บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนในขณะทำการทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามความยากของข้อสอบ และความสามารถของผู้สอบ และศึกษาผลปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะทำการทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์

ตอนที่ 2 ความยากของข้อสอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง EEG

ตอนที่ 3 ความสามารถของผู้สอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง EEG

ตอนที่ 4 การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง

ตอนที่ 1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์

สาระและมาตรฐานการเรียนรู้ ช่วงชั้นที่ 3 (ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3)

สาระที่ 1 จำนวนและการดำเนินการ

มาตรฐาน ค 1.1 เข้าใจถึงความหลากหลายของการแสดงจำนวนและการใช้จำนวนในชีวิตจริง

มาตรฐาน ค 1.2 เข้าใจถึงผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการของจำนวนและความสัมพันธ์ระหว่างการดำเนินการต่างๆ และสามารถใช้การดำเนินการในการแก้ปัญหาได้

มาตรฐาน ค 1.3 ใช้การประมาณค่าในการคำนวณและแก้ปัญหา

มาตรฐาน ค 1.4 เข้าใจระบบจำนวนและสามารถนำสมบัติเกี่ยวกับจำนวนไปใช้

สาระที่ 2 การวัด

มาตรฐาน ค 2.1 เข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการวัด วัดและคาดคะเนขนาดของสิ่งที่ต้องการวัด

มาตรฐาน ค 2.2 แก้ปัญหาเกี่ยวกับการวัด

สาระที่ 3 เรขาคณิต

มาตรฐาน ค 3.1 อธิบายและวิเคราะห์รูปเรขาคณิตสองมิติและสามมิติ

มาตรฐาน ค 3.2 ใช้การนึกภาพ (Visualization) ใช้เหตุผลเกี่ยวกับปริภูมิ (Spatial Reasoning) และใช้แบบจำลองทางเรขาคณิต (Geometric Model) ในการแก้ปัญหา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สาระที่ 4 พีชคณิต

มาตรฐาน ค 4.1 เข้าใจและวิเคราะห์แบบรูป (Pattern) ความสัมพันธ์ และฟังก์ชัน

มาตรฐาน ค 4.2 ใช้นิพจน์ สมการ อสมการ กราฟ และตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) อื่น ๆ แทนสถานการณ์ต่าง ๆ ตลอดจนแปลความหมายและนำไปใช้แก้ปัญหา

สาระที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลและความน่าจะเป็น

มาตรฐาน ค 5.1 เข้าใจและใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

มาตรฐาน ค 5.2 ใช้วิธีการทางสถิติ และความรู้เกี่ยวกับความน่าจะเป็นในการคาดการณ์ได้อย่างสมเหตุสมผล

มาตรฐาน ค 5.3 ใช้ความรู้เกี่ยวกับสถิติและความน่าจะเป็นช่วยในการตัดสินใจและแก้ปัญหา

สาระที่ 6 ทักษะ/กระบวนการทางคณิตศาสตร์

มาตรฐาน ค 6.1 มีความสามารถในการแก้ปัญหา การให้เหตุผล การสื่อสาร การสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ การเชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ และเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ๆ และมีความริเริ่มสร้างสรรค์

มาตรฐาน ค 6.2 มีความสามารถในการให้เหตุผล

มาตรฐาน ค 6.3 มีความสามารถในการสื่อสาร การสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์และการนำเสนอ

มาตรฐาน ค 6.4 มีความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ และเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ๆ ได้

มาตรฐาน ค 6.5 มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

คุณภาพของผู้เรียนเมื่อจบช่วงชั้นที่ 3 (ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 – 3)

1. มีความคิดรวบยอดเกี่ยวกับจำนวนจริง มีความเข้าใจเกี่ยวกับอัตราส่วน สัดส่วน ร้อยละ เลขยกกำลังที่มีเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม รากที่สองและรากที่สามของจำนวนจริง สามารถดำเนินการเกี่ยวกับจำนวนเต็ม เศษส่วน ทศนิยม เลขยกกำลัง รากที่สองและรากที่สามของจำนวนจริงใช้การประมาณค่าในการดำเนินการและแก้ปัญหา และนำความรู้เกี่ยวกับจำนวนไปใช้ในชีวิตจริงได้

2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นที่ผิวและปริซึม ทรงกระบอก และปริมาตรของปริซึม ทรงกระบอก พีระมิด กรวย และทรงกลม เลือกใช้หน่วยการวัดในระบบต่าง ๆ เกี่ยวกับความยาว พื้นที่และปริมาตรได้อย่างเหมาะสม พร้อมทั้งสามารถนำความรู้เกี่ยวกับการวัดไปใช้ในชีวิตจริงได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. สามารถสร้างและอธิบายขั้นตอนการสร้างรูปเรขาคณิตสองมิติโดยใช้วงเวียนและสันตรง อธิบายลักษณะและสมบัติของรูปเรขาคณิตสามมิติ ซึ่งได้แก่ ปริซึม พีระมิด ทรงกระบอก กรวย และทรงกลมได้

4. มีความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของความเท่ากันทุกประการ และความคล้ายของรูปสามเหลี่ยม เส้นขนาน ทฤษฎีบทพีทาโกรัสและบทกลับ และสามารถนำสมบัติเหล่านั้นไปใช้ในการให้เหตุผลและแก้ปัญหาได้ มีความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation) ในเรื่องการเลื่อนขนาน (Translation) การสะท้อน (Reflection) และการหมุน (Rotation) และนำไปใช้ได้

5. สามารถนึกภาพและอธิบายลักษณะของรูปเรขาคณิตสองมิติและสามมิติ

6. สามารถวิเคราะห์และอธิบายความสัมพันธ์ของแบบรูป สถานการณ์หรือปัญหาและสามารถใช้สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว ระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปร อสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว และกราฟในการแก้ไขปัญหาได้

7. สามารถกำหนดประเด็น เขียนคำถามเกี่ยวกับปัญหาหรือสถานการณ์กำหนดวิธีการศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูลและนำเสนอโดยใช้แผนภูมิรูปวงกลม หรือรูปแบบอื่นที่เหมาะสมได้

8. เข้าใจค่ากลางของข้อมูลในเรื่องค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัธยฐาน และฐานนิยมของข้อมูลที่ยังไม่ได้แจกแจงความถี่ และเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งใช้ความรู้ในการพิจารณาข้อมูลข่าวสารทางสถิติ

9. เข้าใจเกี่ยวกับการทดลองสุ่ม เหตุการณ์ และความน่าจะเป็นของเหตุการณ์สามารถใช้ความรู้เกี่ยวกับความน่าจะเป็นในการคาดการณ์และประกอบการตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้

10. ใช้วิธีการที่หลากหลายแก้ปัญหา ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ให้เหตุผลประกอบการตัดสินใจ และสรุปผลได้อย่างเหมาะสม ใช้ภาษาและสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ใน การสื่อสาร การสื่อความหมาย และการนำเสนอได้อย่างถูกต้องและชัดเจน เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ในคณิตศาสตร์และนำความรู้ หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

จำนวนและการดำเนินการ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ได้แบ่งสาระที่เป็นองค์ความรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ออกเป็น 6 สาระ และสาระที่ 1 จำนวนและการดำเนินการ จะประกอบด้วย 4 มาตรฐาน ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ มุ่งศึกษาความสามารถด้านเลขคณิตในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ดังนั้นจึงขอกล่าวเฉพาะมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการวิจัยครั้งนี้ คือ มาตรฐาน ค 1.2 เข้าใจถึงผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการของจำนวนและความสัมพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ระหว่างการดำเนินการต่าง ๆ และใช้การดำเนินการในการแก้ปัญหา ซึ่งกระทรวงศึกษาธิการ (2551, หน้า 67) ได้กำหนดตัวชี้วัดไว้ดังนี้

ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1

1. บวก ลบ คูณ หาร จำนวนเต็ม และนำไปใช้แก้ปัญหา ตระหนักถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบ อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการบวก การลบ การคูณ การหาร และบอกความสัมพันธ์ของการบวกกับการลบ การคูณกับการหาร ของจำนวนเต็ม

2. บวก ลบ คูณ หาร เศษส่วน และทศนิยม และนำไปใช้แก้ปัญหา ตระหนักถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบ อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการบวก การลบ การคูณ การหาร และบอกความสัมพันธ์ของการบวกกับการลบ การคูณกับการหาร ของเศษส่วน และทศนิยม กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ

3. อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการยกกำลังของจำนวนเต็ม เศษส่วนและทศนิยม

4. คูณและหารเลขยกกำลังที่มีฐานเดียวกัน และเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม

ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 2

1. หารากที่สอง และรากที่สามของจำนวนเต็ม โดยการแยกตัวประกอบ และนำไปใช้ในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งตระหนักถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบ

2. อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการหารากที่สองและรากที่สามของจำนวนเต็ม เศษส่วน และทศนิยม บอกความสัมพันธ์ของการยกกำลังกับการหารากของจำนวนจริง

ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3

- ไม่มี -

ซึ่งจากมาตรฐาน 1.2 ผู้วิจัยได้สนใจศึกษาเฉพาะทักษะทางด้านเลขคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น คือ ทักษะการบวก ทักษะการลบ ทักษะการคูณ และทักษะการหาร ในเรื่องของจำนวนเต็ม เศษส่วน และทศนิยม

ตอนที่ 2 ความยากของข้อสอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ EEG

ความหมายของความยากของข้อสอบ

พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2552, หน้า 140) ให้ความหมายว่า ความยากของข้อสอบ หมายถึง จำนวนร้อยละหรือสัดส่วนของคนที่ตอบถูกในข้อนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนทั้งหมดที่ทำข้อสอบนั้น

ศิริชัย กาญจนวาสี (2552, หน้า 225) ให้ความหมายว่า สัดส่วนของจำนวนคนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี (2553, หน้า 143) ให้ความหมายว่า สัดส่วนของจำนวนผู้ที่ตอบข้อกระทงนั้น ๆ ได้ถูกต้องต่อจำนวนผู้ตอบข้อกระทงนั้น ๆ ทั้งหมดหรือหมายถึงจำนวนร้อยละของผู้ตอบข้อกระทงนั้น ๆ ถูก

อีเบล (Ebel, 1979, p. 263) ให้ความหมายว่าเป็นสัดส่วนของกลุ่มผู้สอบที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

วูด (Wood, 1988, p. 377) ให้ความหมายว่า สัดส่วนหรือร้อยละของบุคคลที่เลือกคำตอบที่ถูกในข้อสอบของแบบทดสอบ

ไวร์สมา และเจอร์ส (Wiersma & Jurs, 1990, p. 143) ให้ความหมายว่าเป็นดัชนีที่แสดงร้อยละของนักเรียนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

กรอนลันด์ (Gronlund, 1993, p. 103) ให้ความหมายว่า ร้อยละของนักเรียนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกในการทดสอบ

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ความยากของข้อสอบ หมายถึง สัดส่วนจำนวนผู้ที่ตอบข้อสอบได้ถูกต้องต่อจำนวนผู้ที่ตอบข้อสอบทั้งหมด หรือจำนวนร้อยละของผู้ตอบข้อสอบนั้น ๆ ถูก

การคำนวณค่าความยากของข้อสอบ

ประสิทธิภาพของข้อสอบแต่ละข้อสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์คำตอบของผู้สอบเป็นรายข้อ โดยวิธีที่เรียกว่า การวิเคราะห์ข้อสอบ (Item Analysis) การวิเคราะห์ข้อสอบเป็นเทคนิคของการตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบเป็นรายข้อ (Item) (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552, หน้า 223) มีจุดมุ่งหมายหลักของการวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับข้อสอบ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการระบุข้อบกพร่องของข้อสอบและระบุว่าข้อสอบข้อใดที่ไม่ดี ข้อสอบอาจจะง่ายหรือยากเกินไปหรือไม่สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างผู้ที่มีผลสัมฤทธิ์สูงและต่ำ (Masters & Keeves, 1999, p. 197) ดังนั้นประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อสอบ ทำให้ได้ทราบข้อมูลพื้นฐานของตัวข้อสอบและคำตอบ สามารถนำไปใช้อภิปรายอย่างมีประสิทธิภาพเกี่ยวกับผลการสอบของผู้เรียนว่าข้อสอบแต่ละข้อได้ทำหน้าที่วัดผลสัมฤทธิ์อย่างมีคุณภาพเพียงใด นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นจุดอ่อนที่ผู้สอนหรือผู้เรียนอาจมิได้ให้ความสนใจ ซึ่งจะต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อพัฒนาความสามารถและทักษะของผู้เรียนให้เป็นไปตามแนวทางที่ปรารถนา (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552, หน้า 224)

