บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลของการใช้โปรแกรมฝึกสมองด้วยเกมปริศนาซุโดะกุต่อการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยวิธีการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง จึงได้นำเสนอเอกสารแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามลำดับดังนี้

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์
2. ความสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์
3. ทฤษฎีพัฒนาการเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์
4. แบบวัดสมรรถภาพสมองด้านมิติสัมพันธ์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ตอนที่ 2 เกมปริศนาซุโดะกุ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายและความสำคัญของเกมปริศนาซุโดะกุ
2. ประเภทของเกมปริศนาซุโดะกุ
3. เทคนิคและกลยุทธ์การเล่นเกมปริศนาซุโดะกุ
4. การฝึกสมองด้วยเกมปริศนาซุโดะกุกับการเชื่อมสายใยสมอง
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเล่นเกมปริศนาซุโดะกุ

ตอนที่ 3 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง
2. กลไกการเกิดคลื่นไฟฟ้าสมอง
3. การจำแนกชนิดของคลื่นไฟฟ้าสมองตามช่วงความถี่
4. วิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง
5. การกำหนดและการวิเคราะห์รูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองตามช่วงความถี่
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

ตอนที่ 1 แนวคิดเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

นักการศึกษาได้ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสมองในด้านการรับรู้เกี่ยวกับรูปทรงเรขาคณิตไว้หลายคน ดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อุดม เพชรสังหาร (2550, หน้า 78-81) ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นการมองเห็นการเป็นเหตุเป็นผลในมิติแห่งธรรมชาติเชื่อมสู่ทักษะอื่น ๆ อาทิ การเชื่อมโยงกับตัวเลข สัญลักษณ์ บวก ลบ คูณ หาร หรือสูตรหาพื้นที่ กว้าง X ยาว X สูง ซึ่งไม่ใช่สูตรสำเร็จแห่งการแทนค่า แต่มีมิติแห่งรูปทรงที่ซ่อนอยู่ส่งผลถึงความฉลาดทางคณิตศาสตร์ที่เพิ่มขึ้นด้วย

Anastasi (1988, p. 12) กล่าวถึง ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบที่แตกต่างกัน คือ การรับรู้มิติที่มีความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตกับการมองเห็นเมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือเปลี่ยนทิศทางไป

Chapman and Hesketh (2000, pp. 84-95) ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า หมายถึง ความสามารถในการรับรู้ภาพที่มองเห็นในโลกได้อย่างถูกต้อง และสามารถนำประสบการณ์จากการมองเห็นมาประดิษฐ์สิ่งของขึ้นใหม่ เป็นความสามารถที่เกี่ยวกับการเห็นรูปร่าง สี รูปทรง สัณฐานและลักษณะพื้นผิวด้วย “มุมมองของจิต” และถ่ายทอดออกมาเป็นงานศิลปะที่เห็นได้เป็นรูปธรรม

Motes, Malach, and Kozhevnikov (2008) ให้ความหมายของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ว่า เป็นกระบวนการประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างวัตถุหรือส่วนของวัตถุ กับการแปลงวัตถุ เช่น การหมุนวัตถุ การเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ เป็นความสามารถในการรับรู้ การเข้าใจภาพที่มองเห็นในระนาบเดียวกันและหลายระนาบในมุมมองต่าง ๆ และความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของภาพที่เคลื่อนไหวซับซ้อนกันหรือซ่อนอยู่ภายในภาพ การแยกภาพ และการประกอบภาพอันได้แก่ ขนาด รูปร่าง รูปทรง ตำแหน่ง ทิศทาง สี สัณฐาน พื้นผิว และปริมาตร

2. ความสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

นักการศึกษาได้กล่าวถึงความสำคัญของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ไว้ ดังนี้

อุดม เพชรสังหาร (2549, หน้า 164-165) กล่าวว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ยังมีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถ้าขาดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์คนเราจะหลงทางบ่อย ๆ เพราะจำทิศทางไม่ได้ นักบินไม่สามารถนำเครื่องบินลงจอดได้และมองไม่ออกว่าตอนนี้ตนเองกำลังบินขึ้นหรือกำลังลดเพดานบินลง หรือกะระยะในการร่อนลงไม่ถูก นักคณิตศาสตร์ก็คงจะคำนวณคิดค้นอะไรไม่ได้เพราะมองความสัมพันธ์ของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่นำมาผูกเป็นสมการไม่ออก นักกอล์ฟต้องใช้ความสามารถมิติสัมพันธ์ในการกะระยะจากลูกไปถึงปากหลุม ผู้ที่มีทักษะมิติสัมพันธ์ดีจะมีความสามารถในการมองเห็นความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ อย่างเชื่อมโยง เกิดการเรียนรู้เร็ว รู้จักคิดวางแผนและมีจินตนาการกว้างไกล สามารถจัดกลุ่มรูปแบบต่าง ๆ ในสมองได้ดี

Uttal et al, (2009) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะด้านมิติสัมพันธ์ที่ดีของนักเรียน สามารถทำนายผลสัมฤทธิ์ในการเรียนในกลุ่ม STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) ซึ่งการพัฒนาทักษะทางด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนจำเป็นทั้งในแง่ของภาคปฏิบัติและทฤษฎี การศึกษามีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาว่าการฝึกและการจัดประสบการณ์สามารถพัฒนาทักษะเหล่านี้ได้ จึงได้สังเคราะห์งานวิจัยทั้งหมด 217 เรื่อง ศึกษาขนาดอิทธิพล การดำเนินการ ความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการแปลผลของการฝึกทักษะทางด้านมิติสัมพันธ์ ปรากฏว่าขนาดอิทธิพลโดยเฉลี่ยสำหรับกลุ่มทดลองมีความสัมพันธ์กับกลุ่มควบคุมเท่ากับ 0.47 (SE = 0.04) ผลของการฝึกมีความเสถียร และไม่ได้รับผลกระทบจากความล่าช้าระหว่างการฝึก หลังการฝึกกิจกรรมด้านมิติสัมพันธ์ ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์ผลของการดำเนินการ รวมทั้งประเภทของกลุ่มควบคุม เพศ อายุ และประเภทของการฝึก นอกจากนี้ยังจำแนกประเภททฤษฎีแรงจูงใจของทักษะมิติสัมพันธ์ที่เน้น 2 มิติ คือ ภายในกับภายนอก และการคงที่กับการเคลื่อนที่ สุดท้ายได้พิจารณาถึงประสิทธิภาพของการศึกษาและนโยบายการนำการฝึกทักษะด้านมิติสัมพันธ์ไปใช้โดยตรง ผลปรากฏว่าทักษะทางด้านมิติสัมพันธ์สามารถส่งเสริมการศึกษาทั้งในด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

Wai, Lubinski, and Benbow (2009) ได้ศึกษาความสำคัญของความสามารถทางมิติสัมพันธ์ในด้านการศึกษา และการทำงาน โดยเฉพาะในรายวิชาที่เกี่ยวกับด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) กลุ่มตัวอย่างคัดเลือกด้วยการสุ่มแบบแบ่งชั้นจากโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (เกรด 9-12, N=400,000) ติดตามศึกษาเป็นระยะเวลา 11 ปีขึ้นไปซึ่งเป็นการศึกษาระยะยาวพร้อมทั้งการศึกษาก่อนปี 1957 และเก็บข้อมูลจาก Graduate Record Examination และ Study of Mathematically Precocious Youth ข้อมูลจากหลายทศวรรตเหล่านี้ ปรากฏว่า ความสามารถทางมิติสัมพันธ์ในช่วงวัยรุ่นนั้นปรากฏให้เห็นว่าเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นทางจิตวิทยา ซึ่งทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดี และการประกอบอาชีพในสาย กลุ่ม STEM นั่นชี้ให้เห็นว่าความสามารถทางมิติสัมพันธ์มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาในการเรียนรู้กลุ่ม STEM และเป็นทักษะหนึ่งในการระบุศักยภาพของวัยรุ่นในการเรียนรู้ กลุ่ม STEM ซึ่งยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร

Lubinski (2010, pp. 344–351) กล่าวว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถเฉพาะบุคคล แต่เมื่อได้รับการฝึกและการจัดประสบการณ์ที่เหมาะสมก็สามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้ ความสามารถทางมิติสัมพันธ์เป็นเครื่องมือเฉพาะบุคคลที่ทรงพลังอย่างหนึ่งซึ่งถูกละเลยในการเรียนรู้ที่ซับซ้อนและในระบบการทำงาน ทั้งยังถูกละเลยในการพัฒนาทักษะความรู้และความคิดสร้างสรรค์

การศึกษาระยะยาวมากกว่า 50 ปีที่ผ่านมา พบว่า ความสามารถทางมิติสัมพันธ์มีบทบาทสำคัญในระบบการศึกษาและการทำงาน ในขณะที่การให้เหตุผลที่ซับซ้อนด้วยรูปภาพ รูปแบบและรูปทรงซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาความสามารถทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) เป็นโอกาสการเน้นถึงความสำคัญเชิงจิตวิทยาของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกับความแตกต่างระหว่างบุคคลในการทดสอบโครงสร้างของทฤษฎี การนำความสามารถทางมิติสัมพันธ์มาร่วมในการกำหนดความสามารถพิเศษเพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสการเรียนรู้ในการคัดเลือกนักเรียนให้มีโอกาสในการเรียนรู้กลุ่ม STEM โดยไม่มีการพิจารณาถึงความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ทำให้ไม่ได้ก่อประโยชน์จากความสามารถพิเศษนี้ ซึ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตในโลกแห่งเทคโนโลยีที่กำลังเจริญก้าวหน้าในปัจจุบัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เป็นความสามารถที่จำเป็นจะต้องได้รับการพัฒนาและส่งเสริมตั้งแต่ในวัยเด็ก เพื่อพัฒนาความคิดรวบยอดเกี่ยวกับธรรมชาติของสิ่งต่าง ๆ รูปร่างลักษณะของวัตถุทุกประเภท ความสัมพันธ์ของวัตถุและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเด็ก เพราะความรู้ความเข้าใจในเรื่องเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่สามารถช่วยพัฒนาให้บุคคลสามารถดำเนินชีวิตได้ด้วยดี ดังนั้นความสามารถด้านมิติสัมพันธ์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นรากฐานสำคัญที่นำไปสู่การเรียนรู้ด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ และความสามารถด้านอื่น ๆ ในขั้นสูงต่อไป

3. ทฤษฎีพัฒนาการเกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ มีนักการวิชาการได้เสนอแนวคิดไว้ดังนี้

ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Bruner เน้นหลักการ กระบวนการคิด (Bruner, 1966, pp. 183-207) แบ่งขั้นพัฒนาการคิดใน การเรียนรู้ของมนุษย์ออกเป็น 3 ขั้นด้วยกัน ซึ่งคล้ายคลึงกับขั้นพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget ได้แก่

1. ขั้นการกระทำ (Enactive Stage) เด็กจะเรียนรู้จากการกระทำและการสัมผัส
2. ขั้นคิดจินตนาการหรือสร้างมโนภาพ (Piconic Stage) เด็กเกิดความคิดจากกการรับรู้ตามความเป็นจริงและการคิดจากจินตนาการด้วย
3. ขั้นใช้สัญลักษณ์และคิดรวบยอด (Symbolic Stage) เด็กเริ่มเข้าใจเรียนรู้ความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ รอบตัว และพัฒนาความคิดรวบยอดเกี่ยวกับสิ่งที่พบเห็น

ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget (1971, pp. 1-11) กล่าวว่า พัฒนาการทางสติปัญญา เป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม โดยบุคคลพยายามปรับแนวความคิดหรือโครงสร้างสติปัญญาให้อยู่ในสภาวะสมดุล ด้วยการใช้กระบวนการซึกซับ และ

กระบวนการปรับตัวจนทำให้เกิดการเรียนรู้ เริ่มจากการสัมผัส ต่อมาเกิดความคิดทางรูปธรรมและพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงนามธรรม ซึ่งเป็นพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามลำดับ สรุปพัฒนาการทางสติปัญญาของมนุษย์เป็น 4 ระยะ ดังนี้

1. ขั้นประสาทสัมผัสและการเคลื่อนไหว (Sensory Motor Stage) ระยะแรกเกิดถึง 2 ปี เด็กวัยนี้จะพัฒนาทักษะทางกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานสำคัญของพัฒนาการทางสติปัญญา เด็กจะพัฒนาการเคลื่อนไหวจากปฏิกิริยาสะท้อนไปสู่การเคลื่อนไหวที่ปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

2. ขั้นก่อนปฏิบัติการความคิด (Pre - Operational Stage) อายุตั้งแต่ 2 - 7 ปีเป็นวัยที่เข้าใจสัญลักษณ์ต่าง ๆ และสามารถใช้สัญลักษณ์เหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ขั้นปฏิบัติความคิดทางรูปธรรม (Concrete - Operational Stage) อายุตั้งแต่ 7 – 11 ปี เด็กจะมีความเข้าใจปัญหาในแง่มุมต่าง ๆ เข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลง สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับการอนุรักษ์ และเข้าใจความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อม แต่ยังไม่สามารถคิดในเชิงนามธรรมได้ เด็กจะอธิบายหรือแก้ปัญหาโดยอาศัยการกระทำกับของจริงหรือของที่เป็นวัตถุเท่านั้น

4. ขั้นปฏิบัติความคิดทางนามธรรม (Formal Operational Stage) อายุตั้งแต่ 11 - 15 ปี ขั้นนี้เป็นขั้นที่เด็กจะมองเห็นความชัดเจนทางนามธรรมได้ เด็กเริ่มเข้าใจเหตุผล โดยจะสามารถอาศัยหลักเกณฑ์ของความสัมพันธ์ต่าง ๆ มาประกอบกับการใช้เหตุผลได้ สามารถแก้ปัญหาอย่างมีระเบียบ ตั้งสมมุติฐานโดยอาศัยจินตนาการหรือการสังเกตของตนได้และเป็นระยะที่โครงสร้างทางสติปัญญาพัฒนาสูงสุด เด็กวัยนี้จะมีความสามารถเชิงอุปมานและอนุมานมากขึ้น

Piaget and Inhelder (1973, pp. 23-27) ได้แบ่งการรับรู้ทางด้านมิติสัมพันธ์ ออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้

1. ระดับการรับรู้จากประสาทสัมผัส (Perceptual Level)
2. ระดับการรับรู้จากการคิดมโนภาพ (Level of Thinking or Representation)

Piaget and Inhelder ให้ความสนใจระดับการรับรู้จากการคิดมโนภาพนี้ เพราะเป็นระดับที่อาศัยกระบวนการคิดนอกเหนือไปจากการรับรู้ทางกายภาพจากประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำลงไป การรับรู้จากการคิดมโนภาพ เป็นความสามารถในการรับรู้ทางด้านมิติสัมพันธ์ระหว่างตนเองกับวัตถุได้ โดยการลงมือกระทำกับวัตถุโดยตรงเป็นสำคัญ การลงมือกระทำมี ความเชื่อมโยงกันอย่างยิ่งกับประสาทสัมผัส ทั้งนี้เพราะขั้นการรับรู้จากการคิดมโนภาพเป็นขั้นที่เด็กเกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับรู้ ไปสู่การที่สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตนเองกับวัตถุได้อย่างลึกซึ้ง โดยอาศัยโครงสร้างทางความคิดเกี่ยวกับวัตถุ (Construction of Objective) ความสามารถดังกล่าว

ถือว่าเป็นพื้นฐานเบื้องต้นของการพัฒนาทางด้านมิติสัมพันธ์ ระดับพัฒนาการการรับรู้ทางด้านมิติสัมพันธ์ของเด็กที่พ้นวัยทารกขึ้นไปว่ามี 3 ระดับใหญ่ ดังนี้

1. โทโปโลยีคอล (Topological) เป็นระดับพื้นฐานซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติของการรับรู้ว่าวัตถุอยู่ข้าง ๆ กัน (Proximity) การรับรู้ลำดับ (Order) การรับรู้รูปปิด (Enclosure) การรับรู้ความต่อเนื่อง รวมทั้งการรู้การจำแนกลักษณะที่แตกต่างกัน (Discrimination) ทั้งนี้เป็นการรับรู้วัตถุที่คงที่เท่านั้น

2. โปรเจกทีพ (Projective) เป็นการเริ่มที่จะสามารถคิดมโนภาพภายในจิตใจของตนเองด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์ของจุดที่มองเห็น

3. ยูคลีเดียน (Euclidean) เป็นการนำมโนภาพภายในจิตใจเหล่านั้นมาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางด้านตำแหน่ง ทิศทาง และระยะทางจนกลายเป็นระบบแนวคิดที่เด็กยึดถือที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายทอดความเข้าใจเรื่องการมองวัตถุให้ชัดเจนยิ่งขึ้นภายในโลกของความจริงรอบ ๆ ตัว

ด้วยเหตุนี้ความสัมพันธ์ทางโปรเจกทีพ และยูคลีเดียน จึงมีความคล้ายกันตรงที่เด็กสามารถยอมรับความสัมพันธ์กันของวัตถุอย่างมีระบบยิ่งขึ้นโปรเจกทีพและ ยูคลีเดียน เป็นระดับที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันมากแม้จะมีลักษณะที่ต่างกัน ระดับทั้งสองเป็นตัวชี้ถึงคุณสมบัติของสิ่งต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงมุมมอง แสดงให้เห็นถึงความคิดอย่างมีระบบของเด็ก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดระหว่างความแตกต่างของโปรเจกทีพ และยูคลีเดียน คือลักษณะการล้มของดินสอ กล่าวคือ การที่เด็กรับรู้ตำแหน่งและที่ตั้งของดินสอในที่ตั้งตรงและล้มนอนในแนวระนาบซึ่งเป็นจุดจบนั้น เป็นขั้นการรับรู้ระดับโปรเจกทีพ แต่การรับรู้ตำแหน่งละที่ตั้งของดินสอในช่วงระหว่างที่ดินสอกำลังล้มลงนั้นเป็นการรับรู้ระดับขั้นยูคลีเดีย ซึ่งเป็นความสามารถในการนำภาพมาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางด้านตำแหน่งทิศทางของดินสอที่ล้ม

ทฤษฎีพหุปัญญาของ Gardner (1983, pp. 26-32) (The theory of multiple intelligences) ได้จำแนกความสามารถหรือสติปัญญาของคนเอาไว้ 7 ด้าน และภายหลังได้เพิ่มเติมอีก 2 ด้าน รวมเป็นสติปัญญา 9 ด้าน ได้แก่

1. ปัญญาด้านภาษา (Linguistic Intelligence) คือผู้ที่มีความสามารถทางด้านภาษาสูง เช่น นักเล่านิทาน นักพูด นักการเมือง หรือ ด้านการเขียน เช่น กวี นักเขียนบทละคร บรรณาธิการ นักหนังสือพิมพ์ ปัญญาด้านนี้ยังรวมถึง ความสามารถในด้านการจัดกระทำเกี่ยวกับโครงสร้างของภาพ เสียง ความหมาย และเรื่องที่เกี่ยวกับภาษา เช่น ความสามารถใช้ภาษาในการพูดหว่านล้อม

2. ปัญญาด้านตรรกะและคณิตศาสตร์ (Logical - Mathematic Intelligence) คือ ผู้ที่มีความสามารถสูงในการใช้ตัวเลข เช่น นักบัญชี นักคณิตศาสตร์ นักสถิติ และผู้ให้เหตุผลที่ดี เช่น

นักวิทยาศาสตร์ นักตรรกศาสตร์ นักจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ ปัญญาด้านนี้ยังรวมถึงความไวในการเห็นความสัมพันธ์แบบแผน ตรรกวิทยา การคิดเชิงนามธรรม และการคิดที่เป็นเหตุผล การคิดคาดการณ์ วิธีการที่ใช้ในการคิด ได้แก่ การจำแนกประเภท การจัดหมวดหมู่ การสันนิษฐาน สรุป การคิดคำนวณ การตั้งสมมติฐาน

