัวแม่มือ
ขอให้มียานลงลายมือชื่อรับรองด้วย

๒. ขอให้ผู้วิจัยปรับใช้สรรพนาม/ถ้อยคำ ให้เหมาะสมกับเด็กที่ เป็นผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ข้อมูล

- จ1 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนชายกลุ่มทดลอง
- จ2 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนหญิงกลุ่มทดลอง
- จ3 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนชายกลุ่มควบคุม
- จ4 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนหญิงกลุ่มควบคุม
- จ5 การเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมก่อนและหลังการทดลองของกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม
- จ6 เปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรม หลังการทดลองของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม
- จ7 การเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองระหว่างเพศ
- จ8 การเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีเขาวนปัญญาสูงและต่ำ
- จ9 ศึกษาปฏิสัมพันธ์คะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองระหว่างเพศกับระดับเขาวนปัญญา
- จ10 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศ
- จ11 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpah) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศ
- จ12 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศ
- จ13 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศ
- จ14 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ของกลุ่มทดลองระหว่างเพศ
- จ15 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างระดับเขาวนปัญญา
- จ16 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpah) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างระดับเขาวนปัญญา
- จ17 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างระดับเขาวนปัญญา
- จ18 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างระดับเขาวนปัญญา
- จ19 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างระดับเขาวนปัญญา
- จ 20 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ธัต้า (Theta)
- จ 21 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha)
- จ 22 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_beta)
- จ 23 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_beta)
- จ 24 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma)

จ1 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนชายกลุ่มทดลอง

ลักษณะด้านคณิตศาสตร์สูง				ลักษณะด้านคณิตศาสตร์ต่ำ			
No	Code	Pretest	Posttest	No	Code	Pretest	Posttest
1	EBH1	13	20	1	EBL1	8	11
2	EBH2	20	27	2	EBL2	9	10
3	EBH3	17	17	3	EBL3	4	9
4	EBH4	10	17	4	EBL4	12	10
5	EBH5	19	27	5	EBL5	8	11
6	EBH6	12	23	6	EBL6	14	19
7	EBH7	12	15	7	EBL7	15	16
8	EBH8	23	28	8	EBL8	14	17
9	EBH9	14	20	9	EBL9	13	19
10	EBH10	18	24	10	EBL10	12	11
11	EBH11	15	20	11	EBL11	16	19
12	EBH12	24	27	12	EBL12	17	19
13	EBH13	21	26	13	EBL13	9	12
14	EBH14	21	25	14	EBL14	18	18
15	EBH15	27	25	15	EBL15	13	16
16	EBH16	25	26	16	EBL16	18	18
17	EBH17	14	18	17	EBL17	12	13
18	EBH18	22	28	18	EBL18	10	10
19	EBH19	15	25	19	EBL19	17	15
20	EBH20	21	21	20	EBL20	19	15

จ2 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนหญิงกลุ่มทดลอง

ลักษณะด้านตรรกะและคณิตศาสตร์สูง				ลักษณะด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ต่ำ			
No	Code	Pretest	Posttest	No	Code	Pretest	Posttest
1	EGH1	22	24	1	EGL1	10	18
2	EGH2	20	24	2	EGL2	12	14
3	EGH3	22	28	3	EGL3	13	14
4	EGH4	18	24	4	EGL4	13	14
5	EGH5	15	18	5	EGL5	14	17
6	EGH6	18	24	6	EGL6	7	11
7	EGH7	22	25	7	EGL7	7	7
8	EGH8	17	27	8	EGL8	12	17
9	EGH9	23	24	9	EGL9	12	12
10	EGH10	15	22	10	EGL10	17	18
11	EGH11	18	22	11	EGL11	10	10
12	EGH12	23	27	12	EGL12	15	17
13	EGH13	19	24	13	EGL13	12	17
14	EGH14	19	22	14	EGL14	17	16
15	EGH15	23	26	15	EGL15	6	10
16	EGH16	21	27	16	EGL16	11	23
17	EGH17	19	26	17	EGL17	22	21
18	EGH18	18	26	18	EGL18	12	10
19	EGH19	19	17	19	EGL19	12	14
20	EGH20	20	20	20	EGL20	10	23

จ3 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนชายกลุ่มควบคุม

ลักษณะด้านคณิตศาสตร์สูง				ลักษณะด้านคณิตศาสตร์ต่ำ			
No	Code	Pretest	Posttest	No	Code	Pretest	Posttest
1	CBH1	19	20	1	CBL1	13	17
2	CBH2	16	17	2	CBL2	10	15
3	CBH3	17	15	3	CBL3	6	9
4	CBH4	9	10	4	CBL4	9	9
5	CBH5	11	14	5	CBL5	12	15
6	CBH6	12	12	6	CBL6	15	17
7	CBH7	20	18	7	CBL7	8	14
8	CBH8	13	15	8	CBL8	12	14
9	CBH9	14	15	9	CBL9	12	12
10	CBH10	13	16	10	CBL10	6	10
11	CBH11	18	19	11	CBL11	14	11
12	CBH12	12	10	12	CBL12	9	12
13	CBH13	22	13	13	CBL13	7	9
14	CBH14	19	20	14	CBL14	15	15
15	CBH15	13	18	15	CBL15	16	5
16	CBH16	23	20	16	CBL16	10	14
17	CBH17	21	18	17	CBL17	9	12
18	CBH18	17	18	18	CBL18	13	10
19	CBH19	21	21	19	CBL19	10	10
20	CBH20	12	15	20	CBL20	10	11

จ4 คะแนนพฤติกรรม นักเรียนหญิงกลุ่มควบคุม

ลักษณะด้านคณิตศาสตร์สูง				ลักษณะด้านคณิตศาสตร์ต่ำ			
No	Code	Pretest	Posttest	No	Code	Pretest	Posttest
1	CGH1	22	14	1	CGL1	10	11
2	CGH2	20	20	2	CGL2	10	8
3	CGH3	22	24	3	CGL3	10	11
4	CGH4	18	20	4	CGL4	13	11
5	CGH5	15	18	5	CGL5	8	9
6	CGH6	18	16	6	CGL6	16	9
7	CGH7	22	19	7	CGL7	7	10
8	CGH8	17	22	8	CGL8	5	9
9	CGH9	23	24	9	CGL9	10	10
10	CGH10	15	23	10	CGL10	12	11
11	CGH11	18	21	11	CGL11	14	9
12	CGH12	23	20	12	CGL12	10	14
13	CGH13	19	14	13	CGL13	8	11
14	CGH14	19	20	14	CGL14	15	10
15	CGH15	23	21	15	CGL15	15	9
16	CGH16	21	17	16	CGL16	7	9
17	CGH17	19	17	17	CGL17	17	14
18	CGH18	18	21	18	CGL18	14	16
19	CGH19	19	18	19	CGL19	16	10
20	CGH20	20	16	20	CGL20	16	10

จ5 การเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมก่อนและหลังการทดลองของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PRE_Exper	15.7000	80	4.97436	.55615
	POST_Exper	14.5250	80	4.84696	.54191
Pair 2	PRE_Control	19.0875	80	5.74829	.64268
	Post_Control	14.5125	80	4.45510	.49810

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PRE_Exper & POST_Exper	80	.570	.000
Pair 2	PRE_Control & Post_Control	80	.604	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	PRE_Exper - POST_Exper	1.17500	4.55563	.50934	.16119	2.18881	2.307	79	.024
Pair 2	PRE_Control - Post_Control	4.57500	4.68441	.52373	3.53254	5.61746	8.735	79	.000

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	PRE_Exper	15.7000	80	4.97436	.55615
	POST_Exper	19.0875	80	5.74829	.64268
Pair 2	PRE_Control	14.5250	80	4.84696	.54191
	Post_Control	14.5125	80	4.45510	.49810

