

ความนำ

ปัจจุบัน ความรู้ความเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการขององค์ประกอบโครงสร้างและสรีระการทำงานของสมอง ความรู้ทางประสาทวิทยาที่ได้มาจากการสังเกตพฤติกรรม ทำให้ได้ข้อมูลทางพฤติกรรมที่สะท้อนการทำงานของสมอง การบันทึกการเปลี่ยนแปลงตามลำดับเวลานำไปสู่การเชื่อมโยงถึงสาเหตุและผลที่เกิดเป็นพฤติกรรมต่างๆ ในที่สุดความรู้เหล่านั้นก็นำมาเชื่อมโยงเป็นทฤษฎี อธิบายการทำงานของสมองและจิตใจ (อักรภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา, 2551) ซึ่งการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นการตรวจการทำงานของสมอง โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความเข้าใจในแหล่งที่มาของคลื่นไฟฟ้าสมอง (กนกวรรณ บุญญพิสิษฐ์, 2549) เริ่มจากร่างกายได้สัมผัสกับสิ่งเร้า สมองจะส่งคลื่นไฟฟ้าออกมามากมาย สมองมีหน้าที่ตั้งรับข้อมูล ประมวลผลข้อมูล คิด และตอบสนองต่อข้อมูลนั้นๆ ทำให้มนุษย์สามารถคิดค้นหาคำตอบสำหรับคำถามที่ซับซ้อนได้ นอกจากนี้สมองยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ (Perception) อารมณ์ (Emotion) ความจำ (Memory) การเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Motor Learning) และความสามารถอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของมนุษย์ด้วย เมื่อสิ่งเร้ามากระตุ้นอวัยวะรับสัมผัส อวัยวะรับสัมผัสนั้นจะแปลงข้อมูลเป็นกระแสไฟฟ้ามายังเซลล์ประสาท เกิดเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าวิ่งไปตามเส้นใยของเซลล์ประสาท (Axon) ที่ต่อกับเซลล์สมองอีกตัวหนึ่ง ผ่านจุดประสานประสาท (Synapse) ที่จะสร้างสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) เข้าไปในเซลล์ประสาทตัวที่สอง สารสื่อประสาทนี้จะกระตุ้นให้เซลล์ประสาทตัวที่สองส่งสัญญาณกระแสไฟฟ้าในเซลล์ตัวมันเอง แล้วส่งไปยังเซลล์ประสาทตัวต่อไป จนกว่าจะมีการตอบสนองสิ่งเร้า หรือจดจำเป็นความจำ และระลึกความจำได้เมื่อต้องการ (สำเริง บุญเรืองรัตน์, 2540)

หน้าที่ของสมองเกี่ยวข้องกับการจัดการและประมวลผลข้อมูล เริ่มต้นจากสิ่งเร้าที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมอันเป็นที่มาของข้อมูล และการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม เรียกว่าปฏิกิริยาโต้ตอบต่อสิ่งแวดล้อม การทำงานของสมองเป็นกระบวนการชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเซลล์สมองทำให้เกิดการไหลเวียนของพลังงาน การไหลเวียนของพลังงานที่เกิดขึ้นบนร่างแหวงจรสมอง คลื่นไฟฟ้าบนร่างแหวงจรของเซลล์สมองต่าง ๆ เกิดเป็นการรับรู้ การคิด การจำ การเรียนรู้ ความคิด ความจำ ความรู้สึก ความต้องการ ความตั้งใจ และการตัดสินใจ (อักรภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา, 2551) ซึ่งในช่วงวัยรุ่นอายุ 12-20 ปี เป็นช่วงอายุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการในทุกด้านไม่ว่าทางร่างกาย อารมณ์ สังคม และพัฒนาการทางสติปัญญา (Intellectual Development) ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความก้าวหน้าจนใกล้เคียงผู้ใหญ่ แต่มีข้อแตกต่างกันคือ ความสุขุมรอบคอบและประสบการณ์โดยวัยรุ่นจะสามารถคิดแก้ปัญหาได้อย่างมีระบบ สามารถแสวงหาเทคนิคในการจำสิ่งต่างๆ ด้วยตนเอง รู้จักใช้เหตุผลในการตั้งสมมติฐานแบบวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาที่ประสบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เดิมศักดิ์ คทวนิช, 2550)

Dehaene et al. (2004) ได้ศึกษาเรื่องความสามารถด้านเลขคณิตกับสมองมนุษย์ พบว่า ความสามารถด้านเลขคณิตของมนุษย์มีต้นกำเนิดจากสมองอย่างเห็นได้ชัด ในบริเวณเซลล์สมองที่อยู่ด้านหน้ากลีบกลางของสมอง (Precentral) และเซลล์สมองที่อยู่ด้านล่างของสมองส่วนหน้ากลีบหน้า (Inferior Prefrontal Cortex) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zamarian et al. (2009) ที่พบว่า ความสามารถด้านเลขคณิตสะท้อนให้เห็นได้ในการเปลี่ยนจากการกระตุ้นบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal) ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Arithmetic Processing) และยังศึกษาเปรียบเทียบระหว่างคนปกติกับคนที่มีความสามารถด้านเลขคณิตพบว่า คนที่มีความสามารถด้านเลขคณิตมีการกระตุ้นการขยายเครือข่ายในสมอง (Extended Activation Network) มากกว่าคนปกติ และงานวิจัยของ Iguchi and Hashimoto (2000) ยังพบว่า คลื่น P300 มีความสูง (Amplitude) ของคลื่นเพิ่มขึ้นในบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบขมับ (Temporal) ระหว่างการบวกและนับเลข การศึกษาวิธีการ

ประมวลผลข้อมูลแบบเรียงลำดับทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยวิธีวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์

การวัดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ประสาทที่บริเวณเปลือกสมองหรือคอร์เท็กซ์ (Cortex) และบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดขึ้นบริเวณหนังศีรษะเรียกว่า การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองขณะที่ทำกิจกรรมในช่วงเวลาที่กำหนดเป็นช่วงเวลานั้นๆ เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-Related Potentials: ERP) การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยวิธีนี้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นในสมองกับพฤติกรรมที่ต้องการศึกษา (Kotchoubey, 2006; Fabiani, Gratton & Federmeier, 2007) ในการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองนั้น จะศึกษาองค์ประกอบของคลื่นไฟฟ้าสมอง 2 โดเมน ได้แก่ โดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain) แต่การวิจัยนี้จะใช้โดเมนเวลา (Time Domain) เนื่องจากการคิดคำนวณเลขคณิตจะขึ้นอยู่กับความสามารถและความรู้สึนึกคิดทางคณิตศาสตร์ของแต่ละบุคคล โดยจะแสดงออกมาในรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองในแกนเวลาที่แตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากการตอบสนองของคลื่นไฟฟ้าสมองหลังจากผู้ถูกทดสอบได้เห็นโจทย์ปัญหา โดยใช้วิธีศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ นอกจากนี้ยังมีวิธีโดเมนความถี่ ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ได้คลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ผู้ถูกทดสอบทำการแก้ไขโจทย์ปัญหา แต่เป็นเพียงการหาผลรวมของขนาดความถี่ในแต่ละช่วงความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังที่ Yu and Zhang (2012) ได้ศึกษาการประมาณค่าการทำงานของเปลือกสมองและระบบประสาทอัตโนมัติขณะทำกิจกรรมด้านเลขคณิต พบว่า ความถี่ของคลื่นไฟฟ้าในช่วงแอลฟา (α) และเบต้า (β) เพิ่มขึ้นในบริเวณส่วนกลางของสมอง (Central Area) ไปยังสมองส่วนด้านข้างสมอง (Parietal) และสมองส่วนหลัง (Occipital) แต่ผลการศึกษายังไม่สามารถบอกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองนี้เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาใด แตกต่างกันอย่างไรร ซึ่งการศึกษานี้ผู้วิจัยต้องการเปรียบเทียบความสูง (Amplitude) และความกว้าง (Latency) ของคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองของผู้ถูกทดสอบตั้งแต่เริ่มปรากฏสิ่งเร้าจนถึงเวลาที่ผู้ถูกทดสอบแสดงพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า คลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้มีทั้งคลื่นลบ (Negative) และคลื่นบวก (Positive) ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น N แทนคลื่นลบ และ P แทนคลื่นบวก

คลื่น P3 หรือ P300 เป็นส่วนประกอบของศักย์ไฟฟ้าสมอง สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) ที่เป็นบวก เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 250 - 600 มิลลิวินาที (ms) หลังจากการนำเสนอสิ่งเร้า (Onset) ความสูงของคลื่น P300 เป็นการวัดระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 250 - 600 มิลลิวินาที เทียบกับระยะพัก (Baseline) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงจำนวนเซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นขณะทำกิจกรรมในช่วงเวลานั้น ๆ ความแตกต่างของความสูงของคลื่นสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ภายใต้ความยากง่ายของกิจกรรมทางสมอง ซึ่งความแตกต่างในความสูงของคลื่นสะท้อนให้เห็นความแตกต่างของระดับการทำงานของเซลล์ประสาท และยังสัมพันธ์กับกระบวนการทางปัญญาขั้นสูง (Handy, 2005; Donchin & Cohen, 1988; Johnson, 1986) ความกว้างของคลื่น P300 เป็นการวัดช่วงเวลาตั้งแต่ปรากฏสิ่งเร้าจนถึงเวลาที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด การวัดความกว้างของคลื่นเป็นวิธีแสดงปริมาณความแตกต่างในเรื่องของเวลาในองค์ประกอบของศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) และความเร็วของการส่งสัญญาณไฟฟ้าในสมอง (Handy, 2005)

ความสูงของคลื่น P300 สะท้อนให้เห็นการเปลี่ยนแปลงการคาดการณ์ค่าตอบเมื่อสิ่งเร้ามีความยากและซับซ้อน โดยปรากฏว่า ความสูงของคลื่น P3 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยากและความซับซ้อนของสิ่งเร้า (Bajric & et al., 1999; Wilson & et al., 1998) มีการศึกษาชี้ให้เห็นว่า โจทย์ปัญหาเรื่องการบวกและการลบมีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่คลื่น P3 ในช่วงเวลา 500 ถึง 700 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าของคลื่น P300 ในโจทย์ปัญหาเรื่องการลบจะสูงกว่าโจทย์ปัญหาการบวก เพราะว่าการบวกง่ายกว่าการลบ ความแตกต่างระหว่างความสูงของคลื่นของการบวกกับการลบ

เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความยากของโจทย์ปัญหา โดยเกี่ยวข้องกับบริเวณเปลือกสมองกลีบข้าง (Parietal Cortex) ในขณะที่ทำกิจกรรมการประมวลผลทางเลขคณิตทั่วไป (Menon & et al., 2000; Zago & Tzourio-Mazoyer, 2002) ดังนั้น กิจกรรมที่ต้องอาศัยความสนใจ (Attention) และซับซ้อนมาก ต้องใช้การทำงานของเซลล์ประสาทอย่างมาก ความสูงของคลื่นจึงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยากและความซับซ้อนของกิจกรรมที่ทำ (Kotchoubey, 2006) นอกจากนี้ Nunez-Pena et al. (2005) ได้ศึกษารูปแบบของศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) มีอยู่ 2 ระยะ คือ ระยะแรกสะท้อนให้เห็นถึงการประมวลผลแบบอัตโนมัติที่เกี่ยวข้องกับสิ่งเร้า และคลื่นช้าบวกที่เชื่อว่าเป็นตัวบ่งชี้การคิดคำนวณของการคิดที่ตามมา ความสูงของคลื่นช้าบวกจะถูกปรับเปลี่ยนตามความยากของโจทย์ปัญหา (โจทย์ปัญหาที่มีความยากเพิ่มขึ้น ความสูงของคลื่นก็จะสูงขึ้น) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ความสูงของคลื่นช้าแสดงถึงการกระตุ้นของเครือข่ายสมองมีผลต่อความยากของโจทย์ปัญหา

จากการศึกษาศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-Related Potentials : ERP) ขณะทำกิจกรรมทางด้านเลขคณิต จะเห็นได้ว่าคลื่น P300 ที่เป็นองค์ประกอบของศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสูง (Amplitude) และความกว้าง (Latency) ของคลื่นตามความยากของโจทย์ปัญหา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความยากของโจทย์ปัญหาส่งผลต่อความสูงและความกว้างของคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมด้านเลขคณิต นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าความแตกต่างทางสติปัญญาหรือสมองคน (Mental) คือ มีความสามารถในการแก้ปัญหาและปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ต่างกัน ความแตกต่างของบุคคลในความสามารถที่เกี่ยวกับการคิดและความสามารถในการเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ (กันยา สุวรรณแสง, 2546) ดังนั้น สติปัญญาและความสามารถของแต่ละบุคคล จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีความจำเป็นต่อการสอบ ถ้านักเรียนมีระดับสติปัญญาสูง จะมีความสามารถในการเรียนรู้อะไรต่าง ๆ ที่ยากและซับซ้อนได้ดี สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (อุษณีย์ จิตตะปาโล, 2541) ซึ่ง Nunez-Pena et al. (2011) ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคลในทักษะทางด้านเลขคณิตสะท้อนให้เห็นศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ได้นำวิธีศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ไปศึกษาถึงผลกระทบของความยากของโจทย์ปัญหาต่อบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตสูงและต่ำ ผลปรากฏว่าบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตสูง จะมีคลื่นช้าบวกขณะกำลังแก้โจทย์ปัญหายากและรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่กำลังแก้โจทย์ปัญหายากง่ายปานกลางและโจทย์ปัญหายาก ในทางตรงกันข้ามบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตต่ำ จะมีคลื่นช้าบวกขณะกำลังแก้โจทย์ปัญหายากง่ายปานกลางและโจทย์ปัญหายาก ซึ่งความแตกต่างระหว่างบุคคลที่มีทักษะทางด้านเลขคณิตสูงและต่ำมีความแตกต่างในเรื่องกลยุทธ์ของการคิดคำนวณ (Calculation Strategies) ผลการวิจัยได้สนับสนุนให้เห็นถึงประโยชน์ของการศึกษาศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ และแสดงถึงกลยุทธ์ทางด้านเลขคณิต

จากการทบทวนงานวิจัยที่ศึกษาองค์ประกอบของคลื่นไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์กับความสามารถด้านเลขคณิตที่ผ่านมา เป็นการศึกษาในแง่ของทักษะเกี่ยวกับวิธีการบวก การลบ และการคูณเลขหลักเดียว (จำนวนเต็ม) เลขสองหลัก แบบจำกัดจำนวนตัวเลข และความยากของโจทย์ปัญหา แต่ยังไม่พบการศึกษาในแง่ของการกินและการนอนหลับ และโจทย์ที่เป็นเลขทศนิยม อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการศึกษาตามกลุ่มอายุ โดยไม่ได้พิจารณาในเรื่องระดับความสามารถของผู้สอบ (Students' Ability) และความยากของข้อสอบ (Item Difficulty) ตามทฤษฎีการวัดผลการศึกษา (Measurement Theory) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาว่า รูปแบบ (Pattern) คลื่นไฟฟ้าสมองที่เป็นองค์ประกอบของคลื่นไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ขณะที่ทำโจทย์ปัญหาทางด้านเลขคณิตในเรื่องการบวก การลบ การคูณ และการหาร ที่มีระดับความยากของข้อสอบแตกต่างกัน และระดับความสามารถของผู้สอบที่แตกต่างกัน จะเกิดรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีลักษณะความสูง (Amplitude) และความกว้างของคลื่น (Latency) แตกต่างกันอย่างไร โดยศึกษาเปรียบเทียบกับคลื่นไฟฟ้าสมอง

ในขณะที่ทำกิจกรรมทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามระดับความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ และศึกษาผลปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ทำกิจกรรมทดสอบด้านเลขคณิต ผลที่ได้จะทำให้วงการศึกษาที่มีความรู้ความเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการของสรีระการทำงานของสมองที่ได้มาจากการสังเกตพฤติกรรม นอกจากนี้ยังจะทำให้ได้รูปแบบคลื่นไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) ที่อธิบายกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาด้านเลขคณิตของเด็กไทยที่มีระดับความยากของข้อสอบแตกต่างกัน และระดับความสามารถของผู้สอบที่แตกต่างกันอีกด้วย

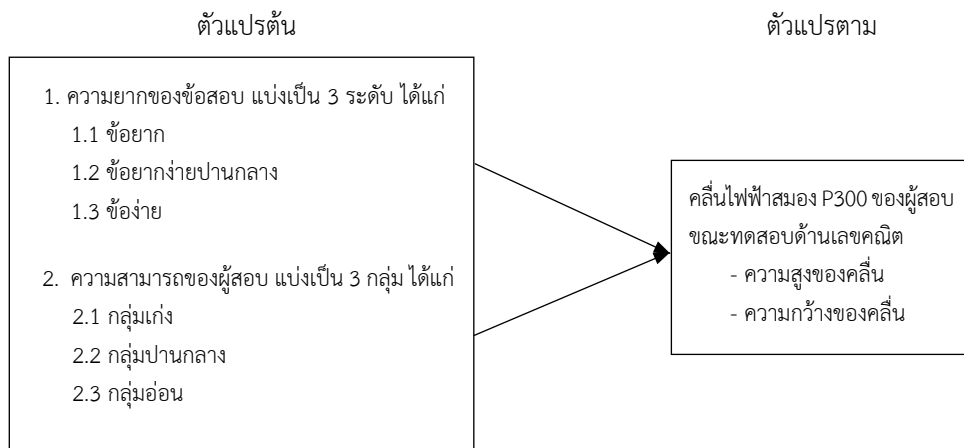
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามความยากของข้อสอบ
2. เพื่อเปรียบเทียบความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามความสามารถของผู้สอบ
3. เพื่อศึกษาผลปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบที่มีต่อความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ขณะทดสอบด้านเลขคณิต

กรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษาศักยภาพไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทดสอบด้านเลขคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เป็นการศึกษาระบบการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย (เช่น $8 + 5$ เป็นต้น) มี 3 ขั้นตอน คือ การเข้ารหัสโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ การดึงคืนข้อมูลหรือการคำนวณคำตอบ และการรายงานคำตอบ (Campbell & Epp, 2005) โดยที่ความยากของโจทย์ปัญหา และความสามารถของผู้สอบมีผลต่อกระบวนการดึงคืนข้อมูลหรือการคำนวณคำตอบ ดังที่ Kong et al. (1999) ได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองระหว่างการคิดคำนวณเลขในใจของโจทย์ปัญหาที่ยากด้วยการศึกษาศักยภาพไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ พบว่า คลื่น P3 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยากและความซับซ้อนของสิ่งเร้า (Bajric & et al., 1999; Wilson & et al., 1998) นอกจากนี้ Nunez-Pena et al. (2010) ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างบุคคลในเรื่องความสามารถทางด้านเลขคณิตในรูปแบบศักยภาพไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ พบว่า ผลลัพธ์ทางพฤติกรรมแสดงให้เห็นถึงความยากของโจทย์ปัญหาส่งผลต่อผู้ถูกทดสอบที่มีความสามารถด้านคณิตศาสตร์สูงและต่ำ คือ เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองยาวกว่าและเกิดข้อผิดพลาดก็มากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มระดับความยากของโจทย์ปัญหา สำหรับข้อมูลศักยภาพไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์มีความแตกต่างระหว่างทั้งสองกลุ่ม โดยกลุ่มผู้ที่มีความสามารถด้านเลขคณิตสูง (HA) แสดงคลื่นช้าบวก เมื่อมีการแก้โจทย์ปัญหายากและรูปแบบคลื่นศักยภาพไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ไม่แตกต่างกัน เมื่อแก้โจทย์ปัญหายากง่ายปานกลางและง่าย ส่วนกลุ่มผู้ที่มีความสามารถด้านเลขคณิตต่ำ (LA) แสดงคลื่นช้าบวก เมื่อมีการแก้โจทย์ปัญหายากง่ายปานกลางและยาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาในส่วนของขั้นตอนการคำนวณคำตอบที่สามารถประเมินกระบวนการทำงานของสมองได้จากคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมด้านเลขคณิต จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าการคำนวณคำตอบสัมพันธ์กับคลื่นองค์ประกอบของศักยภาพไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) ดังนั้น จึงกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการศึกษาค้นคว้าผลของความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมอง

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนปริชานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี จำนวน 188 คน

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนปริชานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี ได้มาจากการรับสมัครอาสาสมัครเพศหญิงและเพศชาย โดยผู้วิจัยจัดประชุมชี้แจงรายละเอียดการวิจัยให้ประชากรทราบ และรับสมัครประชากรที่สนใจเป็นอาสาสมัครเพื่อเข้าร่วมงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยกำหนดเงื่อนไขในการคัดเลือกอาสาสมัครดังนี้

1. เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี
2. มีการมองเห็นปกติ
3. ต้องถนัดมือขวา

การวิจัยนี้คัดเลือกอาสาสมัคร ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 นำคะแนนสอบปลายภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 วิชคณิตศาสตร์ของประชากร มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ขั้นที่ 2 แปลงคะแนนของนักเรียนที่สนใจเป็นอาสาสมัครเป็นคะแนนมาตรฐาน (คะแนน Z) แล้วจัดเข้ากลุ่มตามระดับความสามารถ ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 2.1 กลุ่มเก่ง (High Group) หมายถึง นักเรียนที่ได้คะแนนมาตรฐานตั้งแต่ $Z \geq Mean + 1.5SD$ ขึ้นไป
- 2.2 กลุ่มปานกลาง (Medium Group) หมายถึง นักเรียนที่ได้คะแนนมาตรฐานระหว่าง

$Mean - 1.5SD < Z < Mean + 1.5SD$

- 2.3 กลุ่มอ่อน (Low Group) หมายถึง นักเรียนที่ได้คะแนนมาตรฐานต่ำกว่าหรือเท่ากับ $Z \leq Mean - 1.5SD$

ลงมา

ขั้นที่ 3 รับสมัครนักเรียนที่อาสาสมัครเข้าในแต่ละกลุ่มจนครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวน 10 คน ประกอบด้วยเพศชายและเพศหญิงอย่างละ 5 คน รวมกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 30 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือการวิจัย จำแนกออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่

1. แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง ได้แก่ เพศ
2. แบบรายงานผลการตรวจจากแพทย์ ในเรื่องสุขภาพดี และมีการมองเห็นปกติที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง
3. แบบสำรวจความถนัดในการใช้มือขวา ได้พัฒนาและปรับปรุงมาจาก Edinburgh Handedness Inventory ของ Oldfield (1971)

4. แบบทดสอบด้านเลขคณิตที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง จำนวน 60 ข้อ แบ่งออกเป็นทักษะ 4 ด้าน ๆ ละ 15 ข้อ ประกอบด้วยข้อสอบยาก 5 ข้อ (ค่าความยาก ระหว่าง 0.20 ถึง 0.39) ข้อสอบยากง่ายปานกลาง 5 ข้อ (ค่าความยาก ระหว่าง 0.40 ถึง 0.59) และข้อสอบง่าย 5 ข้อ (ค่าความยาก ระหว่าง 0.60 ถึง 0.80) ได้ดังนี้

- 4.1 ด้านการบวก จำนวน 15 ข้อ
- 4.2 ด้านการลบ จำนวน 15 ข้อ
- 4.3 ด้านการคูณ จำนวน 15 ข้อ
- 4.4 ด้านการหาร จำนวน 15 ข้อ

5. กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต เป็นกิจกรรมการทดสอบผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ สร้างด้วยโปรแกรม Super Lab

6. เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) เป็นเครื่องวัดสัญญาณรบกวน EEG 100C, MP150 BIOPAC ประเทศสหรัฐอเมริกา และหมวกอิเล็กทรอนิกส์ที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และนำคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS

7. เครื่องคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง จำนวน 1 เครื่อง และเครื่องที่ใช้ในการแสดงกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต จำนวน 1 เครื่อง

แบบแผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Design) ดำเนินการวิจัยแบบกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม ตามแบบแผนการทดลองแบบ Three-Groups Posttest-Only Design (McMillan & Schumacher, 2010) แยกกลุ่มทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม โดยให้ทำกิจกรรมทดสอบด้านเลขคณิตกับกลุ่มทดลอง ซึ่งมีแบบแผนการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลองแบบ Three-Groups Posttest-Only Design

ความสามารถของผู้สอบ	กิจกรรมทดสอบด้านเลขคณิต	วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง
E_1	X	O_1
E_2	X	O_2
E_3	X	O_3

เมื่อ	E_1	แทน	กลุ่มเก่ง
	E_2	แทน	กลุ่มปานกลาง
	E_3	แทน	กลุ่มอ่อน
	O_1	แทน	การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทดสอบด้านเลขคณิตในกลุ่มเก่ง
	O_2	แทน	การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทดสอบด้านเลขคณิตในกลุ่มปานกลาง
	O_3	แทน	การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทดสอบด้านเลขคณิตในกลุ่มอ่อน
	X	แทน	การให้กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต โดยใช้การทดสอบทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในทักษะ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการบวก ด้านการลบ ด้านการคูณ และด้านการหาร

วิธีดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ระยะก่อนการทดลอง ดำเนินการดังนี้

1.1 ดำเนินการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 8 กลุ่มย่อย ๆ ละ 4 คน เพื่อสะดวกในการทดลอง โดยสุ่มตัวอย่างจากกลุ่มเก่ง (E_1) กลุ่มปานกลาง (E_2) และกลุ่มอ่อน (E_3) ให้ครบตามจำนวนที่กำหนด

1.2 กำหนดนัดประชุมกลุ่มตัวอย่าง เพื่อบอกหมายวัน เวลา กับกลุ่มย่อยทุกกลุ่ม เพื่อดำเนินการทดลอง รวมถึงแจ้งรายละเอียดข้อควรปฏิบัติก่อนการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังนี้