3. ปัญญาด้านมิติ (Spatial Intelligence) คือ ความสามารถในการมองเห็นพื้นที่ ได้แก่ นายพราน ลูกเสือ ผู้นำทาง และสามารถปรับปรุงวิธีการใช้พื้นที่ได้ดี เช่น สถาปนิก มัณฑนาการ ศิลปิน นักประดิษฐ์ ปัญญาด้านนี้รวมไปถึง ความไวต่อสี เส้น รูปร่าง เนื้อที่ และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเหล่านั้น นอกจากนี้ ยังหมายถึง ความสามารถที่จะมองเห็น และแสดงออกเป็นรูปร่างถึงสิ่งที่เห็นและความคิดเกี่ยวกับพื้นที่

4. ปัญญาด้านร่างกายและการเคลื่อนไหว (Bodily-Kinesthetic Intelligence) คือ ความสามารถในการใช้ร่างกายของตนเองแสดงความคิด ความรู้สึก ได้แก่ นักแสดง นักแสดงละครใบ้ นักกีฬา นาฏศิลป์ นักฟ้อนรำ และความสามารถในการใช้มือประดิษฐ์ เช่น นักปั้น ช่างซ่อมรถยนต์ ศัลยแพทย์ ปัญญาทางด้านนี้รวมถึงทักษะทางกาย เช่น ความคล่องแคล่ว ความแข็งแรง ความรวดเร็ว ความยืดหยุ่น ความประณีต และความไวทางประสาทสัมผัส

5. ปัญญาทางด้านดนตรี (Musical Intelligence) คือ ความสามารถทางด้านดนตรี ได้แก่ นักแต่งเพลง นักดนตรี นักวิจารณ์ดนตรี ปัญญาด้านนี้รวมถึงความไวในเรื่องจังหวะ ทำนอง เสียง ตลอดจนความสามารถในการเข้าใจ และวิเคราะห์ดนตรี

6. ปัญญาด้านความเข้าใจระหว่างบุคคล (Interpersonal Intelligence) คือความสามารถในการเข้าใจอารมณ์ ความรู้สึก ความคิด และเจตนาของผู้อื่น ทั้งนี้รวมถึงความไว การสังเกต น้ำเสียง ใบหน้า ท่าทาง ทั้งยังมีความสามารถสูงในการรับรู้ถึงลักษณะต่าง ๆ ของสัมพันธภาพของมนุษย์ และสามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เช่น ความสามารถทำให้บุคคลหรือกลุ่มชนปฏิบัติตาม

7. ปัญญาด้านตนเอง หรือ การเข้าใจตนเอง (Intrapersonal Intelligence) คือ ความสามารถในการรู้จักตนเอง และสามารถประพฤติปฏิบัติตนได้ด้วยตนเอง ความสามารถในการรู้จักตนเอง ได้แก่ การรู้จักตัวเองตามความจริง เช่น มีจุดอ่อน จุดแข็งในเรื่องใด มีความรู้เท่าทันอารมณ์ ความคิด ความปรารถนาของตน มีความสามารถในการฝึกฝนตนเอง และเข้าในตนเอง

8. ปัญญาด้านธรรมชาติ (Naturalist Intelligence) คือ การเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติ และปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เข้าใจความสำคัญของตนเองกับสิ่งแวดล้อม และตระหนักถึงความสามารถของตนเองที่จะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์ธรรมชาติ เข้าใจถึงพัฒนาการของมนุษย์ และการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่เกิดจนตาย เข้าใจและจำแนกความเหมือนกันของสิ่งของ เข้าใจ

การหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงของสสาร

9. ปัญญาด้านอัตถภวนิยม จิตนิยม หรือการดำรงคงอยู่ของชีวิต (Existential Intelligence) ปัญญาด้านนี้ คือ ความไวและความสามารถในการจับประเด็นคำถามที่เกี่ยวกับการดำรงอยู่ของมนุษย์ เช่น ความหมายของชีวิต ทำไมคนเราถึงตาย และเรามาอยู่ที่นี้ได้อย่างไร

การทำงานของสมองไม่ได้แบ่งการทำงานเป็นสมองซีกซ้ายและสมองซีกขวา แม้ว่าสมองแต่ละซีกมีความถนัดเฉพาะของตนเอง แต่สมองทำงานแบบเชื่อมโยงกันและการทำงานทับซ้อนกันทำให้สมองเกิดการเชื่อมโยงของสมองได้ดีขึ้น ดั้งนั้นความสามารถใช้จินตนาการ ดนตรี ศิลปะ และมิติสัมพันธ์ เป็นสิ่งที่ส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องการใช้เหตุผล ภาษา และคณิตศาสตร์ได้ การเรียนรู้อย่างมีความสุขทั้งในห้องเรียนผ่านสื่อการเรียนรู้ อาศัยกิจกรรมที่หลากหลาย เชื่อมโยงการทำงานของสมองทั้ง 2 ซีกเกิดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สมองสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนหน้า (Frontal Lobe) คือเปลือกสมองที่อยู่ด้านหน้าของศีรษะ ทำหน้าที่ในเกี่ยวกับการคิดวิเคราะห์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา และส่งข้อมูลด้านการเคลื่อนไหวของร่างกาย

2. ส่วนกระหม่อมหรือส่วนบน (Parietal Lobe) คือสมองที่อยู่ถัดจากส่วนหน้า ไปทางด้านหลัง ทำหน้าที่เกี่ยวกับความสัมผัส ความรู้สึก และการจัดระเบียบและประมวลผลข้อมูลด้านทิศทางและมิติ การทำงานประสานกันของตากับมือ

3. ส่วนข้าง (Temporal Lobe) คือเปลือกสมองส่วนที่อยู่ถัดจากส่วนหน้าและส่วนกระหม่อม ลงมาใกล้บริเวณขมับ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการได้ยินและความจำ

4. ส่วนหลัง (Occipital Lobe) คือสมองที่อยู่ค่อนไปทางด้านหลังอยู่ส่วนที่ส่วนฐานของกะโหลกศีรษะ หรือท้ายทอย ทำหน้าที่เกี่ยวกับการมองเห็น การรับรู้ และแปลความหมายสิ่งที่มองเห็น

เปลือกสมองทุกส่วนจะทำงานสอดประสานกันในการรับรู้ ประมวลผล และส่งผ่านข้อมูลไปยังส่วนอื่นพร้อม ๆ กัน เช่น สมองส่วนกลาง ก้านสมอง สมองส่วนหน้า เกิดการตอบสนองอย่างใดอย่างหนึ่งและพัฒนาการเป็นพฤติกรรมต่าง ๆ

จากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาที่เกี่ยวกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดังกล่าว สรุปได้ว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์นั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญองค์ประกอบหนึ่งจากทฤษฎี Piaget ทฤษฎี Piaget and Inhelder ทฤษฎีของ Bruner และทฤษฎีพหุปัญญาด้านหนึ่งใน 9 ด้านของทฤษฎี Gardner อีกด้วย

4. แบบวัดสมรรถภาพสมองด้านมิติสัมพันธ์

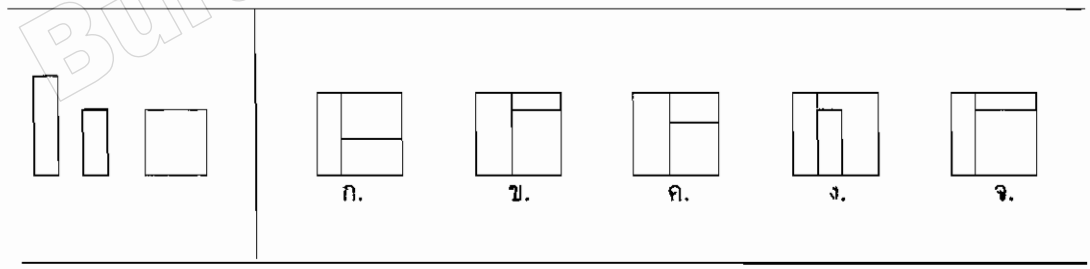
มิติสัมพันธ์ (Space Relations) เป็นการทดสอบความสามารถทางสติปัญญา ในการมองหรือมีมโนภาพเกี่ยวกับรูปในมิติต่าง ๆ ทั้งชนิดที่เป็นรูปที่มีความหมาย และไม่มีความหมายผู้ตอบ

ข้อสอบจะต้องมีมโนภาพได้ว่า รูปทรงจะเปลี่ยนไปเป็นอย่างไร เมื่อรูปที่กำหนดหมุนไปหรือแปลงสภาพไป นอกจากนั้น ผู้ตอบจะต้องสามารถมองเห็นความสัมพันธ์ของรูปทรงต่าง ๆ ข้อสอบมิติสัมพันธ์มีหลายประเภท (Battista & Clements, 1996, pp. 258–292) ดังนี้

1. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบหมุนรูปหรือเลื่อนรูป แบบทดสอบมิติสัมพันธ์ แบบหมุนรูปหรือเลื่อนรูป (Movement Sequence) นี้สามารถแบ่งออกได้สองลักษณะ คือ แบบหมุนรูปกับแบบเลื่อนรูป ข้อสอบแบบหมุนรูปนี้ โจทย์จะกำหนดรูปปัญหามาให้ 3 รูป รูปทั้ง 3 รูปที่กำหนดให้นี้มีไปในทิศทางใดทิศทางทางหนึ่ง ผู้ตอบจะต้องใช้ปัญญาพิจารณาดูว่า รูปทั้งสามที่กำหนดให้นี้ มีความสัมพันธ์กันโดยการหมุนบางส่วนของรูป ถ้าหากหมุนต่อไปตามลักษณะเดิมแล้วรูปที่ 4 จะเป็นอะไร ซึ่งรูปที่ 4 จะเป็นตัวเลือกที่กำหนดมาให้ นั่นก็คือ แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบหมุนรูปนี้โจทย์จะกำหนดมาให้ 3 รูป รูปทั้ง 3 รูปนี้จะแตกต่างกันโดยการหมุนบางส่วนของรูป และให้หาว่าภายใต้การหมุนอย่างนี้ รูปที่ 4 จะเป็นอย่างไร

2. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบตัดรูป แบบมิติสัมพันธ์แบบตัดรูป (Figure Dividing) นี้ โจทย์จะกำหนดรูปเดิมมาให้หนึ่งรูป และรูปที่ถูกตัดแล้วอีกหนึ่งรูปมาให้ ผู้สอบจะต้องใช้ปัญญาพิจารณาว่ารูปเดิมนั้นถูกตัดด้วยเส้นอะไร จึงจะกลายเป็นรูปถูกตัดที่กำหนดให้

3. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบต่อรูป แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบต่อรูปนี้ โจทย์จะกำหนดรูปเป็นส่วน ๆ มาให้ ให้ผู้ตอบมีมโนภาพว่า แต่ละส่วนที่กำหนดมาให้แล้วนี้ เมื่อต่อกันเข้าจะกลายเป็นรูปอะไรรูปที่กำหนดมาให้เป็นชิ้น ๆ อาจเป็น 2, 3 หรือ 4 ชิ้น ทำหน้าที่เป็นตัวปัญหา (Stem) ของข้อสอบแบบเลือกตอบ รูปที่ประกอบแล้วเสร็จจะทำหน้าที่เป็นตัวเลือกตอบ

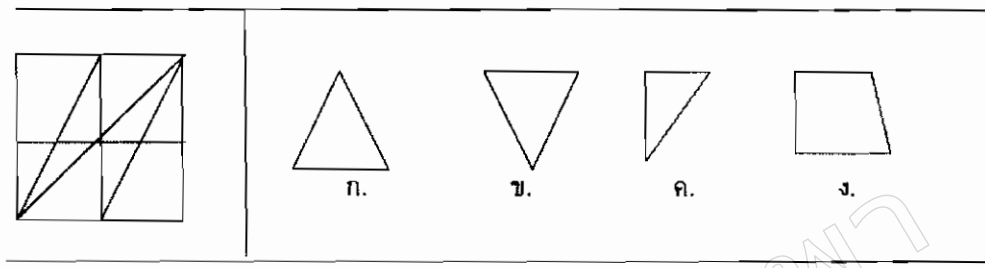


ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบต่อรูป

4. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ่อนรูป

แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ่อนรูป (Hidden Figure) นี้ เป็นการทดสอบความสามารถทางปัญญาว่า ผู้ตอบสามารถค้นพบรูปเล็กที่ซ่อนอยู่ในรูปปัญหา ซึ่งเป็นรูปให้ได้รวดเร็วและถูกต้อง

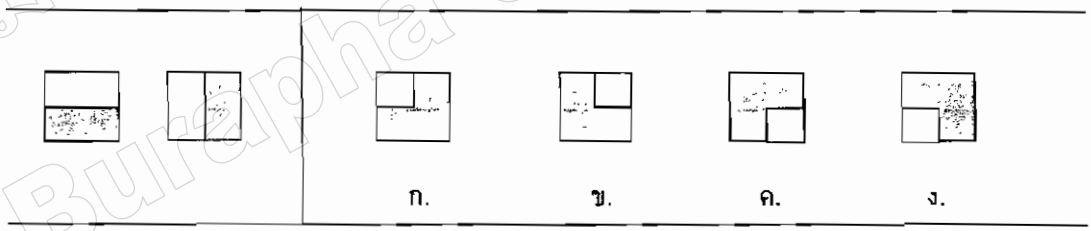
เพียงใด แบบทดสอบแบบซ่อนรูปโจทย์มักจะกำหนด รูปปัญหาให้แล้วผู้สอบตรวจดูว่าจะมีรูปของตัวเลือกใดซ่อนอยู่ในรูปปัญหา โดยมีขนาดและทิศทางเหมือนเดิม



ภาพที่ 3 ตัวอย่างแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ่อนรูป

5. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนรูป

แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนรูป (Pattern Synthesis) นี้ โจทย์จะกำหนดรูปปัญหาให้สองรูป ผู้สอบจะต้องมีแนวคิดและมีนโนภาพว่า ถ้าหากเอารูปปัญหาที่กำหนดให้สองรูปมาซ้อนกันแล้วจะเกิดรูปใหม่ขึ้นซึ่งจะมีเหมือนรูปใด จากรูปของตัวเลือกตอบที่กำหนดให้

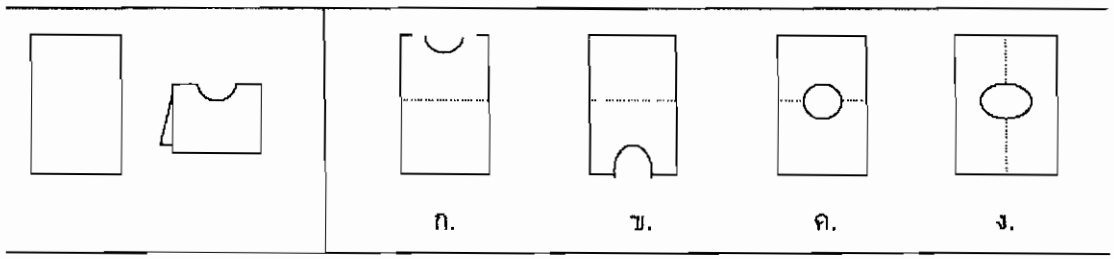


ภาพที่ 4 ตัวอย่างแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนรูป

6. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกระดาษ

แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกระดาษ (Spatial Visualization) นี้ โจทย์จะกำหนดกระดาษสี่เหลี่ยมมาให้ จากนั้นจะพับกระดาษตามรูปที่กำหนดมาให้ การพับนี้อาจพับครั้งเดียวหรือสองครั้งก็ได้และในตอนท้ายที่สุด จะตัดกระดาษที่พับนี้ออก ซึ่งกระบวนการพับและตัดนี้ โจทย์จะแสดงปัญหาจากนั้นผู้สอบจะต้องมีมโนภาพว่าภายหลังจากตัดกระดาษที่พับนี้แล้วคลี่ออกกระดาษแผ่นเดิมจะมีรูปอย่างไร

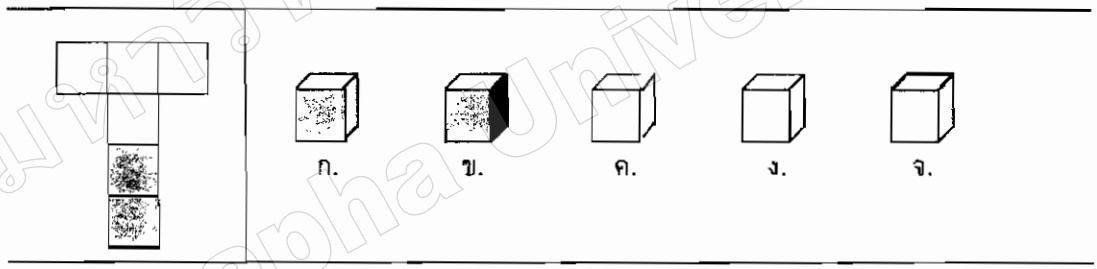
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5 ตัวอย่างแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกระดาษ

7. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกล่อง

แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกล่อง (Paper Folding) นี้ โจทย์จะกำหนดรูปปัญหาให้ ซึ่งมีรูปคล้ายกับกล่องกระดาษที่คลี่ออก ผู้สอบจะต้องมีมโนภาพว่า เมื่อพับกระดาษตามรอยที่กำหนดให้จะได้กล่องรูปอะไร ทั้งนี้คำตอบจะต้องเป็นกล่องที่มีขนาดเท่าเดิม และมีรูปร่างเหมือนเดิม และมีรายละเอียดอื่น ๆ เช่น สี หรือ จุด มีขนาดที่ถูกต้อง

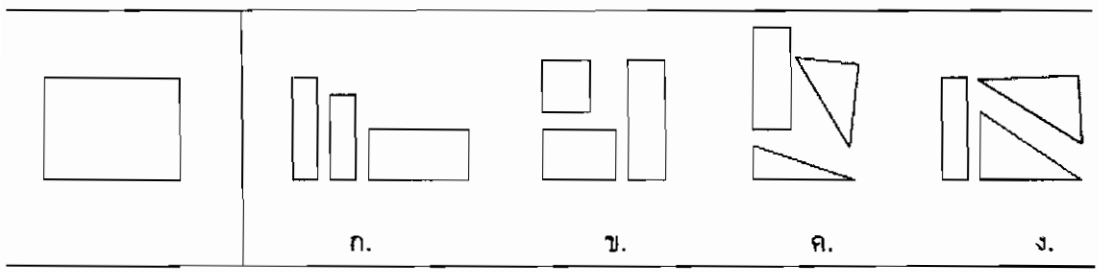


ภาพที่ 6 ตัวอย่างแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบพับกล่อง

8. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบแยกรูป

แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบแยกรูป (Matching Parts) นี้ โจทย์จะกำหนดรูปปัญหาให้หนึ่งรูป ผู้ตอบจะต้องมีมโนภาพว่า เมื่อแยกภาพที่กำหนดให้ แล้วเป็นส่วน เมื่อประกอบแล้วเสร็จจะได้รูปตามโจทย์กำหนด รูปที่ประกอบแล้วเสร็จจะทำหน้าที่เป็นตัวปัญหา (Stem) ของข้อสอบแบบเลือกตอบ รูปที่ให้เป็นชิ้น ๆ อาจเป็น 2, 3 หรือ 4 ชิ้น ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกตอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบแยกรูป

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์

ณัชชา กมล (2542) ได้ศึกษาผลของการใช้เครื่องคำนวณกราฟฟิกที่มีต่อมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ และความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสาธิตสังกัดทบวงมหาวิทยาลัย ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เรียนโดยใช้เครื่องคำนวณกราฟฟิกประกอบการเรียนคณิตศาสตร์ อีกกลุ่มหนึ่ง 2 เรียนแบบปกติ ทำการสอนเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ และแบบวัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ปรากฏว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโดยการใช้เครื่องคำนวณกราฟฟิกประกอบการเรียนคณิตศาสตร์ มีมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์สูงกว่านักเรียน ที่ไม่ใช้เครื่องคำนวณกราฟฟิกประกอบการเรียนคณิตศาสตร์ และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโดยการใช้เครื่องคำนวณกราฟฟิกประกอบการเรียนคณิตศาสตร์ มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงกว่า นักเรียนที่ไม่ใช้เครื่องคำนวณกราฟฟิกประกอบการเรียนคณิตศาสตร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บุญมา บุญศิริ (2542) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพ ที่มีทิศทางการซ้อนต่างกัน 4 รูปแบบ คือ แบบธรรมดา แบบหมุนภาพซ้ายมือ แบบหมุนภาพขวามือ แบบหมุนภาพซ้ายมือและขวามือ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนของโรงเรียนกรมสามัญศึกษา ในจังหวัดชลบุรี จำนวน 892 คน ซึ่งเลือกมาโดยวิธีสุ่มหลายขั้นตอน ปรากฏว่า 1. ค่าความยากของแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพทั้ง 4 รูปแบบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบรายคู่แล้วพบว่าแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพแบบธรรมดา มีค่าความยากแตกต่างกันจากแบบแบบทดสอบมิติสัมพันธ์รูปแบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 และทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพแบบหมุนซ้ายมือและขวามือมีค่าความยากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 นอกจากนั้นมีค่าความยากไม่แตกต่างกัน 2. ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าอำนาจจำแนกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 3. แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพแบบธรรมดา มีค่าความเชื่อมั่นแตกต่างจาก