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	PRE_Exper & POST_Exper	80	.803	.000
Pair 2	PRE_Control & Post_Control	80	.700	.000

จ5 (ต่อ)

Paired Samples Test									
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1	PRE_Exper - POST_Exper	-3.38750	3.44392	.38504	-4.15391	-2.62109	-8.798	79	.000
Pair 2	PRE_Control - Post_Control	.01250	3.61955	.40468	-.79299	.81799	.031	79	.975

จ6 เปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรม หลังการทดลองของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

Group Statistics					
	group4	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
score	กลุ่มทดลอง หลังการทดลอง	80	19.0875	5.74829	.64268
	กลุ่มควบคุม หลังการทดลอง	80	14.5125	4.45510	.49810

Independent Samples Test										
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
score	Equal variances assumed	6.623	.011	5.627	158	.000	4.57500	.81310	2.96905	6.1809
	Equal variances not assumed			5.627	148.7	.000	4.57500	.81310	2.96828	6.1817

จ7 การเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองก่อนและหลังการทดลองระหว่างเพศ

Group Statistics					
	group2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
score	Pre_ชายทดลอง	40	15.5250	5.14900	.81413
	Pre_หญิงทดลอง	40	15.8750	4.85264	.76727

จ7 (ต่อ)

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
score	.137	.713	-.639	78	.524	-.82500	1.29019	-3.39358	1.7435
			-.639	77.99	.524	-.82500	1.29019	-3.39358	1.7435

Group Statistics

	group2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
score	Post_ชายทดลอง	40	18.6750	5.78410	.91455
	Post_หญิงทดลอง	40	19.5000	5.75571	.91006

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
score	.137	.713	-.639	78	.524	-.82500	1.29019	-3.3935	1.7435
			-.639	77.998	.524	-.82500	1.29019	-3.3935	1.7435

จ8 การเปรียบเทียบคะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองระหว่างกลุ่มที่มีเซวาร์ปัญญาสูงและต่ำ

Group Statistics

	group3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
score	Pre_สูง	40	18.8500	3.87331	.61242
	Pre_ต่ำ	40	12.5500	3.84274	.60759

จ8 (ต่อ)

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
score	Equal variances assumed	.050	.824	7.303	78	.000	6.30000	.86269	4.58252	8.0174
	Equal variances not assumed			7.303	77.995	.000	6.30000	.86269	4.58252	8.0174

Group Statistics

	group3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
score	Post_สูง	40	23.4000	3.57197	.56478
	Post_ต่ำ	40	14.7750	4.00312	.63295

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
score	Equal variances assumed	.940	.335	10.167	78	.000	8.62500	.84829	6.93618	10.3138
	Equal variances not assumed			10.167	77.009	.000	8.62500	.84829	6.93584	10.3141

จ9 ศึกษาปฏิสัมพันธ์คะแนนพฤติกรรมของกลุ่มทดลองระหว่างเพศกับระดับเชาวน์ปัญญา

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Hi_Lo	1.00	เชาวน์ปัญญาสูง	40
	2.00	เชาวน์ปัญญาต่ำ	40
gender	1.00	ชาย	40
	2.00	หญิง	40

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: score

F	df1	df2	Sig.
2.115	3	76	.105

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

a. Design: Intercept + Hi_Lo + gender + Hi_Lo * gender

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: score

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^b
Corrected Model	1501.537 ^a	3	500.512	34.305	.000	.575	102.915	1.000
Intercept	29146.612	1	29146.612	1997.694	.000	.963	1997.694	1.000
Hi_Lo	1487.813	1	1487.813	101.974	.000	.573	101.974	1.000
gender	13.613	1	13.613	.933	.337	.012	.933	.159
Hi_Lo * gender	.113	1	.113	.008	.930	.000	.008	.051
Error	1108.850	76	14.590					
Total	31757.000	80						
Corrected Total	2610.387	79						

a. R Squared = .575 (Adjusted R Squared = .558)

b. Computed using alpha = .05

จ9 (ต่อ)

1. Hi_Lo

Dependent Variable: score

Hi_Lo	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
เขาวนปัญญาสูง	23.400	.604	22.197	24.603
เขาวนปัญญาต่ำ	14.775	.604	13.572	15.978

2. gender

Dependent Variable: score

gender	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
ชาย	18.675	.604	17.472	19.878
หญิง	19.500	.604	18.297	20.703

3. Hi_Lo * gender

Dependent Variable: score

Hi_Lo	gender	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
เขาวนปัญญาสูง	ชาย	22.950	.854	21.249	24.651
	หญิง	23.850	.854	22.149	25.551
เขาวนปัญญาต่ำ	ชาย	14.400	.854	12.699	16.101
	หญิง	15.150	.854	13.449	16.851

จ10 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ต่ำ (Theta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศ

Group Statistics

	wave1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_THETA	ชาย	40	10.5619	8.87515	1.40328
	หญิง	40	13.2984	10.95904	1.73278
F7_THETA	ชาย	40	8.2282	13.30145	2.10314
	หญิง	40	9.4661	11.04530	1.74642
F3_THETA	ชาย	40	3.0233	2.68640	.42476
	หญิง	40	15.5613	19.69535	3.11411
F4_THETA	ชาย	40	3.2503	2.46110	.38913
	หญิง	40	12.2391	11.91791	1.88439
F8_THETA	ชาย	40	7.1713	7.56133	1.19555
	หญิง	40	21.1817	16.24064	2.56787
AF4_THETA	ชาย	40	4.5751	5.64726	.89291
	หญิง	40	10.9853	9.58195	1.51504

จ10 (ต่อ)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_THE	Equal variances assumed	2.821	.097	-1.22	78	.223	-2.73642	2.22973	-7.17549	1.7026
TA	Equal variances not assumed			-1.22	74.77	.224	-2.73642	2.22973	-7.17851	1.7056
F7_THET	Equal variances assumed	.656	.420	-.453	78	.652	-1.23788	2.73371	-6.68029	4.2045
A	Equal variances not assumed			-.453	75.45	.652	-1.23788	2.73371	-6.68318	4.2074
F3_THET	Equal variances assumed	29.333	.000	-3.98	78	.000	-12.5380	3.14294	-18.7951	-6.280
A	Equal variances not assumed			-3.98	40.45	.000	-12.5380	3.14294	-18.8879	-6.188
F4_THET	Equal variances assumed	40.337	.000	-4.67	78	.000	-8.98876	1.92415	-12.8194	-5.158
A	Equal variances not assumed			-4.67	42.32	.000	-8.98876	1.92415	-12.8709	-5.106
F8_THET	Equal variances assumed	24.608	.000	-4.94	78	.000	-14.0103	2.83254	-19.6495	-8.371
A	Equal variances not assumed			-4.94	55.14	.000	-14.0103	2.83254	-19.6865	-8.334
AF4_THE	Equal variances assumed	20.458	.000	-3.64	78	.000	-6.41016	1.75859	-9.91123	-2.909
TA	Equal variances not assumed			-3.64	63.17	.001	-6.41016	1.75859	-9.92422	-2.896

จ11 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpah) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศ

Group Statistics

	wave1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_ALPHA	ชาย	40	8.6807	9.59574	1.51722
	หญิง	40	4.9058	3.43819	.54363
F7_ALPHA	ชาย	40	5.7134	3.39601	.53696
	หญิง	40	7.2026	5.17456	.81817
F3_ALPHA	ชาย	40	8.6476	10.15984	1.60641
	หญิง	40	5.6730	4.18330	.66144
F4_ALPHA	ชาย	40	9.3756	10.98971	1.73763
	หญิง	40	6.7336	6.67999	1.05620
F8_ALPHA	ชาย	40	13.2882	14.78020	2.33695
	หญิง	40	7.6669	4.47080	.70690
AF4_ALPHA	ชาย	40	7.8981	8.79212	1.39016
	หญิง	40	4.8293	4.87030	.77006

