บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต และระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยการศึกษาด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเป็นการศึกษาทั้งด้านพฤติกรรมและการทำงานของสมอง มีรายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 115 คน ที่อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 30 คน จากอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัยและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด โดยมีวิธีการพิจารณาเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ดังนี้

1. เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี
2. ไม่มีประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะ หรือไม่มีประวัติการได้รับอุบัติเหตุอย่างรุนแรง
3. ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยทางจิต การใช้ยาทางจิตเวชหรือสารเสพติดที่มีผลต่อระบบประสาท
4. มีการมองเห็นปกติ (สวมแว่นสายตาได้)
5. มีความสามารถในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
6. ถนัดการใช้มือขวา
7. มีระดับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ
8. มีความเต็มใจเข้าร่วมการทดลองตามที่กำหนด และได้รับการยินยอมจากผู้ปกครอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทั้งนี้ได้ติดต่อประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เพื่อขออนุญาตประชาสัมพันธ์ และรับสมัครอาสาสมัครเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดในขั้นต้นเข้าร่วมโครงการวิจัย จากนั้นดำเนินการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ เพื่อคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง โดยนำผลการทดสอบมาตรวจให้คะแนน โดยตอบถูกได้ 1 คะแนน ตอบผิดได้ 0 คะแนน และนำคะแนนรวมของอาสาสมัครทั้ง 115 คน ไปจัดอันดับตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความถี่ และคะแนนการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

คะแนนรวม	ความถี่ (f)	ความถี่สะสม (cf)	½f	cf - ½f	เปอร์เซ็นไทล์ $\left\{\frac{100}{N}(cf-\frac{1}{2}f)\right\}$
39	1	115	0.50	114.50	99.62
36	2	114	1.00	113.00	98.31
35	4	112	2.00	110.00	95.70
34	6	108	3.00	105.00	91.35
33	5	102	2.50	99.50	86.57
32	4	97	2.00	95.00	82.65
31	5	93	2.50	90.50	78.74
30	1	88	0.50	87.50	76.13
29	2	87	1.00	86.00	74.82
28	1	85	0.50	84.50	73.52
27	2	84	1.00	83.00	72.21
26	1	82	0.50	81.50	70.91
25	1	81	0.50	80.50	70.04
24	1	80	0.50	79.50	69.17
23	4	79	2.00	77.00	66.99
22	2	75	1.00	74.00	64.38
21	2	73	1.00	72.00	62.64
20	7	71	3.50	67.50	58.73
19	3	64	1.50	62.50	54.38
18	2	61	1.00	60.00	52.20
17	2	59	1.00	58.00	50.46
16	3	57	1.50	55.50	48.29

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 1 (ต่อ)

คะแนนรวม	ความถี่ (f)	ความถี่สะสม (cf)	½f	cf - ½f	เปอร์เซ็นไทล์ $\left\{ \frac{100}{N}(cf-\frac{1}{2}f) \right\}$
15	2	54	1.00	53.00	46.11
14	2	52	1.00	51.00	44.37
13	2	50	1.00	49.00	42.63
12	9	48	4.50	43.50	37.85
11	9	39	4.50	34.50	30.02
10	10	30	5.00	25.00	21.75
9	8	20	4.00	16.00	13.92
8	3	12	1.50	10.50	9.14
7	8	9	4.00	5.00	4.35
6	1	1	0.50	0.50	0.44

จากตารางที่ 1 คะแนนการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของอาสาสมัคร ผู้วิจัยนำมาจัดตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ และคัดเลือกผู้ที่มีคะแนนน้อยที่สุดขึ้นไปตามลำดับ จำนวน 30 คน ซึ่งตรงกับตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ที่ 21.75

แบบแผนการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) แบบ Randomized Pretest-Posttest Control Group Design (McMillian & Schumacher, 2010) โดยมีแบบแผนการทดลอง ดังภาพที่ 61

การสุ่มเข้ากลุ่ม (Random Assignment)	กลุ่ม (Group)	ทดสอบก่อน (Pretest)	ทดลอง (Intervention)	ทดสอบหลัง (Posttest)
R	E	O_{E1}	X	O_{E2}
	C	O_{C1}		O_{C2}

ภาพที่ 61 แบบแผนการทดลองแบบ Randomized Pretest-Posttest Control Group Design

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความหมายของสัญลักษณ์

R แทน การสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

E แทน กลุ่มทดลอง (Experimental Group) หมายถึง กลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

C แทน กลุ่มควบคุม (Control Group) หมายถึง กลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

X แทน การใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

O_{E1} แทน การทดสอบและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตของกลุ่มทดลอง

O_{E2} แทน การทดสอบและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง หลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตของกลุ่มทดลอง

O_{C1} แทน การทดสอบและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ก่อนการทดลอง ของกลุ่มควบคุม

O_{C2} แทน การทดสอบและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง หลังการทดลอง ของกลุ่มควบคุม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) รายละเอียดดังนี้

1. โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการทางสมองกับมิติสัมพันธ์ แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการทางสมองกับการวาดภาพ และแนวคิดเกี่ยวกับการวาดภาพกับการพัฒนามิติสัมพันธ์ เพื่อเป็นกรอบแนวคิดพื้นฐาน และออกแบบโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต รวมทั้งแนวทางพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต สำหรับเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีขั้นตอนการพัฒนาดังนี้

1.1 การศึกษาแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1.1 การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เพียเจท์ และอินเฮลเดอร์ (Piaget & Inhelder, 1967) อธิบายถึงการแสดงออกทางการวาดภาพแสดงมิติสัมพันธ์ว่าเป็นขั้นตอนพัฒนาการทางสมองที่ควบคุมความสามารถในการวาดภาพและการใช้มิติ สำหรับการ์ดเนอร์ (Gardner, 1983) อธิบายความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่าเป็นความสามารถในการมองเห็นความเชื่อมโยงของสิ่งต่าง ๆ และสามารถวาดมโนภาพของความเชื่อมโยงให้เกิดขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภายในใจ พร้อมทั้งสามารถถ่ายทอดออกมาให้คนอื่นรับรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรม ส่วนกิลฟอร์ด (Guilford, 1967) อธิบายว่าสติปัญญาเกิดจากการร่วมกันของมิติทั้ง 3 คือ 1) มิติด้านวิธีการคิด 2) มิติด้านเนื้อหา และ 3) มิติด้านผลของการคิด

1.1.2 การศึกษาองค์ประกอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ส่วนใหญ่พบว่ามี 5 องค์ประกอบหลัก คือ Spatial Perception, Spatial Visualization, Spatial Rotations, Spatial Relations และ Spatial Orientation จึงอาจกล่าวได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มีความสำคัญที่แตกต่างกันไปตามลักษณะกระบวนการคิด การจินตภาพ การเก็บข้อมูล การดึงข้อมูลกลับ และการเปลี่ยนสภาพไปของวัตถุ

1.1.3 การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการทางสมองกับมิติสัมพันธ์ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นความสามารถทางสมองที่เชื่อมโยงกัน โดยในบริเวณสมองส่วนขมับ ซึ่งเป็นความสามารถในการจดจำแยกแยะรูปทรง ทิศทาง และขนาดของวัตถุ รวมทั้งสามารถแยกแยะภาพ หรือวัตถุออกจากพื้นหลัง หรือสิ่งอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ได้ สำหรับความสามารถทางสมองบริเวณขม่อม เป็นการรับรู้ตำแหน่งของวัตถุที่มีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมรอบตัว ทำให้สามารถรับรู้ทิศทาง ตำแหน่งของวัตถุ สามารถรับรู้รูปแบบความสัมพันธ์และกะระยะความห่างระหว่างวัตถุกับสิ่งอื่น ๆ

1.1.4 การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการทางสมองกับการวาดภาพ ซึ่งการวาดภาพเป็นความสามารถในการทำงานประสานกันของตา แขนและมือในการลากเส้นซ้ำไปมา โดยมีเส้นทางของระบบประสาทส่วนการมองเห็นบริเวณสมองส่วนท้ายทอยและเยื่อหุ้มสมองบริเวณขม่อมส่วนกลาง

1.1.5 การศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการวาดภาพกับการพัฒนามิติสัมพันธ์ ทฤษฎีพัฒนาการ เพียเจท์ และอินเฮลเดอร์ (Piaget & Inhelder, 1967) อธิบายถึงการแสดงออกทางการวาดภาพแสดงมิติสัมพันธ์ว่า เป็นขั้นตอนพัฒนาการทางสมองที่ควบคุมความสามารถในการวาดภาพและการใช้มิติ และได้ศึกษากระบวนการวาดภาพของวิลลัตส์ (Willats, 1977) ที่ศึกษาความสามารถของการวาดภาพเหมือนจริง หรือการวาดภาพอย่างมีทัศนียภาพวิทยา (Canonical Perspective) เป็นกระบวนการวาดภาพให้มีความลึก โดยเริ่มจากการวาดภาพที่ไม่มีมิติไปสู่การวาดภาพที่มีมิติแบบทัศนียภาพที่สมบูรณ์ คือ กระบวนการวาดภาพจากรูปร่าง 2 มิติ ไปสู่การวาดภาพรูปทรง 3 มิติ โดยการใช้เส้นลักษณะต่าง ๆ ในการวาดภาพให้เกี่ยวเนื่องติดต่อกันเป็นภาพที่สมบูรณ์ และหลักการวาดภาพให้ดูเหมือนสภาพความเป็นจริงถ้าสิ่งของที่มีขนาดเดียวกัน ของที่อยู่ใกล้จะวาดใหญ่กว่าของที่อยู่ไกลออกไป ซึ่งกระบวนการวาดภาพ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน

ดังนี้ 1) การวาดภาพแนวดิ่ง และเส้นในการแนวนอน 2) การวาดเส้นขนานในแนวดิ่ง 3) การวาดเส้นขนานในแนวนอน 4) การวาดเส้นเอียงขนาน และเส้นเอียงที่เบนบรรจบเข้าหากันแสดงถึงการวาดภาพรูปทรง 3 มิติอย่างชัดเจน และ 5) การวาดทับซ้อนกันของวัตถุและการวาดภาพวัตถุให้มีขนาดแตกต่างกันเป็นการสร้างภาพให้เกิดความลึกแสดงมิติแบบทัศนียภาพวิทยาที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ได้ศึกษาการวาดด้วยโปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้วาดรูปทรงเรขาคณิตและการแปลงทางเรขาคณิต ประกอบด้วย การใช้คำสั่งจากกล่องเครื่องมือ การใช้เมนูสร้าง และการใช้เมนูการแปลง เพื่อกำหนดรายละเอียด ขั้นตอน เนื้อหา ระยะเวลา สื่อ/อุปกรณ์ และการประเมินผลในโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