1.2.1. ควรสระผมด้วยแชมพูและล้างผมให้สะอาด ห้ามใช้ครีมนวดผม ก่อนหน้าวันตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง 1 วัน ไม่ควรใส่น้ำมันแต่งผม เจลแต่งผม หรือฉีดสเปรย์ เนื่องจากการตรวจคลื่นไฟฟ้าต้องมีการวางขั้วไฟฟ้าบนหนังศีรษะของนักเรียนในตำแหน่งต่าง ๆ หากหนังศีรษะสกปรกหรือมันมาก จะมีผลต่อการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองได้

1.2.2. นักเรียนควรนอนหลับอย่างเพียงพอ (8 ชั่วโมง)

1.2.3. ควรรับประทานอาหารตามปกติก่อนตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ขึ้นไป

1.2.4. งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน เช่น ชา กาแฟ โค้ก โคล่า ซ็อกโกแลต เป็นต้น อย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง เนื่องจากคาเฟอีนออกฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งจะมีผลต่อการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองได้

1.2.5. งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ เช่น สุรา ไวน์ เบียร์ เป็นต้น อย่างน้อย 8 ชั่วโมง เพราะมีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งจะมีผลต่อการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองได้

1.2.6. อุณหภูมิของร่างกายโดยทั่วไป มีอุณหภูมิ 37.0°C หรือ 98.6°F (อุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิปกติของร่างกาย $36.8 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ หรือ $98.2^{\circ} \pm 1.3^{\circ}\text{F}$)

1.2.7. อัตราการเต้นของชีพจร 80-100 (เฉลี่ย 80 b/m)

1.2.8. นักเรียนที่มีการติดตั้งเครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าในร่างกาย ไม่ควรเข้ารับการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองเด็ดขาด

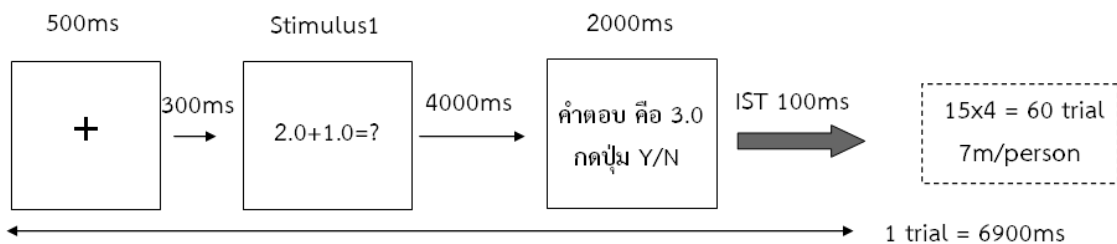
2. ระยะทดลอง ดำเนินการดังนี้

2.1 ดำเนินการทดลองกับนักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลอง ตามวัน เวลาที่นัดหมายไว้ พร้อมชี้แจงวัตถุประสงค์และรายละเอียดในการทดลองให้กับนักเรียนทราบ

2.2 ผู้วิจัยดำเนินการติดตั้งเครื่องมือในการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองให้กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลอง โดยทดลองครั้งละ 1 คน แต่ละคนจะได้ทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ พร้อมกับการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดของกิจกรรมการทดสอบดังนี้

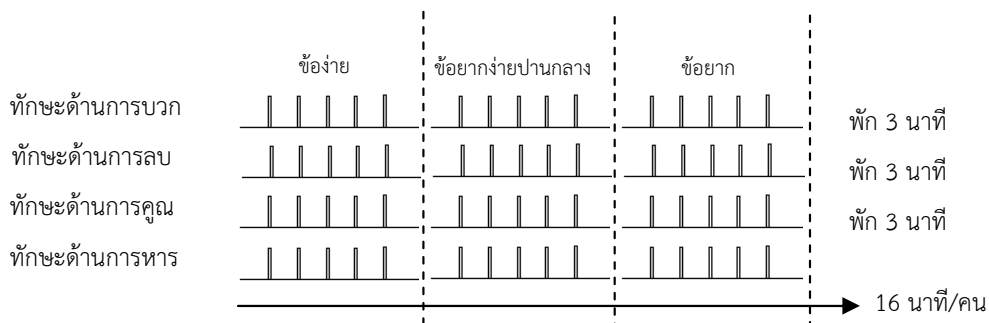
2.2.1 บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะพัก โดยให้นักเรียนนั่งในท่าที่สบายตามปกติ เป็นเวลา 2 นาที

2.2.2 บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้านทักษะการบวก ลบ คูณ หาร จำนวนทั้งหมด 60 ข้อ ซึ่งในแต่ละข้อคำถามของการทดสอบจะใช้เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้า ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้าของกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต

การทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ มีข้อสอบทั้งหมด 60 ข้อ โดยข้อสอบจะเรียงตามลำดับค่าความยากของข้อสอบ (จากง่ายไปหายาก) ของแต่ละด้าน ๆ ละ 15 ข้อ ซึ่งขณะทดสอบด้านเลขคณิตในแต่ละด้านก็ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองจนครบ 15 ข้อ รวม 4 ทักษะ 60 ข้อใช้เวลาประมาณ 7 นาทีต่อคน โดยจะหยุดพักการทดสอบด้านเลขคณิตหลังจากแต่ละทักษะประมาณ 3 นาที ดังนั้น กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิตจะใช้เวลาทดสอบประมาณ 16 นาทีต่อคน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระยะเวลาการทดสอบและลำดับขั้นตอนในกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต

3. ระยะเวลาหลังการทดลอง ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้จากการบันทึกขณะทำกิจกรรมการทดสอบของกลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยได้สุ่มนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ออกเป็น 8 กลุ่มย่อย ๆ ละ 4 คน เพื่อสะดวกในการทดลอง โดยกลุ่มเก่ง (E_1) กลุ่มปานกลาง (E_2) และกลุ่มอ่อน (E_3) ให้ครบตามจำนวน พร้อมกำหนดวัน เวลา ที่จะดำเนินการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในแต่ละกลุ่ม

2. เมื่อถึงกำหนดวัน เวลา ที่นัดหมายไว้ ผู้วิจัยแจ้งรายชื่อ วันที่ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง พร้อมทั้งขอความร่วมมือก่อนการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองให้กับกลุ่มตัวอย่างทั้ง 30 คนทราบ

3. จัดเตรียมห้องปฏิบัติการ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิทยาการปัญญา วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลให้พร้อมและเพียงพอกับจำนวนนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในแต่ละวัน ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง ในระหว่างวันที่ 27 มีนาคม – 5 เมษายน พ.ศ. 2552 เป็นจำนวน 8 วัน ๆ ละ 1-2 คน