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_ALPHA	Equal variances assumed	13.721	.000	2.34	78	.022	3.77491	1.61167	.56632	6.9835
	Equal variances not assumed			2.34	48.85	.023	3.77491	1.61167	.53589	7.0139
F7_ALPHA	Equal variances assumed	8.154	.006	-1.52	78	.132	-1.48923	.97863	3.43754	.45908
	Equal variances not assumed			-1.52	67.33	.133	-1.48923	.97863	3.44241	.46395

จ11 (ต่อ)

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
F3_ALPHA	Equal variances assumed	15.807	.000	1.71	78	.091	2.97457	1.73726	-.48404	6.4331
	Equal variances not assumed			1.71	51.85	.093	2.97457	1.73726	-.51172	6.4608
F4_ALPHA	Equal variances assumed	8.058	.006	1.29	78	.198	2.64201	2.03345	-1.40627	6.6902
	Equal variances not assumed			1.29	64.35	.198	2.64201	2.03345	-1.41983	6.7038
F8_ALPHA	Equal variances assumed	24.807	.000	2.30	78	.024	5.62135	2.44153	.76064	10.482
	Equal variances not assumed			2.30	46.07	.026	5.62135	2.44153	.70704	10.535
AF4_ALPHA	Equal variances assumed	11.639	.001	1.93	78	.057	3.06880	1.58919	-.09504	6.2326
	Equal variances not assumed			1.93	60.87	.058	3.06880	1.58919	-.10912	6.2467

จ12 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต้า (Low_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศ

Group Statistics

	wave1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_LOW_BETA	ชาย	40	3.8064	3.42999	.54233
	หญิง	40	2.0812	1.40589	.22229
F7_LOW_BETA	ชาย	40	4.6344	4.51958	.71461
	หญิง	40	2.8122	1.86038	.29415
F3_LOW_BETA	ชาย	40	3.9480	4.06570	.64284
	หญิง	40	2.3779	1.68699	.26674
F4_LOW_BETA	ชาย	40	4.2979	4.41699	.69839
	หญิง	40	2.5927	1.85966	.29404
F8_LOW_BETA	ชาย	40	5.1004	4.58536	.72501
	หญิง	40	3.3835	2.67281	.42261
AF4_LOW_BETA	ชาย	40	3.2982	3.32021	.52497
	หญิง	40	2.0263	1.64300	.25978

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_LOW_BETA	Equal variances assumed	21.889	.000	2.944	78	.004	1.72524	.58612	.55837	2.8921
	Equal variances not assumed			2.944	51.745	.005	1.72524	.58612	.54897	2.9015
F7_LOW_BETA	Equal variances assumed	18.971	.000	2.358	78	.021	1.82216	.77278	.28368	3.3606

จ12 (ต่อ)

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
F3_LOW_BETA	Equal variances not assumed							.77278	.27136	3.3729	
	Equal variances assumed	24.991	.000	2.256	78	.027	1.57011	.69599	.18451	2.9557	
	Equal variances not assumed			2.256	52.043	.028	1.57011	.69599	.17354	2.9666	
F4_LOW_BETA	Equal variances assumed	29.731	.000	2.250	78	.027	1.70518	.75776	.19659	3.2137	
F8_LOW_BETA	Equal variances not assumed			2.250	52.405	.029	1.70518	.75776	.18490	3.2254	
	Equal variances assumed	17.881	.000	2.046	78	.044	1.71688	.83919	.04619	3.3875	
	Equal variances not assumed			2.046	62.759	.045	1.71688	.83919	.03978	3.3939	
AF4_LOW_BETA	Equal variances assumed	15.064	.000	2.172	78	.033	1.27195	.58573	.10585	2.4380	
	Equal variances not assumed			2.172	57.020	.034	1.27195	.58573	.09905	2.4448	

จ13 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศ

Group Statistics					
	wave1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_HIGH_BETA	ชาย	40	2.1851	1.90604	.30137
	หญิง	40	1.3747	1.38637	.21920
F7_HIGH_BETA	ชาย	40	2.2924	1.87275	.29611
	หญิง	40	2.3674	2.75114	.43499
F3_HIGH_BETA	ชาย	40	2.6474	2.59763	.41072
	หญิง	40	2.2627	2.47502	.39133
F4_HIGH_BETA	ชาย	40	1.8330	1.70475	.26954
	หญิง	40	1.6365	1.53776	.24314
F8_HIGH_BETA	ชาย	40	2.6742	2.48592	.39306
	หญิง	40	2.2763	2.59865	.41088
AF4_HIGH_BETA	ชาย	40	1.6394	1.23667	.19553
	หญิง	40	1.2997	1.13506	.17947

จ13 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศ

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_HIGH_BETA	Equal variances assumed	2.776	.100	2.17	78	.033	.81036	.37266	.06845	1.552
	Equal variances not assumed			2.17	71.242	.033	.81036	.37266	.06734	1.553
F7_HIGH_BETA	Equal variances assumed	3.080	.083	-.143	78	.887	-.07499	.52621	-1.1226	.9726
	Equal variances not assumed			-.143	68.75	.887	-.07499	.52621	-1.1248	.9748

จ13 (ต่อ)

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
F3_HIGH_BETA	Equal variances assumed	.018	.894	.678	78	.500	.38476	.56731	-.74465	1.514
	Equal variances not assumed			.678	77.81	.500	.38476	.56731	-.74470	1.514
F4_HIGH_BETA	Equal variances assumed	.402	.528	.541	78	.590	.19653	.36300	-.52615	.9192
	Equal variances not assumed			.541	77.18	.590	.19653	.36300	-.52627	.9193
F8_HIGH_BETA	Equal variances assumed	.273	.603	.700	78	.486	.39792	.56861	-.73410	1.529
	Equal variances not assumed			.700	77.84	.486	.39792	.56861	-.73414	1.529
AF4_HIGH_BETA	Equal variances assumed	1.688	.198	1.28	78	.204	.33972	.26541	-.18868	.8681
	Equal variances not assumed			1.28	77.43	.204	.33972	.26541	-.18874	.8681

จ14 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma_) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างเพศ

Group Statistics

	wave1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_GAMMA	ชาย	40	2.2247	3.16073	.49976
	หญิง	40	1.2310	1.51231	.23912
F7_GAMMA	ชาย	40	2.0933	2.46927	.39043
	หญิง	40	1.8035	2.43723	.38536
F3_GAMMA	ชาย	40	2.2134	2.34225	.37034
	หญิง	40	1.4784	1.88415	.29791
F4_GAMMA	ชาย	40	1.3047	1.29103	.20413
	หญิง	40	1.1125	1.50128	.23737
F8_GAMMA	ชาย	40	2.0188	2.62045	.41433
	หญิง	40	1.6476	2.25566	.35665

จ14 (ต่อ)

Group Statistics

	wave1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF4_GAMMA	ชาย	40	1.3451	1.31615	.20810
	หญิง	40	1.4646	1.89233	.29920

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_GAMMA	Equal variances assumed	6.319	.014	1.79	78	.077	.99374	.55402	-.10921	2.096
	Equal variances not assumed			1.79	55.96	.078	.99374	.55402	-.11610	2.103
F7_GAMMA	Equal variances assumed	.001	.975	.528	78	.599	.28981	.54858	-.80232	1.381
	Equal variances not assumed			.528	77.98	.599	.28981	.54858	-.80232	1.381
F3_GAMMA	Equal variances assumed	4.619	.035	1.54	78	.126	.73504	.47529	-.21120	1.681
	Equal variances not assumed			1.54	74.57	.126	.73504	.47529	-.21188	1.681
F4_GAMMA	Equal variances assumed	.183	.670	.614	78	.541	.19212	.31307	-.43116	.8154
	Equal variances not assumed			.614	76.28	.541	.19212	.31307	-.43138	.8156
	Equal variances assumed	.449	.505	.679	78	.499	.37123	.54669	-.71715	1.459