จากการศึกษาการวาดภาพกับการทำงานของระบบประสาท พอสรุปได้ว่า การวาดภาพเป็นความสามารถในการจัดลำดับการเคลื่อนไหวของมือ ที่มีการถ่ายโอนการเข้ารหัสของระบบประสาทเกี่ยวข้องกับการวาดภาพวัตถุที่มีความซับซ้อนในการควบคุมการเคลื่อนไหวควบคู่กับการมองเห็น ซึ่งเป็นความสามารถในการทำงานประสานกันของตา แขนและมือในการลากเส้นซ้ำไปมา โดยมีเส้นทางของระบบประสาทส่วนการมองเห็นบริเวณด้านหลังและเปลือกสมองบริเวณขมับส่วนกลาง ดังนั้นการวาดภาพจึงต้องมีทักษะการใช้มือที่ประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทส่วนการควบคุมการเคลื่อนไหวมาใช้เป็นตัวแทนประมวลผลรูปแบบที่ซับซ้อนในการจินตภาพ และสังเกตการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะรูปแบบการฝึกฝน

1.2. การตรวจสอบคุณภาพโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

1.2.1 จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัย ผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตโดยประยุกต์กระบวนการวาดภาพของวิลลัตส์ ร่วมกับโปรแกรม The Geometer's Sketchpad และกำหนดรายละเอียดแต่ละกิจกรรม ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ขั้นตอนและเนื้อหาในการจัดกิจกรรม ความสอดคล้องด้านมิติสัมพันธ์ ระยะเวลา สื่อ อุปกรณ์ และการประเมินผล

1.2.2 นำโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาตรวจสอบรายละเอียดแต่ละกิจกรรม และตรวจสอบความเหมาะสมของแบบประเมินเพื่อให้มีความสมบูรณ์และชัดเจน

1.2.3 ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ดังนี้

1.2.3.1 ด้านการดำเนินการตามขั้นตอนของโปรแกรม ประกอบด้วย ตารางรายละเอียดการดำเนินกิจกรรม วัตถุประสงค์ ขั้นตอนและเนื้อหา ระยะเวลา สื่อ อุปกรณ์ และการประเมินผล

1.2.3.2 ด้านเนื้อหา ประกอบด้วย เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เนื้อหามีความชัดเจนเนื้อหากับการพัฒนามิติสัมพันธ์ การลำดับเนื้อหาจากง่ายไปยาก การใช้ภาษาเข้าใจง่าย เนื้อหาเหมาะสมกับกลุ่มผู้เรียน

1.2.3.3 ด้านการประเมินผล ประกอบด้วย การประเมินผลแต่ละจัดกิจกรรมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และการประเมินผลสอดคล้องกับกระบวนการพัฒนาด้านมิติสัมพันธ์

1.2.3.4 ภาพรวมของโปรแกรม ประกอบด้วย คำชี้แจงมีความชัดเจน ขั้นตอนมีความต่อเนื่อง กระบวนการวาดภาพของวิลลัตส์ การวาดด้วยโปรแกรม The Geometer's Sketchpad ความเป็นไปได้ในการดำเนินกิจกรรม และการจัดกิจกรรมโดยรวมช่วยให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดด้านมิติสัมพันธ์

1.2.4 ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย

1. รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิมพ์ ศรีพันธ์วรสกุล
   อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
   มหาวิทยาลัยบูรพา
2. รองศาสตราจารย์พีระพงษ์ กุลพิศาล
   อาจารย์ประจำคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (สาขาวิชาศิลปะ)
   มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
3. อาจารย์ชนธิชา เศตะพราหมณ์
   อาจารย์โรงเรียนบางประกอกวิทยาคม (สาขาวิชาคณิตศาสตร์
   โดยใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad)

การประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ใช้มาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ โดยนำผลการประเมินรายข้อมาคำนวณค่าเฉลี่ย และเทียบกับเกณฑ์การประเมินดังนี้ (Johnson & Christensen, 2004)

ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง เหมาะสมมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง เหมาะสมมาก
ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง เหมาะสมปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง เหมาะสมน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.49 หมายถึง เหมาะสมน้อยที่สุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พิจารณาความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผลการประเมิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

รายการประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
1. ด้านการดำเนินการตามขั้นตอนของโปรแกรม			
1.1 ตารางรายละเอียดการดำเนินกิจกรรม	4.00	0.00	มาก
1.2 การกำหนดวัตถุประสงค์แต่ละกิจกรรม	4.00	0.00	มาก
1.3 การกำหนดขั้นตอนและเนื้อหาการดำเนินกิจกรรม	4.67	0.58	มากที่สุด
1.4 การกำหนดระยะเวลาแต่ละกิจกรรม	4.33	0.58	มาก
1.5 การกำหนดสื่อ อุปกรณ์แต่ละกิจกรรม	4.00	0.00	มาก
1.6 การประเมินผลแต่ละกิจกรรม	4.00	0.00	มาก
รวม	**4.17**	**0.38**	**มาก**
2. ด้านเนื้อหา			
2.1 เนื้อหาแต่ละกิจกรรมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.00	0.00	มาก
2.2 รายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละกิจกรรมมีความชัดเจน	4.00	0.00	มาก
2.3 เนื้อหาแต่ละกิจกรรมเหมาะสมกับการพัฒนามิติสัมพันธ์	4.33	0.58	มาก
2.4 กระบวนการเรียนรู้ได้จัดลำดับเนื้อหาจากง่ายไปหายาก	5.00	0.00	มากที่สุด
2.5 การใช้ภาษาเข้าใจง่าย	3.67	0.58	มาก
2.6 เนื้อหาในแต่ละกิจกรรมมีความเหมาะสมกับกลุ่มผู้เรียน	4.33	0.58	มาก
รวม	**4.22**	**0.55**	**มาก**
3. ด้านการประเมินผล			
3.1 การประเมินผลแต่ละจัดกิจกรรมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	3.67	0.58	มาก
3.2 การประเมินผลสอดคล้องกับกระบวนการพัฒนาด้านมิติสัมพันธ์	4.33	0.58	มาก
รวม	**4.00**	**0.63**	**มาก**

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รายการประเมิน	*M*	*SD*	ระดับความเหมาะสม
4. ภาพรวมของโปรแกรม			
4.1 คำชี้แจงมีความชัดเจน	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2 การดำเนินกิจกรรมตามขั้นตอนมีความต่อเนื่อง	4.33	0.58	มาก
4.3 กิจกรรมการวาดภาพตามกระบวนการวาดของวิลลัตส์	4.67	0.58	มากที่สุด
4.4 กิจกรรมการวาดภาพด้วยโปรแกรม The Geometer's Sketchpad	4.67	0.58	มากที่สุด
4.5 มีความเป็นไปได้ในการดำเนินกิจกรรมแต่ละกิจกรรม	4.67	0.58	มากที่สุด
4.6 การจัดกิจกรรมโดยรวมช่วยให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดด้านมิติสัมพันธ์	4.33	0.58	มาก
รวม	4.56	0.51	**มากที่สุด**
รวมทั้งหมด	4.28	0.52	**มาก**

หมายเหตุ: *M* หมายถึง ค่าเฉลี่ย

SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณา โดยรวมทั้งหมดของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มีความเหมาะสมในระดับมาก (*M*=4.28, *SD*=0.52) เมื่อพิจารณาตามรายการประเมิน ปรากฏว่า ด้านการดำเนินการตามขั้นตอนของโปรแกรม มีความเหมาะสมระดับมาก (*M*=4.17, *SD*=0.32) ด้านเนื้อหา มีความเหมาะสมระดับมาก (*M*=4.22, *SD*=0.55) ด้านการประเมินผล มีความเหมาะสมระดับมาก (*M*=4.00, *SD*=0.63) และด้านภาพรวมของโปรแกรม มีความเหมาะสมระดับมากที่สุด (*M*=4.56, *SD*=0.51) ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ดังนี้

1) การใช้ภาษาไม่ควรใช้ศัพท์ภาษาอังกฤษ หากจำเป็นต้องใช้ควรแปลเป็นภาษาไทย

2) การประเมินผลแต่ละกิจกรรม ควรพิจารณาตามวัตถุประสงค์

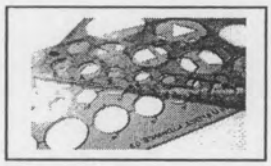
3) รูปภาพในกิจกรรมการฝึก ไม่ควรมีรูปภาพแรเงาที่เป็นน้ำหนักอ่อนแก่ ควรเน้นการใช้เส้นอย่างเดียว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.2.5 นำผลการพิจารณาความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ในประเด็นที่ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขภายใต้คำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อนำไปใช้ในการทำวิจัยต่อไป

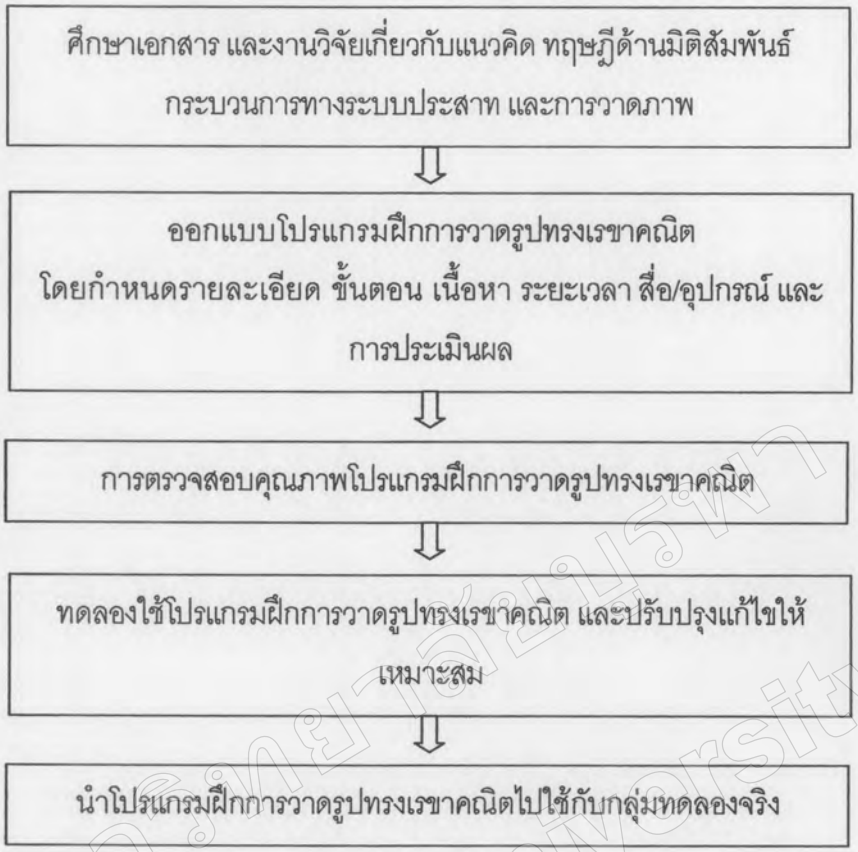
1.2.6 ทดลองใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 คน ดำเนินการ ณ โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ระหว่างวันที่ 18–22 มีนาคม 2556 เวลา 09.00–16.30 น. จากการทดลองใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ดังกล่าว ผู้วิจัยพบปัญหาและกำหนดแนวทางปรับปรุงก่อนนำไปใช้กับกลุ่มทดลองจริงดังนี้