4. นำข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทดสอบด้านเลขคณิตของนักเรียนทุกคนมาตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ได้จากการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) ของแต่ละคน ได้คลื่นไฟฟ้าสมองที่สมบูรณ์คิดเป็นร้อยละ 100 แล้วนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิทยาการปัญญา (Centre of Excellence in Cognitive Science: CECoS) วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม SPSS
2. วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะทดสอบด้านเลขคณิตโดยใช้สถิติทดสอบ Two-Way ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการวิจัย

1. ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ผู้สอบที่ทำข้อสอบที่มีระดับความยากของข้อสอบแตกต่างกัน มีความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกัน โดยปรากฏว่า ความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกัน จำนวน 12 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ Fp1 Fp2 F3 F4 C3 P3 P4 O1 O2 F7 Fz และ Cz อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ข้อสอบยากมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบง่ายปานกลางและข้อสอบง่าย และข้อสอบง่ายปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบง่าย และมีจุดอิเล็กโทรด F3 F4 P4 O1 O2 และ Cz ที่ข้อสอบง่ายปานกลาง และข้อสอบง่ายมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบยาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกัน จำนวน 2 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ P3 และ P4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยข้อสอบง่ายมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบง่ายปานกลาง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ผู้สอบที่มีระดับความสามารถแตกต่างกัน มีความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกัน โดยปรากฏว่า ความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกันจำนวน 3 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่

P3 O1 และ Pz อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผู้สอบกลุ่มอ่อน และกลุ่มปานกลาง มีความสูงของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มเก่ง ส่วนความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกัน จำนวน 2 จุดอิเล็กโทรด ได้แก่ Fp1 และ O1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยผู้สอบกลุ่มอ่อนมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มปานกลาง และกลุ่มเก่ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. มีผลปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับความยากของข้อสอบกับระดับความสามารถของผู้สอบต่อความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิตที่จุดอิเล็กโทรด Fp2 และ Pz

อภิปรายผลการวิจัย

1. จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ผู้สอบที่ทำการทดสอบด้วยข้อสอบที่มีระดับความยากของข้อสอบแตกต่างกัน มีความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบแตกต่างกัน ซึ่งข้อสอบยากมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบ ยากง่ายปานกลางและข้อสอบง่าย และข้อสอบยากง่ายปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบง่าย ซึ่ง ความแตกต่างของความสูงของคลื่นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไข ความยากง่ายของกิจกรรมทางสมอง ความสูง ของคลื่นสะท้อนให้เห็นความแตกต่างของระดับการทำงานของเซลล์ประสาท และสัมพันธ์กับกระบวนการทางปัญญา ขั้นสูงที่ถูกกระตุ้นขณะทำกิจกรรมในช่วงเวลานั้น ๆ (Handy, 2005; Donchin & Cohen, 1988; Johnson, 1986) ข้อสอบยาก โจทย์จะมีความซับซ้อนมากกว่าข้อสอบยากง่ายปานกลางและข้อสอบง่าย ผู้สอบจึงต้องใช้ความสามารถ ในการคิด มากกว่าข้อสอบยากง่ายปานกลาง และข้อสอบง่าย (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2551) แสดงให้เห็นว่า ความสูงของคลื่น P300 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยากและความซับซ้อนของสิ่งเร้า (Bajric & et al., 1999; Wilson & et al., 1998) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kotchoubey (2006) ที่พบว่า กิจกรรมที่ต้องอาศัยความสนใจ และมีความซับซ้อนมาก จะต้องใช้การทำงานของเซลล์ประสาทอย่างมาก ความสูงของคลื่นจึงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับ ความยากและความซับซ้อนของกิจกรรมที่ทำ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kong et al. (1999) ที่พบว่า ความสูงของคลื่นที่ตำแหน่ง F3 ในการคำนวณโจทย์ปัญหาเลขคณิตที่ยากๆ จะมีคลื่นสูงกว่า (เป็นบวกมากกว่า) โจทย์ปัญหาที่ง่าย ๆ อย่างมีนัยสำคัญ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nunez-Pena et al. (2005) พบว่า ความสูงของ คลื่นช้าบวกจะถูกปรับเปลี่ยนตามความยากของโจทย์ปัญหา (ความยากของโจทย์ปัญหาเพิ่มขึ้น ความสูงของคลื่นก็จะ สูงขึ้น) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ความสูงของคลื่นช้าแสดงถึงการกระตุ้นของเครือข่ายสมองมีผลต่อความยากของโจทย์ปัญหา และ อีกส่วนหนึ่งของงานวิจัย ปรากฏว่ามีจุดอิเล็กโทรด F3 F4 P4 O1 O2 และ Cz ที่ข้อสอบยากง่ายปานกลาง และ ข้อสอบง่าย มีความสูงของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบยาก อาจเกิดจากข้อสอบยากง่ายปานกลางเป็นข้อสอบที่มีลักษณะ ทำทายชวนคิด ข้อสอบที่มีลักษณะเช่นนี้ต้องมีความยากง่ายพอเหมาะ ไม่ยากเกินไปและไม่ง่าย แต่เป็นคำถามที่วัดให้มี การคิดที่ลึกๆ จะช่วยพัฒนาสมองให้คิดต่อศึกษาต่อข้อสอบที่มีคุณค่าทางการศึกษา ควรเป็นข้อสอบที่ให้ผู้สอบคิดค้น คำตอบด้วยความสามารถในระดับสติปัญญาขั้นสูง ข้อสอบวัดคุณค่าสมองระดับสูง เพราะข้อสอบที่ลวงลึก จะทำให้ผู้สอบ พัฒนาความสามารถให้สูงขึ้น (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2550) ซึ่งเป็นผลทำให้ผู้สอบใช้การ ทำงานของเซลล์ประสาทมากขึ้น อาจส่งผลให้ความสูงของคลื่น P300 ในข้อสอบยากง่ายปานกลางมีความสูงขึ้น ส่วนของ ความกว้างของคลื่น P300 ปรากฏว่า ข้อสอบง่ายมีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่าข้อสอบยากง่ายปานกลาง ซึ่งใน การแก้ปัญหานั้นๆ ผู้สอบต้องใช้ความคิด และอาศัยกระบวนการทางสมอง ประสบการณ์ ความรู้ที่ได้ศึกษามา ความพยายาม และการหยั่งรู้ เพื่อตัดสินใจว่าจะใช้วิธีการใดในการแก้ปัญหานั้น ผู้สอบบางคนไม่สามารถแก้ปัญหานั้น

