การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ขณะทำแบบทดสอบด้านเลขคณิต

วันที่รับบทความ	01/04/2562
วันแก้ไขบทความ	30/04/2562
วันตอบรับบทความ	01/05/2562

กนก พานทอง[1] ปิยะทิพย์ ประดุจพรม[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน (ด้านจำ ด้านเข้าใจ และด้านประยุกต์) จำแนกตามเพศของนักเรียน และความสามารถของนักเรียน และ 2) ศึกษาผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศของนักเรียนและความสามารถของนักเรียนที่มีต่อรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียน ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบเลขคณิต กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (เรียนเนื้อสาระวิชาคณิตศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มาแล้ว) โรงเรียนปรีชานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี จำนวน 40 คน แบ่งเป็นกลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน กลุ่มละเท่า ๆ กัน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ 1) แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเองสอบถามในเรื่องเพศ สุขภาพ และมีการมองเห็นปกติ 2) แบบประเมินความถนัดในการใช้มือขวาของ Oldfield (1971) 3) แบบทดสอบเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน 4) กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ซึ่งเป็นกิจกรรมทดสอบผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Stim2 5) เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) โดยใช้เครื่องขยายสัญญาณ SynAmps RT และหมวก QuikCap แบบ 64 ช่องสัญญาณ 6) เครื่องคอมพิวเตอร์ ซีพียู Intel core i5-2400 (3.1 GHz) ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP Professional วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าสถิติเชิงพรรณนา และ Two-Way MANOVA ผลการวิจัยปรากฏว่า ความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน จำแนกตามความสามารถของนักเรียน และเพศของนักเรียนแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 บริเวณจุดอิเล็กโทรด FT8 F2 F6 FC3 FC1 FCZ FC2 FC4 CP2 CP4 CP6 C5 C3 C1 CZ C2 C6 TP7 TP8 T7 T8 CP6 P5 P3 P1 PZ P2 P4 P6 P8 PO7 PO5 PO3 POZ PO4 PO6 PO8 OZ และ O2 ถ้าจำแนกตามความสามารถของนักเรียน ปรากฏว่า ด้านจำ กลุ่มเก่งมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มอ่อน แต่มีบางจุดอิเล็กโทรดพบว่า ด้านจำ และด้านเข้าใจ กลุ่มอ่อนมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มเก่ง และยังพบว่า ด้านประยุกต์ กลุ่มเก่งมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มอ่อน แต่เมื่อจำแนกตามเพศของนักเรียน ปรากฏว่า ด้านจำ ด้านเข้าใจ และด้านประยุกต์

[1] อาจารย์ประจำ หน่วยวิจัยวิทยาการปัญญาและนวัตกรรม วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
e-mail: kanok1459@gmail.com

[2] อาจารย์ประจำ หน่วยวิจัยวิทยาการปัญญาและนวัตกรรม วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

เพศหญิงมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศชาย แต่มีบางจุดอิเล็กโทรด พบว่า ด้านเข้าใจ เพศชายมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศหญิง และยังพบว่า ด้านจำ ด้านเข้าใจ และด้านประยุกต์ เพศหญิงมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าเพศชาย นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนพหุคูณแบบสองทาง ยังชี้ให้เห็นว่ามีผลปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความสามารถของนักเรียน และเพศของนักเรียนต่อความสูง และความกว้างคลื่น P300 ด้านจำ และด้านเข้าใจ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 บริเวณจุดอิเล็กโทรด FC4 FC6 F2 F6 C3 C1 C4 C6 P1 และ P7

คำสำคัญ : เพศ ความสามารถของนักเรียน คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ แบบทดสอบ ด้านเลขคณิต

A Comparison of Seventh Grade Students' Brian Wave Patterns During Arithmetic Testing

Received	01/04/2562
Revised	30/04/2562
Accepted	01/05/2562

Kanok Panthong[1] Piyathip Pradujprom[2]

Abstract

The purposes of this study were to; 1) compare the brainwave patterns of students while performing arithmetic tasks for measuring three cognitive processes (remembering, understanding, and applying), categorized by gender and students' ability, and 2) to investigate an interaction effect between gender and students' ability on brainwave patterns of students while performing aforementioned tasks. The sample group consisted 40 grade-seven students of Preechanusas School in Chonburi (students took a mathematics subject at 6th grade) who volunteered to participate in the study. The participants were divided into two groups; high and low ability. The research instruments were; 1) a general information questionnaire (gender, health condition, and ability to see), 2) Oldfield's evaluation form in evaluating the right-hand limit, 3) the arithmetic test for measuring the 3 cognitive processes, 4) the arithmetic testing task for measuring the 3 cognitive processes via computer with Stim 2 program, 5) SynAmps RT, and 64-channel Quik-Cap, and 6) a computer with Intel core i5-2400 (3.1 GHz) and Microsoft Windows XP Professional operating system. Data were analyzed using descriptive statistics and two-way multivariate analysis of variance (Two-Way MANOVA). The results showed that amplitude and latency of P300 of the participants, classified by ability and gender of the participants, while performing arithmetic tasks for measuring the 3cognitive processes, were significantly difference at the .05 level at the electrode sites of FT8 F2 F6 FC3 FC1 FCZ FC2 FC4 CP2 CP4 CP6 C5 C3 C1 CZ C2 C6 TP7 TP8 T7 T8 CP6 P5 P3 P1 PZ P2 P4 P6 P8 PO7 PO5 PO3 POZ PO4 PO6 PO8 OZ and O2. When focusing on the participants' ability, it was found