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

แบบทดสอบมิติสัมพันธ์แบบซ้อนภาพรูปแบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 นอกนั้นมีค่าความเชื่อมั่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนรัยสำคัญทางสถิติ

เจริญใจ กุลดิลก (2548) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถทางสมองด้านมิติสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนที่เรียนในระดับชั้นต่างกันและเมื่อใช้แบบทดสอบวัดความสามารถทางสมองด้านมิติสัมพันธ์ที่ระบายสีภาพต่างกัน ปรากฏว่า นักเรียนที่เรียนในระดับต่างกัน มีความสามารถทางสมองด้านมิติสัมพันธ์แบบนับลูกบาศก์และแบบหมุนภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และ 6 มีความสามารถทางสมองด้านมิติสัมพันธ์มากกว่านักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 นอกจากนี้ระดับชั้นยังมีปฏิสัมพันธ์กับสีของภาพที่มีผลต่อความสามารถทางสมองด้านมิติสัมพันธ์โดยรวมและจำแนกเป็นแบบซ้อนภาพ แบบต่อภาพ แบบหาด้านตรงข้าม แบบซ่อนภาพ และแบบตัวกระดาษ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สน วัฒนสิน (2551) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางสมองเบื้องต้นด้านมิติสัมพันธ์ ด้านเหตุผลเชิงนามธรรมกับความถนัดทางศิลปะ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ในจังหวัดปัตตานี จำนวน 120 คน เป็นนักเรียนชาย 60 คน นักเรียนหญิง 60 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ แบบทดสอบความสามารถด้านเหตุผลเชิงนามธรรม และแบบทดสอบความถนัดทางศิลปะ ปรากฏว่า ความสามารถทางสมองเบื้องต้นด้านมิติสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์ในทางบวกระดับต่ำกับ ความถนัดทางศิลปะ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .285 กลุ่มนักเรียนชายและกลุ่มนักเรียนหญิง มีความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสามารถด้านเหตุผลเชิงนามธรรม กับความถนัดทางศิลปะใกล้เคียงกัน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ .281 และ .317 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นักเรียนชายและนักเรียนหญิงมีคะแนนจากแบบทดสอบความสามารถทางด้านมิติสัมพันธ์ เหตุผลเชิงนามธรรม และความถนัดทางศิลปะไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Corsi-Cabrera et al. (1997) ได้ศึกษาผลของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และเพศ กับความสัมพันธ์ระหว่างซีกสมองกับการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมองกลุ่มตัวอย่างเป็นหญิงชายที่มีอายุ 17 ถึง 21 ปี ปรากฏว่า นักเรียนที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ที่แตกต่างกันมีลักษณะการเกิดคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Sotthiwat (2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนของคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำกิจกรรมการจินตภาพเชิงมิติสัมพันธ์ กับอาสาสมัครผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกดนตรี กับอาสาสมัครนักดนตรี ปรากฏว่า กลุ่มนักดนตรีมีค่าเฉลี่ยแอมปริจูตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึกดนตรี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและแผนที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าสมองแบบสองมิติยังแสดงว่าอาสาสมัครนักดนตรีมีการกระจายตัวของความต่าง

338608

ศักย์ไฟฟ้าสมองแตกต่างจากอาสาสมัครที่ไม่ได้รับการฝึกดนตรีซึ่งค่าเฉลี่ยแอมปริจูดที่สูงกว่าในอาสาสมัครนักดนตรีแสดงว่านักดนตรีมีสมาธิและความสามารถที่สูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกดนตรี

Amsudin, Rafi, and Hanif (2011) ได้วิจัยเรื่องการฝึกการจินตภาพการหมุนและจินตภาพทางด้านมิติสัมพันธ์จากผลของการวาดภาพออโตกราฟฟี่ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา อายุระหว่าง 15-16 ปี ปรากฏว่า นักเรียนที่ได้รับการฝึกการวาดภาพแบบออโตกราฟฟี่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ดีขึ้น

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการศึกษาแนวทางการสร้างชุดการฝึก การสร้างแบบทดสอบ สรุปว่าความสามารถด้านมิติสัมพันธ์นั้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวัน และมีผลต่อการเรียนรู้หลายสาขาวิชา มีผลต่อการประกอบอาชีพหลาย ๆ อาชีพ ซึ่งสามารถพัฒนาได้ด้วยการสร้างความคิดและจินตนาการและการฝึกใช้สมองส่วนที่เกี่ยวข้องกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ ความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนมีผลดีต่อการพัฒนาคุณภาพทางการเรียนของนักเรียนได้อีกทางหนึ่ง

ตอนที่ 2 เกมปริศนาซุโดะกุ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายและความสำคัญของเกมปริศนาซุโดะกุ

เกมปริศนาซุโดะกุ เป็นเกมปริศนาตัวเลข ที่ผู้เล่นต้องเลือกใส่ หมายเลขตั้งแต่ เลข 1 ถึง เลข 9 โดยมีเงื่อนไขว่าในแต่แถวและแต่ละหลักตัวเลขต้องไม่ซ้ำกัน ตารางซูโดะกุจะมี 9x9 ช่อง ซึ่งประกอบจากตารางย่อย 9 ตาราง ในลักษณะตารางขนาด 3x3 ช่อง แบ่งแยกกันโดยเส้นหนา และในแต่ละตารางย่อยจะมีตัวเลข 1 ถึง 9 เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a			4	8					
b		9		4	6			7	
c		5					6	1	4
d	2	1		6			5		
e	5	8		7		9		4	1
f			7			8		6	9
g	3	4	5					9	
h		6			3	7		2	
i						4	1		

ภาพที่ 8 ตัวอย่างเกมปริศนาซุโดะกุขนาด 9x9 ช่อง

ชื่อซุโดะกุ ในภาษาญี่ปุ่น เป็นคำย่อจากคำว่า ซูจิวะโดะกุชินนิคางิ มีความหมายว่า ตัวเลขต้องมีเพียงเลขเดียว ชื่อของเกมปริศนาซุโดะกุ มีการเรียกชื่อแตกต่างกันในแต่ละภาษา ตั้งแต่ ปริศนาซุโดะกุ ซุโดกุ ซูโดกู หรือ ซูโดคู นิตยสารในเครือ ปริศนา ของบริษัท สำนักพิมพ์อาทร จำกัด เคยเรียกชื่อเกมนี้ว่า ปริศนา 1 ถึง 9 เนื่องจากต้องเติมตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 9 ลงในตาราง และอาจเรียกว่า ปริศนา 1 ถึง 7, 1 ถึง 12, 1 ถึง 16, 1 ถึง 25 ฯลฯ ตามจำนวนตัวเลขที่จะต้องเติมในรูปแบบต่าง ๆ เกมปริศนาซุโดะกุได้ถูกตีพิมพ์ในอเมริกาชื่อ “Number Place” ลงในนิตยสาร U.S. Puzzle ในปี พ.ศ. 2522 ก่อนที่จะตีพิมพ์ในชื่อ “เกมปริศนาซุโดะกุ” ในญี่ปุ่นเมื่อปี พ.ศ. 2529

เกมปริศนาซุโดะกุ” เป็นชื่อภาษาญี่ปุ่นที่ประกอบด้วยอักษรที่เรียกว่าคันจิ 2 ตัว คันจิตัวแรก ออกเสียงว่า “ซุ” หมายถึง จำนวนหรือการนับ คันจิตัวที่สอง ออกเสียงว่า “โดะกุ” หมายถึง มีเพียงแบบเดียว หรือ สิ่งเดียว เมื่อรวมแล้วจึงหมายถึง จำนวนที่มีเพียงแบบเดียว คำว่า “เกมปริศนาซุโดะกุ” นี้เป็นเครื่องหมายการค้าของสำนักพิมพ์ที่เกี่ยวกับปริศนาชวนคิด ชื่อ Nikoli Co.Ltd ประเทศญี่ปุ่น และมีบางสำนักพิมพ์ในญี่ปุ่นที่ตีพิมพ์ปริศนาประเภทนี้แต่เรียกชื่อเป็นอย่างอื่น เช่น Number Place

เกมปริศนาซุโดะกุ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในอังกฤษ หลังจากการตีพิมพ์ครั้งแรกในหนังสือพิมพ์ “The Time” เมื่อเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2004 ส่งผลให้หนังสือพิมพ์หลาย ๆ ฉบับในอังกฤษและอเมริกาเหนือปัจจุบันนี้มีเนื้อที่ให้ “เกมปริศนาซุโดะกุ” ในหน้าปริศนา เพื่อเพิ่มยอดขาย

แก่หนังสือนั้น ๆ ในเมืองไทยมีวารสารที่ตีพิมพ์ปริศนานี้ใช้ชื่อ “ปริศนาจำนวน”