การวิเคราะห์ข้อสอบมีสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาอยู่ 2 สิ่ง ได้แก่ ค่าความยากของข้อสอบ (Difficulty) และค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (Discriminatory Power) ค่าความยากของข้อสอบแสดงถึงเป็นเปอร์เซ็นต์ของนักเรียนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก (McDaniel, 1994, p. 152) ตัวอย่าง ถ้าข้อสอบที่มีระดับความยากของข้อสอบ เท่ากับ 0.90 นั่นหมายความว่ามี 90 เปอร์เซ็นต์ของคนที่ได้ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกเป็นการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าข้อสอบข้อนั้นง่ายมาก ตามที่ ไวร์สมา และ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เจอร์ส (Wiersma & Jurs, 1990, p. 143) ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าความยากของข้อสอบ (p) โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$p = \frac{\text{จำนวนผู้ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก}}{\text{จำนวนผู้ตอบข้อสอบข้อนั้นทั้งหมด}}$$

จากสมการข้างต้นเป็นการหาคะแนนเฉลี่ยของข้อสอบข้อนั้น ๆ และเพื่อไม่ให้เป็นจุดทศนิยม จึงมีการคำนวณหาค่าความยากของข้อสอบอยู่ในรูปร้อยละ (Gronlund, 1993, p. 103; Garrett, 1981, p. 363; เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2553, หน้า 144) โดยคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$p = \frac{R}{N} \times 100$$

เมื่อ p = ร้อยละของผู้สอบที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

R = จำนวนผู้สอบที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

N = จำนวนผู้สอบที่ทำข้อสอบข้อนั้นทั้งหมด

เกณฑ์การพิจารณาค่าความยากของข้อสอบ

ช่วงของความยากของข้อสอบตั้งแต่ 0.00 (ชี้ให้เห็นว่าไม่มีนักเรียนที่ตอบข้อสอบข้อนี้ถูกเลย) ถึง 1.00 (ชี้ให้เห็นว่านักเรียนทุกคนตอบข้อสอบถูก) (Oosterhof, 1994, p. 197) ถ้าข้อสอบข้อใดมีคนตอบถูกมาก p จะมีค่าสูง (เข้าใกล้ 1) แสดงว่าข้อสอบข้อนั้นง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้าข้อสอบข้อใดมีคนตอบถูกน้อย p จะมีค่าต่ำ (เข้าใกล้ 0) แสดงว่าข้อนั้นยาก โดยทั่วไปข้อสอบที่มี ค่า p ระหว่าง 0.2 - 0.8 ถือว่าเป็นข้อสอบที่มีความยากง่ายพอเหมาะ และข้อสอบทั้งฉบับควรมีระดับ ความยากเฉลี่ยประมาณ 0.50 (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552, หน้า 225) การตรวจสอบระดับความยากของข้อสอบสามารถดูได้จากโจทย์ปัญหาของข้อสอบและการเรียนการสอนไปด้วยกัน (Wiersma & Jurs, 1990, p. 144) นอกจากนี้ นันแนลลี (Nunnally, 1967) ได้เสนอแนะโดยทั่วไปว่า ข้อกระทงประเภทถูกผิด ค่าความยากง่ายควรจะอยู่ระหว่าง 0.60 – 0.95 ส่วนข้อกระทงประเภทหลายตัวเลือก เช่น 3 ตัวเลือก ควรจะมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.45 – 0.90 และถ้าเป็น 4 ตัวเลือก ค่าความยากง่ายก็ควรจะมีค่าระหว่าง 0.35 – 0.85 แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไป มักจะยอมรับค่าความยากง่ายระหว่าง 0.20 – 0.80 (Nunnally, 1967 อ้างถึงใน เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี, 2553, หน้า 144 -145) ดังที่อีเบล และฟริสบี (Ebel & Frisbe, 1991) กล่าวว่า แบบทดสอบที่ดีต้องมีข้อสอบบางข้อง่ายสำหรับผู้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำและข้อสอบบางข้อยากสำหรับผู้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูง โดยมีนักวิชาการในวงการศึกษาได้เสนอเกณฑ์ในการพิจารณาความยากง่ายของข้อสอบ ไว้ดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การ์เรต (Garret, 1981, p. 164) ได้เสนอรูปโค้งปกติที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกดัชนีความยากของข้อสอบ โดยข้อสอบ 50% อาจจะมีดัชนีความยากระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 ในทำนองเดียวอีก 25% ก็มีความยากของข้อสอบมากกว่า 0.75 และอีก 25% มีความยากของข้อสอบน้อยกว่า 0.25 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่นำค่า p มาใช้ในการเลือกข้อสอบสำหรับแบบทดสอบของ พาเทล (Patel, 1993, p. 163) ถ้าข้อสอบมีค่า p= 0.5 จะมีโอกาสให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างผู้สอบได้สูงสุด เพราะว่าถ้า p=0.5 แล้วความแปรปรวนของคะแนนข้อสอบนั้นจะมีค่าสูงสุด (0.25) การเลือกข้อสอบผลสัมฤทธิ์โดยทั่วไปนิยมใช้ข้อสอบที่มีค่า p ตามสัดส่วนดังนี้ p ระหว่าง 0.20 – 0.39 (25%) 0.40-0.59 (50%) และ 0.60 – 0.80 (25%) (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552, หน้า 228)

ศิริชัย กาญจนวาสี (2552, หน้า 228) และ ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2543, หน้า 185) ได้แสนอเกณฑ์การแปลความหมายผลการวิเคราะห์คำตอบถูก ดังนี้

ความยากง่ายของข้อสอบ (p)	ความหมาย
0.81 – 1.00	ง่ายมาก
0.60 – 0.80	ค่อนข้างง่าย
0.40 – 0.59	ปานกลาง
0.20 – 0.39	ค่อนข้างยาก
0 – 0.19	ยากมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า เกณฑ์การแปลความหมายความยากง่ายของข้อสอบในการวิจัยครั้งนี้ คือ โดยทั่วไปข้อสอบที่ดีควรมีค่าความยากระหว่าง 0.20 – 0.80 แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ข้อสอบยาก เป็นข้อสอบที่มีค่าความยากระหว่าง 0.20 ถึง 0.39 ข้อสอบปานกลาง เป็น ข้อสอบที่มีค่าความยากระหว่าง 0.40 ถึง 0.59 และข้อสอบง่าย เป็นข้อสอบที่มีค่าความยากระหว่าง 0.60 ถึง 0.80

ความยากของข้อสอบกับคลื่นไฟฟ้าสมอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ EEG

โวลเตอร์ส และคณะ (Wolters et al., 1990, p. 20) ได้ศึกษา การคิดเลขในใจ: ผลของวิธีการคำนวณและความยากของโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการแก้ปัญหา เป็นการศึกษาการคิดเลขในใจโจทย์ปัญหาที่มีผลรวมมากกว่า 20 และน้อยกว่า 100 สำหรับกลุ่มตัวอย่างชั้นประถมศึกษาชั้นปีที่ 3 (อายุ 8-9 ปี) เป็นเรื่องที่ถกเถียงกันเรื่องโจทย์ปัญหาที่มีการคำนวณโดยใช้วิธีการแก้ไขแบ่งโจทย์ปัญหาให้เป็นปัญหาย่อย ๆ สำหรับการแก้ปัญหาเป็นการดึงคืนข้อมูลจากฐานความรู้ที่มีอยู่สิ่งที่สำคัญในกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้ความสามารถในการประมวลผล และการจัดเก็บความสามารถไว้ในหน่วยความจำขณะทำงาน จึงสามารถตั้งสมมติฐานว่าวิธีการคำนวณเลขคณิตและประเภทของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โจทย์ปัญหาเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องแบ่งโจทย์ปัญหาออกเป็นโจทย์ปัญหาย่อยมากขึ้น จะนำไปเวลาการแก้ปัญหาที่ยาวนานขึ้น สมมติฐานทั้งสองข้อได้รับการยืนยัน การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทของโจทย์ปัญหาและวิธีการคำนวณเลขคณิต แสดงความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นในเรื่องของเวลาการแก้ปัญหาระหว่างวิธีการเกี่ยวกับความยากของโจทย์ปัญหาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าประเภทของโจทย์ปัญหา วิธีการคำนวณเลขคณิตที่ใช้จำนวนน้อยลงของโจทย์ปัญหานำไปสู่การปฏิบัติที่ดีขึ้น

พอลลิ และคณะ (Pauli et al., 1994, p. 21) ได้ศึกษา คลื่นไฟฟ้าสมองระหว่างการคิดเลขในใจ: ผลของการฝึกปฏิบัติอย่างมากและความยากของโจทย์ปัญหา พบว่า การตรวจสอบพฤติกรรมที่แสดงให้เห็นถึงกระบวนการของการคิดเลขในใจว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีแบบแผนเกี่ยวกับการปฏิบัติอย่างรอบคอบ การคิดคำนวณอย่างมีสติให้เป็นอัตโนมัติ การตอบคำถามเป็นการดึงคืนข้อมูลโดยตรงจากหน่วยความจำ การคิดคำนวณเลขในใจ: เป็นการพัฒนาของทักษะทางสติปัญญาที่แสดงออกมาจากการประชุมทางจิตวิทยา ผลการนำเสนอโดย มอสโควิช และวิโนเคอ (Moscovitch & Winocur) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการควบคุมการคิดเป็นการควบคุมการทำงานของสมองกลีบหน้า (Frontal Lobe) มากกว่าเป็นกระบวนการแบบอัตโนมัติ เพื่อพิจารณาว่ามีการเปลี่ยนแปลงในตำแหน่งการทำงานของสมองที่เกี่ยวกับการฝึกปฏิบัติการคิดคำนวณเลขในใจ ในการทดลองนี้ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์และการคิดเลขในใจ โจทย์ปัญหาการคูณเลขในใจที่เป็นเลขหลักเดียวที่มีความยากแตกต่าง (ขนาดโจทย์ปัญหา) ถูกนำมาใช้และกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการฝึกเกี่ยวกับโจทย์ปัญหาทั้งสี่ส่วน ขนาดของโจทย์ปัญหาและผลของการปฏิบัติพบว่ามีความน่าเชื่อถือในการวัดพฤติกรรม (RT) ERP มีลักษณะที่ปรากฏภายหลังที่ได้รับการกระตุ้น (กิจกรรม) โดยจะปรากฏเป็นคลื่นบวก และตามด้วยคลื่นช้า (Slow Wave) และคลื่นลบระหว่างการตอบสนองจนจบกิจกรรม ส่วนประกอบของการตอบสนองจะแตกต่างกันในระหว่างการปฏิบัติและทำโจทย์ปัญหายาก การปฏิบัติที่มีผลกระทบส่วนใหญ่ที่ความสูง (Amplitude) ของคลื่นบวก และความกว้าง (Latency) ของคลื่นช้า และโจทย์ปัญหายากส่วนใหญ่วัดได้ความกว้างของคลื่นช้าและก่อนการตอบสนอง จะเป็นคลื่นลบ สมองกลีบหน้า-ตรงกลาง (Fronto - Central) คลื่นบวกที่น้อยลง และเน้นไปที่จุดตรงกลางที่เป็นคลื่นบวกมากที่สุดบริเวณสมองกลีบข้าง (Centro - Parietal)

พอลลิ และคณะ (Pauli et al., 1996, p. 522) ได้ศึกษา สรีรวิทยาระบบประสาทที่สัมพันธ์กับการคิดเลขในใจ กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 13 คน ที่ได้รับการฝึกแก้ไขโจทย์ปัญหาการคูณ 9 ข้อที่มีความยากแตกต่างกัน การฝึกปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับความเร็วของปฏิกิริยาเวลาตอบสนองและการลดผลกระทบที่เกิดจากความยากของโจทย์ปัญหาเป็นการใช้โจทย์ปัญหาที่ยังไม่ได้ใช้มากก่อนหน้านี้นำไปใช้ในการสะท้อนถึงการปฏิบัติก่อนหน้าที่จะมีการฝึก ศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์เป็นคุณลักษณะที่มีคลื่นซับซ้อนทางด้านบวกโดยคลื่นช้าด้านบวก ความกว้างของคลื่นช้าด้านบวกและ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความสูงของคลื่นก่อนการตอบสนองที่บริเวณขั้วไฟฟ้าส่วนสมองกลีบข้าง (Parietal) แสดงถึงผลที่ได้จากการปฏิบัตินั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบแผนเกี่ยวกับการปฏิบัติและขนาดโจทย์ปัญหา ชี้ให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของความจำขณะทำงาน (Working Memory) เป็นการใช้โจทย์ปัญหาที่ยังไม่ได้ใช้มาก่อนหน้านี้นำไปใช้ในการสะท้อนถึงการปฏิบัติก่อนหน้าที่จะมีการฝึก ศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์เป็นคุณลักษณะที่มีคลื่นซับซ้อนทางด้านบวกโดยคลื่นช้าด้านบวก ความกว้างของคลื่นช้าด้านบวกและความสูงของคลื่นก่อนการตอบสนองที่บริเวณขั้วไฟฟ้าส่วนสมองกลีบข้าง (Parietal) แสดงถึงผลที่ได้จากการปฏิบัตินั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบแผนเกี่ยวกับการปฏิบัติและขนาดโจทย์ปัญหา ชี้ให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของความจำขณะทำงาน (Working Memory)

ฮอลลิเฮน และคณะ (Houlihan et al., 1998, p. 9) ได้ศึกษาเรื่อง สติปัญญาและผลของความต้องการการประมวลผลการรับรู้และความยากของกิจกรรม และความเร็วการประมวลผลของคลื่น P300 เวลาปฏิกิริยาการตอบสนอง และเวลาการเคลื่อนไหว ได้มีการบันทึกศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) ที่เกี่ยวข้องกับหน่วยความจำขณะทำกิจกรรมการตรวจสอบหน่วยความจำของสเติร์นเบิร์ก และเปรียบเทียบคะแนนสติปัญญาจากชุดทดสอบความถนัดแบบหลายมิติ (MAB) พบว่าหน่วยความจำมีการเปลี่ยนแปลงในการทดลองแต่ละครั้งและทุกข้อสอบในชุดทดสอบหน่วยความจำที่ถูกนำเสนอพร้อมกับการทำกิจกรรมต้องการการตัดสินใจและการตอบสนองความสูงของคลื่น P300 ที่หน่วยความจำเพิ่มขึ้นตามขนาดการทำงานหน่วยความจำที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้เป็นความคิดที่เป็นผลลัพธ์จากผลของความต้องการทรัพยากรในการประมวลผล มีความสัมพันธ์ทางลบเล็กน้อยที่สังเกตได้ระหว่างความสูงของคลื่น P300 ที่หน่วยความจำและคะแนน MAB ในทางตรงกันข้ามความสูงของคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมลดลงกับการทำงานเพิ่มขึ้นของหน่วยความจำ และมีความสัมพันธ์ทางบวกเล็กน้อยกับคะแนน MAB ผลการวิจัยเสนอแนะว่า ความสูงของคลื่น P300 ในหน่วยความจำเป็นผลจากความยากของกิจกรรม ความกว้างของคลื่น P300 เป็นส่วนประกอบของ ERP ที่ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดความเร็วสัมพัทธ์ของการประมวลผลข้อมูลสารสนเทศ สิ่งนี้ช่วยให้ประเมินผลของความเร็วในการประมวลผลโดยไม่ต้องมีการตอบสนองทางกายภาพ กลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถสูงแสดงให้เห็นว่าความกว้างของคลื่น P300 ในหน่วยความจำยาวกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถน้อยในขณะที่ไม่มีผลความกว้างของคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรม สิ่งนี้เป็นข้อขัดแย้งกับความเร็วของการประมวลผลเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของคลื่น P300 และสติปัญญา ความกว้างของคลื่น P300 ที่หน่วยความจำชี้ให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถสูงจะมีเวลาจดจ่อกับการวิเคราะห์สิ่งกระตุ้นและการวางแผนมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถน้อย

คอง และคณะ (Kong et al., 1999, p. 169) ได้ศึกษาศักย์ไฟฟ้าสมองระหว่างผลด้านความยากของโจทย์ปัญหาการคิดเลขในใจที่มีต่อศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ จำนวนหนึ่งจำนวน สัญลักษณ์เครื่องหมาย + และจำนวนอีกหนึ่งจำนวน จะถูกนำเสนอแบบเรียงตามลำดับใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จอคอมพิวเตอร์ต่อหน้ากลุ่มตัวอย่าง และศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) จะถูกบันทึกในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อพิจารณาหาผลที่เกี่ยวกับความยากของโจทย์ปัญหา (มีหรือไม่มีตัวทดในการแก้ปัญหา) ที่มีต่อศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ หลังจากแสดงเลขจำนวนที่สองที่เป็นตัวบวกแล้ว คลื่น N1 คลื่น P1 และคลื่น N2 จะเป็นคลื่นซับซ้อนเชิงบวกช้า (Late Positive Complex Waves) และคลื่นช้า (Slow Waves) จะถูกบันทึก ความสูงของคลื่น P2 ที่ตำแหน่ง F3 ในการคำนวณโจทย์ปัญหาเลขคณิตที่ยาก ๆ นั้นมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 168 – 184 มิลลิวินาที เป็นคลื่นใหญ่กว่า (เป็นบวกมากกว่า) โจทย์ปัญหาที่ง่าย ๆ ส่วนค่าเฉลี่ยของความกว้างของคลื่น P2 ที่ตำแหน่ง F7 และ คลื่น P3b ที่ตำแหน่ง F3 และ F4 ที่เป็นโจทย์ปัญหายากมีความกว้างของคลื่นยาวกว่าโจทย์ปัญหาง่ายอย่างมีนัยสำคัญ ข้อสรุปแนะนำให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในสมองส่วนพรีฟรอน์ทัล (Prefrontal) ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดึงคืนข้อมูลด้านเลขคณิต ศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์จะปรับเปลี่ยนระดับความแตกต่างตามการเปลี่ยนระดับความยากของการคิดเลขในใจ

อิกูชิ และฮาชิโมโตะ (Iguchi & Hashimoto, 2000, p. 204) ได้ศึกษาการประมวลผลข้อมูลแบบเรียงลำดับระหว่างการคิดเลขในใจเป็นการสะท้อนให้เห็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ตามช่วงเวลา โดยให้กลุ่มตัวอย่าง 15 คนทำกิจกรรมดังนี้ 1) บวกเลขทุกหลักที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ตามลำดับ 2) นับจำนวนเลขที่ปรากฏ หรือ 3) นับจำนวนรูปแบบที่ไม่มีความหมาย และทำการศึกษาความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลา (Spatiotemporal) ของรูปแบบคลื่น ERP ภายใต้ 3 กิจกรรม ในช่วงเวลาหลังกระตุ้น 1200 มิลลิวินาที ผลการวิจัยพบว่า ในช่วงกิจกรรมการบวกเลข คลื่น N120 คลื่น P180 และคลื่น N220 มีความซับซ้อนมากขึ้นในความกว้างของคลื่นในบริเวณสมองกลีบหน้าด้านซ้าย (Left Frontal) ตรงกลาง (Central) และสมองกลีบข้าง (Parietal) และคลื่น P300 มีความสูงของคลื่นสูงขึ้นในบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบขมับ (Temporal) ระหว่างการบวกและการนับเลข คลื่นช้าด้านบวก (Positive Slow Potential) ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการบวกเลข และแสดงให้เห็นการแจกแจงเชิงพื้นที่และเวลา 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นการทำงานของสมองทั่วไปในสมองกลีบหน้า (Frontal) ตรงกลาง (Central) สมองกลีบขมับ (Temporal) และสมองกลีบข้าง (Parietal) ที่พบในช่วงเวลา 400–820 มิลลิวินาที และอีกแบบหนึ่งเป็นการทำงานของสมองเฉพาะบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) ที่ใช้เวลา 1150 มิลลิวินาที สรุปได้ว่าผลการศึกษาแสดงว่า ERP ช่วงแรกสะท้อนให้เห็นลักษณะทางกายภาพของสิ่งกระตุ้นและความหมายของตัวเลข และคลื่นช้าด้านบวกสะท้อนให้เห็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

นูเนส-พีนา และคณะ (Nunez-Pena et al., 2005, p. 21) ได้ศึกษาผลของขนาดโจทย์ปัญหาในการบวกและการลบ: การศึกษาศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ พบว่า จิตสรีรวิทยาพื้นฐานของผลของขนาดโจทย์ปัญหาในกระประมวลผลทางการคิดเลขคณิตในเรื่องการบวกและการลบด้วยวิธีการศึกษาศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) กลุ่มตัวอย่างถูกนำเสนอตัวเลขแบบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เรียงลำดับด้วยตัวเลข 7 ตัว และ ERP ตัวเอาตัวเลข 6 ตัวเอามาใช้ในการวิเคราะห์ ตัวแปรทั้ง 2 ตัว ถูกจัดกระทำ: ประเภทของตัวดำเนินการ (การบวก และการลบ) และขนาดของโจยท์ปัญหา (โดยการบวกหรือการลบ 2, 3 หรือ 4) ผลการทดลองแสดงออกเป็น 2 ขั้นตอนในรูปแบบ ERP: ระยะแรกปรากฏผลให้เห็นถึงการประมวลผลแบบอัตโนมัติเกี่ยวข้องกับการแสดงสิ่งกระตุ้นเข้ามา และคลื่นช้าด้านบวกเชื่อว่าเป็นบ่งชี้การคำนวณของการคิดคำนวณที่ตามมาความสูงของคลื่นนี้เป็นคลื่นช้าด้านบวกที่เกี่ยวข้องกับขนาดโจทย์ปัญหา (ขนาดของปัญหาที่ยากขึ้นขนาดความสูงของคลื่นก็สูงขึ้น) แสดงให้เห็นว่าความสูงของคลื่นเป็นดัชนีคลื่นช้าที่กระตุ้นเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับการคิดภายใต้ผลกระทบของขนาดโจทย์ปัญหา

ซู และคณะ (Zhou et al., 2006, p. 2500) ได้ศึกษาศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-related Potentials) ของการบวก ลบ และคูณเลขหลักเดียว การศึกษาครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์จากโจทย์ปัญหาเรื่องการบวก ลบ และการคูณเลขหลักเดียว กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ได้แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรีชาวจีนจำนวน 18 คน จะได้รับคำสั่งให้แก้ปัญหาโจทย์เลขคณิตโดยการแสดงโจทย์นาน 200 มิลลิวินาที และหลังจากนั้นอีก 1.5 วินาที เพื่อพิจารณาเลือกคำตอบว่าที่ตอบมานั้นถูกหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบการบวก การลบ และการคูณ จะให้ผลคลื่น N300 สูงบริเวณอิเลคโทรดสมองกลีบหน้าด้านซ้ายที่สูงสุด ช่วงเวลาประมาณ 320 มิลลิวินาที (ในช่วงเวลา 275-334 มิลลิวินาทีหลังจากเริ่มกระตุ้นด้วยโจทย์ปัญหาเลขคณิต) เพื่อควบคุมผลที่แทรกซ้อนของความยากของโจทย์และขนาดของการแก้ไข จึงทำการเปรียบเทียบระหว่างโจทย์ปัญหาการบวกเลขที่มีจำนวนขนาดใหญ่ (ผลรวมระหว่าง 11-17) และ โจทย์ปัญหาการคูณที่มีจำนวนขนาดเล็ก (ผลคูณระหว่าง 6-24) ผลที่ได้รับมีความคล้ายคลึงกัน (มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการบวกและการคูณในส่วนประกอบ ERP ที่คลื่น N300 ระยะเวลาระหว่าง 296-444 มิลลิวินาที) การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งพื้นที่สมองกลีบหน้าด้านซ้าย จะมีรูปแบบคลื่นที่แตกต่างกัน (“การคูณ-การบวก” “การคูณ-การลบ” และ “การคูณจำนวนเล็ก-การบวกจำนวนใหญ่”) ผลการศึกษาแสดงให้ในการตีความหมายในแง่ของความเชื่อมั่นในด้านการประมวลผลทางเสียง (Phonological Processing) สำหรับดึงคืนข้อมูลในการคูณมากกว่าการบวกและการลบ

หัว และชาง (Hua & Chang, 2008) ได้ศึกษา ผลที่เกิดจากขนาดโจทย์ปัญหาในการบวกและลบในใจ พบว่ามีสองทฤษฎีที่แตกต่างกัน คือ ทฤษฎีการดึงคืนและไม่ดึงคืนข้อมูล เหตุผลสำหรับกลไกของผลที่เกิดจากขนาดโจทย์ปัญหา ทฤษฎีการดึงคืนข้อมูลแสดงให้เห็นว่าผลที่เกิดจากขนาดโจทย์ปัญหา เป็นเหตุผลที่อ้างในแง่รูปแบบที่แสดงเป็นตัวอย่างของความรู้ทางด้านเลขคณิตที่เก็บไว้ ปัจจุบันก็มีนักวิจัยให้ความสนใจมากขึ้นในเรื่องวิธีการไม่ดึงคืนข้อมูล เช่น การนับและการแบ่งแยกในผลที่เกิดจากขนาดโจทย์ปัญหา เป็นต้น ประสิทธิภาพน้อยลงสำหรับการดึงคืนข้อมูลและกลยุทธ์ในการคำนวณ และใช้วิธีการไม่ดึงคืนข้อมูลมากกว่าเพื่อเป็นการสนับสนุนผลที่เกิดจากขนาดโจทย์