ตารางที่ 3 ปัญหาที่พบขณะทดลองใช้โปรแกรม และแนวทางปรับปรุงแก้ไข

ปัญหาที่พบ	แนวทางปรับปรุงแก้ไขในการทดลองจริง
1. นักเรียนขาดความตั้งใจในการเรียนรู้ เช่น เล่นกัน หยอกล้อ คุยกันขณะร่วมกิจกรรมฝึกการวาดภาพ	1. สร้างบรรยากาศเป็นกันเอง เน้นการปฏิบัติ การตรวจผลงาน และแสดงผลงานเปรียบเทียบภายในกลุ่ม
2. การวาดรูปวงกลม กับรูปหลายเหลี่ยม เพื่อสร้างสรรค์ผลงานของนักเรียนค่อนข้างล่าช้า นักเรียนขอให้เพิ่มเทมเพลต (Template) มาช่วยในการวาดภาพ	2. เพิ่มอุปกรณ์การวาดเป็นเทมเพลต (Template) 
3. การวาดด้วยโปรแกรม The Geometer's Sketchpad พบว่า นักเรียนดำเนินการใช้คำสั่งต่าง ๆ ก่อนที่จะได้รับการอธิบาย ทำให้เกิดเส้นต่าง ๆ โยงใยพันกันไปหมด	3. อธิบายขั้นตอนช้า ๆ เพื่อให้นักเรียนคุ้นเคยกับการใช้คำสั่ง และให้นักเรียนปฏิบัติตามทีละขั้นตอน สลับกับการอธิบาย

จากการดำเนินงานดังกล่าว สามารถสรุปขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ได้ดังภาพที่ 62

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 62 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้เครื่องมือ 2 ฉบับ ที่มีองค์ประกอบด้านมิติสัมพันธ์ที่สอดคล้องกัน คือ Spatial Orientation, Spatial Visualization และ Spatial Relation เพื่อใช้คัดกรองกลุ่มตัวอย่าง และใช้ดำเนินการทดลอง ทั้งนี้เป็นการป้องกันการจำข้อสอบซึ่งเป็นภาพแสดงความสามารถมิติสัมพันธ์ของแบบทดสอบฉบับเดิม และได้ดำเนินการวิเคราะห์ คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยาก (p) ในช่วง .20-.80 และคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ .20 ขึ้นไปจนถึง 1.00 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 เครื่องมือคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย

2.1.1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ ประวัติการบาดเจ็บที่ศีรษะหรือการได้รับอุบัติเหตุอย่างรุนแรง ประวัติการเจ็บป่วยทางจิต การมองเห็น ความสามารถในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ความถนัดการใช้มือ และผลการเรียนรายวิชา

2.1.2 แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน (Newton, 2009) ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ประกอบด้วย การระบุภาพเหมือนเมื่อมีการหมุนภาพ การแยกชิ้นส่วน การประกอบชิ้นส่วนของรูปทรง การคลี่กล่อง การระบุตำแหน่งเป้าหมายเมื่อมีการพับกระดาษ จำนวน 40 ข้อ คะแนนเต็ม 40 คะแนน

การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน จำนวน 50 ข้อ ได้นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 35 คน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์รายข้อและทั้งฉบับ จากผลการวิเคราะห์ได้คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยาก (p) ระหว่าง 0.36–0.64 และค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.27–0.79 ปรากฏว่า ข้อสอบมีคุณภาพ จำนวน 40 ข้อ และไม่มีคุณภาพ จำนวน 10 ข้อ จากนั้นนำข้อสอบทั้ง 40 ข้อ ไปวิเคราะห์ค่าความเที่ยง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้เท่ากับ 0.956 (Lotrakul et al., 2008)

2.2 เครื่องมือดำเนินการทดลอง

2.2.1 แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เกี่ยวกับการคิดและกระบวนการรับรู้เชิงมิติสัมพันธ์ของเลวี่ และเลวี่ (Levy & Levy, 2010) ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 46 ข้อ คะแนนเต็ม 46 คะแนน

การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยนำแบบทดสอบ จำนวน 50 ข้อ ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 35 คน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์รายข้อและทั้งฉบับ จากผลการวิเคราะห์จึงได้คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยาก (p) ระหว่าง 0.24–0.79 และค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.21–0.71 ปรากฏว่า ข้อสอบมีคุณภาพ จำนวน 46 ข้อ และไม่มีคุณภาพ จำนวน 4 ข้อ จากนั้นนำข้อสอบทั้ง 46 ข้อ ไปวิเคราะห์ค่าความเที่ยง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้เท่ากับ 0.864 (Lotrakul et al., 2008)

การนำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่ได้รับการตรวจสอบคุณภาพทางสถิติแล้ว จำนวน 46 ข้อ ไปสร้างแบบทดสอบบนโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab 4.5 โดยนำเสนอข้อความเงื่อนไขคำสั่งเป็นข้อความขนาดตัวอักษร 54 Point และภาพแสดงมิติสัมพันธ์ ประกอบด้วยภาพต้นแบบและภาพที่เป็นตัวเลือกจัดวางกลางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เริ่มด้วยการแสดงเครื่องหมาย "+" ให้ปรากฏกลางหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 500 มิลลิวินาที เพื่อเตรียมความพร้อมในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ทีละข้อ ตามด้วยข้อความเงื่อนไขคำสั่งเป็นเวลา 4,000 มิลลิวินาที จากนั้นภาพต้นแบบปรากฏขึ้นพร้อมกับภาพตัวเลือก 4 ตัวเลือก เป็นเวลา 20,000 มิลลิวินาที เพื่อให้พิจารณาตัวเลือกที่ถูกต้องที่สุด เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ชุดของตัวเลือก (A, B, C หรือ D) ก็จะปรากฏขึ้นเพื่อให้กดปุ่มระบุคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว จากนั้นเครื่องหมาย "+" ปรากฏขึ้นอีกเพื่อเตรียมความพร้อมในการทำแบบทดสอบ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab 4.5 จะดำเนินการสุ่มข้อสอบข้อต่อไป จนครบทั้ง 46 ข้อ โดยสรุประยะเวลาที่ในการทำแบบทดสอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

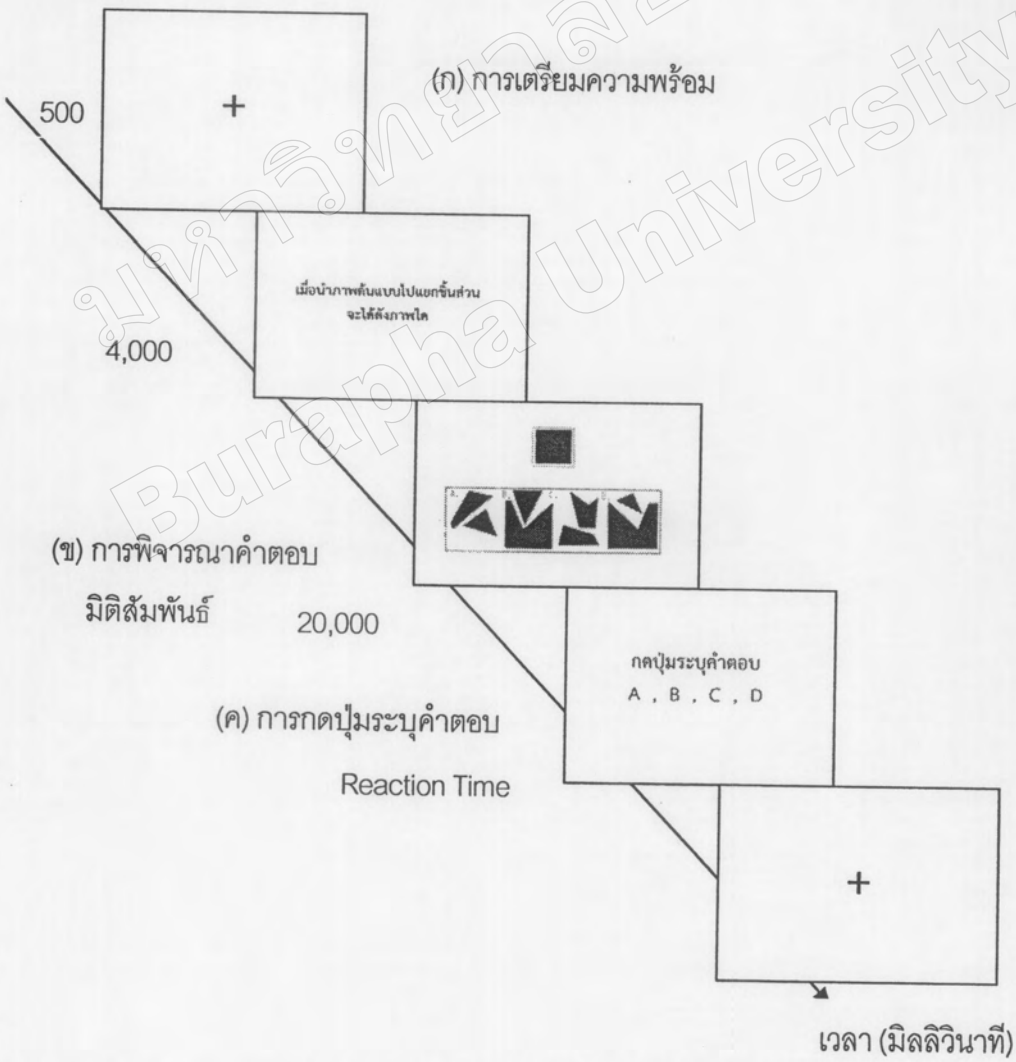
แต่ละข้อ ประมาณ 24,500 มิลลิวินาที (500+4,000+20,000 ยังไม่รวมเวลาในการกดปุ่มระบุคำตอบ) เวลาในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำนวน 46 ข้อ คำนวณได้ดังนี้

$$24,500 \times 46 = 1,127,000 \text{ มิลลิวินาที}$$

$$\frac{1,127,000}{1,000} = 1,127$$

$$\frac{1,127}{60} = 18.78$$

กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแต่ละคนจะใช้เวลาในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ นาน 20 นาที โดยประมาณ ดังภาพที่ 63