[1] Lecturer, Cognitive Science and Innovative Research Unit, College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University
e-mail: kanok1459@gmail.com

[2] Lecturer, Cognitive Science and Innovative Research Unit, College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University

that for remembering-based arithmetic task, the students with high ability had higher P300 amplitude than students with low ability. However, at some electrode sites, the students with low ability had higher P300 amplitude than the students with high ability for remembering- and understanding-based tasks. Furthermore, for applying-based arithmetic task, the students with high ability had longer P300 latency than students with low ability. When focusing on the participants' gender, it was found that for remembering and applying-based arithmetic task, female students had higher and longer P300 amplitude and latency than male students. However, at some electrode sites, the male students had higher P300 amplitude than the female students for understanding-based tasks. In addition, female students had longer P300 latency than male students for all arithmetic tasks. Furthermore, a two-way MANOVA demonstrated the significant interaction effect between gender and students' ability on P300 amplitude and latency for remembering and understanding-arithmetic tasks at $p<.05$ at FC4, FC6, F2, F6, C3, C1, C4, C6, P1, and P7 electrode sites.

Keywords: gender, students' ability, event-related potentials, arithmetic testing task

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาความคิดมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความคิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบ ช่วยให้คาดการณ์วางแผน ตัดสินใจแก้ปัญหา และเป็นพื้นฐานในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและศาสตร์อื่น ๆ คณิตศาสตร์จึงมีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต (Ministry of Education, 2008) เป้าหมายหนึ่งของการเรียนคณิตศาสตร์คือ ผู้เรียนต้องเป็นผู้ที่สามารถแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และมุ่งมั่นที่จะพัฒนาและประยุกต์ใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาที่หลากหลายได้ จึงควรเน้นให้ผู้เรียนได้รับการฝึกประสบการณ์เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญและจะต้องพัฒนาให้เกิดกับตัวผู้เรียนมากที่สุด การแก้ปัญหายังเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้แนวคิดและทักษะต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ได้อีกด้วย (Kennedy & Tipps, 1994, p. 135; National Council of Teachers of Mathematics Commission on Standards for School Mathematics, 1989, p. 5)

ทักษะและการแก้ปัญหาเป็นกระบวนการที่จะต้องเรียนรู้ ฝึกฝน และพัฒนาให้เกิดทักษะขึ้นในตัวนักเรียน การเรียนรู้คณิตศาสตร์ต้องทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ ขั้นตอน หลักการคำนวณเชิงตัวเลข เนื้อหาวิชาและสามารถแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง กระบวนการทางปัญญา (Cognitive Process) เป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนต้องมีความรู้พื้นฐานของแนวคิดที่เรียนรู้มาความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดทางคณิตศาสตร์นำไปสู่ความรู้ทางคณิตศาสตร์มากขึ้น ช่วยสร้างความชำนาญทางคณิตศาสตร์ในด้านอื่น ๆ ที่สามารถนำไปสู่การประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความรู้ความชำนาญมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสถานการณ์ใหม่ ๆ ซึ่งเป็นการแสดงศักยภาพในการใช้กระบวนการทางปัญญาที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านจำ (Remembering) ด้านเข้าใจ (Understanding) และด้านประยุกต์ (Applying) (Anderson et al, 2001, p. 447; Krathwohl, 2002, pp. 212-218) ของแต่ละบุคคลในการจัดการปัญหาทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความแตกต่างทางเพศมีอิทธิพลต่อความสามารถทางปัญญา (Cognitive Abilities) ดังงานวิจัยของ Gallagher and De Lisi (1994, pp. 204-211; Gallagher, Levin, & Cahalan, 2002, pp. i-30) ที่ทำการตรวจสอบรูปแบบความคิดของความแตกต่างทางเพศที่เกี่ยวกับโจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ พบว่า เพศชายได้เปรียบในเรื่องการแก้ปัญหาเชิงมิติสัมพันธ์ และผลการวิจัยของ Ganley and Vasilyeva (2011, pp. 235-242) แสดงให้เห็นว่าความสามารถทางคณิตศาสตร์อาจจะใกล้เคียงกันระหว่างเพศชายและเพศหญิง แต่ตัวแปรทำนายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ เพศ โดยเฉพาะทักษะทางมิติสัมพันธ์เป็นตัวทำนายความสามารถทางคณิตศาสตร์ของเพศชายแต่ไม่มีในเพศหญิง นอกจากนี้เพศชายมีแนวโน้มที่จะใช้กลยุทธ์การแก้ปัญหาวิธีการใหม่ ๆ ในขณะที่เพศหญิงมีแนวโน้มที่จะปฏิบัติตามขั้นตอนที่ได้เล่าเรียนมา โดยเพศหญิงมักปฏิบัติตามวิธีการที่ครูสอนในห้องเรียน (National Council of Teachers of Mathematics, 2017)

นอกจากนี้ความแตกต่างทางสติปัญญาเป็นความแตกต่างของบุคคลในความสามารถเกี่ยวกับการคิดและการเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ถ้านักเรียนมีระดับสติปัญญาสูงก็จะมีความสามารถในการเรียนสิ่งต่าง ๆ ที่ยากและซับซ้อนได้ดี สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (Chittapalo, 1998, pp. 81-82) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Núñez-Peña, Gracia-Bafalluy, and Tubau (2011, pp. 143-149) ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคลในทักษะทางด้านเลขคณิตสะท้อนให้เห็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ ซึ่งศึกษาถึงผลกระทบของระดับความยากของโจทย์ปัญหาในบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตสูงและต่ำ ปรากฏว่า บุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตสูง แสดงให้เห็นถึงคลื่นช้าบวกในการแก้ไขโจทย์ปัญหาระดับยาก แต่ในขณะแก้ไขโจทย์ปัญหาระดับง่ายและระดับปานกลาง จะมีรูปแบบของคลื่นไม่มีความแตกต่าง ในทางตรงกันข้ามบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตต่ำ แสดงให้เห็นถึงคลื่นช้าบวกในการแก้ไขโจทย์ปัญหาระดับปานกลางและระดับยาก จะมีรูปแบบคลื่นความแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างระหว่างบุคคลที่มีทักษะทั้งสูงและต่ำนั้นมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างในเรื่องกลยุทธ์การคำนวณ