เนื่องจากไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ขาดความกระตือรือร้น มีความเครียดสูง ไม่คุ้นเคยกับปัญหาลักษณะนั้น นอกจากนี้คนสองคนอาจจะคิดได้คำตอบที่เหมือนกัน แต่วิธีการคิดแตกต่างกัน (สิริพร ทิพย์คง, 2544)

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งของสมองที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบด้านเลขคณิต มีจำนวน 12 จุด อิเล็กโทรด ได้แก่ Fp1 Fp2 F3 F4 C3 P3 P4 O1 O2 F7 Fz และ Cz ซึ่งจุดอิเล็กโทรดอยู่ในบริเวณสมองที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านเลขคณิตของมนุษย์ โดยมีต้นกำเนิดมาจากสมองอย่างเห็นได้ชัดจากการกระตุ้นในบริเวณเซลล์สมองที่อยู่ด้านหน้ากลีบกลางของสมอง (Precentral) สมองส่วนหน้ากลีบหน้า (Prefrontal) สมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal) ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางด้านเลขคณิต (Arithmetic Processing) (Pauli & et al., 1996; Dehaene & et al., 2004; Zamarian & et al., 2009) โดยกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับกระบวนการคิดคำนวณในสมองกลีบข้าง และสมองส่วนหน้ากลีบหน้าเป็นจุดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผลกระทบจากด้านความยากของโจทย์ปัญหา (Kong & et al., 1999) นอกจากนี้ในบริเวณ O1 และ O2 ที่อยู่ในตำแหน่งสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) ยังเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมองเห็น ถ้าผู้สอบให้ความสนใจ (Attention) กับโจทย์ปัญหานั้น ก็จะสะท้อนให้เห็นการทำงานที่เชื่อมโยงกันระหว่างสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal) (Taylor & Thut, 2012)

2. จากผลการวิจัยระดับความสามารถของผู้สอบ ได้จำแนกนักเรียนออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน ผู้สอบกลุ่มอ่อนและกลุ่มปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มเก่งในขณะทดสอบด้านเลขคณิต เนื่องจากผู้สอบกลุ่มอ่อนต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลเพิ่มขึ้น รวมถึงการใช้หน่วยความจำที่เพิ่มขึ้นตามขนาดการทำงานหน่วยความจำที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้เป็นความคิดที่เป็นผลลัพธ์จากผลการประมวลผลและการใช้หน่วยความจำ (Houlihan & et al., 1998) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pauli et al. (1996) ที่กล่าวว่า ศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์เป็นคุณลักษณะที่มีคลื่นซับซ้อนทางด้านบวก ความกว้างของคลื่นช้าด้านบวกและความสูงของคลื่นก่อนการตอบสนองที่บริเวณส่วนสมองกลีบข้าง (Parietal) แสดงถึงผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงแบบแผนเกี่ยวกับการปฏิบัติและความยากของโจทย์ปัญหา ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการคิดคำนวณมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของหน่วยความจำขณะทำงาน (Working Memory)

ส่วนของความกว้างของคลื่น P300 ปรากฏว่า ผู้สอบกลุ่มอ่อน มีความกว้างของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มปานกลาง และกลุ่มเก่ง ซึ่งความกว้างของคลื่น P300 เกิดจากการประมวลผลที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนอง ทำให้การวัดความกว้างของคลื่น P300 นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการวัดเวลาการตอบสนองในการศึกษาทางจิตวิทยาเกี่ยวกับการประมวลผลข้อมูล ถ้าผู้สอบที่มีความสามารถสูง การประมวลผลข้อมูลจะเร็วกว่าผู้สอบที่มีความสามารถต่ำ (Jensen, 1987) ซึ่งจะทำให้ความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบที่มีความสามารถสูงน้อยกว่าผู้สอบที่มีความสามารถต่ำ ความกว้างของคลื่น P300 จึงได้นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดประเมินโดยตรง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการประมวลผล กับสติปัญญา (Houlihan & et al., 1998) ดังที่ Lawson and Chinnappan (2000) กล่าวว่า นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูง มีการเชื่อมโยงความรู้อย่างเป็นระบบแบบแผนมากกว่านักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ รวมทั้งมีระบบความคิดของการเชื่อมโยงความรู้และข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาที่นำไปสู่ความสำเร็จได้มากกว่า

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งของสมองที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบด้านเลขคณิต มีจำนวน 3 จุด อิเล็กโทรด ได้แก่ P3 O1 และ Pz ซึ่งจุดอิเล็กโทรดอยู่ในบริเวณสมองที่สอดคล้องกับงานวิจัย ของ Davis et al (2009) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของความสามารถในการคำนวณของเด็ก : การศึกษาด้วยเครื่องเอฟเอ็มอาร์ไอ (Functional Magnetic Resonance Imaging : fMRI) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของทักษะในการคำนวณ และอิทธิพลของอายุที่มีต่อความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของทักษะในการคำนวณของกลุ่มผู้ใหญ่กับกลุ่มนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยเกินกว่าค่าเฉลี่ยความสามารถทางคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า กลุ่มตัวอย่างทำภารกิจ

การคำนวณเลขทั้งแบบง่ายและซับซ้อนในขณะที่อยู่ในเครื่องเอฟเอ็มอาร์ไอ เด็กจะคล้ายกับผู้ใหญ่ที่มีการกระตุ้นโครงข่ายประสาทในสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal Lobes) ระหว่างการคำนวณเลข และระดมพื้นที่สมองเพิ่มเติมในการกิจที่ซับซ้อน นอกจากนี้ในบริเวณ O1 ที่อยู่ในตำแหน่งสมองกลีบท้ายทอย (Occipital) ยังเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมองเห็น ถ้าผู้สอบให้ความสนใจ (Attention) กับโจทย์ปัญหานั้น ก็จะสะท้อนให้เห็นการทำงานที่เชื่อมโยงกันระหว่างสมองกลีบหน้า (Frontal) กับสมองกลีบข้าง (Parietal) (Taylor & Thut, 2012)

3. มีผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความยากของข้อสอบกับระดับความสามารถของผู้สอบต่อความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิตที่จุดอิเล็กโทรด Fp2 และ Pz ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยเพียงบางส่วน เนื่องจากในบางครั้งการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) ที่จุดอิเล็กโทรด Fp2 อาจจะมีสัญญาณรบกวนที่ได้มาจากการเคลื่อนไหวของลูกตา (Eye Movements) หรือ การกระพริบตา (Blinks) ซึ่งสัญญาณรบกวน (Artifacts) นี้ ในบางครั้งอาจส่งผลให้การวิเคราะห์และการแปลผลคลื่นไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) เปลี่ยนแปลงไป ดังเช่น คลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้จากการวางจุดอิเล็กโทรดบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้ลูกตา คลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้ อาจจะมีสัญญาณรบกวนจากการกระพริบตา (Eye-blink Artifacts) ปะปนมาด้วย (Jung & et al., 2000)