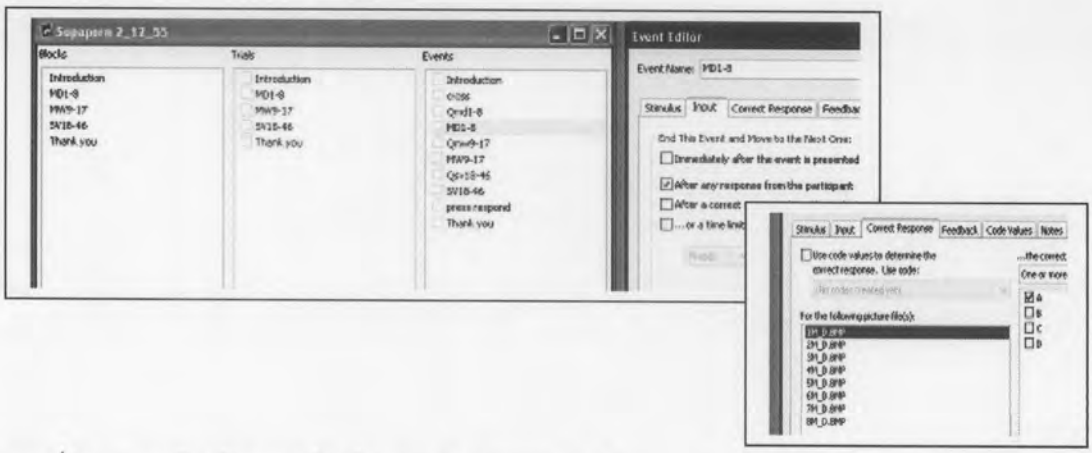
ภาพที่ 63 ลำดับ และเวลาที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมการวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากนั้นนำกิจกรรมการวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ฉบับก่อนการทดลองมากำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการบันทึกสัญญาณ (Marker) เพื่อเชื่อมสัญญาณไฟฟ้ากับเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ดำเนินการทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 คน และบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อตรวจสอบการทำงานและความถูกต้องของสัญญาณไฟฟ้าขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ อาทิ แสงสว่างภายในห้อง การกดคำตอบจากแป้นกด ระยะห่างระหว่างการนั่งกดคำตอบจากแป้นกดกับการมองภาพจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ การควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายขณะบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง การประเมินความเมื่อยล้าขณะทำแบบทดสอบ จำนวน 46 ข้อ ภายในครั้งเดียวเป็นเวลา 20 นาที โดยประมาณ รวมทั้งการตรวจเช็คสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (ข้อมูลที่ได้จากนักเรียนทั้งสองคนนี้ ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้) เป็นต้น จากนั้นปรับปรุงแก้ไขกระบวนการบันทึกข้อมูลให้มีความสมบูรณ์ที่สุดก่อนดำเนินการทดลองจริง

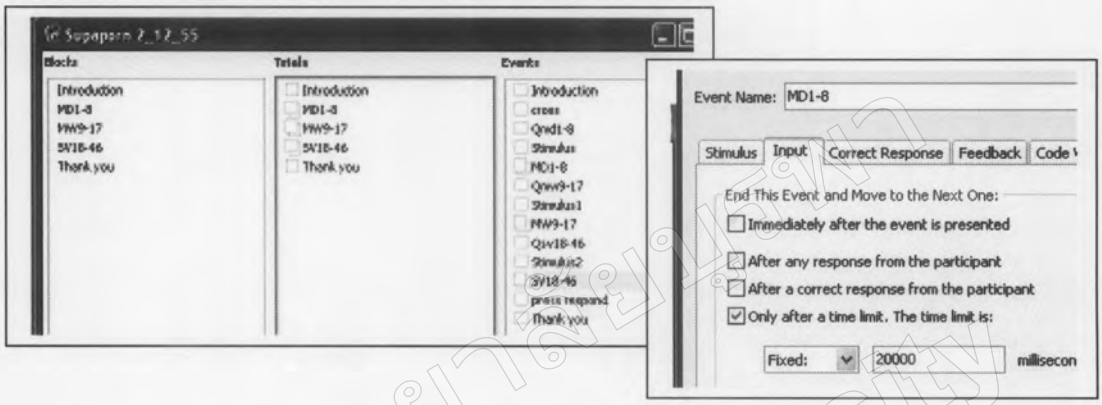
การศึกษานำร่อง (Pilot Study)

การกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในแต่ละลำดับของกิจกรรมการวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จากภาพที่ 61 ได้มาจากการศึกษานำร่องกับนักเรียนโรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 32 คน โดยแบ่งการศึกษานำร่อง ออกเป็น 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ศึกษานำร่องกับนักเรียน จำนวน 16 คน ทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (การอ่านข้อความเงื่อนไขคำสั่ง คือ เวลาที่ใช้ในการทำความเข้าใจคำสั่ง/เวลาที่ใช้ในการพิจารณาภาพต้นแบบกับภาพที่เป็นตัวเลือก) โดยไม่มีการกำหนดเวลาเพื่อให้นักเรียนใช้เวลาในการพิจารณาแต่ละช่วงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้จนครบทุกข้อ จากนั้นนำเวลาเฉพาะข้อที่ตอบข้อสอบถูกมาคำนวณค่าเฉลี่ย และนำเวลาเฉลี่ยไปกำหนดเวลาให้กับข้อสอบเพื่อศึกษานำร่องครั้งที่ 2 กับนักเรียนกลุ่มใหม่ ดังภาพที่ 64

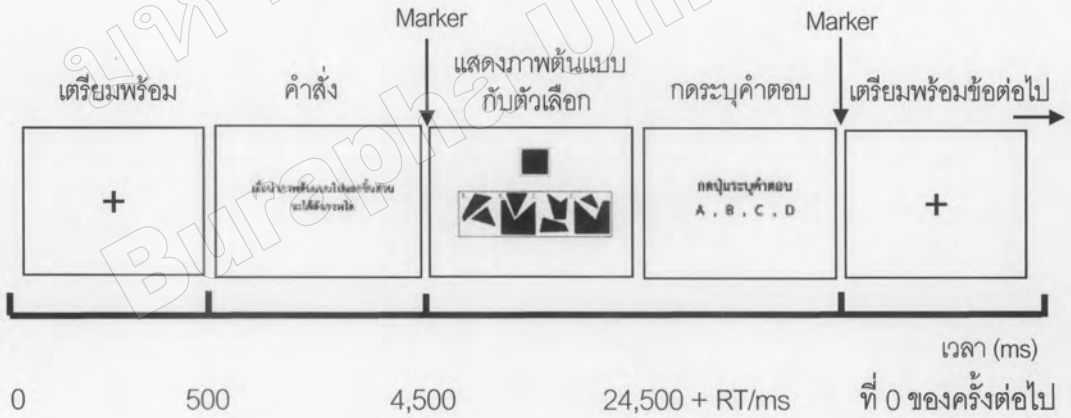


ภาพที่ 64 การสร้างข้อสอบ ด้วยโปรแกรม Super Lab 4.5

ครั้งที่ 2 การกำหนดเวลาตามเวลาเฉลี่ยให้กับแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์รายข้อจากการศึกษานำร่องในครั้งที่ 1 ไปทดลองกับนักเรียนอีก 16 คน จากนั้นนำเวลาเฉพาะข้อที่ตอบข้อสอบถูกที่บันทึกจากโปรแกรม Super Lab 4.5 มาคำนวณค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง และนำเวลาเฉลี่ยที่ได้มาปรับใช้ในการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ฉบับก่อนการทดลอง เพื่อนำไปกำหนด Marker เชื่อมสัญญาณกับเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองสำหรับใช้เก็บข้อมูลจริงต่อไป ดังภาพที่ 65-66



ภาพที่ 65 การนำข้อสอบเข้าโปรแกรม Super Lab 4.5 และกำหนดเวลาที่เหมาะสมกับการทดลองจริง



ภาพที่ 66 ลำดับ เวลาและการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการบันทึกสัญญาณ (Marker)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ประกอบด้วย

3.1 แถบวัดความยาว ใช้วัดรอบศีรษะเพื่อเลือกขนาดหมวกวัดสัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสมกับขนาดของศีรษะ และดินสอสีเขียนบนผิวหนังสำหรับทำเครื่องหมายที่ผิวหนัง

3.2 แอลกอฮอล์ 75% เพื่อขจัดเซลล์ที่ตายแล้วออกไปและลดความต้านทานบริเวณหนังศีรษะ

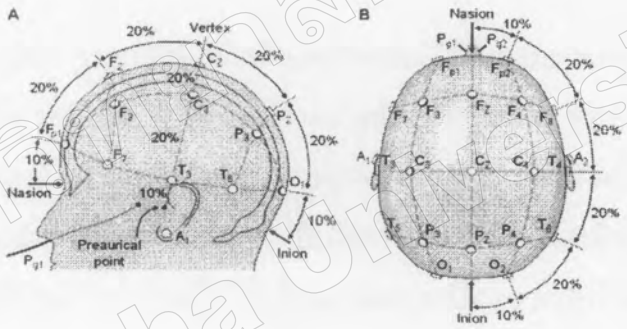
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.3 หมวกอิลาสติก (Elastic Cap) ที่มีขั้วไฟฟ้า (Electrode) แบบ Ag/AgCl วางตามระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 ขนาดเล็ก (รอบศีรษะ 50-54 เซนติเมตร) และขนาดกลาง (รอบศีรษะ 54-58 เซนติเมตร) ในการวิจัยนี้ใช้หมวกขนาดกลาง

3.4 เจลสำหรับนำสัญญาณไฟฟ้า (Conductive Gel)

3.5 หลอดฉีดยา (Syringe) และเข็มฉีดยาปลายทู่ (Blunt Needle) เบอร์ 15

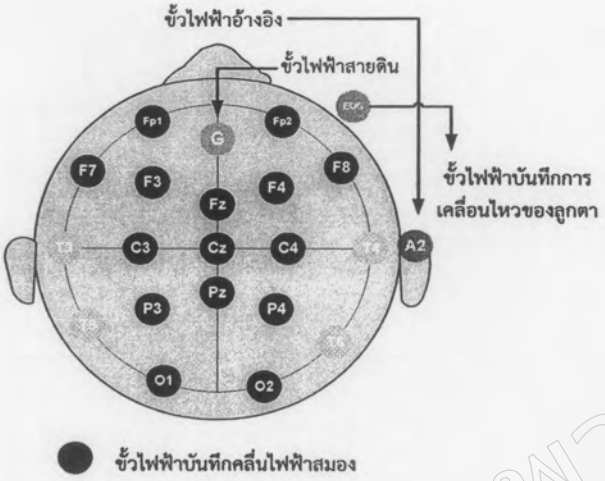
3.6 เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalograms Recording) เป็นเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง BIOPAC Systems (MP150 Model) จำนวน 16 ช่องสัญญาณ (Channels) ทำการบันทึกแบบ Real-Time Recorder พร้อมหมวกอิลาสติก (Elastic Cap) ที่มีขั้วไฟฟ้า (Electrode) แบบ Ag/AgCl วางตามระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (10/20 International System of Electrode Placement) ดังภาพที่ 67



ภาพที่ 67 ระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (A) ด้านซ้าย และ (B) ด้านบนของศีรษะ
A = Ear Lobe, C = Central, Pg = Nasopharyngeal, P = Parietal, F = Frontal,
Fp = Frontal Polar, O = Occipital (Sharbrough et al., 1991)

ขั้วไฟฟ้าจำนวน 15 ขั้ว วางในแนวกลางศีรษะ 3 ตำแหน่ง (Fz, Cz, Pz) และสองข้างศีรษะอีก 12 ตำแหน่ง (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, O1 และ O2) ใช้ขั้วไฟฟ้าที่ติ่งหูข้างขวา (A2) เป็นตำแหน่งอ้างอิง (Reference Electrode) 1 ขั้ว ขั้วไฟฟ้าสำหรับบันทึกการเคลื่อนไหวของลูกตา (Electro-Occulogram: EOG) 1 ขั้ว บริเวณด้านล่างของเบ้าตาขวา (Right Infraorbital Region) พร้อมขั้วไฟฟ้าที่เป็นสายดิน (Ground Electrode: G) จำนวน 1 ขั้ว ดังภาพที่ 68

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 68 ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

สัญญาณไฟฟ้าจากการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ได้รับการแปลงสัญญาณอะนาลอกไปเป็นดิจิตอล ด้วยอัตราการสุ่ม 250 Hz กำหนดค่าความต้านทานในแต่ละขั้วไฟฟ้าน้อยกว่า 5 KΩ การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AcqKnowledge 4.2, BIOPAC Systems, Inc.