ปัจจุบันมีการนำความรู้ทางประสาทวิทยามาศึกษาในเรื่องพฤติกรรม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนการทำงานของสมองจากการกระทำทางพฤติกรรมด้วยวิธีการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-Related Potential: ERP) วิธีการนี้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นในสมองกับพฤติกรรมที่ต้องการศึกษาขณะทำกิจกรรม (Fabiani, Gratton, & Federmeier, 2007; Kotchoubey, 2006, pp. 42-65) ซึ่ง ERP ที่เป็นองค์ประกอบย่อยของคลื่น P3 หรือ P300 ที่เป็นคลื่นบวกเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 300 – 600 มิลลิวินาที หลังระยะเริ่มกระตุ้น (Onset) เป็นคลื่นที่แสดงให้เห็นถึงกระบวนการคิด (Donchin & Coles, 1988, pp. 357-374; Johnson, 1986, pp. 367-384)

ความสูง (Amplitude) ของคลื่น P3 สะท้อนให้เห็นถึงจำนวนเซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นขณะทำกิจกรรมในช่วงเวลานั้น ๆ ความแตกต่างของความสูงของคลื่นอาจขึ้นอยู่กับความยากง่ายของกิจกรรมทดสอบ (Task) ซึ่งความสูงของคลื่น P3 ยังมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยากและความซับซ้อนของสิ่งเร้า (Bajric, Rösler, Heil, & Hennighausen, 1999, pp. 399-408; Wilson, Swain, & Ullsperger, 1998, pp. 137-158) ส่วนความกว้าง (Latency) ของคลื่น P300 เป็นการวัดความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองที่แสดงให้เห็นความแตกต่างในเรื่องของเวลา ซึ่งเป็นความเร็วของการส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าในสมอง (ความเร็วในการประมวลผลข้อมูล) (Handy, 2005, pp. 11-12) ความกว้างของคลื่นที่ยาวกว่าก็จะสะท้อนให้เห็นถึงการประมวลผลที่มีความซับซ้อนมากกว่าปกติ หรือการประมวลผลที่ล่าช้าในกลุ่มผู้สูงอายุหรือโรคสมองเสื่อม และความกว้างของคลื่น P300 ยังสะท้อนถึงเวลาที่ใช้ในการประเมินสิ่งเร้าที่เข้ามากระตุ้น โดยเห็นการเปลี่ยนแปลงในบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal) ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Zamarian, Ischebeck, & Delazer et al., 2009, pp. 909-925) และยังพบว่าคลื่น P300 มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงคลื่นตามบริเวณจุดอิเล็กโทรดแนวกลางศีรษะ ได้แก่ จุดอิเล็กโทรด Fz ,Cz และ Pz โดยจะมีขนาด (Magnitude) สูงขึ้น (Iguchi & Hashimoto, 2000, pp. 204-213; Johnson-Laird, 1994, pp. 189-209)

จากการศึกษาแนวคิดข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะเปรียบเทียบรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ว่าจะมีคลื่นไฟฟ้าสมองที่แตกต่างกันหรือไม่ และเมื่อจำแนกตามความสามารถของนักเรียน และเพศของนักเรียน รูปแบบคลื่นจะแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ที่มีความต่อเนื่องกันโดยเริ่มต้นจากซับซ้อนน้อยไปถึงซับซ้อนมาก จึงทำให้ทราบระดับความสามารถด้านเลขคณิตที่แท้จริงในมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ของ Anderson et al. (2001, p. 447) ผ่านการวัดกระบวนการทางสมองโดยตรง และทำให้ทราบรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมทดสอบที่ใช้อธิบายกระบวนการทำงานของสมองขณะทำแบบทดสอบด้านเลขคณิตที่วัดมิติกระบวนการทางปัญญาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน จำแนกตามความสามารถของนักเรียน
2. เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน จำแนกตามเพศของนักเรียน
3. เพื่อศึกษาผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนและเพศของนักเรียนที่มีต่อรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนปรีชานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี เนื่องจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ได้เรียนเนื้อสาระวิชาคณิตศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มาทั้งหมดแล้ว

กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (เนื่องจากได้เรียนเนื้อสาระวิชาคณิตศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มาทั้งหมดแล้ว) ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนปรีชานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี ได้มาจากการอาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัย และมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเก่ง และกลุ่มอ่อน โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวน 20 คน รวมทั้งสิ้น 40 คน

2. แบบแผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการทดลองแบบ Two-Groups Posttest-Only Design (McMillan & Schumacher, 2010, p. 268) ซึ่งมีแบบแผนการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลองแบบ Two-Groups Posttest-Only Design

ความสามารถของนักเรียน	ทำแบบทดสอบด้านเลขคณิต	วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง
E_1	X	O_1
E_2	X	O_2