เกมปริศนาซุโดะกุแบบดั้งเดิมนั้นใช้ตัวเลข 1 – 9 เล่นบนตารางขนาด 9x9 ช่อง ที่แบ่งออกเป็นจัตุรัสย่อย 3 x 3 ช่อง จำนวน 9 รูปด้วยเส้นหนา ปัจจุบันนี้อาจพบตารางรูปแบบอื่น เช่น ตารางขนาด 16 x16 ช่อง ที่แบ่งออกเป็นจัตุรัส 4x4 ช่อง จำนวน 16 รูปด้วยเส้นหนา ถึงแม้ว่าการเล่นเกมนี้จะใช้ตัวเลขหลาย ๆ ตัว แต่ก็มิได้ใช้การคิดคำนวณใด ๆ เลย ตัวเลขที่ใช้ทั้งหมดนั้นเป็นแค่เพียงสัญลักษณ์เท่านั้น ซึ่งสัญลักษณ์นี้อาจเปลี่ยนแทนได้ด้วยตัวอักษร หรือสี หรือรูปเรขาคณิตต่าง ๆ ก็ได้ ดังตัวอย่างเกมซุโดกุที่ต้องใช้ตัวเลข 1 – 9 วางให้เต็มตาราง 9x9 ช่อง ขั้นตอนการเล่นเกม “เกมปริศนาซุโดะกุ” ช่วยพัฒนาการให้เหตุผล และสื่อสารทางคณิตศาสตร์ เมื่อรู้จักเกมปริศนาซุโดะกุและกติกาง่าย ๆ ของซุโดกุแล้ว จะเห็นว่าในการลงตัวเลขใดตัวเลขหนึ่งในตารางจะต้องวิเคราะห์ก่อนว่า สอดคล้องกับกติกาที่ว่าจะต้องไม่มีตัวเลขใดซ้ำกันในแถวเดียวกัน หลักเดียวกัน และในจัตุรัส 3x3 ช่อง เดียวกัน การคิดและลงตัวเลขนี้ใช้การให้เหตุผลและการสื่อสาร การสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ได้กำหนดกลุ่มสาระวิชา และมาตรฐานการเรียนรู้หลักที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนทุกคน ในด้านทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย การแก้ปัญหา การให้เหตุผล การสื่อสาร การสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ การเชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ และการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ๆ และความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีการใช้เกมปริศนาซุโดะกุเป็นกิจกรรมพัฒนาผู้เรียน พร้อมทั้งจัดให้มีการแข่งขันเกมปริศนาซุโดะกุในระดับต่าง ๆ ในงานศิลปหัตถกรรมนักเรียน ประจำปีการศึกษา 2555 เพื่อให้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาสมองของนักเรียน ดังนั้นการพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว สามารถใช้ “เกมปริศนาซุโดะกุ” จัดเป็นกิจกรรมการพัฒนาผู้เรียนได้อีกวิธีหนึ่ง

2. ประเภทของเกมปริศนาซุโดะกุ

จากการเล่นพื้นฐานต่าง ๆ ของเกมปริศนาซุโดะกุแบบปกติแล้ว นอกจากนี้ ยังมีลูกเล่นต่าง ๆ ทำให้เพิ่มลูกเล่นมากขึ้น และมีเกมปริศนาซุโดะกุประเภทต่าง ๆ ได้แก่

เกมปริศนาซุโดะกุแบบมาตรฐาน ขอบเขตของการเติมตัวเลข ตารางเกมปริศนาซุโดะกุแบบมาตรฐานจะเป็นแบบ 9x9 ช่อง นอกจากนี้ ยังมีตารางขนาดอื่นอีก ได้แก่ แบบ 4x4 6x6 12x12 16x16 และ 25x25 ในแบบ 4x4 และ 6x6 นั้น เป็นตารางเกมปริศนาซุโดะกุที่ง่าย และเพื่อทำความเข้าใจในการเล่นพื้นฐานสำหรับเด็ก โดยผู้ที่เริ่มเล่น ตาราง 4x4 ช่อง จะต้องเติมตัวเลข 1-4 โดยไม่ซ้ำกัน ถ้าเป็น 6x6 ช่อง จะเติมตัวเลข 1-6 โดยไม่ซ้ำกัน สำหรับตารางที่ใหญ่กว่า 9x9 ช่อง ก็จะต้องเติม

จำนวนตัวเลขที่มากขึ้น โดยไม่ซ้ำกันทั้งแนวตั้ง แนวนอน และตารางย่อย และขนาดที่สูงสุดถึง 49x49 ช่อง

เกมปริศนาซุโดะกุเอกซ์ (Sudoku X) เป็นตารางเกมปริศนาซุโดะกุที่คล้ายกับกติกาแบบปกติทุกอย่างนอกจากจะเติมเลขให้แนวตั้ง แนวนอน และตารางย่อยไม่ให้ซ้ำกันแล้ว ยังต้องเติมเลขแนวทแยงที่ตัดผ่านตาราง (เป็นรูปตัว X) โดยไม่ให้ซ้ำกันอีกด้วย

เกมปริศนาซุโดะกุคู่คี่ (Evnt/ Odd Sudoku) เป็นตารางเกมปริศนาซุโดะกุที่มีการแรเงาเป็นช่องโดยแยกชัดว่าช่องที่ถูกแรเงานั้นต้องเติมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ แล้วแต่ตามกติกาที่กำหนด

เกมปริศนาซุโดะกุบวกเลข หรือ คิลเลอร์เกมปริศนาซุโดะกุ (Killer Sudoku) เป็นเกมปริศนาซุโดะกุที่รวมกับคักกุโระ เข้าด้วยกันในตาราง จะมีช่องตามสีหรือเส้นประและมีตัวเลขจำนวนหนึ่งอยู่บนมุมซ้ายของเส้นประ ซึ่งแสดงว่า เลขที่เติมในรอบเส้นประ (2 ช่องขึ้นไป) จะต้องรวมกันให้ได้เลขที่อยู่ด้านบน เช่น เส้นประที่ล้อมรอบสองช่อง โดยมีเลข 3 กำกับ หมายความว่า สองช่องที่มีเส้นประล้อมรอบอยู่จะต้องเติมเลข 1 กับ 2 ซึ่งเท่ากับ 3 เกมปริศนาซุโดะกุรูปแบบนี้ก็คล้าย ๆ กับเกมปริศนาซุโดะกุแบบปกติ แต่มีการคำนวณมาเกี่ยวข้อง

เกมปริศนาซุโดะกุมากกว่า/ น้อยกว่า (Comparison Sudoku) มีลักษณะที่แสดงเครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่าตรงเส้นตาราง โดยที่ต้องเติมตัวเลขให้มากกว่าหรือน้อยกว่าช่องถัดไป

จิ๊กซอว์เกมปริศนาซุโดะกุ (Jigzaw Sudoku) กรอบตารางที่ใส่เลข 1-9 จะเป็นรูปที่บิดเบือนคล้ายกับชิ้นส่วนของจิ๊กซอว์ หมายความว่า กรอบตารางที่บิดเบือนจะต้องเติมเลข 1-9 โดยไม่ซ้ำกัน

ไฮเพอร์เกมปริศนาซุโดะกุ (Hypersudoku) ภายในตารางจะมีช่องแรเงา 9x9 ช่อง ข้ามเส้นโดยมีกติกาว่า ตารางแรเงา 9x9 ช่อง ก็ต้องเติมเลข 1 ถึง 9 โดยไม่ซ้ำกันเช่นกัน

เกมปริศนาซุโดะกุแบบตารางซ้อน เป็นตาราง 9x9 ช่อง มีสองถึงห้าตารางทับซ้อนกัน โดยส่วนที่ทับซ้อนกันจะเป็นคำตอบเดียวกันกับตารางที่ทับซ้อนกันอยู่ เกมปริศนาซุโดะกุแบบตารางซ้อนนี้เป็นที่รู้จักในชื่อของ "ซามูไร เกมปริศนาซุโดะกุ" (Samurai Sudoku)

3. เทคนิคและกลยุทธ์การเล่นเกมปริศนาซุโดะกุ

การแก้โจทย์ เกมปริศนาซุโดะกุ คือการพยายามหาตัวเลขที่เป็นคำตอบ ที่แน่นอน เติมลงทีละช่อง แล้วใช้ตัวเลขนั้นเป็นเบาะแสในการหาคำตอบในช่องอื่น ๆ ต่อไปจนได้คำตอบครบทุกช่อง ดังนั้น จึงไม่ควรใช้วิธีเดา เพราะถ้าเดาผิด จะทำให้เกิดความสับสน ไม่สามารถย้อนกลับมาเริ่มต้นใหม่ได้อย่างถูกต้อง ทำให้การเล่นเกมปริศนาซุโดะกุไม่สนุก และหมดกำลังใจที่จะแก้ปริศนาต่อไป สำหรับ

กลยุทธ์แก้เกมปริศนาซุโดะกุแบบไทย เป็นกลยุทธ์ขั้นพื้นฐาน ที่ผู้เล่นเกมปริศนาซุโดะกุทุกคน จำเป็นต้องรู้เพื่อแก้เกมปริศนาซุโดะกุในระดับง่าย ๆ ได้ มีรายละเอียดดังนี้

กลยุทธ์การแก้เกมปริศนาซุโดะกุ (Sudoku Strategy)

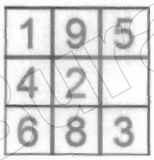
กลยุทธ์ที่ 1 หมูตัวสุดท้าย

หมูตัวสุดท้าย หมายถึง ตัวเลขที่เหลือเป็นตัวเลขสุดท้าย ที่สามารถเติมลงไปในช่องว่างได้ โดยไม่ซ้ำกับช่องอื่น เช่น

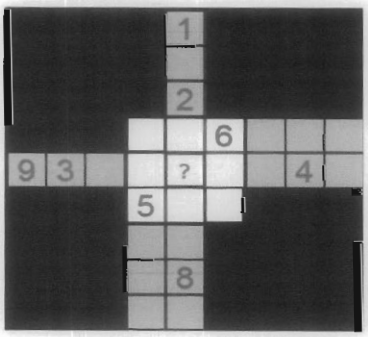
คำตอบคือ 9

คำตอบคือ 2

ภาพที่ 9 ตัวอย่างตัวเลขที่เหลือเป็นตัวเลขสุดท้ายทั้งแถวและสดมภ์



คำตอบคือ 7

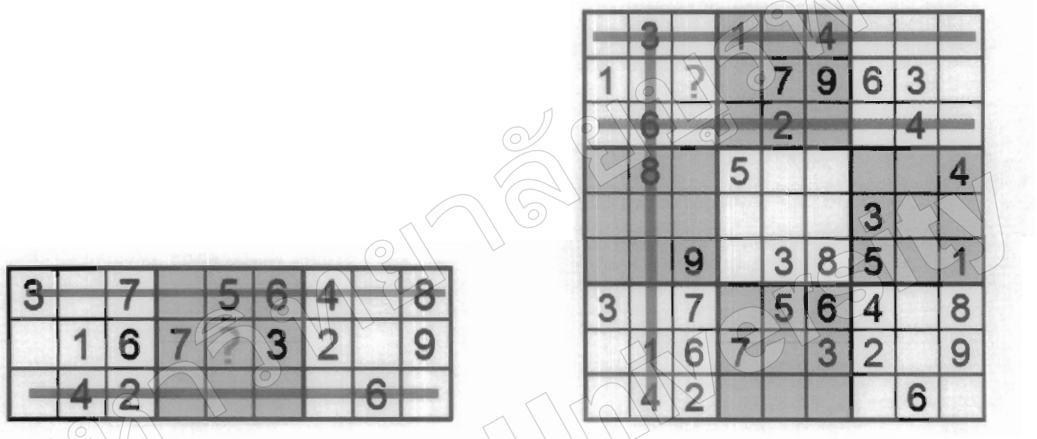


ภาพที่ 10 ตัวอย่างตัวเลขที่เหลือเป็นตัวเลขสุดท้ายภายในช่อง 3x3 และตัวเลขตัวสุดท้ายที่สัมพันธ์กันระหว่างแถวกับสดมภ์ที่อยู่ภายในช่อง 3x3