3.7 โปรแกรม Acqknowledge 4.2 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัท BIOPAC เชื่อมต่อกับกล่องรับสัญญาณไฟฟ้า MP150 ทำหน้าที่บันทึกและวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าสมองที่วัดได้ขณะที่กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.8 เครื่อง Stim Tracker ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง STP 100 ของเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าของ BIOPAC กับโปรแกรม Super Lab 4.5 โดยส่งเครื่องหมาย (Marker) ไปปรากฏที่ Acqknowledge 4.2 ขณะบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

3.9 แป้นกดปุ่มเพื่อเลือกคำตอบขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยแป้นกดปุ่มนี้เชื่อมต่อกับโปรแกรม Super Lab 4.5 เพื่อบันทึกการกดเลือกคำตอบ

วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษานี้แบ่งการดำเนินการทดลองออกเป็น 3 ระยะ คือ 1) ระยะก่อนการทดลอง 2) ระยะทดลอง และ 3) ระยะหลังการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระยะก่อนการทดลอง

ระยะก่อนการทดลอง เป็นการดำเนินการเพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.1 ติดต่อประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เพื่อขออนุญาตดำเนินการประชาสัมพันธ์และรับสมัครอาสาสมัครนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดในขั้นต้นเข้าร่วมโครงการวิจัย มีอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 115 คน จากนั้นดำเนินการคัดกรองคัดกรองความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยดำเนินการทดสอบด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน จำนวน 40 ข้อ คะแนนเต็ม 40 คะแนน

1.2 นำผลการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มาตรวจให้คะแนน และนำคะแนนรวมของอาสาสมัครทั้ง 115 คน ไปคำนวณจัดตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ เพื่อคัดเลือกผู้ที่มีคะแนนน้อยที่สุดขึ้นไป จำนวน 30 คน เข้าเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งตรงกับตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ที่ 21.75 จากนั้นกำหนดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มด้วยวิธีการสุ่ม (Random Assignment) โดยการจับสลาก และจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จำนวน 15 คน และกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จำนวน 15 คน

1.3 นัดหมายเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งให้นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย และให้นำแบบฟอร์มยินยอมดังกล่าวไปให้ผู้ปกครองลงนามอนุญาตก่อนดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

1.4 กำหนดตารางวัน เวลาเพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของทั้ง 2 กลุ่ม ก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

1.5 กำหนดตารางวัน เวลาให้กับกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ณ โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

1.6 กำหนดตารางวัน เวลาเพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของทั้ง 2 กลุ่ม อีกครั้งหนึ่งหลังจากกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตได้ดำเนินการฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตแล้วเสร็จใน 2 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ระยะทดลอง

ระยะทดลอง เป็นระยะการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยกลุ่มทดลองเป็นกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกวาดรูปทรงเรขาคณิตที่ประยุกต์กระบวนการวาดภาพของวิลลัตส์ร่วมกับโปรแกรม The Geometer's Sketchpad เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จำนวน 10 ครั้ง ๆ ละ 3.30 ชั่วโมง รวม 33 ชั่วโมง ดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

วัน/เดือน/ปี	กิจกรรม/เวลา	
	09.30–11.30 น.	13.00–14.30 น.
25/3/56	ความหมาย ลักษณะของเส้น ทิศทางและความรู้สึกที่เกิดจากทิศทางของเส้น ความรู้สึกขนาดของเส้น ความรู้สึกน้ำหนักของเส้น	ฝึกปฏิบัติการวาดเส้นลักษณะต่าง ๆ และเล่นเกม โดยตอบคำถามลักษณะของเส้น
26/3/56	- ลักษณะการวาดภาพโดยใช้เส้นตามกระบวนการวาดของวิลลัตส์ - ถาม-ตอบเกี่ยวกับลักษณะการใช้เส้น	- การวาดภาพให้เกิดความลึกเพื่อแสดงให้เห็นถึงมิติสัมพันธ์ - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพตามขั้นตอนการใช้เส้นลักษณะต่าง ๆ
27/3/56	- ความหมายของรูปร่างและรูปทรง ประเภทของรูปร่างและรูปทรง - ฝึกปฏิบัติการวาดรูปทรงเรขาคณิต 3 มิติ - วาดภาพรูปทรงเรขาคณิตเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทาง ตามจินตนาการ	- กระบวนการวาดภาพพื้นระนาบโต๊ะของวิลลัตส์ - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพโต๊ะตามกระบวนการวาดภาพพื้นระนาบ
28/3/56	- กระบวนการวาดภาพแสดงการทับซ้อนของวัตถุ - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพแสดงการทับซ้อนของวัตถุ	- ปฏิบัติการวาดภาพต่อจากภาพต้นแบบ
29/3/56	- การมองภาพเชิงมิติและภาพรูปทรงเรขาคณิตในรูปแบบต่าง ๆ - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพเพื่อประกอบเป็นรูปทรงสามมิติ	- ฝึกปฏิบัติการวาดภาพโดยการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการมองภาพแต่ละด้าน - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพโดยการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการมองรูปลูกบาศก์ของแต่ละด้าน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	กิจกรรม/เวลา	
	09.30–11.30 น.	13.00–14.30 น.
1/4/56	- การใช้เทคโนโลยีเพื่อการวาดภาพ ความสำคัญของ The Geometer's Sketchpad และการใช้งานเบื้องต้นด้วยการใช้คำสั่ง ได้แก่ คำสั่งจากกล่องเครื่องมือ การใช้เมนูสร้าง - ฝึกปฏิบัติการใช้คำสั่งให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโดยใช้คำสั่งจากกล่องเครื่องมือ และการใช้เมนูสร้างควบคู่กับการอธิบาย	- การใช้คำสั่งจากเมนูการแปลง - ฝึกปฏิบัติการใช้คำสั่งให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโดยใช้คำสั่งจากเมนูการแปลงควบคู่กับการอธิบาย
2/4/56	- ฝึกปฏิบัติการใช้เส้นลักษณะต่าง ๆ วาดรูปร่าง 2 มิติ ตามภาพต้นแบบ ด้วยคำสั่งจากกล่องเครื่องมือ การใช้เมนูสร้าง และการใช้เมนูการแปลง - ปฏิบัติการวาดรูปร่างเรขาคณิต โดยใช้คำสั่งการใช้เมนูสร้าง และการใช้เมนูการแปลง	- ฝึกปฏิบัติการวาดภาพลวงตาปอนโซ - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพลวงตาวุนต์
3/4/56	- ฝึกปฏิบัติการวาดภาพลูกบาศก์เนกเกอร์ เป็นภาพโครงสร้างของลูกบาศก์ สามารถมองลูกบาศก์เป็นด้านหน้าหรือด้านหลังของภาพก็ได้ - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพศิลปะกับเส้นด้าย ซึ่งเป็นการวาดภาพและมีการหมุนภาพสะท้อนภาพ ประกอบกันเป็นภาพใหม่	- ฝึกปฏิบัติการวาดภาพลวงตาผนังร้านกาแฟ เป็นภาพของตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เส้นในแนวนอนทุกเส้นขนานกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	กิจกรรม/เวลา	
	09.30–11.30 น.	13.00–14.30 น.
4/4/56	- การวาดภาพที่ได้จากการมองแต่ละด้านของรูปเรขาคณิตสามมิติ โดยใช้หลักการหมุน เปลี่ยนทิศทาง การเคลื่อนที่แยกออกให้เป็นส่วนประกอบย่อย และเคลื่อนที่นำกลับมาประกอบเข้าด้วยกัน - ฝึกปฏิบัติการวาดภาพ กิจกรรม "จิ๊กซอ 360 องศา"	- ปฏิบัติการออกแบบการวาดภาพกิจกรรม "จิ๊กซอ 360 องศา" ตามจินตนาการ
5/4/56	- การนำการแปลงทางเรขาคณิตมาปรับประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบสร้างลวดลายทางศิลปะ ด้วยการสร้างเทสเซลเลชัน (Tessellation) ซึ่งเป็นการนำรูปภาพลักษณะเดียวกันมาปิดพื้นที่ที่ต้องการ โดยไม่ให้เกิดช่องว่างและไม่ให้มีการซ้อนทับกัน - ฝึกปฏิบัติการสร้าง "รูปทรงหลากหลาย"	- ปฏิบัติการออกแบบภาพ ด้วยการสร้างเทสเซลเลชัน (Tessellation) ตามจินตนาการ

3. ระยะหลังการทดลอง

หลังใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตแล้วเสร็จ กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต และกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ได้รับการเตรียมความพร้อมสำหรับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังต่อไปนี้

3.1 ทำความสะอาดหนังศีรษะด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์ 75% เพื่อขจัดเซลล์ที่ตายแล้วออกไปและลดความต้านทานบริเวณหนังศีรษะ