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

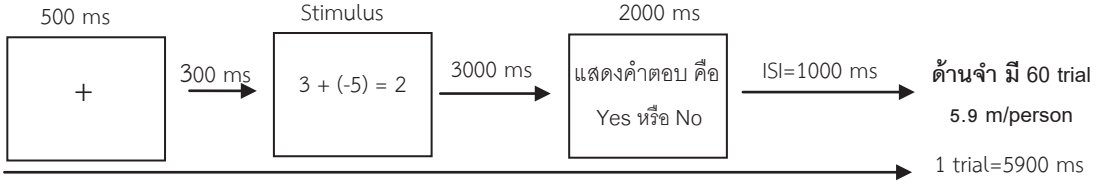
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่ 1) แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเองสอบถามในเรื่องเพศ สุขภาพ และมีการมองเห็นปกติ 2) แบบประเมินความถนัดในการใช้มือขวาของ Oldfield (1971) 3) แบบทดสอบเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านจำ มี 60 ข้อ ด้านเข้าใจ มี 210 ข้อ และด้านประยุกต์ มี 60 ข้อ 4) กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ซึ่งเป็นกิจกรรมทดสอบผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Stim2 5) เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) โดยใช้เครื่องขยายสัญญาณ SynAmps RT และหมวก QuikCap แบบ 64 ช่องสัญญาณ 6) เครื่องคอมพิวเตอร์ ซีพียู Intel core i5-2400 (3.1 GHz) ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP Professional

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

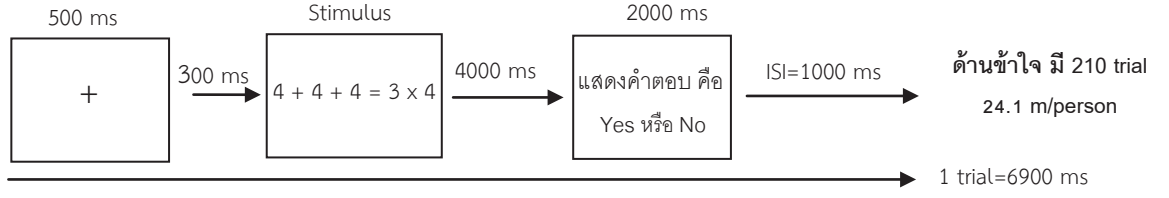
1. ระยะก่อนการทดลอง คัดกรองกลุ่มอาสาสมัครนักเรียนที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว ทำการจัดกลุ่มตามความสามารถของนักเรียนได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเก่ง (E^1) และกลุ่มอ่อน (E^2) โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวน 20 คน แล้วแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 5 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 7-9 คน เพื่อสะดวกในการทดลอง รวมระยะเวลาทดลองทั้งสิ้น 5 วัน พร้อมนัดหมายวัน เวลากับกลุ่มย่อยทุกกลุ่ม เพื่อดำเนินการทดลอง รวมถึงแจ้งรายละเอียดข้อควรปฏิบัติก่อนการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง

2. ระยะทดลอง ดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างโดยผู้วิจัยดำเนินการติดตั้งเครื่องมือในการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองให้กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลองครั้งละ 1 คน โดยแต่ละคนจะได้ทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ พร้อมกับมีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมการทดสอบ จำนวน 330 ข้อ ซึ่งในแต่ละข้อคำถามของการทดสอบจะใช้เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้า ดังรูปที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จะใช้เวลาทดสอบประมาณ 47 นาทีต่อคน

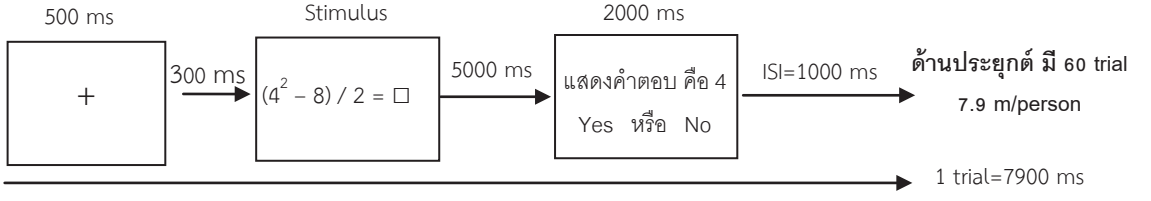
3. ระยะหลังการทดลอง ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้จากการบันทึกขณะทำกิจกรรมการทดสอบของกลุ่มทดลอง เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



รูปที่ 1 เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้าของการวัดมิติกระบวนการทางปัญญา ด้านจำ



รูปที่ 2 เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้าของการวัดมิติกระบวนการทางปัญญา ด้านเข้าใจ



รูปที่ 3 เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้าของการวัดมิติกระบวนการทางปัญญา ด้านประยุกต์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ค่าสถิติเชิงพรรณนา

2. การวิเคราะห์ผลปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความสามารถของนักเรียน และเพศของนักเรียนที่มีต่อรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญาทั้ง 3 ด้าน โดยใช้สถิติทดสอบ Two-Way MANOVA

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. ความสามารถของนักเรียนแตกต่างกัน จะรูปแบบคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้านแตกต่างกัน ปรากฏว่า **ด้านจำ** ความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 4 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ F6 P5 PZ และ P8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

0.05 ปรากฏว่า กลุ่มเก่งมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มอ่อน แต่มีบางจุดอิเล็กโทรดพบว่า กลุ่มอ่อนมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มเก่ง **ด้านเข้าใจ** ความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 5 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FCZ FC2 FC4 CZ และ C2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า กลุ่มอ่อนมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มเก่ง และ**ด้านประยุกต์** ความกว้างของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 1 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ TP8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า กลุ่มเก่งมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มอ่อน