ปัญหา เนื่องจากสัดส่วนที่แตกต่างกันของกลยุทธ์ที่หลากหลาย ผลที่เกิดจากขนาดโจทย์ปัญหา ในการบวกและการลบแสดงให้เห็นว่ามีรูปแบบที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่างานวิจัยในอนาคตที่จะต้องพิจารณาถึงการศึกษาที่หลากหลายวิธีที่แตกต่างกัน (เช่นการรวม ERP และ fMRI) และรวมถึงมาตรฐานในการจำแนกโจทย์ปัญหาทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่

เลอร์แม และคัลไล (Lemaire & Callies, 2009, p. 49) ได้ศึกษากลวิธีของเด็กในการคิดเลขคณิตที่ซับซ้อน ในการศึกษากลวิธีที่ใช้ในการแก้ไขโจทย์ปัญหาการบวกเลข 2 หลัก (เช่น 27 + 48, การทดลองที่ 1) และโจทย์ปัญหาการลบเลข 2 หลัก (เช่น 73 - 59, การทดลองที่ 2) ในผู้ใหญ่และเด็กที่เรียนเกรด 3 5 และ 7 กลุ่มตัวอย่างได้รับการทดสอบที่มีเงื่อนไขแบบมีตัวเลือกและไม่มีตัวเลือก ผลปรากฏว่า 1) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้กลวิธีการแยกตัวประกอบแบบครบจำนวน (Full Decomposition) บ่อยมากกว่ากลวิธีการแยกตัวประกอบแบบเป็นบางส่วน (Partial Decomposition) ในการแก้ไขโจทย์ปัญหาการบวกแต่ใช้ทั้งสองวิธีการในการแก้ไขโจทย์ปัญหาการลบ 2) การใช้กลวิธีและการประมวลผลได้รับอิทธิพลจากอายุของกลุ่มทดลอง ลักษณะของโจทย์ปัญหา การใช้กลวิธีที่เกี่ยวข้อง และโจทย์ปัญหาที่แสดงแบบแนวนอนหรือแนวตั้ง และ 3) การเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับอายุในการคิดเลขคณิตที่ซับซ้อนเกี่ยวข้องกับการใช้กลวิธีที่เกี่ยวข้องและการประมวลผล รวมทั้งอิทธิพลของลักษณะโจทย์ปัญหา ลักษณะกลวิธี และการนำเสนอโจทย์ปัญหาที่มีต่อการเลือกกลวิธีและการใช้กลวิธี การศึกษาครั้งนี้อธิบายประโยชน์ของข้อค้นพบในการทำความเข้าใจของการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับอายุในแง่ของกลวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อน

ลิ และคณะ (Li et al., 2010, p. 29) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ระหว่างการคิดเลขในใจอย่างง่ายในผู้สูงอายุชาวจีนที่มีความบกพร่องทางสติปัญญา: กรณีการควบคุมศึกษา มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ระหว่างทำกิจกรรมการคิดคำนวณเลขคณิตในใจในผู้สูงอายุชาวจีนที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาเปรียบเทียบกับผู้สูงอายุสุขภาพแข็งแรง กลุ่มตัวอย่างได้แก่ผู้สูงอายุชาวจีนที่มีภาวะสูญเสียความสามารถของสมองเล็กน้อย (MCI) จำนวน 16 คน และผู้สูงอายุสุขภาพแข็งแรง จำนวน 16 คน ศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับการทำกิจกรรมการคิดคำนวณเลขคณิตในใจอย่างง่าย ผลการทำกิจกรรมการคิดคำนวณเลขคณิตในใจโดยเปรียบเทียบความกว้างของคลื่นและความสูงของคลื่นที่เป็นส่วนประกอบของศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (คลื่น N1 คลื่น P1 คลื่น N170 และคลื่น P2) ระหว่างสองกลุ่ม พบว่าเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองของกลุ่ม MCI ใช้เวลามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) อัตราการตอบถูกของกลุ่ม MCI ต่ำกว่าที่ของกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ความกว้างของคลื่นที่บริเวณสมองกลีบขมับ (Temporal) และสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) คลื่น N170 และตรงกลาง (Central) และสมองส่วนพรีฟรอน์ทัล (Prefrontal) คลื่น P2 ของกลุ่มยาวนานกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ กลุ่ม MCI มีความสูงของคลื่น P2 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการควบคุมที่มีสุขภาพแข็งแรง (N170 อย่างมีนัยสำคัญ) ต่ำกว่าที่บริเวณสมองกลีบขมับ (Temporal) และสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) และสูงกว่าที่บริเวณสมองกลีบขมับ (Temporal) และสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) ทางด้านขวาในกลุ่มผู้สูงอายุชาวจีนที่มีภาวะสูญเสียความสามารถของสมองเล็กน้อย (MCI) กลุ่ม MCI นับขาดจำนวนในการคำนวณอย่างง่าย กลไกของกระบวนการคำนวณเลขคณิตของกลุ่ม MCI อาจจะมีความแตกต่างจากกลุ่มคนปกติ

ซู (Zhou, 2011, p. 400) ได้ศึกษา การเข้ารหัสการดำเนินการเฉพาะในเลขคณิตหลักเดียวการแก้ไขโจทย์ปัญหาทางด้านเลขคณิตอย่างง่ายจะเกี่ยวข้องกับ 3 ขั้นตอน: การเข้ารหัสโจทย์ปัญหา การดึงคืนข้อมูลหรือการคิดคำนวณคำตอบ และการรายงานคำตอบ การศึกษาครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่นำออกมาจากการทดสอบการบวกและการคณูเลขหลักเดียว เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนการเข้ารหัสและขั้นตอนการดึงคืนข้อมูล/การคิดคำนวณ ผลการศึกษาพบว่าผลการดำเนินงานที่ปรากฏเป็นการเข้ารหัสตัวถูกดำเนินการเป็นช่วงแรกและต่อเนื่องไปยังขั้นตอนการดึงคืนข้อมูล/การคิดคำนวณ เมื่อมีการเปรียบเทียบการบวกและการคูณ พบว่าศักย์ไฟฟ้าทางลบใหญ่กว่าในส่วนอิเล็คโทรดทางด้านหน้าซ้ายและศักย์ไฟฟ้าทางบวกใหญ่กว่าส่วนอิเล็คโทรดทางด้านหลังขวา ซึ่งสอดคล้องกับผลการดำเนินการใน 2 ขั้นตอนแรกของการประมวลผลทางด้านเลขคณิตที่แนะนำการเข้ารหัสของโจทย์ปัญหาทางด้านเลขคณิตสามารถโดยธรรมชาติ แสดงให้เห็นลักษณะของการดึงคืนข้อมูล และทำให้ทั้ง 2 ขั้นตอนมีปฏิสัมพันธ์ที่เพิ่มมากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าเป็นการศึกษาศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-related Potentials: ERP) กับความสามารถด้านเลขคณิตในแง่มุมที่เกี่ยวกับวิธีการบวก การลบ และการคูณ เลขหลักเดียว (จำนวนเต็ม) เลขสองหลัก แบบจำกัดจำนวนตัวเลข และขนาดของโจทย์ปัญหา (ความยากของโจทย์ปัญหา) ซึ่งส่งผลต่อรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีลักษณะความสูงของคลื่น (Amplitude) และความกว้างของคลื่น (Latency) แตกต่างกันที่คลื่น P3 ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการดึงคืนข้อมูลด้านเลขคณิต และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยากและความซับซ้อนของสิ่งกระตุ้น นอกจากนี้ยังพบว่าศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์จะปรับเปลี่ยนระดับความแตกต่างตามการเปลี่ยนระดับความยากของโจทย์ปัญหาจากการคิดเลขในใจ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตอนที่ 3 ความสามารถของผู้สอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ EEG

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2542 ได้ให้ความหมาย “สามารถ” ว่า หมายถึง การมีคุณสมบัติเหมาะแก่การทำสิ่งนั้นได้

คำว่า “ความสามารถ” ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า “Ability” มีนักวิชาการให้ความหมายไว้ดังนี้

ศิริชัย กาญจนวสี (2552, หน้า 166) กล่าวว่า ความสามารถ (Ability) เป็นพลังที่แสดงถึงสมรรถนะการทำงานของบุคคลในปัจจุบัน แบบทดสอบความสามารถเป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดสมรรถนะของบุคคลในการทำงานใดงานหนึ่ง (Power to Perform a Take) สิ่งที่มุ่งวัดจึงเป็นระดับของทักษะทั้งความคิดและการปฏิบัติที่แสดงถึงความสามารถเฉพาะอย่างในสภาพปัจจุบัน (Current State) ของบุคคล

"โจทย์ปัญหา" วิชาคณิตศาสตร์ ได้มีการตีความหมายในหลากหลายรูปแบบสำหรับการศึกษาทางคณิตศาสตร์ โดยข้อตกลงทั่วไปของโจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ หมายถึง สถานการณ์อย่างหนึ่งที่ทำให้มีการตัดสินใจ ซึ่งแต่ละบุคคลไม่สามารถหาคำตอบได้ทันทีหรือการแก้โจทย์ปัญหาที่เกิดขึ้นต้องแก้ไขด้วยตนเอง (Polya, 1945; Krulik & Rudnick, 1980; Newell & Simon, 1972; Burns, 1992) สอดคล้องกับ โพส (Post, 1992, p. 50) กล่าวว่า ปัญหา เป็นสถานการณ์ที่บุคคลเผชิญอยู่และต้องการหาคำตอบ แต่ไม่สามารถหาคำตอบได้ทันที ปัญหาประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 ประการ คือ ความต้องการที่จะค้นหาคำตอบ ตอบคำถามของปัญหานั้นไม่ได้ทันทีทันใด และต้องใช้ความพยายามอย่างสม่ำเสมอจะแก้ปัญหานั้นได้ นอกจากนี้ปัญหาคณิตศาสตร์เป็นปัญหาที่จะพบในการเรียนคณิตศาสตร์ การแก้ปัญหาต่าง ๆ จะต้องใช้ความสามารถในวิธีการแก้ปัญหา และความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เรียนมา (สิริพร ทิพย์คง, 2544, หน้า 9-10)

จากข้อความข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ปัญหาทางคณิตศาสตร์เป็นสถานการณ์อย่างหนึ่งที่บุคคลเผชิญอยู่และต้องการหาคำตอบ แต่ไม่สามารถหาคำตอบได้ทันทีทันใด ต้องใช้ความสามารถในวิธีการแก้ปัญหา และความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เรียนมา

การแก้โจทย์ปัญหา เป็นกระบวนการที่บุคคลใช้ความรู้ ทักษะ และความเข้าใจที่ได้เรียนมาเพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่ไม่เคยพบเห็นมาก่อน กระบวนการนี้เริ่มตั้งแต่พบปัญหากระทั่งสรุปผลเมื่อได้รับคำตอบแล้ว ในการแก้ปัญหานักเรียนต้องสังเคราะห์ความรู้ที่ได้เรียนมาและประยุกต์ใช้ความรู้นั้นกับสถานการณ์ใหม่ (Krulik & Rudnick, 1993, p. 6) โพลยา (Polya, 1981, p. 117) ได้อธิบายถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องในแง่ของการวิเคราะห์พฤติกรรมในการแก้ปัญหามี 4 กระบวนการ ได้แก่ ทำความเข้าใจของโจทย์ปัญหา การวางแผนแก้ปัญหา การดำเนินการแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ และการทบทวนไตร่ตรองวิธีการแก้ปัญหาในกระบวนการที่ผ่านมา การแก้ปัญหาต่าง ๆ นักเรียนต้องใช้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความคิดซึ่งอาศัยกระบวนการทางสมอง ประสบการณ์ ความรู้ที่ได้ศึกษามา ความพยายาม และหยั่งรู้เพื่อจะตัดสินใจว่าใช้วิธีการใดในการแก้ปัญหา องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้ปัญหาได้มีดังนี้

1. ประสบการณ์ เช่น สิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวพื้นฐานความรู้ทางคณิตศาสตร์ วิธีการแก้ปัญหาที่คุ้นเคย ลักษณะของโจทย์ปัญหาที่คุ้นเคย อายุ

2. จิตพิสัย เช่น ความสนใจ ความตั้งใจ ความอดทน ความกระตือรือร้น ความกลัวแต่นักเรียนก็รู้สึกว่าจำเป็นต้องทำ ความพยายาม

3. สติปัญญา เช่น ความสามารถทางการอ่าน ความสามารถในการให้เหตุผล ความจำ ความสามารถในการคิดคำนวณ ความสามารถในการวิเคราะห์ ความสามารถในการมองภาพ 3 มิติ (สิริพร ทิพย์คง, 2544, หน้า 38)