ผู้ที่สนใจสามารถนำรูปแบบ (Pattern) คลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรม (Task) ที่อธิบายกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาด้านเลขคณิตของเด็กไทยไปใช้ในการจำแนกกลุ่มนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 นอกจากนี้ ยังทำให้เห็นการศึกษาได้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการของสรีระการทำงานของสมองทางประสาทวิทยาที่ได้มาจากการสังเกตพฤติกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลทางพฤติกรรมที่สะท้อนการทำงานของสมองและสามารถนำมาเชื่อมโยงเป็นทฤษฎี เพื่อนำไปพัฒนากระบวนการเรียนการสอน หรือนวัตกรรมเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถสูงสุด

การศึกษาทางด้านการวัดทางจิต - ประสาท (Neuropsychometric) เป็นเรื่องใหม่ในวงวิชาการ จึงควรมีการศึกษาในหลายๆ ด้าน เช่น การศึกษาลักษณะของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลกระทบต่อ การตอบสนองเมื่อเห็นผลลัพธ์ หรือเมื่อได้รับการตอบสนองกลับ การศึกษาถึงปรากฏการณ์ของคลื่นไฟฟ้าหลังเห็นโจทย์ปัญหา และเมื่อทำการคิดคำนวณ ด้วยวิธีการตรวจสอบคลื่นไฟฟ้าชนิดแบบคลื่นช้าบวก (Slow Wave) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ บุญยพิสิษฐ์. (2549). *ตำราการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง*. กรุงเทพฯ : โอเอสดีค พับลิชชิ่ง.
- กันยา สุวรรณแสง. (2546). *จิตวิทยาทั่วไป General Psychology* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ : รวมสาส์น (1977).
- เดมศักดิ์ ควณิช. (2550). *จิตวิทยาทั่วไป General Psychology*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (สทศ). (2551). *การวัดและการประเมินผลการเรียนรู้ระดับชั้น ม.1-ม.6 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ : องค์การค้ำของ สกสศ.เอกสารอบรมครู (หลักสูตรกลาง).
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท). (2550). *เอกสารอบรมครู (หลักสูตรกลาง) โครงการความร่วมมือ สกอ. - สสวท. - สสวท.*, วันที่ค้นข้อมูล 20 พฤษภาคม 2555 เข้าถึงได้จาก http://www3.ipst.ac.th/primary_math/training/pdf_train2/6.evaluation-teacher.pdf
- สำเริง บุญเรืองรัตน์. (2540). สติปัญญากับสมองของมนุษย์. *วารสารวัดผลการศึกษา*, 19(56), 36-43.
- สิริพร ทิพย์คง. (2544). *การแก้ปัญหาคณิตศาสตร์*. ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
- อัครภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา. (2551). *สมอง เรียน รู้*. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมอัจฉริยภาพและนวัตกรรมการเรียนรู้.

อุษณีย์ จิตตะปาโล. (2541). *จิตวิทยาทั่วไป*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จิตรวัดน์.

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.

J Psychophysiol, 36, 399–408.

Campbell, J. I. D., & Epp, L. J. (2005). *Architectures for Arithmetic*. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 347–360). New York: Psychology Press.

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, 1187–1197.

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

Donchin, E. & Cohen, M.G. (1988). Is The P300 component a manifestation of context updating? *Behav. Brain Sci.*, 11, 357–427.

Fabiani, M., Gratton, G. & Federmeier, K.D. (2007). *Event-Related Brain Potentials: Methods, Theory, and Applications*. In: *Handbook of Psychophysiology*. (3rd. ed). Cambridge: Cambridge University Press.

Lawson, M. J. & Chinnappan, M. (2000). Knowledge Connectedness in Geometry Problem Solving.

Journal for Research in Mathematics Educational, 31(1), 26-43.

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

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), 1998, 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, 204-213.

Jensen, A.R. (1987). *Individual differences in the Hick Paradigm*. In P.A. Vernon (Ed.), *Speed of information-processing and intelligence* Norwood, NJ: Ablex.

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

Jung T-P., Makeig, S., Westerfield, M., Townsend, J., Courchesne, E. & Sejnowski T. J. (2000).

Removal of eye activity artifacts from visual event-related potentials in normal and clinical subjects. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1745-1758.

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

Kotchoubey, B. (2006). Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach.

Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 30, 42–65.

- McMillan, J. H. & Schumacher, S. (2010). *Research in education: Evidence Based Inquiry*. (7th ed). New York, Longman.
- Menon, V., Rivera, S.M., White, C.D., Glover, G.H., & Reiss, A.L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *Neuroimage*, 12, 357–365.
- Nunez-Pena, M. I., Honrubia-Serrano, M. L., & Escera, C. (2005). Problem size effect in additions and subtractions: an event-related potential study. *Neuroscience Letters*, 373, 21–25.
- Nunez-Pena, 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), May 2011, 143-149.
- Nunez-Pena, M. I., Suarez-Pellicioni, M., Gracia-Bafalluy, M. & Elisabet Tubau, E. (2010). Individual differences in arithmetic ability reflected in the ERP pattern. *International Journal of Psychophysiology*. Volume 77, Issue 3, September 2010, 300.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: *The Edinburgh inventory*. *Neuropsychologia*. 9, 97-113.
- Pauli P., Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Rickard, T.C., & Bourne Jr. L. E. (1996). Neurophysiological correlates of mental arithmetic. *Psychophysiology*, 33, 522 –529.
- Taylor, P.C.J. & Thut, G. (2012). Brain Activity Underlying Visual Perception and Attention as inferred from TMS-EEG : A Review. *Brain Stimulation*, 5, 124-129.
- Wilson, G. F., Swain, C., & Ullsperger, P. (1998). ERP components elicited in response to warning stimuli : the influence of task difficulty. *Bio Psychol*, 47, 137–58.
- Yu, X. & Zhang, J. (2012). Estimating the cortex and autonomic nervous activity during a mental arithmetic task. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7, p. 303-308.
- Zago, L. & Tzourio-Mazoyer, N. (2002). Distinguishing visuospatial working memory and complex mental calculation area within the parietal lobe. *Neurosci. Lett*, 331, 45–49.
- Zamarian, L., Ischebeck A., & Delazer, M. (2009). Neuroscience of learning arithmetic – Evidence from brain imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, 909 - 925.