3.2 วัดขนาดศีรษะด้วยแถบวัดความยาว เพื่อเลือกขนาดหมวกให้เหมาะสมกับขนาดศีรษะ โดยที่หมวกขนาดเล็ก สำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 50-54 เซนติเมตร ขนาดกลาง สำหรับผู้ที่มีขนาดเส้นรอบศีรษะเท่ากับ 54-58 เซนติเมตร มีวิธีวัดโดยใช้แถบวัดความยาวจากจุดกึ่งกลางระหว่างหน้าผากกับจมูก (Nasion) ไปจนถึงรอยนูนด้านหลังศีรษะ (Inion) จากด้านหน้าไปยังด้านหลังเท่ากับกี่เซนติเมตร จากนั้นวัดจากจุด Nasion และ Inion ขึ้นไปเท่ากับ 10% ของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความยาวที่วัดได้ในตอนแรก เช่น วัดจากด้านหน้าไปด้านหลังได้ 34 เซนติเมตร ก็ให้วัดขึ้นมา 3.4 เซนติเมตร และใช้ดินสอสีแบบลบออกได้ทำเครื่องหมายจุดระบุตำแหน่งไว้ จากนั้นใช้แถบวัดความยาวรอบศีรษะให้ผ่านจุดทั้งสอง แล้วเลือกขนาดหมวกให้ตรงกับความยาวที่วัดได้ เช่น วัดได้ 56 เซนติเมตร ก็ให้เลือกหมวกขนาดกลาง เป็นต้น ดังภาพที่ 69

ภาพที่ 69 การวัดขนาดศีรษะเพื่อเลือกขนาดหมวกให้เหมาะสมกับขนาดศีรษะ

3.3 สวมหมวกอิลาสติกที่มีขั้วไฟฟ้าภายในบนศีรษะของกลุ่มตัวอย่าง โดยให้ตำแหน่งขั้วไฟฟ้า Fp1 และ Fp2 อยู่ระหว่างจุดที่วัดจาก Nasion ขึ้นมา 10% จากนั้นยืดหมวกให้พอดีกับศีรษะของกลุ่มตัวอย่างจากด้านหน้าไปด้านหลัง ตรวจดูให้แน่ใจว่าตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่อยู่ภายในหมวกอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยเฉพาะขั้วไฟฟ้าที่ต้องอยู่ในแนวกลางศีรษะ คือ Fz, Cz และ Pz รวมทั้งตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอื่น ๆ ด้วย

3.4 บรรจุเจลสำหรับนำสัญญาณไฟฟ้า (Conductive Gel) โดยใช้เข็มฉีดยาปลายทู่ (Blunt Needle) เบอร์ 15 ดูดเจลเข้าไปในหลอดฉีดยา (Syringe) เพื่อนำเจลไปบรรจุลงในตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับขั้วไฟฟ้าที่อยู่ใต้หมวกอิลาสติกจนครบทุกขั้วไฟฟ้า

3.5 ติดขั้วไฟฟ้าภายนอกชนิดติดกับผิวหนัง (Adhesive External Electrode) บริเวณด้านล่างของเบ้าตาขวา (Right Infraorbital Region) เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของลูกตา (Electro-Occulogram: EOG) 1 ขั้ว และติดขั้วไฟฟ้าแบบหนีบบริเวณติ่งหูข้างขวา (A2) เพื่อเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) 1 ขั้ว

3.6 ให้กลุ่มตัวอย่างนั่งหน้าจอคอมพิวเตอร์บนเก้าอี้ในท่าที่สบาย ในห้องที่มีแสงไฟสลัว โดยนั่งห่างจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ประมาณ 80 เซนติเมตร ต่อสายจากทุกขั้วไฟฟ้าเข้ากับระบบบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของ BIOPAC Systems เมื่อพร้อมแล้วให้กลุ่มตัวอย่างทำกิจกรรมการทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ จำนวน 46 ข้อ พร้อมกับบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองต่อเนื่องกันไป รวมเวลาในการทำแบบทดสอบประมาณคนละ 20 นาที โดยมีพยาบาลวิชาชีพเป็นผู้ควบคุมและดูแล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตลอดระยะเวลาขณะทำการทดลอง อีกทั้งกลุ่มตัวอย่างสามารถออกจากกระบวนการทดลองได้ทุกเมื่อ หากรู้สึกไม่สบายทั้งร่างกายและจิตใจ โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อกลุ่มตัวอย่าง

3.7 บันทึกแฟ้มข้อมูลพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้ เพื่อนำไปใช้ในการดำเนินการกับข้อมูลต่อไป

3.8 เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ให้กลุ่มตัวอย่างทำความสะอาดศีรษะด้วยการสระผมในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้ให้ และเดินทางกลับ

3.9 ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการทดลองครั้งต่อไป

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ มีขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ติดต่อประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เพื่อขออนุญาตดำเนินการประชาสัมพันธ์และรับสมัครอาสาสมัครนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดในขั้นต้นเข้าร่วมโครงการวิจัย ระหว่างวันที่ 15 พฤศจิกายน ถึงวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ.2555 มีอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 115 คน จากนั้นนัดหมายเพื่อคัดกรองเข้าเป็นกลุ่มตัวอย่าง โดยดำเนินการทดสอบด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนิวตัน ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ คะแนนเต็ม 40 คะแนน เมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2556 เวลา 15.00–16.00 น.

2. นำผลการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์มาตรวจให้คะแนน และนำคะแนนรวมของอาสาสมัครทั้ง 115 คน ไปจัดอันดับตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ และคัดเลือกผู้ที่มีคะแนนน้อยที่สุดขึ้นไปตามลำดับ จำนวน 30 คน เข้าเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งตรงกับตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ที่ 21.75 จากนั้นกำหนดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มด้วยวิธีการสุ่ม (Random Assignment) โดยการจับสลาก และจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จำนวน 15 คน และกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต จำนวน 15 คน

3. นัดหมายกลุ่มตัวอย่างทั้ง 30 คน เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งให้นักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย และให้นำแบบฟอร์มยินยอมดังกล่าวไปให้ผู้ปกครองลงนามอนุญาตก่อนดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง ผู้ปกครองลงนามยินยอมให้นักเรียนเข้าร่วมในโครงการวิจัยแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2556

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. กำหนดตารางวัน เวลาเพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนการทดลองของทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 30 คน ระหว่างวันที่ 1–3 มีนาคม พ.ศ. 2556 ในช่วงเช้า (เวลา 10.00-12.00 น.) และช่วงบ่าย (เวลา 13.00–15.30 น.)

5. กำหนดตารางวัน เวลาให้กับกลุ่มทดลอง จำนวน 15 คน เพื่อดำเนินการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตฯ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จำนวน 10 ครั้ง ระหว่างวันที่ 25–29 มีนาคม และระหว่างวันที่ 1–5 เมษายน พ.ศ.2556 ณ โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

6. กำหนดตารางวัน เวลาเพื่อดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของทั้ง 2 กลุ่ม อีกครั้งหนึ่งหลังจากที่กลุ่มทดลองได้ดำเนินการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตแล้วเสร็จ ระหว่างวันที่ 8–10 เมษายน พ.ศ. 2556

7. หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลจากกิจกรรมการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ที่บันทึกจากโปรแกรมสำเร็จรูป Super Lab 4.5 และข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป AcqKnowledge เรียบร้อยแล้ว มาดำเนินการจัดการข้อมูล ดังนี้

7.1 ข้อมูลพฤติกรรมที่ได้จากกิจกรรมการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ดังนี้

7.1.1 คะแนนการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้อง โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนตอบถูกให้เป็น 1 คะแนน ตอบผิดให้เป็น 0 คะแนน

7.1.2 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้อง คือ เวลาตั้งแต่ได้รับสิ่งเร้าจนกระทั่งกลุ่มตัวอย่างกดปุ่มตอบตัวเลือก A, B, C หรือ D มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที โดยนำเฉพาะเวลาที่ใช้ในการตอบข้อสอบถูกเท่านั้น มารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อที่ตอบข้อสอบถูกต้อง ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยรายบุคคล ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคิดค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตอบข้อสอบถูก โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้อง เช่น กลุ่มตัวอย่างคนหนึ่งทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง 28 ข้อ ใช้เวลาในการตอบข้อนั้น ๆ ถูกต้อง คือ 1,035 1,296 1,050 1,516 1,132 1,036 1,296 1,097 1,163 1,444 1,348 987 1,009 1,094 1,351 1,182 630 1,163 1,274 1,348 1,477 1,263 1,433 1,373 721 1,294 1,256 และ1,139 มิลลิวินาที รวม 33,407 มิลลิวินาที คำนวณได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตอบข้อสอบถูกของแต่ละคน = (1,035+1,296+1,050+1,516+1,132+1,036+1,296+1,097+1,163+1,444+1,348+987+1,009+1,094+1,351+1,182+630+1,163+1,274+1,348+1,477+1,263+1,433+1,373+721+1,294+1,256+1,139) /28 = 1,193.107 มิลลิวินาที

ส่วนการคำนวณค่าเฉลี่ยเป็นรายกลุ่ม โดยนำเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ได้ถูกต้องของทุกคนบวกกัน แล้วหารด้วยจำนวนข้อที่ตอบถูกทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม

7.1.3 การวิเคราะห์ขนาดอิทธิพลอัตราการตอบข้อสอบถูกและเวลาเฉลี่ยในการตอบข้อสอบถูกเป็นข้อมูลเชิงพฤติกรรมของกลุ่มทดลอง เปรียบเทียบระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต

โคเฮน (Cohen, 1961 Cited in Gravetter & Forzano, 2012) ได้เสนอแนะเกี่ยวกับขนาดของความแตกต่างค่าเฉลี่ย โดยมีมาตรฐานการวัดความแตกต่างค่าเฉลี่ย หารด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวัดขนาดอิทธิพล ของ *Cohen's* Effect Size สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d = \frac{\text{Sample mean difference}}{\text{Sample standard deviation}}$$

โดยมีเกณฑ์การพิจารณาและความหมาย คือ $d = 0.2$ มีผลระดับน้อย

$d = 0.5$ มีผลระดับปานกลาง

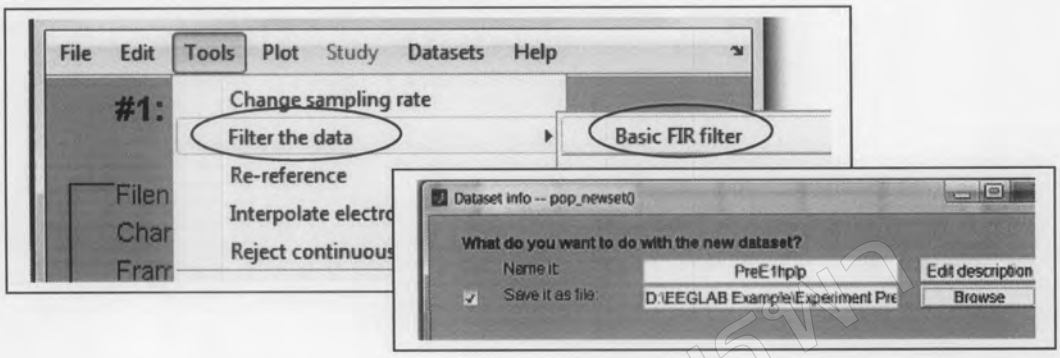
$d = 0.8$ มีผลระดับสูง

7.2 ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ โดยนำแฟ้มข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง (Continuous EEG Data) ที่บันทึกได้จากโปรแกรม AcqKnowledge 4.2 มานำข้อมูลออก (Export Data) โดยแปลงไปเป็นแฟ้มข้อมูลนามสกุล .txt เพื่อนำแฟ้มข้อมูลไปใช้ในการนำข้อมูลเข้า (Import Data) ไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป EEGLAB v10.2.2.4b แฟ้มข้อมูลที่นำเข้าเรียบร้อยแล้ว จะมีนามสกุล .set จากนั้นนำแฟ้มข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองในรูปศักย์ไฟฟ้าสมองย่านความถี่ (Frequency Domain) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป EEGLAB v10.2.2.4b มีขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ดังนี้