2. เพศของนักเรียนแตกต่างกัน จะมีรูปแบบคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิตวัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้านแตกต่างกัน ปรากฏว่า **ด้านจำ** ความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 19 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ F2 F6 FC1 FCZ FC2 FC4 C3 C1 CZ C2 TP8 P3 P1 P6 P8 PO5 PO3 PO6 และ PO8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศชาย แต่มีบางจุดอิเล็กโทรดพบว่า เพศชายมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศหญิง ส่วนความกว้างของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 6 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FT8 C6 T8 CP6 P6 และ PO6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าเพศชาย **ด้านเข้าใจ** ความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 14 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FC3 FC1 FCZ FC2 FC4 T7 C5 C3 C1 CZ C2 P6 P8 และ PO3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศชาย แต่มีบางจุดอิเล็กโทรดพบว่า เพศชายมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศหญิง ส่วนความกว้างของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 4 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ T8 CP4 CP6 และ P6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าเพศชาย **ด้านประยุกต์** ความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 5 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FCZ FC2 C1 C2 และ TP7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศชาย ส่วนความกว้างของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 21 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FT8 T7 C6 T8 CP2 CP4 CP6 TP8 P1 PZ P2 P4 P6 PO7 PO3 POZ PO4 PO6 PO8 OZ และ O2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าเพศชาย

3. มีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนกับเพศของนักเรียนที่ส่งต่อรูปแบบคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน ปรากฏว่า **ด้านจำ** มีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนกับเพศของนักเรียนที่ส่งต่อความสูงของคลื่น P300 จำนวน 2 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ C6 และ P1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 **ด้านเข้าใจ** มีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนกับเพศของนักเรียนที่ส่งต่อความสูงของคลื่น P300 จำนวน 3 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FC4 FC6 และ C4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความกว้างของคลื่น P300 จำนวน 5 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ F2 F6 C3 C1 และ P7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผลการวิจัย

1. ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน เนื่องด้วยนักเรียนที่มีความสามารถแตกต่างกัน รูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนจะแตกต่างกัน ซึ่งการพบความแตกต่างในส่วนของความสามารถของนักเรียนแตกต่างกัน ความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า กลุ่มเก่งมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มอ่อน **ด้านจำ** จำนวน 3 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ P5 PZ และ P8 เนื่องจากกลุ่มเก่งให้ความใส่ใจ (Attention) กับโจทย์ปัญหานั้น เพราะกลุ่มเก่งมีระดับของการตื่นตัวมากกว่ากลุ่มอ่อนทำให้มีผลต่อระบบการประมวลผล ซึ่งเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปริมาณของความใส่ใจในการทำกิจกรรมทดสอบ ทำให้ความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มอ่อน แต่มีบางจุดอิเล็กโทรดพบว่ากลุ่มอ่อนมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่ากลุ่มเก่ง **ด้านจำ** จุดอิเล็กโทรด F6 และ**ด้านเข้าใจ** จำนวน 5 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FCZ FC2 FC4 CZ และ C2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Panthong, Chadcham, and Pitukvattananon (2011, pp. 62-77) ที่พบว่าผู้สอบกลุ่มอ่อนและกลุ่มปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มเก่ง เพราะเนื่องจากกลุ่มอ่อนต้องใช้ทรัพยากรสำหรับการประมวลผลเพิ่มขึ้น (Houlihan, Stelmack, & Campbell, 1998, pp. 9-25) จากการใช้ความคิดในการประมวลผล (กระบวนการคิดคำนวณ) มากขึ้น **ด้านประยุกต์** ความกว้างของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน จำนวน 1 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ TP8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ปรากฏว่า กลุ่มเก่งมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มอ่อน เนื่องจากความกว้างของคลื่น P300 มีการเปลี่ยนแปลงไปในบริเวณสมองหลายส่วน โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่สมองกลีบหน้า ความกว้างของคลื่น P300 จะสั้นลงและบริเวณสมองกลีบข้าง ส่งผลให้ความกว้างของคลื่น P300 จะยาวขึ้น (Mertens & Polich, 1997, pp. 488-497; Polich et al., 1997, pp. 275-282)

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งของสมองที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญาด้านจำ ด้านเข้าใจ และด้านประยุกต์ จำนวน 10 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ F6 FCZ FC2 FC4 CZ C2 P5 PZ P8 และ TP8 ซึ่งจุดอิเล็กโทรดอยู่ในบริเวณสมองที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มปรากฏสิ่งกระตุ้นไปจนถึงจุดที่มีความสูงของคลื่นเป็นบวกสูงสุดภายในกรอบเวลา การกระจายของ P300 บนหนังศีรษะที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงของคลื่นบน Midline Electrodes ในบริเวณสมองกลีบหน้า และสมองกลีบข้างที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Dehaene, Molko, Cohen, & Wilson, 2004, pp. 218-224; Pauli, Lutzenberger, Birbaumer, Rickard, & Bourne Jr, 1996, pp. 522-529; Zamarian, Ischebeck, & Delazer, 2009, pp. 909-925) โดยกระบวนการต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์กับกระบวนการคิดคำนวณในบริเวณสมองกลีบข้าง และสมองส่วนหน้ากลีบหน้า ซึ่งเป็นจุดที่เกี่ยวข้องกับการปรากฏสิ่งกระตุ้นของโจทย์ปัญหา (Kong, Wang, Shang, Xiuzhen Yang, & Zhuang, 1999, pp. 169-172)

2. ขณะทำกิจกรรมแบบทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน เนื่องด้วยเพศของนักเรียนที่มีเพศแตกต่างกัน รูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักเรียนจะแตกต่างกัน ซึ่งพบความแตกต่างในส่วนของความสูงของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมี

ความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศชาย **ด้านจำ** จำนวน 10 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ F2 F6 FC1 FCZ FC2 FC4 C3 C1 CZ และ C2 **ด้านเข้าใจ** จำนวน 14 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FC3 FC1 FCZ FC2 FC4 T7 C5 C3 C1 CZ C2 P6 P8 และ PO3 และ **ด้านประยุกต์** จำนวน 5 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FCZ FC2 C1 C2 และ TP7 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Benbow and Stanley (1980, pp. 1262-1264) พบว่า เพศชายมีความสามารถทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเพศหญิง และ Guiso, Monte, Sapienza, and Zingales (2008, pp. 1164-1165) พบว่า เพศชายมีคะแนนคณิตศาสตร์สูงกว่าเพศหญิง ซึ่งอาจส่งผลให้ความแตกต่างทางเพศมีผลต่อความสามารถทางคณิตศาสตร์มากยิ่งขึ้น (Hedges & Nowell, 1995, pp. 41-45) แต่มีบางจุดอิเล็กโทรดพบว่า เพศชายมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศหญิง **ด้านจำ** จำนวน 9 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ TP8 P3 P1 P6 P8 PO5 PO3 PO6 และ PO8 **ด้านเข้าใจ** จำนวน 3 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ P6 P8 และ PO3 สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Vaquero, Cardoso, Vazque, and Gomez (2004, pp. 541-557) ที่พบว่า เพศชายมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่าเพศหญิงในด้านการประมวลผลด้านภาพ (Visual Processing) ที่เป็นสิ่งเร้า โดยเป็นผลมาจากความใส่ใจเชิงมิติสัมพันธ์ (Spatial Attention) จึงทำให้เพศชายมีความสูงของคลื่น P300 สูงกว่า

ส่วนความกว้างของคลื่น P300 ของนักเรียนแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ปรากฏว่า เพศหญิงมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าเพศชาย **ด้านจำ** จำนวน 6 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FT8 C6 T8 CP6 P6 และ PO6 **ด้านเข้าใจ** จำนวน 4 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ T8 CP4 CP6 และ P6 และ ด้านประยุกต์ จำนวน 21 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FT8 T7 C6 T8 CP2 CP4 CP6 TP8 P1 PZ P2 P4 P6 PO7 PO3 POZ PO4 PO6 PO8 OZ และ O2 โดยความกว้างของคลื่น P300 เป็นตัวชี้วัดที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการประมวลผลและสติปัญญา เมื่อความกว้างของคลื่นที่สั้นลงมีความสัมพันธ์กับความสามารถทางปัญญา ที่ดี (Emmerson, Dustman, Shearer, & Turner, 1989, pp. 151-159; Pelosi, Holly, Slade, Hayward, Barrett, & Blumhardt, 1992, pp. 515-520) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Houlihan, Stelmack, and Campbell (1998, pp. 9-25) ที่พบว่า เพศชายมีความสามารถทางคณิตศาสตร์ดีกว่าเพศหญิง ทำให้เห็นว่ามีความแตกต่างของกระบวนการทางปัญญาระหว่างเพศชายและเพศหญิง (Weisberg & Reeves, 2013)

นอกจากนี้ผลการวิจัย ยังชี้ให้เห็นว่าตำแหน่งของสมองที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญาด้านจำ ด้านเข้าใจ และด้านประยุกต์ จำนวน 37 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ F2 F6 FC3 FC1 FCZ FC2 FC4 FT8 T7 T8 C5 C3 C1 CZ C2 C6 TP7 TP8 CP2 CP4 CP6 P3 P1 PZ P2 P4 P6 P8 PO7 PO5 PO3 POZ PO4 PO6 PO8 OZ และ O2 ซึ่งจุดอิเล็กโทรดอยู่ในบริเวณสมองที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Davis et al. (2009, pp. 1187-1197) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของความสามารถในการคำนวณ พบว่า มีการกระตุ้นโครงข่ายประสาทในบริเวณสมองกลีบหน้าและสมองกลีบข้างระหว่างการคำนวณเลขคณิต และระดมโครงข่ายประสาทในพื้นที่สมองเพิ่มเติมสำหรับภารกิจที่ซับซ้อนมากขึ้น และยังเกิดขึ้นในส่วนของ Midline Electrodes (Fz, Cz, Pz) กับบริเวณ Frontal และ Temporal/Parietal (Ebmeier et al., 1995, pp. 434-443; Kirino, Belger, Goldman-Rakic, & McCarthy, 2000, pp. 6612-6618) นอกจากนี้ในบริเวณ O1 ที่อยู่ในตำแหน่งสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) ยังเป็นส่วนที่

เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมองเห็น ถ้าผู้สอบให้ความใส่ใจ (Attention) กับโจทย์ปัญหานั้น (Taylor & Thut, 2012, pp. 124-129)