จ14 (ต่อ)

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
F8_GAMMA	Equal variances not assumed			.679	76.31	.499	.37123	.54669	-.71753	1.459
	Equal variances assumed	2.143	.147	-.328	78	.744	-.11947	.36446	-.84505	.6061
AF4_GAMMA	Equal variances not assumed			-.328	69.57	.744	-.11947	.36446	-.84643	.6075

จ15 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ต่ำ (Theta) ของกลุ่มทดลอง จำแนกตามลักษณะเขาวนปัญญา

Group Statistics					
	wave3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_THETA	เขาวนปัญญาสูง	40	10.5619	8.87515	1.40328
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	13.2984	10.95904	1.73278
F7_THETA	เขาวนปัญญาสูง	40	13.6667	15.35651	2.42808
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	4.0276	4.03032	.63725
F3_THETA	เขาวนปัญญาสูง	40	10.2659	19.12127	3.02334
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	8.3187	10.40062	1.64448
F4_THETA	เขาวนปัญญาสูง	40	6.7440	7.55450	1.19447
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	8.7454	11.41944	1.80557
F8_THETA	เขาวนปัญญาสูง	40	16.8589	12.47210	1.97201
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	11.4941	15.85184	2.50640
AF4_THETA	เขาวนปัญญาสูง	40	8.4240	7.73202	1.22254
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	7.1364	9.17293	1.45037

จ15 (ต่อ)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_THETA	Equal variances assumed	2.821	.097	-1.227	78	.223	-2.73642	2.22973	-7.17549	1.70264
	Equal variances not assumed			-1.22	74.770	.224	-2.73642	2.22973	-7.1785	1.70566
F7_THETA	Equal variances assumed	11.761	.001	3.840	78	.000	9.63909	2.51031	4.64145	14.63673
	Equal variances not assumed			3.840	44.347	.000	9.63909	2.51031	4.58101	14.69716
F3_THETA	Equal variances assumed	.734	.394	.566	78	.573	1.94721	3.44164	-4.9045	8.79899
	Equal variances not assumed			.566	60.220	.574	1.94721	3.44164	-4.9365	8.83100
F4_THETA	Equal variances assumed	10.313	.002	-.925	78	.358	-2.00147	2.16491	-6.3114	2.30854
	Equal variances not assumed			-.925	67.649	.359	-2.00147	2.16491	-6.3218	2.31895
F8_THETA	Equal variances assumed	1.493	.225	1.682	78	.097	5.36485	3.18918	-.98432	11.71401
	Equal variances not assumed			1.682	73.908	.097	5.36485	3.18918	-.98986	11.71955

จ15 (ต่อ)

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- taile d)	Mean Differenc e	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower		Upper
AF4_THETA	Equal variances assumed	.706	.403	.679	78	.499	1.28761	1.89688	-2.48880	5.06402
	Equal variances not assumed			.679	75.828	.499	1.28761	1.89688	-2.4905	5.06572

จ16 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha) ของกลุ่มทดลอง จำแนกตามลักษณะเขาวนปัญญา

Group Statistics					
	wave3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_ALPHA	เขาวนปัญญาสูง	40	3.7728	2.65413	.41965
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	9.8136	9.24387	1.46158
F7_ALPHA	เขาวนปัญญาสูง	40	5.8478	4.34843	.68755
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	7.0682	4.44676	.70309
F3_ALPHA	เขาวนปัญญาสูง	40	3.6647	3.30277	.52221
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	10.6559	9.44915	1.49404
F4_ALPHA	เขาวนปัญญาสูง	40	4.6335	6.11949	.96758
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	11.4758	10.36913	1.63950
F8_ALPHA	เขาวนปัญญาสูง	40	6.1385	3.50418	.55406
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	14.8166	14.27400	2.25692
AF4_ALPHA	เขาวนปัญญาสูง	40	3.9419	4.49119	.71012

จ16 (ต่อ)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_A LPHA	Equal variances assumed	17.022	.000	-3.97	78	.000	-6.04080	1.52064	-9.06816	-3.013
	Equal variances not assumed			-3.97	45.38	.000	-6.04080	1.52064	-9.10280	-2.978
F7_AL PHA	Equal variances assumed	.136	.713	-1.24	78	.218	-1.22042	.98339	-3.17820	.73737
	Equal variances not assumed			-1.24	77.96	.218	-1.22042	.98339	-3.17822	.73738
F3_AL PHA	Equal variances assumed	20.931	.000	-4.47	78	.000	-6.99122	1.58268	-10.1420	-3.840
	Equal variances not assumed			-4.41	48.38	.000	-6.99122	1.58268	-10.1727	-3.809
F4_AL PHA	Equal variances assumed	11.492	.001	-3.59	78	.001	-6.84229	1.90373	-10.6323	-3.052
	Equal variances not assumed			-3.59	63.22	.001	-6.84229	1.90373	-10.6463	-3.038
F8_AL PHA	Equal variances assumed	26.766	.000	-3.73	78	.000	-8.67818	2.32393	-13.3047	-4.051
	Equal variances not assumed			-3.73	43.68	.001	-8.67818	2.32393	-13.3621	-3.993
AF4_A LPHA	Equal variances assumed	14.534	.000	-3.16	78	.002	-4.84369	1.53150	-7.89266	-1.794
	Equal variances not assumed			-3.16	58.87	.002	-4.84369	1.53150	-7.90834	-1.779

จ17 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_Beta) ของกลุ่มทดลอง จำแนกตามลักษณะ
 เซวาร์ปัญญา

Group Statistics

	wave3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_LOW_BETA	เซวาร์ปัญญาสูง	40	1.7693	1.20880	.19113
	เซวาร์ปัญญาต่ำ	40	4.1182	3.31318	.52386
F7_LOW_BETA	เซวาร์ปัญญาสูง	40	2.3543	1.38834	.21952
	เซวาร์ปัญญาต่ำ	40	5.0924	4.45176	.70389
F3_LOW_BETA	เซวาร์ปัญญาสูง	40	1.7092	1.38189	.21850
	เซวาร์ปัญญาต่ำ	40	4.6167	3.79412	.59990
F4_LOW_BETA	เซวาร์ปัญญาสูง	40	1.8572	1.46154	.23109
	เซวาร์ปัญญาต่ำ	40	5.0333	4.14125	.65479
F8_LOW_BETA	เซวาร์ปัญญาสูง	40	2.8629	2.49371	.39429
	เซวาร์ปัญญาต่ำ	40	5.6210	4.42283	.69931
AF4_LOW_BETA	เซวาร์ปัญญาสูง	40	1.7885	1.62761	.25735
	เซวาร์ปัญญาต่ำ	40	3.5360	3.21525	.50838

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- taile d)	Mean Difference	Std. Error Differe nce	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_LOW_BETA	Equal variances assumed	27.492	.000	-4.21	78	.000	-2.34891	.55764	-3.4590	-1.2387
	Equal variances not assumed			-4.21	49.202	.000	-2.34891	.55764	-3.4694	-1.2284
F7_LOW_BETA	Equal variances assumed	29.905	.000	-3.71	78	.000	-2.73807	.73732	-4.2059	-1.2701
	Equal variances not assumed			-3.71	46.515	.001	-2.73807	.73732	-4.2217	-1.2543
F3_LOW_BETA	Equal variances assumed	32.178	.000	-4.55	78	.000	-2.90749	.63845	4.17855	1.63642