7.2.1 เรียกแฟ้มข้อมูลนามสกุล .set (ครั้งละ 1 แฟ้มข้อมูล) ซึ่งเป็นข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง มาทำการกรองความถี่ (Offline Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสิ่งรบกวนเบื้องต้นออก เช่น สัญญาณจากไฟฟ้าในบ้านเรือน การเคลื่อนไหวของกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งเป็นการกรองสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Filter) โดยวิธีการตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด (Finite Impulse Response: FIR) เนื่องจากให้ผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้น (Linear Phase) ด้วยการกรอง

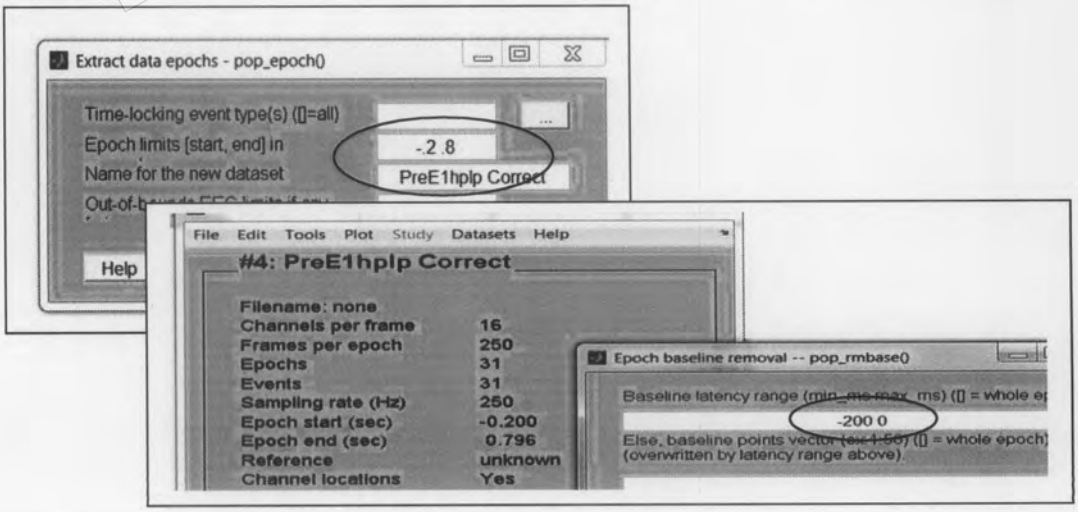
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) ที่ 35 Hz เป็นการจำกัดความถี่สูง ยอมให้ความถี่ต่ำกว่า 35 Hz ผ่านไปได้ และกรองผ่านความถี่สูง (High Pass Filter: HPF) ซึ่งเป็นการจำกัดความถี่ต่ำ ยอมให้ความถี่สูงกว่า 0.1 Hz ผ่านไปได้ ดังภาพที่ 70



ภาพที่ 70 การกรองความถี่เพื่อกำจัดสัญญาณไฟฟ้าที่รบกวนเบื้องต้นออก

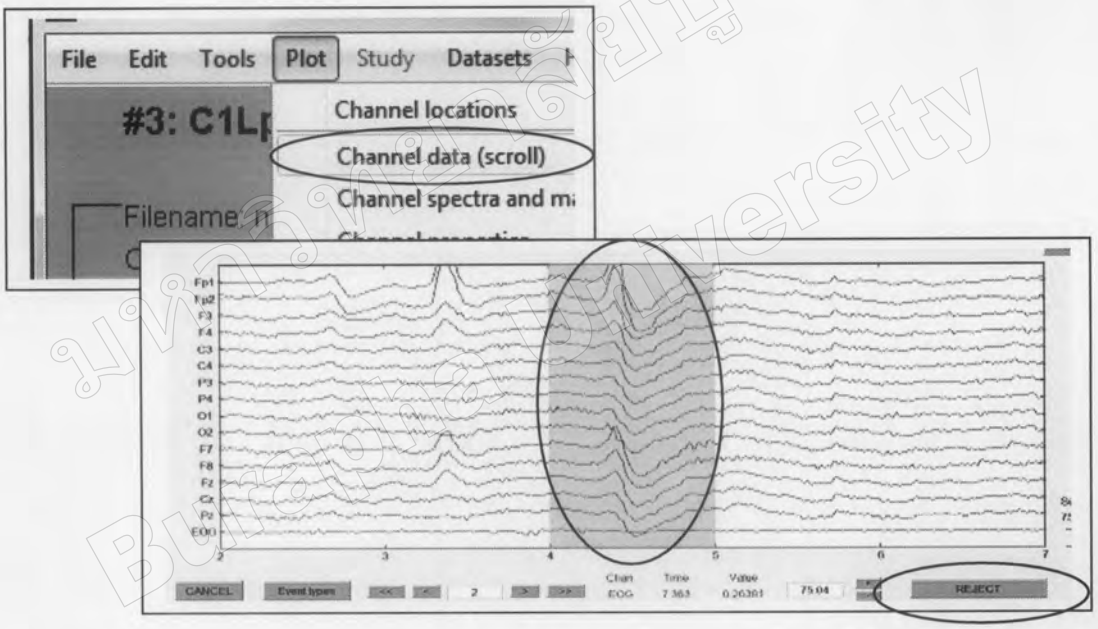
7.2.2 นำแฟ้มข้อมูลที่ผ่านการกรองความถี่แล้ว ในข้อ 7.2.1 มาทำการตัดข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต่อเนื่อง (Continuous EEG Data) ออกเป็นส่วน ๆ (Segmentation) หรือเรียกว่า การสกัดเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา (Extracting Epochs) ซึ่งกำหนดให้ข้อถูกเป็น 1 ให้ข้อผิดเป็น 0 จำแนกตามกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Experimental Group: E) กับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Control Group: C) และจำแนกตามก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Pre-test: Pre) กับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Post-test: Post) เท่ากับ 4,000 มิลลิวินาที นับจาก 200 มิลลิวินาที ก่อน (Baseline) และหลังจากที่สิ่งเร้าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ปรากฏ 3,800 มิลลิวินาที ดังภาพที่ 71



ภาพที่ 71 การสกัดเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษา

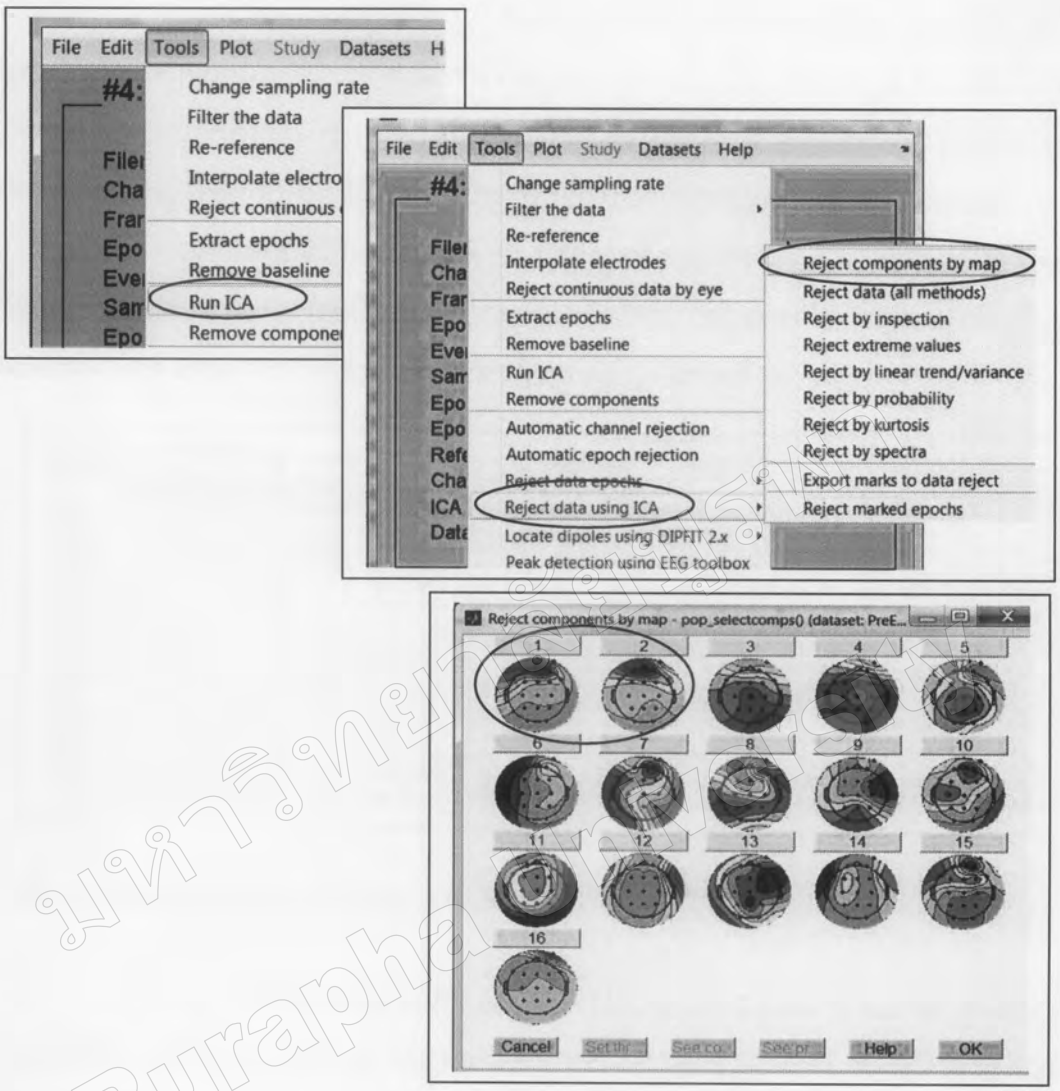
7.2.3 ตัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ณ ช่วงเวลา 200 มิลลิวินาที ก่อนที่สิ่งเร้าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลการตอบกลับ เพื่อแสดงให้ทราบผลการตอบ ซึ่งเรียกว่า Baseline Correction ทุก ๆ เหตุการณ์ (Epoch) จะถูกลบออกจาก Baseline โดยการนำค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (Mean Voltage) ในช่วงนี้ ลบออกจากรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองสำหรับแต่ละเหตุการณ์