กาเย่ (Gagne, 1970, pp. 186-187) กล่าวถึง สาระสำคัญของความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1. ทักษะทางปัญญา (Intellectual Skill) หมายถึง ความสามารถในการนำ กฎ สูตร ความคิดรวบยอด และหลักการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม ทักษะทางปัญญาจะเป็นความรู้ที่นักเรียนเคยเรียนมาก่อน

2. ลักษณะของปัญญา (Problem Schemata) หมายถึง ข้อมูลในสมองที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาซึ่งทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่โจทย์ต้องการกับสิ่งที่กำหนดให้ได้ ข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่ คำศัพท์ และวิธีการแก้ปัญหาลักษณะต่าง ๆ

3. การวางแผนหาคำตอบ (Planning Strategies) หมายถึง ความสามารถในการใช้ทักษะทางปัญญาและลักษณะของปัญหาในการวางแผนแก้ปัญหา การวางแผนหาคำตอบเป็นกลวิธีการคิดอย่างหนึ่ง

4. การตรวจสอบคำตอบ (Validating the Answer) หมายถึง ความสามารถในการตรวจย้อนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของการแก้ปัญหาตลอดกระบวนการ

สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (2540, หน้า 8-9) ได้กล่าวถึง การวัดความสามารถทางการคิดคำนวณ (Numerical Ability) จะกระทำใน 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1. ความสามารถพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ (Basic Mathematical Ability) ข้อสอบที่วัดความสามารถพื้นฐานทางคณิตศาสตร์จะครอบคลุมทักษะการใช้ Operations พื้นฐาน เช่น การบวก ลบ คูณ หาร การถอดราก และการยกกำลัง และความสามารถในการตีความและแก้ปัญหาโจทย์ ที่ต้องอาศัยพื้นฐานความเข้าใจในความคิดรวบยอดและหลักการในคณิตศาสตร์ระดับเบื้องต้น เช่น เศษส่วน ทศนิยม ร้อยละ กำไร/ขาดทุน ระยะทาง พื้นที่ ปริมาตร เวลา สมการ เรขาคณิตเบื้องต้น พีชคณิตเชิงเส้นขั้นพื้นฐาน (Basic Linear Algebra) และ กราฟ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ความสามารถด้านการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ (Quantitative Comparison) ข้อสอบด้านนี้วัดความสามารถของผู้เรียนในการคำนวณหาเหตุผลและเปรียบเทียบขนาดของปริมาณ 2 ปริมาณอย่างรวดเร็ว และแม่นยำว่าปริมาณใดมีขนาดใหญ่กว่า เล็กกว่า เท่ากัน หรือ เปรียบเทียบกันไม่ได้เพราะข้อมูลที่กำหนดให้ไม่เพียงพอ การคำนวณและหาเหตุผลจะต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นในวิชาพีชคณิต เลขคณิต (Arithmetic) และเรขาคณิต

3 . ความสามารถในการตีความข้อมูล (Data Interpretation) ข้อสอบด้านนี้ วัดความสามารถของผู้เรียนในการอ่าน และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ที่เสนอในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตาราง แผนภูมิ กราฟ สมการ หรือประโยคสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ การสังเคราะห์ข้อมูล และการเลือกใช้ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อตอบปัญหา

4. การประเมินความเพียงพอของข้อมูล (Evaluation of Data Sufficiency) เพื่อวัดความสามารถในการวิเคราะห์ และตีความปัญหาทางคณิตศาสตร์ การพิจารณาและจำแนกความเหมาะสมของข้อมูลในการแสวงหาคำตอบ และการประเมินความเพียงพอของข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา

จากความหมายของความสามารถและความสามารถในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ ดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า ความสามารถของผู้สอบ หมายถึง การนำความรู้ ทักษะ และความเข้าใจในหลักการต่าง ๆ ที่ได้เรียนมามาใช้ในการหาคำตอบในโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งดูได้จากคะแนนของนักเรียนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวิชาคณิตศาสตร์

ความสามารถของผู้สอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ EEG

ดีเฮน และคณะ (Dehaene et al., 2004, p. 218) ได้ศึกษาเรื่องคณิตศาสตร์กับสมอง การศึกษาที่ผ่านมาในการถ่ายภาพเซลล์ประสาทของมนุษย์ ประสาทสรีรวิทยาของมนุษย์ และประสาทจิตวิทยาตามพัฒนาการ ชี้ให้เห็นว่าความสามารถทางคณิตศาสตร์ของมนุษย์มีต้นกำเนิดจากสมองอย่างเห็นได้ชัด บริเวณร่องอินทราพาไรทัล (Intraparietal Sulcus) ของมนุษย์ได้รับการกระตุ้นอย่างเป็นระบบในภารกิจตัวเลขและอาจเป็นส่วนที่สร้างภาพแทนเชิงจำนวนบริเวณ สมองส่วนพรีเซ็นทรัล (Precentral) และส่วนพรีฟรอนทัลทางด้านหลัง (Inferior Prefrontal Cortex) มีการกระตุ้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างคำนวณเลขในใจ พบลักษณะที่คล้ายกันนี้ของบริเวณสมองกลีบข้างและสมองกลีบหน้า (Parieto-Frontal) ในลิง และการจำแนกตามลักษณะข้อมูลที่เซลประสาทได้รับ (Neuronal Population Code) ของตัวเลข พยาธิวิทยาของระบบนี้ อันนำไปสู่ภาวะเสียการคำนวณในผู้ใหญ่หรือความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ตามพัฒนาการในเด็กนั้น เริ่มเป็นที่เข้าใจ และปูทางในการศึกษาการแทรกแซงด้านสมอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เดวิส และคณะ (Davis et al., 2009, p. 1187) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของความสามารถในการคำนวณของเด็ก: การศึกษาด้วยเครื่องเอฟเอ็มอาร์ไอ การศึกษาส่วนใหญ่ที่วิเคราะห์การประมวลผลคณิตศาสตร์ในใจมักอยู่ในกลุ่มผู้ใหญ่ แต่มีน้อยมากที่เกี่ยวกับการทำงานของระบบเหล่านี้ในเด็ก การศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องเอฟเอ็มอาร์ไอ (Functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของทักษะในการคำนวณ และอิทธิพลของอายุที่มีต่อความสัมพันธ์ดังกล่าวในกลุ่มผู้ใหญ่และกลุ่มเด็กเกรด 3 ที่มีค่าเฉลี่ยเกินกว่าค่าเฉลี่ยความสามารถทางคณิตศาสตร์ ให้กลุ่มตัวอย่างทำภารกิจการคำนวณเลขที่แน่นอนและโดยประมาณทั้งแบบง่ายและซับซ้อนในขณะที่อยู่ในเครื่องเอฟเอ็มอาร์ไอ เด็กจะคล้ายกับผู้ใหญ่ที่มีการกระตุ้นโครงข่ายประสาทในสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal Lobes) ระหว่างการคำนวณเลข และระดมพื้นที่สมองเพิ่มเติมในภารกิจที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบโดยตรงระหว่างเด็กกับผู้ใหญ่ แสดงให้เห็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในระดับการกระตุ้นของภารกิจทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบบแผนการกระตุ้นในส่วนสมองกลีบข้าง (Parietal Lobe) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเนื่องมาจากอายุ

นูเนส-พีนา และคณะ (Nunez-Pena et al., 2010, p. 300) ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคลในความสามารถทางด้านเลขคณิตสะท้อนในรูปแบบศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ในการศึกษานี้เพื่อต้องการตรวจสอบศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) โดยเอาตัวดำเนินการทางด้านเลขคณิตที่จำเป็นต้องดึงคืนข้อมูลจากหน่วยความจำโดยตรง หรือ กลยุทธ์การไม่ดึงคืนข้อมูลในการแก้ไขปัญหาตาม เลอเฟียร์ และคณะ (LeFevre et al., 1996) ผลของขนาดโจทย์ปัญหาได้ปรากฏการเลือกใช้วิธีการไม่ดึงคืนข้อมูล การศึกษาล่าสุดที่ใช้ ERP ได้แสดงให้เห็นการปรับขนาดของความสูงของคลื่นช้าบวกที่สัมพันธ์กับการคำนวณด้านเลขคณิต (Arithmetic-Related Positivity: ARP) ที่เกี่ยวข้องกับผลของขนาดโจทย์ปัญหา ขนาดของโจทย์ปัญหาความสูงของคลื่นก็ใหญ่ส่วนประกอบ ARP แนะนำให้เห็นว่าสมองจากการใช้งานคิดคำนวณด้วยวิธีการไม่ดึงคืนข้อมูล อาสาสมัครที่มีสุขภาพดี จำนวน 40 คน ถูกนำมาทดสอบในการศึกษาครั้งนี้ ครึ่งหนึ่งของกลุ่มอาสาสมัครเป็นผู้ที่มีความสามารถด้านเลขคณิตสูง (HA) และอีกครึ่งหนึ่งที่มีความสามารถด้านเลขคณิตต่ำ (LA) ได้นำเสนอเกี่ยวกับโจทย์ปัญหาเรื่องการบวกและการทดสอบกิจกรรมการตรวจสอบความเท่ากันแบบคลาสสิก (Classic Equality Verification Task) (เช่น 3 +4 = 7, จริง / เท็จ?) ขนาดของโจทย์ปัญหาเป็นสิ่งที่จัดกระทำโดยนำเสนอโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (ตัวถูกดำเนินการทั้งอย่างมีค่าน้อยกว่า 5) โจทย์ปัญหาขนาดกลาง (ตัวถูกดำเนินการทั้งระหว่าง 6 และ 9 และโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (การบวกเลขหลายหลัก) ผลลัพธ์ทางพฤติกรรมแสดงให้เห็นผลของขนาดโจทย์ปัญหาในกลุ่มความสามารถทั้งสองกลุ่ม เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองยาวกว่าและผิดพลาดมากกว่าเมื่อมีการเพิ่มเติมขนาดของโจทย์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปัญหา สำหรับข้อมูล ERP มีความแตกต่างระหว่างทั้งสองกลุ่มพบว่า กลุ่ม LA มีความแตกต่างระหว่างโจทย์ปัญหาที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง (p=.01) และระหว่างโจทย์ปัญหาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (p =.001) แนะนำว่ากลุ่มคนที่ใช้วิธีการไม่ดึงคืนข้อมูลในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในขนาดกลางและขนาดใหญ่ สำหรับกลุ่ม HA มีความแตกต่างระหว่างโจทย์ปัญหาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (p =.001) และระหว่างโจทย์ปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ (p =.002) ชี้ให้เห็นว่ากลุ่มคนที่ใช้วิธีการไม่ดึงคืนข้อมูลในการแก้ไขโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ผลของการทดลองนี้เห็นด้วยกับการศึกษาล่วงหน้าที่อ้างถึงคนที่มีความสามารถทางด้านเลขคณิตสูงและต่ำถึงการใช้งานกลยุทธ์การคิดคำนวณที่แตกต่างกัน

ปีโตโคโรน่า และคณะ (Prieto-Corona et al., 2010, p. 220) ได้ศึกษา ข้อค้นพบจากวิธีวิเคราะห์ศักย์ดาไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ถึงความแตกต่างกันระหว่างเด็กกับผู้ใหญ่ในระหว่างแก้โจทย์คณิตศาสตร์ ถึงความสามารถบางอย่างทางพุทธิปัญญาในการคำนวณเลขขึ้นอยู่กับการแก้โจทย์คณิตศาสตร์จากความจำระยะยาว มีการศึกษาการกู้คืนข้อมูลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic-fact Retrieval) ในผู้ใหญ่โดยการทดลองวิธีวิเคราะห์ศักย์ดาไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ แต่ข้อมูลสำหรับเด็กยังมีน้อยมาก มีรายงานว่าเด็กอายุตั้งแต่ 9 ปี ใช้วิธีกู้คืนความจำมาแก้โจทย์การคูณอย่างง่าย การศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบการกู้คืนข้อมูลคณิตศาสตร์ในเด็กและผู้ใหญ่ในขณะทำการบันทึกด้วยวิธีวิเคราะห์ศักย์ดาไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ โดยให้กลุ่มตัวอย่างพิจารณาเลือกคำตอบโจทย์การคูณอย่างง่าย ให้ทั้งสองกลุ่มแสดงผล N400 สำหรับคำตอบที่ผิดเปรียบเทียบกับคำตอบที่ถูก พบว่าผู้ใหญ่แสดงผล N400 ภายหลังในขณะที่เด็กแสดงผล N400 ที่มีการกระจายตัวกว้าง ๆ เด็กแสดงความสูงของคลื่น (Amplitude) มากกว่าและแสดงองค์ประกอบแฝงทางคณิตศาสตร์ N400 ที่นานกว่าผู้ใหญ่ ข้อค้นพบเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเด็กใช้ความพยายามเกี่ยวกับการกระตุ้นสมองทั่วไปมากกว่าผู้ใหญ่ในการแก้โจทย์ทดลอง ส่วนประกอบคลื่นบวกช้า (Late Positive Component: LPC) หลังจาก N400 ในกลุ่มตัวอย่างผู้ใหญ่ที่อธิบายมาแล้วนั้นพบในกลุ่มตัวอย่างผู้ใหญ่ในการศึกษาครั้งนี้ แต่พบในเด็กเฉพาะคำตอบที่ถูกต้อง ผลการศึกษาเช่นนี้อาจชี้ให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบผู้ใหญ่กับเด็ก แสดงถึงการกู้คืนความจำได้ช้ากว่า และมีแบบแผนกลไกที่แตกต่างออกไปในการพิสูจน์คำตอบที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง

นูเนส-พีนา และคณะ (Nunez-Pena et al., 2011, p. 143) ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคลในทักษะทางด้านเลขคณิตสะท้อนให้เห็นในศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ได้นำศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ในการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดโจทย์ปัญหาในบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตสูงและต่ำ กลุ่มตัวอย่างได้ถูกนำเสนอด้วยกิจกรรมการตรวจสอบความเท่ากันแบบคลาสสิก (Classic Equality Verification Task) และขนาดของโจทย์ปัญหาในการจัดกระทำโดยใช้โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (เช่น 3 + 4), กลาง (เช่น 7 + 8) และโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (เช่น 16 + 29)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ ERP เป็นกิจกรรมที่ถูกล็อคด้วยเวลา (Time-Locked) เมื่อแสดงตัวถูกดำเนินการตัวที่สองในระดับที่อยู่ศักย์ไฟฟ้าสมองระหว่างขั้นตอนการผลิต บุคคลที่มีทักษะสูงพบว่ามีคลื่นช้าบวกขณะกำลังแก้ไขโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่และรูปแบบ ERP ไม่มีความแตกต่างกันขณะกำลังแก้ไขโจทย์ปัญหาขนาดกลางและขนาดเล็ก ในทางตรงกันข้าม บุคคลที่มีทักษะต่ำพบว่ามีคลื่นช้าบวกขณะกำลังแก้ไขโจทย์ปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งความความแตกต่างระหว่างบุคคลที่มีความสามารถสูงและต่ำมีความแตกต่างในเรื่องกลยุทธ์ของการคิดคำนวณ (Calculation Strategies) ผลการวิจัยได้สนับสนุนให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้ ERP และเป็นการแสดงถึงกลยุทธ์ทางด้านเลขคณิต

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าความแตกต่างระหว่างบุคคลในความสามารถทางด้านเลขคณิตสะท้อนในรูปแบบศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ถึงคนที่มีความสามารถด้านเลขคณิตสูง (HA) และคนที่มีความสามารถด้านเลขคณิตต่ำ (LA) ในการแก้ไขโจทย์ปัญหา ผลลัพธ์ทางพฤติกรรมแสดงให้เห็นผลของขนาดโจทย์ปัญหาในกลุ่มความสามารถทั้งสองกลุ่ม เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองยาวกว่าและผิดพลาดมากกว่าเมื่อมีการเพิ่มเติมขนาด (ความยาก) ของโจทย์ปัญหา สำหรับข้อมูล ERP การดึงคืนข้อมูลด้านเลขคณิตก็ความแตกต่างระหว่างทั้งสองกลุ่ม

ตอนที่ 4 การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง

พื้นฐานการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง

คลื่นไฟฟ้าสมองเกิดจากการส่งถ่ายสารเคมี (โซเดียมและโพแทสเซียม) ระหว่างเซลล์ประสาทขณะที่สมองทำงาน เครือข่ายเซลล์ประสาทในสมองมีมากกว่าพันล้านเซลล์ซึ่งก่อให้เกิดการสร้างพลังงานทางไฟฟ้าได้ดังนั้นคลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้เกิดจากศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (Action Potential) ของเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane) การที่ผิวด้านในของเซลล์และด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์มีความเป็นประจุบวก (Cations) และประจุลบ (Anions) ไม่เท่ากันทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยผิวด้านในจะมีประจุลบอยู่มากกว่าผิวภายนอกเซลล์เสมอเมื่อเซลล์อยู่ในภาวะปกติความต่างศักย์ของเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดจากคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีคุณสมบัติของการเลือกผ่าน (Permeability) ทำให้สารชนิดหนึ่งชนิดใดสามารถแพร่ผ่าน (Diffusion) เข้าไปในเซลล์ได้ดีกว่าอีกชนิดหนึ่ง ก่อให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งของเซลล์ประสาทที่อยู่บริเวณผิวนอกของสมอง

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจะนิยมวัดแบบ Noninvasive ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่ต้องผ่าตัด ระดับของประจุไฟฟ้าที่ได้จะน้อยกว่าแบบผ่าตัดหรือการวัดแบบ Invasive ที่ใช้เข็มขนาดเล็กโดยตรงบริเวณภายในของเนื้อสมอง อย่างไรก็ตามการวัดแบบ Noninvasive ให้ความปลอดภัยและลดสภาวะเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บจากการผ่าตัดแก่ผู้ทดสอบ (Subject) ได้มากกว่าคลื่นไฟฟ้าที่สามารถวัดได้จากบริเวณผิวนอกของสมองผ่านขั้วไฟฟ้าจะมีระดับประจุไฟฟ้าที่ไมโครแอมแปร์ (μA) การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้า (EEG Signal Recorder) ซึ่งมี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

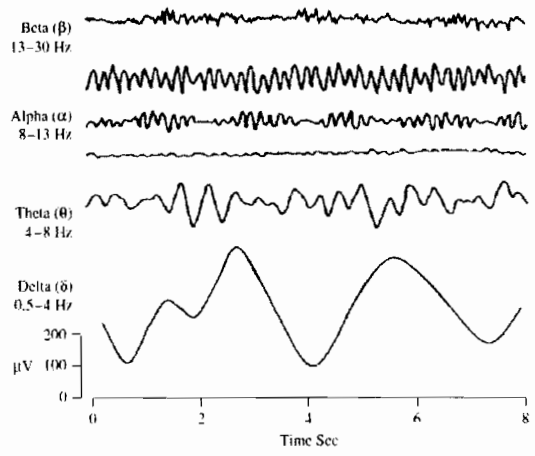
หน้าที่ขยายและแปลงสัญญาณไฟฟ้าสมองเป็นสัญญาณดิจิตอลและบันทึกสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปตัวเลขดิจิตอลที่ได้จากการสุ่มด้วยความถี่ที่คงที่ (Sampling Frequency) ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของอนุกรมเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time-series Data) โดยทั่วไปจะใช้ความถี่ในการสุ่มมากกว่า 250 เฮิร์ตเพื่อให้ได้ความละเอียดของคลื่นไฟฟ้าเพียงพอต่อการนำไปแปลผล (มนตรี โพธิโสโนทัย, 2552, หน้า 2-3)

ความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง

ความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำในระยะเวลา 1 วินาที คลื่นที่มาซ้ำ 4 ครั้งใน 1 วินาที เรียกว่ามีความถี่ 4 Hz สามารถคำนวณความถี่ของคลื่นได้โดยวัดความยาวคลื่น (Wave Length) ของคลื่น ชนิดนั้น ๆ คุณลักษณะของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปตามอายุ คลื่นสมอง ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 5 ช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน จากช่วงความถี่ต่ำถึงช่วงความถี่สูง ตามลำดับ คือ Alpha (α), Theta (θ), Beta (β), Delta (δ) และ Gamma (γ) ดังตารางที่ 1 และคลื่นไฟฟ้าสมองแต่ละช่วงความถี่ ดังภาพที่ 2 (Sanei & Chambers, 2007, pp. 10-12)

ตารางที่ 1 ระดับช่วงความถี่ของคลื่นสมอง

ชื่อช่วงความถี่	ช่วงความถี่ (Hz)
Delta	0.5 – 4
Theta	4 - 8
Alpha	8 - 13
Beta	13 - 26
Gamma	มากกว่า 30

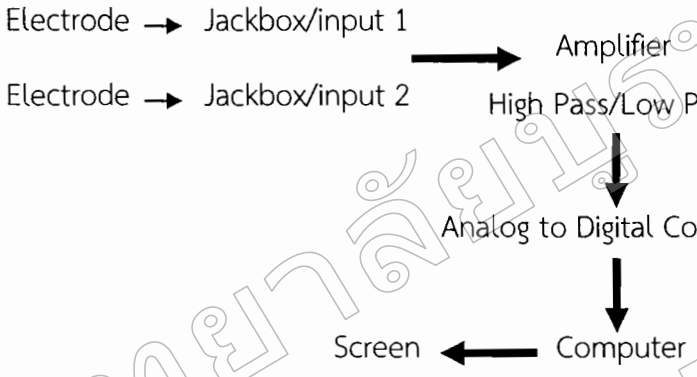


ภาพที่ 2 คลื่นไฟฟ้าสมองแต่ละช่วงความถี่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในปัจจุบันมีลักษณะใหญ่ ๆ คือ เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองแบบดั้งเดิมและเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองชนิดที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการเก็บบันทึกสัญญาณและแสดงผล องค์ประกอบของเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองทั้ง 2 ชนิด องค์ประกอบหลักของเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังรูปภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบหลักของเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

1. กล่องเสียบขั้วไฟฟ้า (Input Box, Head Box) คือ กล่องที่ใช้เชื่อมขั้วไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นขั้วไฟตัวผู้ที่ฝังลงลึกเพื่อไม่ให้จับต้องได้ ขั้วไฟมักเรียงเป็นรูปศีรษะหรือตารางที่ชื่อในระบบ 10-20 หรือ 10-10 อยู่ในกล่องนี้อาจมีเครื่องวัด Impedance อยู่ด้วย สำหรับเครื่อง Digital EEG มักจะรวมตัวขยายสัญญาณ และ Analog to Digital Converter ไว้รวมในกล่องเดียวกัน ทั้งนี้แต่ละเครื่องก็จะมีรายละเอียดแตกต่างกัน

2. ตัวเลือกช่องสัญญาณ (Input Selector Switches) คือ สวิตซ์ที่เชื่อมสัญญาณจากกล่องเสียบขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณแต่ละช่อง (Channel) โดยแต่ละช่องสัญญาณจะมีขั้วสองขั้วเรียกว่า Grid1 & Grid2 ตัวเลือกช่องสัญญาณจะช่วยให้สามารถเลือกว่าจะให้ขั้วไฟฟ้าใดต่อเชื่อมเข้ากับ Grid1 หรือ 2 ของช่องสัญญาณใด ๆ ได้อย่างอิสระ ในเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองแบบ Digital ไม่มีตัวเลือกช่องสัญญาณ ทั้งนี้เชื่อมแต่ขั้วไฟฟ้าเข้ากับ Grid1 ของเครื่องขยายสัญญาณแต่ละช่องแล้วใช้การคำนวณด้วย Software ในการเปลี่ยนรูปแบบของการแสดงผลต่าง ๆ แทน

3. เครื่องกำเนิดสัญญาณมาตรฐาน (Calibration) คือ ส่วนที่กำเนิดสัญญาณที่ใช้ทดสอบทำงานของเครื่องขยายสัญญาณ เครื่องกรองสัญญาณและเครื่องแสดงผล โดยมีสัญญาณต่างชนิดต่างขนาดกัน เช่น Square Wave Sine Wave เป็นต้น เครื่องกำเนิดสัญญาณมาตรฐานเหล่านี้ใช้ในการตรวจสอบว่าเครื่องมือและจุดเชื่อมอื่น ๆ ทำงานได้ตามปกติหรือไม่และใช้เพื่ออ้างอิงขนาดของสัญญาณ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. เครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) มีหน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ 1) คัดเลือกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองออกจากสัญญาณรบกวน 2) ขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง

การคัดเลือกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองออกจากสัญญาณรบกวน (Discrimination) เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้จากหนังศีรษะนอกจากประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองแล้วยังมีสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ไฟบ้าน ซึ่งอาจมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง แต่มักมีการกระจายตัวที่กว้างกล่าวคือกระทบส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเท่า ๆ กัน ดังนั้นถ้าเรานำสัญญาณจากสองจุดมาหักลบกัน สัญญาณรบกวนจะหมดไปเหลือแต่สัญญาณที่ต่างกันระหว่างสองขั้วเท่านั้น (Differential Amplification) เครื่องขยายสัญญาณแต่ละช่องจึงถูกสร้างให้มีขั้วรับสัญญาณสองขั้วเรียกว่า Input 1 และ Input 2 โดยวัดสัญญาณเทียบกับจุดเปรียบเทียบว่า Ground

การขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง (Amplification) เพื่อให้ขนาดสัญญาณที่ขยายขึ้นแล้วใหญ่พอที่จะนำมาใช้ในการบันทึกได้ การขยายสัญญาณได้เป็น 2 อย่าง คือ อัตราขยายสัญญาณ หรือความไว (Gain & Sensitivity)