จ17 (ต่อ)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
F4_LOW_BETA	Equal variances not assumed			-4.55	49.168	.000	-2.90749	.63845	-4.1904	-1.6245
	Equal variances assumed	39.527	.000	-4.57	78	.000	-3.17611	.69437	-4.5584	-1.7937
	Equal variances not assumed			-4.57	48.567	.000	-3.17611	.69437	-4.5718	-1.7804
F8_LOW_BETA	Equal variances assumed	20.426	.000	-3.43	78	.001	-2.75808	.80281	-4.3563	-1.1598
	Equal variances not assumed			-3.43	61.520	.001	-2.75808	.80281	-4.3632	-1.1530
	Equal variances assumed	13.788	.000	-3.0	78	.003	-1.74746	.56980	-2.881	-6.1307
AF4_LOW_BETA	Equal variances not assumed			-3.0	57.756	.003	-1.74746	.56980	-2.888	-6.0678

จ18 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_Beta) ของกลุ่มทดลอง จำแนกตามลักษณะ
เขาวนปัญญา

Group Statistics

	wave3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_HIGH_BETA	เขาวนปัญญาสูง	40	1.6801	1.91894	.30341
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	1.8797	1.47954	.23394
F7_HIGH_BETA	เขาวนปัญญาสูง	40	1.8794	2.08921	.33033
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	2.7803	2.50955	.39679
F3_HIGH_BETA	เขาวนปัญญาสูง	40	2.4542	2.92950	.46319
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	2.4559	2.08983	.33043
F4_HIGH_BETA	เขาวนปัญญาสูง	40	1.1456	1.21672	.19238
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	2.3240	1.76016	.27831
F8_HIGH_BETA	เขาวนปัญญาสูง	40	2.1281	2.63097	.41599
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	2.8223	2.41760	.38226
AF4_HIGH_BETA	เขาวนปัญญาสูง	40	1.2870	1.07007	.16919
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	1.6521	1.28976	.20393

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_HIGH_B ETA	Equal variances assumed	.401	.528	-.521	78	.604	-.19954	.38312	-.96228	.56320
	Equal variances not assumed			-.521	73.261	.604	-.19954	.38312	-.96306	.56398
F7_HIGH_BE TA	Equal variances assumed	4.365	.040	-1.74	78	.085	-.90093	.51630	-1.9288	.12694
	Equal variances not assumed			-1.74	75.518	.085	-.90093	.51630	-1.9293	.12747
F3_HIGH_BE TA	Equal variances assumed	6.966	.010	-.003	78	.997	-.00180	.56898	-1.1345	1.13094
	Equal variances not assumed			-.003	70.529	.997	-.00180	.56898	-1.13643	1.13284

จ18 (ต่อ)

		Independent Samples Test									
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
F4_HIGH_BETA	Equal variances assumed	11.939	.001	-3.48	78	.001	-1.17841	.33833	-1.8519	-.50485	
	Equal variances not assumed			-3.48	69.343	.001	-1.17841	.33833	-1.8532	-.50352	
F8_HIGH_BETA	Equal variances assumed	.030	.863	-1.22	78	.223	-.69421	.56495	-1.8189	.43052	
	Equal variances not assumed			-1.22	77.449	.223	-.69421	.56495	-1.8190	.43065	
AF4_HIGH_BETA	Equal variances assumed	4.162	.045	-1.37	78	.172	-.36510	.26498	-.89263	.16244	
	Equal variances not assumed			-1.37	75.430	.172	-.36510	.26498	-.89291	.16272	

จ19 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma) ของกลุ่มทดลอง จำแนกตามลักษณะเขาวน
ปัญหา

Group Statistics					
	High_Low	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AF3_GAMMA	เขาวนปัญหาสูง	40	2.1687	3.21025	.50759
	เขาวนปัญหาลำ	40	1.2870	1.44199	.22800
F7_GAMMA	เขาวนปัญหาสูง	40	1.6043	2.16548	.34239
	เขาวนปัญหาลำ	40	2.2925	2.67362	.42274
F3_GAMMA	เขาวนปัญหาสูง	40	1.7507	2.11755	.33481
	เขาวนปัญหาลำ	40	1.9411	2.19331	.34679
F4_GAMMA	เขาวนปัญหาสูง	40	.8641	1.04744	.16561
	เขาวนปัญหาลำ	40	1.5531	1.61214	.25490

จ19 (ต่อ)

Group Statistics					
F8_GAMMA	เขาวนปัญญาสูง	40	1.6147	2.44210	.38613
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	2.0517	2.44205	.38612
AF4_GAMMA	เขาวนปัญญาสูง	40	1.6400	1.92976	.30512
	เขาวนปัญญาต่ำ	40	1.1696	1.21779	.19255

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AF3_GAMMA	Equal variances assumed	8.153	.006	1.585	78	.117	.88171	.55644	-.22608	1.98950
	Equal variances not assumed			1.585	54.122	.119	.88171	.55644	-.23383	1.99725
F7_GAMMA	Equal variances assumed	3.198	.078	-1.265	78	.210	-.68822	.54400	-1.77125	.39480
	Equal variances not assumed			-1.265	74.774	.210	-.68822	.54400	-1.77198	.39554
F3_GAMMA	Equal variances assumed	.001	.972	-.395	78	.694	-.19046	.48204	-1.15014	.76922
	Equal variances not assumed			-.395	77.904	.694	-.19046	.48204	-1.15015	.76923
F4_GAMMA	Equal variances assumed	7.592	.007	-2.267	78	.026	-.68897	.30398	-1.29415	-.08380
	Equal variances not assumed			-2.267	66.946	.027	-.68897	.30398	-1.29573	-.08222

จ19 (ต่อ)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
F8_GAMMA	Equal variances assumed	.015	.904	-.800	78	.426	-.43704	.54606	-1.52417	.65009
	Equal variances not assumed			-.800	78.000	.426	-.43704	.54606	-1.52417	.65009
AF4_GAMMA	Equal variances assumed	5.987	.017	1.304	78	.196	.47039	.36080	-.24790	1.18868
	Equal variances not assumed			1.304	65.810	.197	.47039	.36080	-.25001	1.19079

จ 20 การวิเคราะห์ปฏิกิริยสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ต่ำ (Theta)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF3_THETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	365.486 ^a	3	121.829	1.228	.305	.046
Intercept	11386.285	1	11386.285	114.767	.000	.602
Gender	149.760	1	149.760	1.509	.223	.019
High_Low	149.760	1	149.760	1.509	.223	.019
Gender * High_Low	65.965	1	65.965	.665	.417	.009
Error	7540.153	76	99.213			
Total	19291.924	80				
Corrected Total	7905.639	79				

a. R Squared = .046 (Adjusted R Squared = .009)

จ20 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F7_THETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	2285.375 ^a	3	761.792	6.157	.001	.196
Intercept	6261.713	1	6261.713	50.608	.000	.400
Gender	30.647	1	30.647	.248	.620	.003
High_Low	1858.239	1	1858.239	15.019	.000	.165
Gender * High_Low	396.489	1	396.489	3.204	.077	.040
Error	9403.435	76	123.729			
Total	17950.523	80				
Corrected Total	11688.810	79				

a. R Squared = .196 (Adjusted R Squared = .164)