7.2.4 ตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ปะปนมากับคลื่นไฟฟ้าสมอง (Artifact Rejection) เป็นการกำจัดสัญญาณที่ปนเปื้อน เช่น การกระพริบตา การเคลื่อนไหวลูกตาและกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า และคลื่นที่มีรูปแบบต่างไปจากคลื่นปกติ สามารถพิจารณาด้วยสายตา และพิจารณาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งกำหนดให้กำจัด Epoch ที่มีค่าสูงเกิน ±75 ไมโครโวลท์ (μV) และหากลบ (Remove or Reject) Epoch ใดออกไปแล้ว ต้องทำ Baseline Correction อีกครั้ง ดังภาพที่ 72



ภาพที่ 72 การกำจัดสัญญาณที่ปนเปื้อนกับคลื่นไฟฟ้าสมอง

7.2.5 การขจัดสิ่งรบกวนด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (Artifact Correction: ICA) เช่น สัญญาณที่เกิดจากการเคลื่อนไหวลูกตา การกรอกตา และการกระพริบตา รวมทั้งการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้าและศีรษะ โดยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (Independent Components Analysis: ICA) เพื่อแยกสัญญาณไฟฟ้าสมองออกได้หลายองค์ประกอบ (Component) โดยแต่ละองค์ประกอบที่แยกออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าสมองที่มีความเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นทำการลบองค์ประกอบที่เป็นสัญญาณรบกวนออก แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งให้มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลจากแต่ละคนมาเฉลี่ยรวมกันได้ ดังภาพที่ 73



ภาพที่ 73 การขจัดสิ่งรบกวนด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ

7.2.6 นำคลื่นไฟฟ้าสมองที่ปราศจากสัญญาณรบกวนในทุก ๆ Epoch (Artifact-Free Epoch) ในแต่ละเงื่อนไขมาหาค่าพลังงานเฉลี่ยของสเปคตรัม มีหน่วยเป็นไมโครโวลท์ (μV^2/Hz) (Power Spectral Density) เป็นรายคนและตามเงื่อนไข โดยการนำแฟ้มข้อมูลนามสกุล .set จากกลุ่มตัวอย่างทุกคน มารวมเป็นแฟ้มข้อมูลนามสกุล .study ดังนี้

7.2.6.1 คลื่นไฟฟ้าสมองของกลุ่มทดลอง ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มี 2 แฟ้มข้อมูล คือ แฟ้มข้อมูลการตอบข้อสอบถูกก่อนการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Experiment Pre-test) และการตอบข้อสอบถูกหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Experiment Post-test)

7.2.6.2 คลื่นไฟฟ้าสมองหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต มี 2 แฟ้มข้อมูล คือ แฟ้มข้อมูลการตอบข้อสอบถูกของกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต (Experiment Post-test) และการตอบข้อสอบถูกของกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต(Control Post-test)

ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ Fast Fourier Transform: FFT และคำนวณค่า Absolute Power โดยมีนามสกุล .datspec ซึ่งต้องนำข้อมูลออกไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Office Excel 2007 เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ดังภาพที่ 74

	B	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	A
1		3.605769	3.80609	4.00641	4.206731	4.407051	4.607372	4.807692	5.008013	5.208333	5.408654	5.608974	5.809295	6.009615	6.209936	6.410256	6.610577	6.810897	7.011218	7.211538	7.41
2	'C3'	54.27354	52.3577	50.61731	50.71759	53.49001	50.85651	51.40404	50.36997	49.66516	49.19926	49.64478	49.94457	48.58691	49.65226	48.60419	47.26758	45.68213	47.93613	47.30996	45.9
3	'C4'	57.57627	53.09811	53.64523	54.15745	52.76783	53.00951	51.70612	49.69433	50.70634	48.07595	49.23962	51.38309	48.33673	49.19775	49.29277	48.76887	49.89854	49.02597	49.39119	48.3
4	'Cz'	54.96326	54.53832	54.03543	53.97396	54.50211	51.83367	53.55933	52.70703	52.33071	50.2407	50.16744	51.17568	50.44849	52.20077	51.13628	49.93625	49.56516	51.51733	50.84547	49.2
5	'EOG'	54.1354	52.82353	52.57218	52.93842	53.05755	50.5868	52.01822	51.34431	51.62938	50.49012	50.96362	51.8551	47.05536	49.21602	48.28101	49.60374	49.34679	48.33113	50.03622	48.5
6	'F3'	55.17203	55.20541	54.74247	52.76786	52.7825	53.5169	52.68481	52.04942	52.01046	50.7232	50.63844	51.42969	50.2261	50.30357	50.72536	50.47804	48.85309	51.05013	48.77386	49.7
7	'F4'	53.92339	53.17411	52.78066	51.82018	51.51771	48.23011	51.66838	49.51829	51.02829	49.73315	49.35666	48.71783	48.3662	48.37556	47.41365	48.53152	48.39626	50.04916	49.84249	47.7
8	'F7'	53.80343	53.85584	53.65963	52.04571	51.25199	52.62868	51.1927	53.50415	52.44887	49.97377	50.81964	51.282	50.36749	50.53417	49.15833	49.97102	48.66681	49.51634	48.2679	48.1
9	'F8'	53.81617	54.28245	52.31534	53.63525	52.88559	51.76896	53.22827	52.84222	51.08075	52.38694	50.21642	50.80852	51.10174	50.25488	50.92052	50.1538	49.01809	50.39285	49.61699	49.7
10	'Fp1'	54.83054	52.45311	52.7338	53.52212	52.07245	53.1372	54.40031	53.09033	53.49732	48.94483	51.54114	52.40562	51.3113	49.6225	47.43782	49.43943	52.0096	50.25535	50.51626	48.6
11	'Fp2'	54.20325	52.73243	51.78778	54.33674	52.58881	53.71797	54.47137	51.67501	52.89288	51.81372	51.57675	52.58562	52.72349	50.28104	51.18471	49.22535	52.31101	50.30099	49.9863	49.7
12	'Fz'	55.6559	55.14598	53.35161	52.76572	55.59413	53.27114	53.79538	52.19487	53.94377	50.94513	52.64511	53.64844	51.83554	50.85758	53.12469	51.49717	50.1035	51.33953	50.90054	50.
13	'O1'	52.56777	51.54758	51.3165	51.54546	51.95331	49.04646	51.04384	52.46324	51.12156	49.71111	49.72292	50.51842	49.00768	48.45673	48.85553	47.94408	48.07205	49.56439	48.23783	47.9
14	'O2'	55.62647	54.24989	54.22231	53.7874	53.87793	50.69032	53.42985	51.68118	52.36598	50.52311	50.20998	51.73994	49.47261	51.87273	49.78329	51.26877	49.49858	49.99935	51.03513	48.9
15	'P3'	56.54351	55.0836	54.34491	52.38482	52.89059	53.14611	53.45632	51.86553	51.764	50.7678	52.38539	49.41767	50.83068	50.41744	50.10627	50.83773	49.5167	50.86152	50.76793	48.5
16	'P4'	55.10682	52.70635	53.33461	53.91838	54.32512	52.34962	54.08412	54.41492	52.63818	53.94578	52.32389	51.56731	52.08096	51.47054	52.13524	51.4694	50.5828	51.4534	50.98029	50.3
17	'Pz'	24.17452	23.26285	18.21609	18.84191	21.16629	20.2467	21.91152	20.78236	20.01702	17.17	19.13674	17.67921	18.33694	19.33722	20.75234	18.43533	18.35492	18.32458	18.97805	17.6
18																					

ภาพที่ 74 การนำข้อมูลออกไปยังโปรแกรมสำเร็จรูป

7.2.7 นำแฟ้มข้อมูล Absolute Power (AP) จากข้อ 7.2.6 มาจำแนกข้อมูลออกเป็น 5 ช่วงความถี่ (อาคซ์ และคณะ, 1995 และ คอร์ซี่-คาเบรรา และคณะ, 1997) คือ ช่วงคลื่นไฟฟ้าสมอง Theta (3.60– .21) Alpha 1 (7.41–9.41) Alpha 2 (9.61–12.41 Hz) Beta 1 (12.62–17.42 Hz) และ Beta 2 (17.62–25.04 Hz) เพื่อคำนวณหาค่าพลังงานรวม (Total Power) (ระหว่าง 3.60–25.04 Hz) จากนั้นคำนวณค่า Relative Power (RP) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Relative Power (RP)} = \frac{\text{Absolute Power (AP)}}{\text{Total Power}} \times 100$$

		'C3'	'C4'	'Cz'	'EOG'	'F3'	'F4'	'F7'	'F8'	'Fp1'	'Fp2'	'Fz'	'O1'	'O2'	'P3'	'P4'	'Pz'
3.60 - 7.21	theta	19.76725	19.47561	19.22836	18.91413	19.12272	18.56982	19.14436	19.11178	18.71596	19.30046	18.98113	18.7501	19.50565	19.54963	19.33251	20.9599
7.41 - 9.41	alpha1	10.50242	10.52057	10.35782	10.40424	10.6244	10.49136	10.58527	10.61228	10.36518	10.68545	10.22194	10.07299	10.53745	10.80376	10.58409	10.791
9.61 - 12.41	alpha2	14.26846	14.33053	14.14321	13.96023	15.13761	15.03437	14.78318	15.13883	14.23066	14.42824	13.71046	13.47479	14.17583	14.51953	15.03257	14.6147
12.62 - 17.42	beta1	21.52379	21.51338	21.815	21.51733	21.9189	21.54046	22.24282	21.88142	22.38018	22.19462	21.51059	21.69637	21.86595	21.81847	22.22422	19.8726
17.62 - 25.04	beta2	33.93808	34.15991	34.4556	35.20407	33.19636	34.36399	33.24437	33.25569	34.30802	33.39124	35.57587	36.00575	33.91512	33.30861	32.82661	33.5614

ภาพที่ 75 การจำแนกข้อมูลออกเป็น 5 ช่วงความถี่

7.3 นำค่าที่ได้จากข้อ 7.2.7 ไปใช้สำหรับการทดสอบทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาทั้งด้านพฤติกรรมและการทำงานของสมอง โดยจำแนกการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ด้วยการแจกแจงความถี่และค่าร้อยละ

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ดังนี้

2.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent t-Test)

2.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1, Alpha 2, Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent t-Test)

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต ดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ถูกต้อง และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent t-Test)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมองตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า ระหว่างกลุ่มไม่ใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิตกับกลุ่มใช้โปรแกรมฝึกการวาดรูปทรงเรขาคณิต โดยนำเสนอค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานสัมพัทธ์ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพลังงานสัมพัทธ์ (RP) ของช่วงความถี่คลื่นไฟฟ้าสมอง Alpha 1, Alpha 2, Beta 1 และ Beta 2 ตามตำแหน่งขั้วไฟฟ้า วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent t-Test)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University