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กลยุทธ์ที่ 2 ลำแสงพิฆาต

ลำแสงพิฆาต เป็นกลยุทธ์ที่เกิดจากการขีดลำแสง จากจินตนาการของผู้เล่น เกมปริศนาซุโดะกุ จากกติกาของเกมปริศนาซุโดะกุที่ห้ามมีตัวเลขซ้ำกันใน แถวเดียวกัน และในตารางย่อย ทำให้เราใช้ช่องที่มีตัวเลขเป็นจุดเริ่มต้นของลำแสง แล้วขีดไปตามแนวนอน หรือแนวตั้ง หรือตรวจดูในตาราง พื้นที่ ๆ ลำแสงผ่าน ก็ห้ามมีเลขเดียวกันซ้ำอีก กลยุทธ์ลำแสงพิฆาต มักจะใช้พร้อมกันทีเดียว 2 ลำแสง จากตัวเลขเดียวกันและในบริเวณที่เกี่ยวข้องกัน เพื่อหาช่องที่เหลือที่สามารถวางตัวเลขลงไปได้



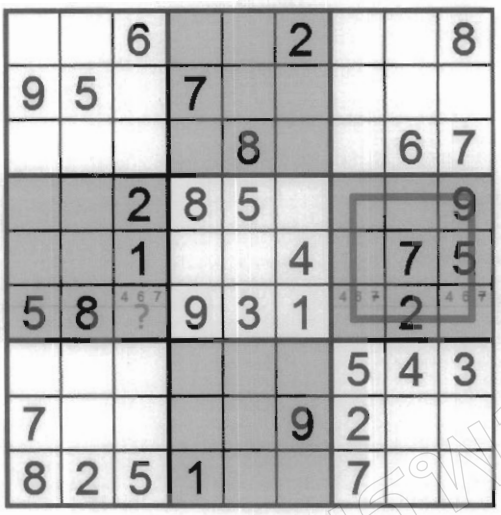
ภาพที่ 11 ตัวอย่างการใช้กลยุทธ์ลำแสงพิฆาต

เมื่อขีดลำแสง จากเลข 4 ในแนวนอน จะได้ตำแหน่งของเลข 4 ที่เหลือ ในตารางย่อยตรงกลาง และเมื่อขีดลำแสง จากเลข 4 ในตารางย่อยที่ 2, 3 และ 7 จะได้ตำแหน่งของเลข 4 ในตารางย่อยที่ 1

กลยุทธ์ที่ 3 ดินสอจดทดทางเลือก

ในบางครั้ง เมื่อใช้กลยุทธ์ ลำแสงพิฆาต และหมู่ตัวสุดท้าย ไปเรื่อย ๆ จนไปต่อไม่ได้ นั่นแสดงว่า ช่องว่างที่เหลือ ยังไม่มีข้อมูลมากพอที่จะหาคำตอบที่แน่นอนได้ จากการใช้กลยุทธ์พื้นฐาน ทำให้ในแต่ละช่องมีคำตอบที่เป็นไปได้มากกว่า 1 ตัว จากข้อมูลที่มีอยู่ ดินสอจดทดทางเลือก คือ การใช้ดินสอ จดตัวเลขที่เป็นไปได้ลงไปก่อน แม้ว่าจะยังไม่ได้คำตอบที่แน่นอน เพื่อเตรียมใช้กลยุทธ์อื่น ๆ ต่อโดยตัดทางเลือกให้เหลือคำตอบที่แน่นอน เพียงตัวเดียว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 12 ตัวอย่างการใช้กลยุทธ์การจดดินสอทดทางเลือก

ข้อควรระวังในการใช้กลยุทธ์ ดินสอจดทดทางเลือก ก็คือ ในแต่ละช่องที่จะนำไปใช้กับกลยุทธ์อื่น ผู้เล่นจะต้อง จดตัวเลขที่เป็นไปได้ให้ครบทุกตัวก่อน จึงจะสามารถนำข้อมูลในช่องนั้น ๆ ไปใช้ได้ หากจดทางเลือกไม่ครบ อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ และเมื่อมีการเติมคำตอบที่แน่นอนลงไปแต่ละครั้ง ก็ต้องใช้กลยุทธ์ ลำแสงพิฆาต ตรวจสอบและตัดทางเลือกที่จดไว้ด้วย

ทั้งกลยุทธ์หมูตัวสุดท้าย ลำแสงพิฆาตและดินสอจดทดทางเลือก เป็นกลยุทธ์พื้นฐานที่ผู้เล่น เกมปริศนาซุโดะกุ ย่อมรู้จักดีอยู่แล้ว และเพียงพอสำหรับแก้โจทย์เกมปริศนาซุโดะกุง่าย ๆ ทั่วไปได้ สำหรับในเทคนิคที่ใช้สำหรับแก้โจทย์เกมปริศนาซุโดะกุที่ยากขึ้น ซึ่งผู้เล่นจำเป็นต้องศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมจะช่วยให้สามารถแก้โจทย์ เกมปริศนาซุโดะกุที่ซับซ้อนมากขึ้นได้

4. การฝึกสมองด้วยเกมปริศนาซุโดะกุกับการเชื่อมสายใยสมอง

สมองส่วนที่ใหญ่ที่สุดที่เรียกว่าซีรีบราล คอร์เท็กซ์ (Cerebral Cortex) ประกอบด้วยสมองที่มีสีเทา คือ ซีรีบรัม (Cerebrum) หรือสมองใหญ่กับสมองส่วนที่เรียกว่าสมองน้อยหรือซีรีเบลลัม (Cerebellum) เกาะอยู่ใต้สมองใหญ่ ทำหน้าที่ควบคุม ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยสมองน้อยทำงานประสานกับสมองใหญ่ ทั้ง 2 ส่วนนี้จึงมีเซลล์ประสาทอยู่มากที่สุด สมองส่วนซีรีบรัม (Cerebrum) หรือสมองใหญ่ มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมมีรอยหยักเป็นร่องและมีรอยนูนทั่วไป มีร่องใหญ่มากที่ด้านบนตรงกลางกระหม่อม ตรงกลางนี้จะมีร่องแบ่งครึ่งออกเป็น 2 ซีก จากด้านหน้าไปหลัง ทำให้สมองแยกออกเป็นสมองซีกซ้ายและสมองซีกขวา

สมองซีกซ้ายและซีกขวาไม่ได้แยกออกจากกันแต่มีกล้ามเนื้อเชื่อมอยู่ตอนกลางเรียกว่า คอร์พัส คอลลอสซัม (Corpus Collosum) จะเชื่อมโยงการทำงานของสมองด้านซ้ายและด้านขวาไว้

ด้วยกัน ซึ่งเป็นเสมือนทางจราจรทำให้เกิดความถนัดหรือความเชี่ยวชาญด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งเป็นแผนที่ในสมองซีกใดซีกหนึ่งข้ามไปสู่การรับรู้ของสมองซีกตรงข้าม (พูนศรี รังสีขจี, 2552, หน้า 1-13) เมื่อสมองเกิดจากการเรียนรู้เรื่องใดเซลล์สมองจะรับข้อมูลผ่านเดนไดรต์ (Dendrite) เป็นจำนวนมากแล้วส่งข้อมูลผ่านออกทางปลายแอกซอนที่มีจุดเชื่อมต่อของเซลล์ที่เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapses) ด้วยการกระตุ้นตุ่มปลายแอกซอนให้หลั่งสารสื่อประสาท เพื่อส่งต่อสัญญาณและเกิดการเปลี่ยนถ่ายประจุที่ผนังเซลล์จำนวนมากจนเกิดสัญญาณไฟฟ้าแรงพอแผ่ไปถึงบนตัวเซลล์สมอง แล้วส่งต่อสัญญาณให้เซลล์สมองตัวอื่นทำงานพร้อมกันจนเป็นร่างแหวงจรของเซลล์สมอง (Neural Networks) ทำให้เรารับรู้ จดจำและตอบสนองต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่กระทำหรืออารมณ์

กิจกรรมที่ทำให้สมองทั้ง 2 ซีกทำงานเชื่อมโยงประสานสัมพันธ์กัน เช่น การเต้นรำ การเล่นเกม การฝึกคิดเชื่อมโยง การออกกำลังกาย เป็นต้น การเต้นรำเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้สมองทั้ง 2 ซีกให้ทำงานประสานกันทั้งสมองซีกซ้ายและซีกขวา สมองซีกซ้ายจะต้องทำความเข้าใจในทำนองเนื้อร้อง และคิดท่าที่ใช้เต้นรำ ส่วนสมองซีกขวาต้องเข้าถึงอารมณ์ ความรู้สึกในเพลงขณะที่เต้นรำอยู่ ในสมองเกิดวงจรการทำงานของประสาทส่วนการเคลื่อนไหวร่างกาย การได้ยิน การมองเห็น การคิด และมีกลุ่มของเซลล์ประสาทที่ควบคุมการเคลื่อนไหว เรียกว่า เบซอล แกงเกลีย (Basal Ganglia) ที่เข้าไปช่วยเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวและมีสมองน้อย หรือซีรีเบลลรัม (Cerebellum) ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมการเคลื่อนไหวในการเต้นรำ ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รักษาสมดุลของท่าทาง การทรงตัว การเคลื่อนไหวที่แม่นยำ การกะระยะ จดจำแบบแผนการประสานงานของกล้ามเนื้อที่ใช้ทักษะการเคลื่อนไหวในท่าเต้นรำต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการฝึกฝนเรียนรู้โดยสมองน้อยทำงานประสานกับสมองใหญ่ส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหวร่างกาย ความคิดทางคณิตศาสตร์และภาษาที่ 2 เนื่องจากจังหวะของห้องเสียงเป็นตัวเลขทางคณิตศาสตร์ จึงทำให้สามารถแยกแยะเสียงต่าง ๆ ได้ดีมีสมาธิทำให้ความจำดี เกิดสุนทรียภาพ มีจินตนาการ ความคิสร้างสรรค์ (วีรศักดิ์ เมืองไพศาล, 2552, หน้า 22)