Dependent Variable: F3_THETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	3220.765 ^a	3	1073.588	5.321	.002	.174
Intercept	6907.730	1	6907.730	34.239	.000	.311
Gender	3144.061	1	3144.061	15.584	.000	.170
High_Low	75.833	1	75.833	.376	.542	.005
Gender * High_Low	.871	1	.871	.004	.948	.000
Error	15333.110	76	201.751			
Total	25461.606	80				
Corrected Total	18553.875	79				

a. R Squared = .174 (Adjusted R Squared = .141)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	2204.136 ^a	3	734.712	10.764	.000	.298
Intercept	4798.427	1	4798.427	70.300	.000	.481
Gender	1615.958	1	1615.958	23.675	.000	.238
High_Low	80.118	1	80.118	1.174	.282	.015
Gender * High_Low	508.061	1	508.061	7.443	.008	.089
Error	5187.468	76	68.256			
Total	12190.032	80				
Corrected Total	7391.605	79				

a. R Squared = .298 (Adjusted R Squared = .270)

จ 20 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F8_THETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	5298.083 ^a	3	1766.028	12.044	.000	.322
Intercept	16077.869	1	16077.869	109.647	.000	.591
Gender	3925.804	1	3925.804	26.773	.000	.261
High_Low	575.631	1	575.631	3.926	.051	.049
Gender * High_Low	796.648	1	796.648	5.433	.022	.067
Error	11144.073	76	146.633			
Total	32520.026	80				
Corrected Total	16442.157	79				

a. R Squared = .322 (Adjusted R Squared = .295)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF4_THETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1245.316 ^a	3	415.105	7.168	.000	.221
Intercept	4842.526	1	4842.526	83.625	.000	.524
Gender	821.802	1	821.802	14.192	.000	.157
High_Low	33.159	1	33.159	.573	.452	.007
Gender * High_Low	390.355	1	390.355	6.741	.011	.081
Error	4400.989	76	57.908			
Total	10488.831	80				
Corrected Total	5646.304	79				

จ 21 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่อัลฟา (Alpha)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF3_ALPHA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1353.471 ^a	3	451.157	11.492	.000	.312
Intercept	3691.829	1	3691.829	94.040	.000	.553
Gender	284.999	1	284.999	7.260	.009	.087
High_Low	729.826	1	729.826	18.591	.000	.197
Gender * High_Low	338.646	1	338.646	8.626	.004	.102
Error	2983.601	76	39.258			
Total	8028.902	80				
Corrected Total	4337.072	79				

a. R Squared = .312 (Adjusted R Squared = .285)

จ 21 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F7_ALPHA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	98.268 ^a	3	32.756	1.729	.168	.064
Intercept	3336.487	1	3336.487	176.076	.000	.699
Gender	44.356	1	44.356	2.341	.130	.030
High_Low	29.788	1	29.788	1.572	.214	.020
Gender * High_Low	24.123	1	24.123	1.273	.263	.016
Error	1440.136	76	18.949			
Total	4874.891	80				
Corrected Total	1538.404	79				

a. R Squared = .064 (Adjusted R Squared = .027)

Dependent Variable: F3_ALPHA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1674.232 ^a	3	558.077	13.209	.000	.343
Intercept	4101.631	1	4101.631	97.083	.000	.561
Gender	176.962	1	176.962	4.189	.044	.052
High_Low	977.542	1	977.542	23.138	.000	.233
Gender * High_Low	519.728	1	519.728	12.302	.001	.139
Total	8986.765	80				
Corrected Total	4885.135	79				

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F4_ALPHA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1778.354 ^a	3	592.785	9.363	.000	.270
Intercept	5190.136	1	5190.136	81.977	.000	.519
Gender	139.604	1	139.604	2.205	.142	.028
High_Low	936.340	1	936.340	14.789	.000	.163
Gender * High_Low	702.410	1	702.410	11.094	.001	.127
Error	4811.694	76	63.312			
Total	11780.185	80				
Corrected Total	6590.049	79				

a. R Squared = .270 (Adjusted R Squared = .241)

จ 21 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F8_ALPHA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	3435.931 ^a	3	1145.310	13.401	.000	.346
Intercept	8782.320	1	8782.320	102.760	.000	.575
Gender	631.992	1	631.992	7.395	.008	.089
High_Low	1506.215	1	1506.215	17.624	.000	.188
Gender * High_Low	1297.724	1	1297.724	15.184	.000	.167
Error	6495.310	76	85.465			
Total	18713.561	80				
Corrected Total	9931.240	79				

a. R Squared = .346 (Adjusted R Squared = .320)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF4_ALPHA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1055.579 ^a	3	351.860	8.703	.000	.256
Intercept	3239.736	1	3239.736	80.134	.000	.513
Gender	188.350	1	188.350	4.659	.034	.058
High_Low	469.226	1	469.226	11.606	.001	.132
Gender * High_Low	398.003	1	398.003	9.844	.002	.115
Error	3072.600	76	40.429			
Total	7367.915	80				
Corrected Total	4128.180	79				

จ 22 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่โลเบต่ำ (Low_beta)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF3_LOW_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	232.939 ^a	3	77.646	16.279	.000	.391
Intercept	693.274	1	693.274	145.347	.000	.657
Gender	59.529	1	59.529	12.480	.001	.141
High_Low	110.347	1	110.347	23.135	.000	.233
Gender * High_Low	63.063	1	63.063	13.221	.001	.148
Corrected Total	595.442	79				

a. R Squared = .391 (Adjusted R Squared = .367)

จ 22 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F7_LOW_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	343.412 ^a	3	114.471	13.290	.000	.344
Intercept	1109.051	1	1109.051	128.760	.000	.629
Gender	66.406	1	66.406	7.710	.007	.092
High_Low	149.941	1	149.941	17.408	.000	.186
Gender * High_Low	127.065	1	127.065	14.752	.000	.163
Corrected Total	998.023	79				

a. R Squared = .344 (Adjusted R Squared = .318)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F3_LOW_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	337.074 ^a	3	112.358	18.251	.000	.419
Intercept	800.328	1	800.328	129.999	.000	.631
Gender	49.305	1	49.305	8.009	.006	.095
High_Low	169.070	1	169.070	27.462	.000	.265
Gender * High_Low	118.699	1	118.699	19.280	.000	.202
Error	467.889	76	6.156			
Total	1605.290	80				
Corrected Total	804.962	79				

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F4_LOW_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	396.296 ^a	3	132.099	18.004	.000	.415
Intercept	949.591	1	949.591	129.424	.000	.630
Gender	58.153	1	58.153	7.926	.006	.094
High_Low	201.753	1	201.753	27.498	.000	.266
Gender * High_Low	136.390	1	136.390	18.589	.000	.197
Error	557.615	76	7.337			
Total	1903.502	80				
Corrected Total	953.910	79				

a. R Squared = .415 (Adjusted R Squared = .392)

จ 22 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F8_LOW_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	390.846 ^a	3	130.282	12.914	.000	.338
Intercept	1439.507	1	1439.507	142.690	.000	.652
Gender	58.954	1	58.954	5.844	.018	.071
High_Low	152.140	1	152.140	15.081	.000	.166
Gender * High_Low	179.752	1	179.752	17.818	.000	.190
Error	766.715	76	10.088			
Total	2597.068	80				
Corrected Total	1157.560	79				

a. R Squared = .338 (Adjusted R Squared = .312)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF4_LOW_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	151.057 ^a	3	50.352	9.188	.000	.266
Intercept	566.998	1	566.998	103.460	.000	.577
Gender	32.357	1	32.357	5.904	.017	.072
High_Low	61.072	1	61.072	11.144	.001	.128
Gender * High_Low	57.628	1	57.628	10.515	.002	.122
Error	416.506	76	5.480			
Total	1134.561	80				
Corrected Total	567.563	79				

a. R Squared = .266 (Adjusted R Squared = .237)

จ 23 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่ไฮเบต้า (Hight_beta)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF3_HIGH_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	14.480 ^a	3	4.827	1.704	.173	.063
Intercept	253.443	1	253.443	89.465	.000	.541
Gender	13.134	1	13.134	4.636	.034	.057
High_Low	.796	1	.796	.281	.598	.004
Gender * High_Low	.550	1	.550	.194	.661	.003
Corrected Total	229.780	79				

a. R Squared = .063 (Adjusted R Squared = .026)