3. เนื่องจากบางครั้งการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่มีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนกับเพศของนักเรียนที่ส่งต่อความสูงและกว้างของคลื่น P300 แสดงให้เห็นว่า บางครั้งนักเรียนเพศหญิงและเพศชายไม่แตกต่างกันในเรื่องความสามารถทั่วไปและเกรด แต่พบว่า เพศหญิงจะมีระดับความสามารถทางคณิตศาสตร์ในระดับน้อยที่สุดจนถึงสูงสุด และมีข้อผิดพลาดทางคณิตศาสตร์มากด้วยเช่นกัน (Dickhauser & Meyer, 2006, pp. 3-16) และยังมีนักวิจัยบางคน พบว่า เด็กชายมีแนวโน้มที่จะใช้กลยุทธ์การแก้ไขปัญหาด้วยเทคนิคใหม่ ๆ ในขณะที่เด็กหญิงจะปฏิบัติตามขั้นตอนการเรียนการสอนที่โรงเรียนสอน โดยทั่วไป ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นช่องว่างทางความคิดในเนื้อหาส่วนใหญ่เป็นสถานการณ์การแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น (Ganley & Lubienski, 2016) ซึ่งความสามารถและเพศของนักเรียนอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างของความสูงและกว้างของคลื่น P300 ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิตได้

นอกจากนี้ผลการวิจัย ยังชี้ให้เห็นว่าตำแหน่งของสมองที่มีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนกับเพศของนักเรียนที่ส่งต่อความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ขณะทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต วัดมิติกระบวนการทางปัญญา ด้านจำ และด้านเข้าใจ จำนวน 10 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ FC4 FC6 F2 F6 C3 C1 C4 C6 P1 และ P7 ซึ่งจุดอิเล็กโทรดอยู่ในบริเวณสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านเลขคณิต สะท้อนให้เห็นการทำงานได้ในบริเวณสมองกลีบหน้า สมองกลีบข้าง และจุดสมองกลีบขมับ นอกจากนี้ยังเกิดที่ส่วนของ Midline Electrodes (Fz, Cz, Pz) อีกด้วย (Ebmeier et al., 1995, pp. 434-443; Kirino, Belger, Goldman-Rakic, & McCarthy, 2000, pp. 6612-6618) ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Zamarian et al., 2009)

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

นักวิจัย และผู้สนใจสามารถนำรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมไปใช้ในการจำแนกความสามารถของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หรือนำวิธีการศึกษาไปเป็นแนวทางในการศึกษารูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองกับตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความคิดสร้างสรรค์ทางคณิตศาสตร์ ความวิตกกังวลทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น และยังสามารถนำไปศึกษากับลักษณะโจทย์ที่ข้อความ สัญลักษณ์ เสียง หรือภาพ ว่าผลการตอบสนองจะปรากฏผลของคลื่นในลักษณะใด องค์ประกอบคลื่นใด

นอกจากนี้ยังทำให้นักการศึกษา และนักวิจัยได้ทราบข้อมูลและมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการของสรีระการทำงานของสมองทางประสาทวิทยาที่ได้มาจากการสังเกตพฤติกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลทางพฤติกรรมที่สะท้อนการทำงานของสมองเกี่ยวกับกระบวนการทางปัญญา ทั้ง 3 ด้าน และสามารถนำมาเชื่อมโยงเป็นทฤษฎี เพื่อไปพัฒนากระบวนการเรียนการสอน รวมถึงวิธีสอนหรือนวัตกรรมที่สามารถพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถสูงสุด

บรรณานุกรม

Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P. R., ... Wittrock, M. C. (2001). **A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy.** New York : Longman Publishing.

Artz, AF, & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. **Cognition and Instruction.** 9 (2), pp. 137-175.

Bajric, J., Rösler, F., Heil, M., & Hennighausen, E. (1999). On separating processes of event categorization, task preparation, and mental rotation proper in a handedness recognition task. **Journal Psychophysiol.** 36 (3), pp. 399–408.

Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1980). Sex differences in mathematical ability: fact or artifact?. **Science.** 210 (4475), pp. 1262-1264.

Chittapalo, O. (1998). **General Psychology.** Bangkok : Chitwat Printing House.

Davis, N., Cannistraci, C. J., Rogers, B. P., Gatenby J. C., Fuchs L. S., Anderson A. W., & Gore, J. C. (2009). The neural correlates of calculation ability in children: an fMRI study. **Magnetic Resonance Imaging.** 27 (9), pp. 1187–1197.

Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. **Current Opinion in Neurobiology.** 14 (2), pp. 218–224.

Dickhauser, O., & Meyer, W. (2006). Gender differences in young children's math ability attributions. **Psychology Science.** 48 (1), pp. 3-16.

Donchin, E., & Coles, M. G. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating?. **Behavioral and brain sciences.** 11 (3), pp. 357-374.

Ebmeier, K. P., Steele, J. D., MacKenzie, D. M., O'Carroll, R. E., Kydd, R. R., Glabus, M. F., ... Goodwin, G. M. (1995). Cognitive brain potentials and regional cerebral blood flow equivalents during two-and three-sound auditory "oddball tasks". **Electroencephalography and clinical neurophysiology.** 95 (6), pp. 434-443.

Emmerson, R. Y., Dustman, R. E., Shearer, D. E., & Turner, C. W. (1989). P3 latency and symbol digit performance correlations in aging. **Experimental aging research.** 15 (3), pp. 151-159.

Fabiani, M., Gratton, G. and Federmeier, K.D. (2007). **Event-related brain potentials : Methods, theory, and applications. in Handbook of Psychophysiology.** 3rd ed. Cambridge : Cambridge University Press.

Gallagher, A. M., & De Lisi, R. (1994). Gender differences in Scholastic Aptitude Test: Mathematics problem solving among high-ability students. **Journal of Educational Psychology.** 86 (2), pp. 204-211.

Gallagher, A., Levin, J., & Cahalan, C. (2002). Cognitive patterns of gender differences on mathematics admissions tests. **ETS Research Report Series.** 2002 (2), pp. i-30.