5. เครื่องกรองสัญญาณ (Filter) คือ เครื่องมือที่จะลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับที่ระบุไว้ คลื่นไฟฟ้าสมองส่วนมากมีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 1-30 Hz

6. เครื่องแสดงผล (Pen Writing Unit)

7. การแปลงสัญญาณและการแสดงผลในเครื่อง Digital EEG (Analog to Digital Conversion) (กนกวรรณ บุญญพิสิฐฐ์, 2549, หน้า 10-19)

การออกแบบกิจกรรมในการทดสอบ

ขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมถือเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากกิจกรรมที่ออกแบบจะต้องสอดคล้องกับโจทย์ปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจ การออกแบบกิจกรรมโดยมากจะเน้นไปที่การกำหนดช่วงเวลา (Time Period) ของการทดลองที่มีกิจกรรมที่สอดคล้องรวมอยู่ด้วย ผู้ทดสอบจะถูกให้ทำกิจกรรมนั้นซ้ำ เพื่อนำคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะทำกิจกรรมไปวิเคราะห์แปลผล ตัวอย่างช่วงเวลาในการทดลองดังภาพที่ 5 การกำหนดกิจกรรมการทดลองจะต้องมีช่วงเวลาผ่อนคลาย (Relax) ก่อนการทดลองปฏิบัติกิจกรรมทุกครั้ง ในช่วงเวลาผ่อนคลายผู้ทดสอบจะต้องอยู่ในสภาวะผ่อนคลายพร้อมกับหลับตาหรือลืมตา คลื่นไฟฟ้าของช่วงเวลาของการผ่อนคลายนี้จะถูกใช้เป็นเส้นอ้างอิง (Baseline) ของผู้ทดสอบเอง โดยเส้นอ้างอิงนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ผู้ทดสอบทำกิจกรรม เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น คลื่นไฟฟ้าสำหรับใช้เป็นเส้นอ้างอิงของผู้ทดสอบจะให้ระดับของคลื่นไฟฟ้าที่แตกต่างกันดังนั้นการวัดคลื่นไฟฟ้าแต่ละครั้งจะต้องมีเส้นอ้างอิงกำหนดไว้ทุกครั้งเพื่อให้ได้คลื่นไฟฟ้าที่ถูกต้อง กิจกรรมทั้งหมดจะต้องปฏิบัติในห้องทดลองที่ถูกออกแบบให้มีสภาพแวดล้อมเฉพาะ ห้องทดลองควรมีการติดตั้งสายกราวด์และมีแผ่นปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณผนังห้อง (Shielded Room) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศและคลื่นความถี่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

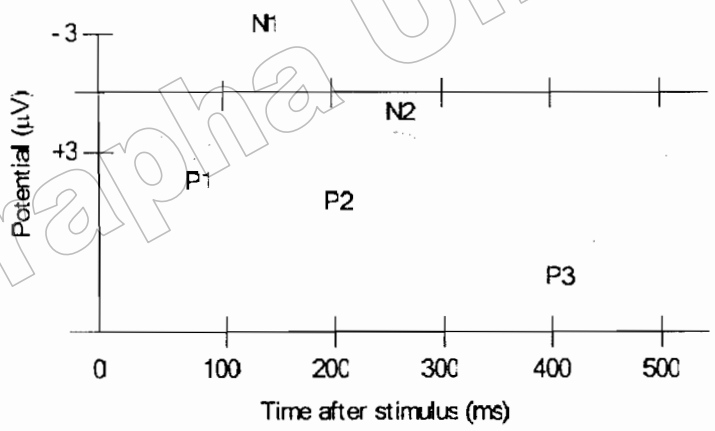
ไฟฟ้ากระแสสลับในสายไฟ นอกจากนี้ควรมีแผ่นกั้นเสียงรบกวนจากภายนอกเพื่อป้องกันเสียงรบกวนที่อาจจะสอดแทรกระหว่างทำการทดลอง

หลักการแปลผลคลื่นไฟฟ้าสมอง

หลังจากทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการนำข้อมูลมาแปลผลเพื่อตอบโจทย์ปัญหา การแปลผลคลื่นไฟฟ้าสมองจะอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ครอบคลุมตั้งแต่กระดับเบื้องต้นจนถึงระดับสูง และรวมถึงการวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อสรุปประเด็นของงานวิจัย บทความนี้ได้แบ่งการแปลผลออกตามการวิเคราะห์เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. การวิเคราะห์ทางแกนเวลา (Time domain analysis)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ผู้วิจัยจะเน้นการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาเป็นสำคัญ กล่าวคือ คลื่นไฟฟ้าสมองจะมีการตอบสนองที่เร็วระดับมิลลิวินาที (หนึ่งส่วนพัน) วิธีวิเคราะห์ศักย์ดาไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-Related Potential) หรือวิธี ERP (Luck, 2005) จากผลการวิจัยพบว่ามีปรากฏการณ์การเปลี่ยนระดับศักย์ดาไฟฟ้าหลังจากเกิดเหตุการณ์ (หรือกิจกรรม) ประมาณ 300 มิลลิวินาที และตั้งชื่อคลื่นนี้ว่า P300 ซึ่งเป็นระดับศักย์ดาไฟฟ้าของคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้า ตัวอย่างรูปคลื่น ERP แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 คลื่น ERP ที่ตอบสนองต่อกิจกรรมที่เวลา 0 วินาที

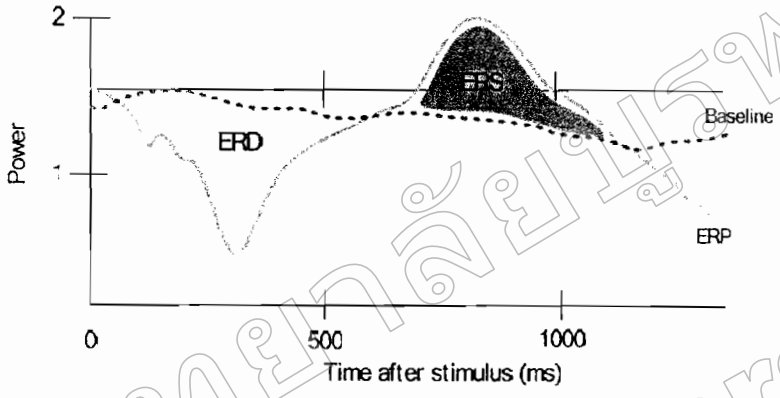
เพื่อให้สามารถแยกวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้นได้มีการแบ่งองค์ประกอบย่อยของคลื่น ERP โดยแบ่งตามลักษณะของรูปคลื่น เช่น P1 หรือ P100 คือยอดคลื่นลำดับแรกค่าบวก เกิดขึ้นบริเวณสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) และเริ่มเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 60 – 90 มิลลิวินาที หลังจากนำเสนอสิ่งเร้าและมีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 100 – 130 มิลลิวินาที ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการประมวลของสิ่งเร้าที่เป็นภาพ P1 จะเชื่อมโยงกับพื้นที่สมองส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น P1 เกิดขึ้นเมื่อมีความสนใจ (Attention) (C1_&_P1, n.d.) N1หรือ N100 คือยอดคลื่นลำดับแรกค่าลบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คลื่นนี้เกิดตามหลัง P1 มีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 100 – 150 มิลลิวินาที หลังจากนำเสนอ สิ่งเร้าตรงบริเวณสมองด้านหน้า และยังพบว่าเกิดระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดบริเวณสมองด้านหลังอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณเปลือกสมองกลีบข้าง (Parietal Cortex) และเปลือกสมองกลีบท้ายทอย (Occipital Cortex) โดยมีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 100 – 200 มิลลิวินาที ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการรับรู้สิ่งเร้าที่เป็นทั้งเสียงและภาพ (N100, n.d.) P2 หรือ P200 คือยอดคลื่นลำดับที่สองค่าบวก มีระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 150 – 275 มิลลิวินาที บริเวณตรงกลางของสมองกลีบหน้า (Centro-Frontal) และบริเวณพื้นที่สมองกลีบข้าง (Parietal) กับสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) ซึ่งโดยทั่วไปจะพบมากที่สุดในบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal Region) P2 แสดงถึงการประมวลผลเกี่ยวกับการรับรู้ขั้นสูง หรือเกิดขึ้นเมื่อมีความสนใจ (Attention) P2 โดยปกติจะมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เป็นภาพ และมีการศึกษาเกี่ยวข้องกับการมองภาพและความสนใจ ข้อมูลสารสนเทศในบริบทของภาษา หน่วยความจำ และผลกระทำที่ซ้ำ ๆ กัน P2 อาจเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจับคู่ทางสมอง ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการรับรู้ที่รับเข้ามากับหน่วยความจำที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่า P2 สะท้อนให้เห็นถึงการดึงคืน (Retrieval) ข้อมูลด้านเลขคณิต (Luck, 2005, pp. 36-37) (Freunberger et al., 2007) (Luck & Hillyard, 1994) (McCloskey et al., 1985) (P200, n.d.) N2 หรือ N200 คือยอดคลื่นลำดับที่สองค่าลบเป็นคลื่นที่เกิดระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 200 – 350 มิลลิวินาที หลังจากนำเสนอสิ่งเร้า และพบว่าจะเกิดบริเวณเปลือกสมองด้านหน้า ซึ่งพบว่า N200 เป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งในฐานะ ส่วนการตรวจจับความแตกต่างของความสูงระหว่างคลื่น 2 คลื่นในช่วงเวลาหนึ่ง (Mismatch Detector) และยังสะท้อนให้เห็นถึงหน้าที่การทำงานของกระบวนการคิดขั้นสูง (Executive Cognitive Control Functions) และยังถูกนำมาใช้ในการศึกษาเชิงภาษา (N200, n.d.) และ P3 หรือ P300 เป็นส่วนประกอบของศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) ที่เป็นบวก เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 250 – 600 มิลลิวินาที หลังจากการนำเสนอสิ่งเร้า (Onset) ความสูงของคลื่น P300 เป็นการวัดระดับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 250 – 600 มิลลิวินาที เทียบกับระยะพัก (Baseline) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงจำนวนเซลประสาทที่ถูกกระตุ้นขณะทำกิจกรรมในช่วงเวลานั้น ๆ ความแตกต่างของความสูงของคลื่นสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ภายใต้ความยากง่ายของกิจกรรมทางสมอง ซึ่งความแตกต่างในความสูงของคลื่นสะท้อนให้เห็นความแตกต่างของระดับการทำงานของเซลล์ประสาท และยังสัมพันธ์กับกระบวนการทางปัญญาขั้นสูง (Handy, 2005, pp. 11-12 ; Donchin & Coles, 1988; Johnson, 1986) นอกจากนี้ยังมีการศึกษายอดคลื่นอื่น ๆ อีก เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เฟริส์เชอเลอร์ (Pfurtscheller, 1989, pp. 75 – 84) ได้เสนอวิธี Event-Related Esynchoronization /Event-Related Synchoronization หรือวิธี ERD/ERS โดยทำการวิเคราะห์ระดับของศักย์ดาไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงเทียบกับเส้นอ้างอิงต่อสิ่งเร้า ตัวอย่างคลื่น ERD/ERS แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะของคลื่น ERD/ERS ที่เกิดขึ้นต่อสิ่งเร้า

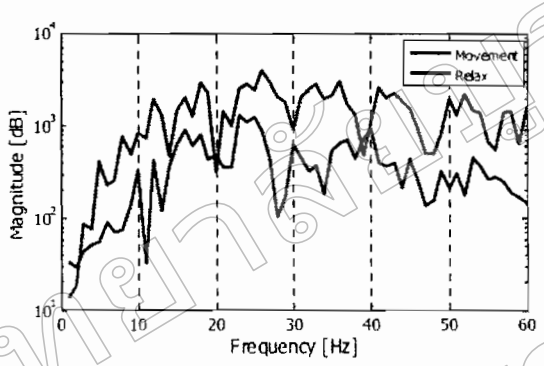
วิธี ERD/ERS เป็นการเปรียบเทียบค่าพลังงานของคลื่นไฟฟ้าสมองขณะตอบสนองต่อสิ่งเร้ากับค่าอ้างอิงโดยที่ค่าพลังงานต่ำกว่าค่าอ้างอิงจะเรียกว่า ERD และถ้าค่าพลังงานสูงกว่าค่าอ้างอิงจะเรียกว่า ERS วิธีนี้มีข้อเด่น คือสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในทางเวลาได้ละเอียด มีการประมวลผลข้อมูลที่รวดเร็ว อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อด้อย คือ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะต้องดูกำหนดช่วงเวลาให้ตรงกับกิจกรรม (Time Lock) และกรณีที่ต้องนำข้อมูลมาเฉลี่ยต้องคำนึงถึงเฟสของคลื่นให้ตรงกัน (Phase Lock) เพื่อให้ได้รูปคลื่นออกมาถูกต้องมากที่สุด นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้วิธีเคราะห์ทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ร่วมด้วยได้ วิธีการทางสถิติพื้นฐาน เช่นการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ วิธีวิเคราะห์ขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์เอนโตรพี (Entropy) การวิเคราะห์ความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) การวิเคราะห์ด้วยการกรองแบบดิจิตอล (Digital Filtering) การวิเคราะห์ค่ามิติเชิงแฟรกทัล (Fractal Dimension) (Phothisonothsi & Nakagawa, 2007) เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ทางแกนความถี่ (Frequency Domain Analysis)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ผู้วิจัยจะเน้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงในช่วงความถี่ที่เปลี่ยนเปลงเป็นสำคัญโดยทั่วไปแล้วข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จะอยู่ในรูปของแกนเวลาหรือข้อมูลอนุกรมเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Series) โดยแกนตั้งแทนระดับของคลื่นไฟฟ้าและแกนนอนแทนค่าเวลา เทคนิควิธีการเปลี่ยนข้อมูลจากรูปของแกนเวลาสู่รูปของแกนความถี่สามารถทำได้โดยอาศัย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

หลักการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีที่มีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงและซับซ้อน เนื่องจากการแปลงข้อมูลแกนเวลาเป็นแกนความถี่นั้นจะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากและใช้เวลาประมวลผลนาน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะนิยมใช้เทคนิควิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) หรือวิธี FFT ซึ่งให้ผลการคำนวณที่แม่นยำและรวดเร็ว ตัวอย่าง การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองด้วยวิธี FFT แสดงดังภาพที่ 6 พบว่าข้อมูลทางแกนนอนจะถูกเปลี่ยนจากค่าเวลาเป็นค่าความถี่ ทำให้สามารถวิเคราะห์ระดับของคลื่นตามช่วงความถี่ได้



ภาพที่ 6 ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองในรูปของแกนความถี่ด้วยวิธี FFT

วิธี FFT เป็นการแปลงข้อมูลจากแกนเวลาเป็นแกนความถี่ ผู้วิจัยควรคำนึงถึงความยาวของข้อมูลที่นำมาประมวลผลด้วย วิธีนี้ความยาวของข้อมูลควรจะอยู่ในช่วงของเลข 2 ยกกำลัง n หรือ 2^n เมื่อ n คือเลขจำนวนเต็มบวกจึงจะทำให้การประมวลผลรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีวิธีการแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ทางแกนความถี่ที่ให้ความละเอียดมากว่าวิธี FFT และสามารถช่วยแยกรายละเอียดทางแกนความถี่ให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการประมวลผลนั้นมีความซับซ้อนและใช้เวลามากกว่าการแปลผลด้วยวิธีการทางแกนเวลาหรือแกนความถี่ ผู้วิจัยควรคำนึงถึงข้อเด่นข้อด้อยของแต่ละวิธีก่อนการนำไปใช้แปลผล ส่วนที่สำคัญของการแปลผลคือการนำข้อมูลเส้นอ้างอิงมาเปรียบเทียบด้วยเสมอ เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในมุมมองด้านเวลาระดับศักย์ดาไฟฟ้า ช่วงความถี่ ซึ่งทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงการทำงานที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนนอกของสมองสอดคล้องกับตำแหน่งขั้วไฟฟ้าได้ (มนตรี โพธิโสโนทัย, 2552, หน้า 6-8)

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) ซึ่งเป็นเครื่องวัดสัญญาณรุ่น EEG 100C, MP150 BIOPAC ประเทศสหรัฐอเมริกา และหมวกอิเล็กโตรดที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 ในการทดลอง เพื่อใช้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และนำคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์และแปลผลตามการวิเคราะห์ทางแกนเวลา (Time Domain Analysis) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สมองและการคิดคำนวณ

ส่วนของสมองที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผล/คิดคำนวณ ได้แก่ สมองส่วนหน้ากลีบหน้า (Prefrontal) สมองกลีบหน้า (Frontal) สมองส่วนด้านข้าง (Parietal) และสมองส่วนท้ายทอย (Occipital) (Dehaene et al., 2004; Zamarian et al., 2009; Taylor & Thut, 2012) ซึ่งสมองส่วนต่าง ๆ จะมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น สมองกลีบหน้า (Frontal Lobe) ทำหน้าที่ในการคิดวิเคราะห์ ตัดสินใจ สติปัญญา ความตั้งใจ การเก็บความจำ การสั่งการให้มีพฤติกรรมต่าง ๆ สมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเห็นภาพและจัดการข้อมูลเกี่ยวกับภาพ และสมองส่วนด้านข้าง (Parietal Lobe) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึก ข้อมูลเรื่องมิติ ภาษา ท่วงท่าของร่างกาย การรับรู้ตำแหน่งของร่างกาย (อัครภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา, 2551,หน้า 282-287) และความรู้เกี่ยวกับด้านตัวเลขและความสัมพันธ์ทางตัวเลข และการคำนวณทางเลขคณิต (Blakemore & Frith, 2005) เป็นต้น แต่สุดท้ายการประมวลผลหรือการคิดคำนวณ จำเป็นต้องมีการทำงานของสมองที่เชื่อมโยงต่อเนื่องกันอย่างเป็นระบบ

เริ่มต้นที่กระบวนการรับรู้โจทย์ปัญหา จะเกิดขึ้นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น ซึ่งเป็นการกระตุ้นโดยตรงในบริเวณสมองส่วนท้ายทอย (Occipital Lobe) ยังเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมองเห็น เมื่อผู้สอบให้ความสนใจ (Attention) กับโจทย์ปัญหาก็จะสะท้อนให้เห็นการทำงานที่เชื่อมโยงกันระหว่างสมองกลีบหน้า (Frontal Lode) และสมองกลีบข้าง (Parietal Lode) กิจกรรมที่ใช้ในการจัดกระทำเกี่ยวกับความจำ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความสนใจกับความจำ ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเลือกรับภาพขึ้นอยู่กับการทำงานภายในสมองที่เกี่ยวข้องกับการรับภาพหลังจากที่มีสิ่งเร้าเข้ามา (โจทย์ปัญหา) ซึ่งควบคุมโดยความสนใจและกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากที่สิ่งเร้าปรากฏ รวมทั้งที่การกู้คืนข้อมูล (โจทย์ปัญหาที่เคยเห็นมาก่อน) จากสมอง ส่วนหน้า และสมองส่วนด้านข้าง ขึ้นอยู่กับชนิดของกิจกรรม (Taylor & Thut, 2012, p. 124) โดยธรรมชาติแล้วแหล่งทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของกลุ่มตัวอย่าง และการทำงานของระบบหน่วยความจำขณะคิด (Working Memory) โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับเลขคณิต หรือการคิดคำนวณ (Lemaire et al., 1996)

การประมวลผล/การคิดคำนวณเกี่ยวข้องกับเครือข่ายของพื้นที่สมองที่ใช้งานระหว่างการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ในบริเวณสมองส่วนด้านข้าง (Parietal) สมองกลีบหน้า (Frontal) และกลีบสมองซิกูเลท (Anterior Cingulate) ซึ่งส่วนของสมองส่วนด้านข้าง (Parietal Lobe) จะมีการทำงานในบริเวณร่องสมองส่วนด้านข้างด้านใน (Intraparietal Sulcus) และส่วนนูนของเปลือกสมองทางด้านหลัง (Postcentral Gyrus) ซึ่งเป็นบริเวณของกลีบสมองส่วนด้านข้าง (Parietal) แต่ส่วนของสมองกลีบหน้า (Frontal Lobe) ในด้านล่าง (Inferior) (BA 44/45) ด้านหลังเยื้องด้านข้าง (Dorsolateral) (BA 46/9) และด้านบน (Superior) (BA 6/8) ส่วนนูนของสมองส่วนหน้า (Frontal

Gyri) และเปลือกสมองที่เกี่ยวข้องกับประสาทสั่งการ (Premotor Cortex) พื้นที่สมองที่กล่าวมาก็จะทำงานต่างกันในกรณีที่มีกิจกรรมต่างกัน แต่จะเกี่ยวข้องกับความจำขณะคิด (Working Memory) และความสนใจในด้านการมองภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuospatial Attention) (Corbetta et al., 1993; Goldman-Rakic, 1984; Nobre et al., 1997). ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การคิดคำนวณในสมองของมนุษย์เกิดขึ้นในรูปแบบของวงจรโครงสร้างสมองที่ตายตัวด้วยวิถีประสาทที่ผ่านสมอง ส่วนด้านข้างทางด้านหลัง (Dorsal Parietal Pathway) (Goldman-Rakic,1988) นอกจากนี้ก็ยังพบว่า (Precental Sulcus) และ (Inferior Frontal Gyrus) ก็ทำงานร่วมด้วย (Stanescu-Cosson et al., 2000)

กิจกรรมทางด้านตัวเลขได้ออกแบบมา เพื่อกระตุ้นการทำงานของหน่วยความจำขณะคิดและกลยุทธ์ในการประมวลผล การวิจัยทางจิตวิทยาชี้ให้เห็นว่าโจทย์ปัญหาที่ง่ายอาจต้องใช้ลำดับกลยุทธ์ขั้นตอน และการยืนยันผลลัพธ์คำตอบ (LeFevre et al., 1996) ดังนั้น หน่วยความจำขณะคิดต้องการอธิบายการทำงานในสมองส่วนหน้ากลีบหน้า (Prefrontal) ระหว่างการคิดคำนวณง่าย ๆ และยังอธิบายว่าทำไมต้องมีการทำงานมากขึ้น เมื่อโจทย์ปัญหามีความยากเพิ่มขึ้น (Chochon et al., 1999) ซึ่งความสามารถด้านเลขคณิตสะท้อนให้เห็นการทำงานได้ในบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal) ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Arithmetic Processing) (Zamarian et al., 2009) นอกจากนี้ ยังมีโมเดลความสัมพันธ์ของเลขคณิตอย่างง่าย แสดงให้เห็นว่าการคิดคำนวณทางด้านเลขคณิต จะเกี่ยวสัมพันธ์กับเครือข่ายในหน่วยความจำระยะยาว (Long Term Memory: LTM) (Ashcraft, 1987; Campbell, 1987; Lemaire & Bernoussi, 1991; McCloskey et al., 1991) ซึ่งลักษณะของโจทย์ปัญหาจะมี 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ แบบ Production (เช่น 8 + 4 = ? เป็นต้น) และแบบ Verification (เช่น 8 + 4 = 12. จริง? ไม่จริง? เป็นต้น) ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบกลุ่มตัวอย่างต้องคิดหากลุ่มของคำตอบที่ควรเลือก การตั้งโจทย์ปัญหาแบบนี้เพื่อเป็นการกระตุ้นกระบวนการคิดคำนวณ (Anderson, 1983; Collins & Loftus, 1975) ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างควรเลือกคำตอบที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบคำตอบที่เลือกไว้กับคำตอบที่ปรากฏอยู่ แต่อย่างไร ก็ตามคำตอบที่แสดงไว้เป็นผลที่สะท้อนการประมวลผลของการคิดคำนวณ หรือ การดึงคืนข้อมูล ดังเช่นขนาดของโจทย์ปัญหาที่มีความยาก จะต้องดึงคืนข้อมูลที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมจากในเครือข่ายหน่วยความจำ ก็จะมีผลต่อเวลาปฏิกิริยาตอบสนอง (RT) นานขึ้น และความผิดพลาดก็จะมากขึ้นตามไปด้วย (Ashcraft & Battaglia, 1978; Campbell & Graham, 1985) เช่น โจทย์ปัญหาที่ยาก (9 x 8 = 72) ก็จะมีข้อผิดพลาดมากกว่าโจทย์ปัญหาที่ง่าย (3 x 4 = 12) เป็นต้น ซึ่งโจทย์ปัญหาที่ยากจะมีผลทำให้มีกระบวนการดึงคืนข้อมูลจากหน่วยความจำ และสะท้อนถึงเวลาในการคิดคำนวณเพื่อแก้ไขโจทย์ปัญหาในเครือข่ายหน่วยความจำ (Lemaire et al., 1996) ดังที่งานวิจัยของ เบรนเนิด (Brainerd, 1983) ได้แสดงให้เห็นว่าเด็กจะมีกระบวนการเข้ารหัส (Encoding) ในหน่วยความจำระยะสั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Short Term Memory) และพัฒนากระบวนการดึงคืนข้อมูลได้รวดเร็วกว่าการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Arithmetic Processing) และเมื่อคิดคำนวณเสร็จเรียบร้อย หลังจากนั้น จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดสินใจเพื่อเลือกคำตอบที่เหมาะสม และรายการคำตอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University