จ 23 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F7_HIGH_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	18.885 ^a	3	6.295	1.158	.331	.044
Intercept	434.264	1	434.264	79.876	.000	.512
Gender	.112	1	.112	.021	.886	.000
High_Low	16.234	1	16.234	2.986	.088	.038
Gender * High_Low	2.539	1	2.539	.467	.496	.006
Corrected Total	432.075	79				

a. R Squared = .044 (Adjusted R Squared = .006)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F3_HIGH_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	3.058 ^a	3	1.019	.154	.927	.006
Intercept	482.182	1	482.182	73.005	.000	.490
Gender	2.961	1	2.961	.448	.505	.006
High_Low	6.469E-005	1	6.469E-005	.000	.998	.000
Gender * High_Low	.097	1	.097	.015	.904	.000
Error	501.966	76	6.605			
Total	987.206	80				
Corrected Total	505.024	79				

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F4_HIGH_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	44.947 ^a	3	14.982	7.055	.000	.218
Intercept	240.753	1	240.753	113.373	.000	.599
Gender	.773	1	.773	.364	.548	.005
High_Low	27.773	1	27.773	13.078	.001	.147
Gender * High_Low	16.402	1	16.402	7.724	.007	.092
Error	161.390	76	2.124			
Total	447.090	80				
Corrected Total	206.337	79				

a. R Squared = .218 (Adjusted R Squared = .187)

จ 23 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F8_HIGH_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	17.501 ^a	3	5.834	.905	.443	.034
Intercept	490.133	1	490.133	76.014	.000	.500
Gender	3.167	1	3.167	.491	.486	.006
High_Low	9.639	1	9.639	1.495	.225	.019
Gender * High_Low	4.696	1	4.696	.728	.396	.009
Error	490.043	76	6.448			
Total	997.677	80				
Corrected Total	507.544	79				

a. R Squared = .034 (Adjusted R Squared = -.004)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF4_HIGH_BETA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	9.180 ^a	3	3.060	2.257	.089	.082
Intercept	172.768	1	172.768	127.456	.000	.626
Gender	2.308	1	2.308	1.703	.196	.022
High_Low	2.666	1	2.666	1.967	.165	.025
Gender * High_Low	4.206	1	4.206	3.103	.082	.039
Error	103.019	76	1.356			
Total	284.967	80				
Corrected Total	112.199	79				

จ 24 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองย่านความถี่แกมมา (Gamma)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF3_GAMMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	47.610 ^a	3	15.870	2.675	.053	.095
Intercept	238.834	1	238.834	40.251	.000	.346
Gender	19.751	1	19.751	3.329	.072	.042
High_Low	15.548	1	15.548	2.620	.110	.033
Gender * High_Low	12.311	1	12.311	2.075	.154	.027
Error	450.956	76	5.934			
Total	737.399	80				
Corrected Total	498.566	79				

a. R Squared = .095 (Adjusted R Squared = .060)

จ 24 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F7_GAMMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	14.426 ^a	3	4.809	.800	.498	.031
Intercept	303.694	1	303.694	50.537	.000	.399
Gender	1.680	1	1.680	.280	.599	.004
High_Low	9.473	1	9.473	1.576	.213	.020
Gender * High_Low	3.274	1	3.274	.545	.463	.007
Error	456.711	76	6.009			
Total	774.832	80				
Corrected Total	471.138	79				

a. R Squared = .031 (Adjusted R Squared = -.008)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F3_GAMMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	11.540 ^a	3	3.847	.831	.481	.032
Intercept	272.583	1	272.583	58.907	.000	.437
Gender	10.806	1	10.806	2.335	.131	.030
High_Low	.725	1	.725	.157	.693	.002
Gender * High_Low	.008	1	.008	.002	.966	.000
Corrected Total	363.217	79				

a. R Squared = .032 (Adjusted R Squared = -.006)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F4_GAMMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	11.457 ^a	3	3.819	2.041	.115	.075
Intercept	116.857	1	116.857	62.462	.000	.451
Gender	.738	1	.738	.395	.532	.005
High_Low	9.494	1	9.494	5.075	.027	.063
Gender * High_Low	1.225	1	1.225	.655	.421	.009
Error	142.185	76	1.871			
Total	270.499	80				
Corrected Total	153.642	79				

a. R Squared = .075 (Adjusted R Squared = .038)

จ24 (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: F8_GAMMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	8.229 ^a	3	2.743	.452	.716	.018
Intercept	268.853	1	268.853	44.346	.000	.368
Gender	2.756	1	2.756	.455	.502	.006
High_Low	3.820	1	3.820	.630	.430	.008
Gender * High_Low	1.653	1	1.653	.273	.603	.004
Error	460.762	76	6.063			
Total	737.845	80				
Corrected Total	468.991	79				

a. R Squared = .018 (Adjusted R Squared = -.021)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AF4_GAMMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	6.348 ^a	3	2.116	.799	.498	.031
Intercept	157.883	1	157.883	59.652	.000	.440
Gender	.285	1	.285	.108	.744	.001
High_Low	4.425	1	4.425	1.672	.200	.022
Gender * High_Low	1.637	1	1.637	.619	.434	.008
Error	201.151	76	2.647			
Total	365.381	80				
Corrected Total	207.499	79				

a. R Squared = .031 (Adjusted R Squared = -.008)

ภาคผนวก ฉ

แบบประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา

ฉ1 รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

ฉ2 แบบประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหาของกิจกรรมพัฒนาเยาวชนปัญญา
ด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนประถมศึกษา

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ผศ.ดร.อรรถพล แก้วขาว ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ดร. ปิยะทิพย์ ประดุงพรหม วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา
3. อาจารย์ธีร์นวัช สุขวิไลหิรัญ รองหัวหน้าฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ
ศูนย์วิจัยการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี
สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
4. ดร. ปณัฏฐา ศรเดช ครูเชี่ยวชาญ (คณิตศาสตร์) โรงเรียนอนุบาลระยอง
5. นางมยุรี ประสิทธิ์นาวา ครูเชี่ยวชาญ (คณิตศาสตร์) โรงเรียนเทศบาลชุมชน
วิมลวิทยา จังหวัดตราด

**แบบประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหาของ
กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา**

คำชี้แจง เครื่องมือวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

กิจกรรมพัฒนาเชาวน์ปัญญาด้านคณิตศาสตร์เป็นแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) แบบ 4 ระดับ ขอความกรุณาท่านตรวจสอบความสอดคล้องของข้อความกับนิยามเชิงปฏิบัติการ โดยทำเครื่องหมายถูก (✓) ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน ซึ่งมีเกณฑ์พิจารณา ดังนี้

- 1 หมายถึง แบบฝึกทักษะไม่สอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ
- 2 หมายถึง แบบฝึกทักษะต้องปรับปรุงมากจึงจะสอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ
- 3 หมายถึง แบบฝึกทักษะต้องปรับปรุงน้อยจึงจะสอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ
- 4 หมายถึง แบบฝึกทักษะมีความสอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการมาก

หากท่านมีความคิดเห็นเพิ่มเติมในการปรับปรุงข้อความให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ขอความกรุณาท่านระบุความคิดเห็นดังกล่าวในช่องข้อเสนอแนะ จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

วิสุทธิ กัล้าหาญ

นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอความกรุณาท่านตรวจสอบความสอดคล้องของข้อความกับนิยามเชิงปฏิบัติการ โดยทำเครื่องหมายถูก (✓) ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