Ganley, C., & Lubienski, S. (2016). **Current Research on Gender Differences in Math, National Council of Teachers of Mathematics.** Retrieved December 5, 2016, from http://www.nctm.org/Publications/Teaching-Children-Mathematics/Blog/Current-Research-on-Gender-differences-in-Math/

Ganley, C. M. & Vasilyeva, M. (2011). Sex differences in the relation between math performance, spatial skills, and attitudes. **Journal of Applied Developmental Psychology.** 32 (4), pp. 235-242.

Guiso, L., Monte, F., Sapienza, P., & Zingales, L. (2008). Culture, gender, and math. **Science-New york then Washington.** 320 (5880), pp. 1164-1165.

Handy, C. T. (2005). **Event-Related Potentials: A Methods Handbook.** Cambridge, Mass, USA : MIT Press.

Hedges, L. V., & Nowell, A. (1995). Sex differences in mental test scores, variability, and numbers of high-scoring individuals. **Science.** 269 (5220), pp. 41-45.

Houlihan, M., Stelmack, R., & Campbell, K. (1998). Intelligence and the effects of perceptual processing demands, task difficulty and processing speed on P300, reaction time and movement time. **Intelligence.** 26 (1), pp. 9-25.

Iguchi, Y., & Hashimoto, I. (2000). Sequential information processing during a mental arithmetic is reflected in the time course of event-related brain potentials. **Clinical Neurophysiology.** 111 (2), pp. 204-213.

Johnson, R. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. **Psychophysiology.** 23, pp. 367-384.

Johnson-Laird, P. N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. **Cognition.** 50 (1-3), pp. 189-209.

Kennedy, L., & Tipps, S. (1994). **Guiding Children's Learning of Mathematics.** Belmont, CA : Wadsworth.

Kirino, E., Belger, A., Goldman-Rakic, P., & McCarthy, G. (2000). Prefrontal activation evoked by infrequent target and novel stimuli in a visual target detection task: an event-related functional magnetic resonance imaging study. **Journal of Neuroscience.** 20 (17), pp. 6612-6618.

Kong, J., Wang, Y., Shang, H., Xiuzhen Yang, X., & Zhuang, D. (1999). Brain potentials during mental arithmetic-effects of problem difficulty on event-related brain potentials. **Neuroscience Letters.** 260 (3), pp. 169-172.

Kotchoubey, B. (2006). Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews.** 30 (1), pp. 42-65.

Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. **Theory into practice.** 41 (4), pp. 212-218.

McMillan, J. H., & Schumacher, S. (2010). **Research in education: Evidence Based Inquiry.** 7th ed. New York : Longman.

Mertens, R., & Polich, J. (1997). P300 from a single-stimulus paradigm: passive versus active tasks and stimulus modality. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/ EvokedPotentialsSection.** 104 (6), pp. 488-497.

Ministry of Education. (2008). **The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008).** Retrieved June 5, 2015, from http://www.curriculum51.net/upload/cur-51.pdf

National Council of Teachers of Mathematics Commission on Standards for School Mathematics. (1989). **Curriculum and evaluation standards for school mathematics. Natl Council of Teachers of.**

National Council of Teachers of Mathematics. (2017). **NCTM 2017 Annual Meeting and Exposition.** Retrieved August 28, 2017, from http://www.nctm.org/News-and-Calendar/Calendar-Events/NCTM/NCTM-2017-Annual-Meeting-and-Exposition/

Núñez-Peña, M. I., Gracia-Bafalluy, M., & Tubau, E. (2011). Individual differences in arithmetic skill reflected in event-related brain potentials. **International Journal of Psychophysiology.** 80 (2), pp. 143-149.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. **Neuropsychologia.** 9 (1), pp. 97-113.

Panthong, K., Chadcham, S. and Pitukvattananon, K. (2011). Effects of Item Diffi culty and Students' Ability on EEG: An Event-Related Potentials Study During Arithmetic Testing. **Research Methodology and Cognitive Science.** 9 (2), pp. 62-77.

Pauli, P., Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Rickard, T.C., & Bourne Jr. L. E. (1996). Neurophysiological correlates of mental arithmetic. **Psychophysiology.** 33 (5), pp. 522-529.

Pelosi, L., Holly, M., Slade, T., Hayward, M., Barrett, G., & Blumhardt, L. D. (1992). Event-related potential (ERP) correlates of performance of intelligence tests. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section.** 84 (6), pp. 515-520.

Polich, J., Alexander, J. E., Bauer, L. O., Kuperman, S., Morzorati, S., O'Connor, S. J., ... Begleiter, H. (1997). P300 topography of amplitude/latency correlations. **Brain topography.** 9 (4), pp. 275-282.

Taylor, P.C.J., & Thut, G. (2012). Brian activity underlying visual perception and attention as inferred from TMS-EEG: A Review. **Brain Stimulation.** 5 (2), pp. 124-129.

Vaquero, E., Cardoso, M. J., Vazque, M., & Gomez, C. M. (2004). Gender differences in event-related potentials during visual-spatial attention. **International journal of neuroscience.** 114 (4), pp. 541-557.

Weisberg, R. W., & Reeves, L. M. (2013). **Cognition: From Memory to Creativity.** John Wiley & Sons.

Wilson, G. F., Swain, C., & Ullsperger, P. (1998). ERP components elicited in response to warning stimuli: the influence of task diffculty. **Bio Psychol.** 47 (2), pp. 137-158.

Zamarian, L., Ischebeck A., & Delazer, M. (2009). Neuroscience of learning arithmetic–Evidence from brain imaging studies. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews.** 33 (6), pp. 909-925.