<p>เขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics Intelligence) หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการคิดแบบมีเหตุผลในด้านตรรกะและจำนวน รูปแบบทางด้านตัวเลข การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ คิววิเคราะห์แยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ดี และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังสามารถสร้างความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลหลาย ๆ ด้าน ผู้มีปัญญาด้านนี้สูงจะสามารถจัดเก็บตัวแปรหลาย ๆ ตัว และสร้างสมมติฐานได้มากมาย สามารถประเมินและยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานแต่ละข้ออย่างรวดเร็ว รวมทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สนุกกับการแก้ปัญหาที่ต้องสรรหาเหตุผลมาประกอบ</p>							
นิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร	ข้อ	ข้อความ	ระดับความสอดคล้องของแบบฝึกทักษะกับนิยามเชิงปฏิบัติการ				ข้อเสนอแนะ
			1	2	3	4	
ความสามารถของบุคคลในการคิดแบบมีเหตุผลในด้านตรรกะและจำนวน รูปแบบทางด้านตัวเลข	1	แบบฝึกทักษะทำให้มีการคิดแบบมีเหตุผลมากขึ้น					
	2	แบบฝึกทักษะทำให้มีความรู้ด้านตรรกะและจำนวนดีขึ้น					
	3	แบบฝึกทักษะทำให้มีความคิดด้านตัวเลขมากขึ้น					
	4	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถจดจำรูปแบบด้านตัวเลขเพิ่มขึ้น					
	5	แบบฝึกทักษะทำให้การคิดมีเหตุผลในด้านจำนวนเพิ่มขึ้น					
	6	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถคิดคำนวณด้านตัวเลขได้หลากหลาย					
	7	แบบฝึกทักษะทำให้มีความเป็นเหตุและผล					
	8	แบบฝึกทักษะทำให้มีความคิดคล่องตัวในด้านตัวเลข					
การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ คิววิเคราะห์แยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ดี และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์	9	แบบฝึกทักษะทำให้เข้าใจสิ่งที่ไม่สามารถจับต้องได้					
	10	แบบฝึกทักษะทำให้คาดการณ์ได้ถูกต้อง					
	11	แบบฝึกทักษะทำให้คิดแยกแยะถูกต้อง					
	12	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวเลขได้					
	13	แบบฝึกทักษะเพิ่มความสามารถในการคำนวณ					
	14	แบบฝึกทักษะทำให้คำนวณตัวเลขยาก ๆ ได้					
	15	แบบฝึกทักษะทำให้เพิ่มทักษะในการคิด					

นิยามเชิงปฏิบัติกรของตัวแปร	ข้อ	ข้อความ	ระดับความสอดคล้องของแบบฝึกทักษะกับนิยามเชิงปฏิบัติการ				ข้อเสนอแนะ
			1	2	3	4	
	16	แบบฝึกทักษะทำให้เพิ่มทักษะการคำนวณ					
	17	แบบฝึกทักษะทำให้เพิ่มกระบวนการทางคณิตศาสตร์					
สร้างความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลหลายๆ จัดเก็บตัวแปรหลายๆ ตัว และสร้างสมมติฐานได้	18	แบบฝึกทักษะทำให้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขได้					
	19	แบบฝึกทักษะทำให้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของจำนวนหลายๆ จำนวนได้					
	20	แบบฝึกทักษะทำให้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายๆ ชุดได้					
	21	แบบฝึกทักษะทำให้จัดเก็บตัวเลขหลายจำนวนได้					
	22	แบบฝึกทักษะทำให้จัดเก็บข้อมูลหลาย ๆ ชุดได้					
	23	แบบฝึกทักษะทำให้จัดเก็บตัวแปรต่างๆ ได้					
	24	แบบฝึกทักษะทำให้จัดเก็บข้อมูลในรูปของตัวแปรได้					
	25	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถสร้างสมมติฐานจากข้อมูลต่าง ๆ ได้					
สามารถประเมินและยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานแต่ละข้ออย่างรวดเร็ว รวมทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ สนุกกับการแก้ปัญหาที่ต้องสรรหาเหตุผลมาประกอบ	26	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถประเมินสมมติฐานได้					
	27	แบบฝึกทักษะทำให้ยอมรับสมมติฐานได้					
	28	แบบฝึกทักษะทำให้ปฏิเสธสมมติฐานได้					
	29	แบบฝึกทักษะทำให้สนุกกับปัญหาทางวิทยาศาสตร์					
	30	แบบฝึกทักษะทำให้สนุกกับปัญหาทางคณิตศาสตร์					
	31	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์/คณิตศาสตร์ได้					
	32	แบบฝึกทักษะทำให้สามารถแก้ปัญหาโดยหาเหตุผลมาประกอบได้					

(.....)

ผู้วิจัยฯ

แบบประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหาของกิจกรรมพัฒนาเขาวนปัญญาด้านคณิตศาสตร์สำหรับ
นักเรียนระดับประถมศึกษา สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อที่	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	หมายเหตุ
1	4	3	3	3	4	
2	3	4	4	4	4	
3	4	4	3	4	4	
4	3	3	3	3	4	
5	3	3	3	3	4	
6	4	4	3	4	4	
7	3	4	4	4	4	
8	3	4	3	4	4	
9	3	3	4	3	4	
10	3	3	3	3	4	
11	4	2	2	2	3	
12	4	2	2	2	4	
13	4	2	3	2	4	
14	3	2	4	2	3	
15	4	3	4	3	4	
16	4	3	4	3	4	
17	4	3	3	3	4	
18	4	3	4	3	3	
19	4	4	4	3	4	
20	4	4	3	3	4	
21	4	4	4	3	4	
22	4	4	4	3	4	
23	4	2	3	2	4	
24	4	2	3	2	4	
25	4	3	4	3	3	
26	4	3	3	3	3	
27	4	3	4	3	4	
28	4	2	3	2	3	
29	4	4	4	4	4	
30	4	4	4	4	4	
31	4	4	4	4	4	
32	4	3	4	3	4	

ผลการประเมินคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา = .85

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายวิสุทธิ์ กล้าหาญ
วัน เดือน ปีเกิด	4 กรกฎาคม 2508
สถานที่เกิด	จังหวัดระยอง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	44 หมู่ 14 ตำบลวังหว้า อำเภอแกลง จังหวัดระยอง 21110
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2531-2532	อาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนประเสริฐ-น้อย รุจิรวงศ์ 1 อำเภอตาพระยา จังหวัดสระแก้ว
พ.ศ. 2532-2538	อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนหนองกรดพิทยาคม อำเภอบรรพตพิสัย จังหวัดนครสวรรค์
พ.ศ. 2538-ปัจจุบัน	ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนมกุฎเมืองราชวิทยาลัย อำเภอแกลง จังหวัดระยอง
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2530	ครุศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์) วิทยาลัยรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2551	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิทยาการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พ.ศ. 2561	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

ผลงานวิจัย

- วรภรณ์ ลี้มเปรมวัฒนา, จิรฐิติ หลอมประโคน, และวิสุทธิ์ กล้าหาญ. (2557). การศึกษาปัจจัยการตลาดในการซื้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของผู้หญิงทำงานในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 8(3), 9-16.
- สุรัชดา เชิตบุญเมือง, จิรฐิติ หลอมประโคน, และวิสุทธิ์ กล้าหาญ. (2557). ปัจจัยการตลาดและพฤติกรรมการซื้อสินค้าผ่านระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารปัญหาวิจัย ฉบับพิเศษ*, 5(-), 76-91.
- วิสุทธิ์ กล้าหาญ และพูลพงศ์ สุขสว่าง, (2562). การพัฒนาเขาวนปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนประถมศึกษา: การศึกษาเชิงพฤติกรรม. *วารสารวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 25(2), (In press)