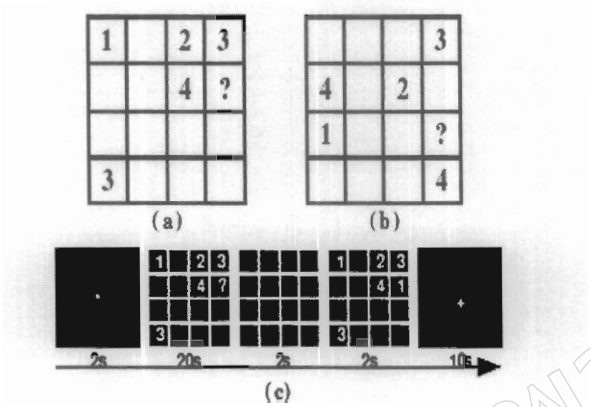
การฝึกทักษะการเต้นรำท่าเต้นต่าง ๆ จะใช้สมองซีรีบรัล คอร์เท็กซ์ แต่เมื่อฝึกจนชำนาญสามารถที่จะเต้นได้โดยไม่ต้องนึกถึงท่าต่าง ๆ ขณะเดียวกันก็สามารถคิดเรื่องอื่น ๆ ไปในขณะเต้นอยู่ได้ เป็นเพราะเบซอล แกงเกลีย (Basal Ganglia) เป็นตัวสั่งการให้ทำโดยอัตโนมัติ สำหรับผู้ที่ต้องการบริหารสมองด้วยวิธีอื่นที่ไม่ถนัดเต้นรำ ก็สามารถทำกิจกรรมง่าย ๆ ได้ เช่น การเล่นหมากรุก หมากฮอส เกมโกะ โยคะ รำมวยจีน การบริหารปุ่มสมอง เล่นเกมปริศนาซุโดะกุก็สามารถกระตุ้นสมองให้เกิดผลทางตรงได้คือ สมองส่วนต่าง ๆ ต้องคิดและวางแผน การตัดสินใจ สมาธิ เกิดการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อมือกับตาส่วนการเชื่อมโยงกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นการเชื่อมโยงถึงสมองส่วนการคิดแบบมีเหตุผล คณิตศาสตร์และมิติสัมพันธ์ (Alloway, 2510, pp. 1-5)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเล่นเกมปริศนาซุโดะกุ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทางวิทยาปัญญาโดยใช้เล่นเกมปริศนาซุโดะกุเป็นตัวกระตุ้นหรือสิ่งเร้ายังมีน้อยมาก ส่วนใหญ่งานวิจัยเป็นการศึกษาด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ ซึ่งจุดประสงค์เพื่อหาวิธีการสร้างเกมปริศนาซุโดะกุ เป็นการหาวิธีการคำนวณหรือยุทธวิธีในการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาของเกมปริศนาซุโดะกุ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเกมปริศนาซุโดะกุมีดังนี้

Keith et al (2007) ได้ศึกษารูปแบบการแก้ปัญหาของผู้ใหญ่ที่มีความผิดปกติของสมองในวัยเด็ก โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยอายุ 30 - 60 ปี ที่มีความผิดปกติของสมองในวัยเด็ก ได้แก่ การได้รับการกระทบกระเทือนที่สมอง มีเนื้องอกที่สมอง และมีปัญหาด้านเชาว์ปัญญา จำนวน 42 คน รูปแบบการแก้ปัญหาความผิดปกติของสมอง ประกอบด้วย การให้ผู้ป่วยมีกิจกรรมทางสังคม การใช้ความสัมพันธ์ในเรื่องการปรับตัวทางสังคม การมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อน การฝึกแก้ปัญหา การสื่อสารทางสังคม การปรับอารมณ์และการฝึกใช้ความคิดจากการเล่นเกมส์ ผลที่ได้ปรากฏว่า รูปแบบการแก้ปัญหาความผิดปกติของสมอง สามารถเปลี่ยนแปลงของประสาทในด้านการการรับรู้เรื่องต่าง ๆ และช่วยให้ผู้ป่วยมีความจำดีขึ้น

Xaing and Chen (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการมองของมนุษย์ (Human Vision) ซึ่งเชื่อว่าโมเดลการคำนวณการมองของมนุษย์สามารถกระตุ้นมุมมองจากคอมพิวเตอร์ Frontal Eye Field (FEF) คือส่วนสำคัญหนึ่งในเปลือกสมองที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเคลื่อนไหวของตา การศึกษานี้ใช้ fMRI ตรวจสอบกระบวนการทางปัญญา และการทำหน้าที่ของ FEF ที่เชื่อมโยงกับสมองส่วนอื่น ๆ เช่น FG (Fusiform Gyrus), PPC (Posterior Parietal Cortex) และ PFC (Prefrontal Cortex) ผลการวิจัยพบว่ามีความเชื่อมโยงอย่างมาก (Strong Connectivity) ระหว่าง FEF กับสมองเหล่านั้น และรูปแบบของการทำหน้าที่ของการเชื่อมต่อแตกต่างไปตามความซับซ้อนของงาน (The Complexity of Task) ยิ่งมีความซับซ้อนยิ่งมีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงต่อสูง สรุปว่า FEF มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการการมอง ไม่เพียงแค่ควบคุมการเคลื่อนไหวของดวงตา แต่การควบคุมทางปัญญาขั้นสูง ซึ่งการวิจัยนี้เสนอโมเดลการเชื่อมโยงที่หน้าจะเป็นของกระบวนการการมองซึ่งเกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านการมอง การใส่รหัสการมอง จินตนาการจากการมองเห็นและการจำ โดยเชื่อมโยงกับสมองส่วน FG, PPC, PFC และ FEF ทำหน้าเป็นศูนย์กลางในกระบวนการการมองงานวิจัยนี้ใช้เกมปริศนาซุโดะกุขนาด 4x4 เป็นตัวกระตุ้น ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 เกมปริศนาซุโดะกุที่ใช้ในการทดลอง ของ Xaing and Chen (2010)

Grabbe (2011) ได้ศึกษาการออกกำลังทางจิตเพื่อเพิ่มความใส่ใจเป็นวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพของสมอง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าประสิทธิภาพการทำงานของความจำขณะทำงานจะลดลงตามอายุ เกมปริศนาซุโดะกุช่วยส่งเสริมการทำงานของกระบวนการหน่วยความจำทั้งเด็ก ผู้ใหญ่ และผู้สูงอายุ ทดสอบโดยใช้แบบทดสอบ และการแก้ปริศนาซุโดะกุ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของการเกมปริศนาซุโดะกุมีความสัมพันธ์กับความจำขณะทำงานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกมปริศนาซุโดะกุจะกลายเป็นจุดสนใจใหม่ในการศึกษาของการออกกำลังกายทางจิตและวิทยาการปัญญา

Jin et al. (2012) ได้ศึกษาให้ผู้รับการทดลองทำกิจกรรมที่เป็นเกมปริศนาซุโดะกุขนาด 4 x 4 ช่อง โดยทำกิจกรรมสองชุดชุดหนึ่งง่าย (Simple Task) และชุดหนึ่งยาก (Complex Task) พร้อมกับตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่องตรวจการทำงานของสมองด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) พบว่ามีการไหลเวียนระดับของออกซิเจนในเลือด (Blood Oxygen Level Dependent: BOLD) ไปบริเวณส่วนต่าง ๆ ของสมองอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสมองส่วนออกซิบิทัล (Occipital Lobe) และส่วนโพสทีเรียร์ พาไรทัล (Posterior Parietal Lobe) และในกิจกรรมชุดที่มีระดับยากจะมีปริมาณระดับออกซิเจนในเลือดมากกว่ากิจกรรมชุดที่มีระดับง่าย

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่าการเกมปริศนาซุโดะกุ เป็นการบริหารสมองวิธีหนึ่งที่ทำให้เกิดความใส่ใจ ความจำภาษาใช้งานดีขึ้น ทำให้การไหลเวียนระดับการใช้ออกซิเจนในเลือดสูงขึ้น สมองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำมาใช้เกมปริศนาซุโดะกุมาออกแบบโปรแกรมฝึกสมองสำหรับพัฒนาความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ให้ดีขึ้น

ตอนที่ 3 การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของกลุ่มเซลล์ในระบบประสาท คลื่นที่บันทึกได้นำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น การวินิจฉัยโรคทางระบบประสาท ความผิดปกติเกี่ยวกับการนอนหลับ การวินิจฉัยภาวะสมองตาย นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยเฉพาะสาขาจิตวิทยาระบบประสาท

ความเป็นมาของการบันทึกคลื่นไฟฟ้าจากผิวหนังกะโหลกศีรษะของสัตว์เริ่มต้นโดย Richard (1875, p. 278) ระบุว่ามีความเป็นไปได้ในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าอ่อน ๆ จากกะโหลกศีรษะ แต่การศึกษาของเขานำไปใช้ได้เฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช่มนุษย์ จนกระทั่งการศึกษาของ Berger (1929, pp. 527–570) ที่ได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่ง EEG ที่อธิบายโดยละเอียดในหลักการ และคุณลักษณะของ EEG เขาอธิบายถึง Alpha Wave Activity (8-13 รอบต่อวินาที) และระบุว่าคลื่นลดลงตามความสนใจ (Attention) จะดีขึ้น Berger ยังเป็นคนแรกที่เชื่อมโยง EEG กับความสนใจ เขาระบุว่าการเปลี่ยนแปลง Alpha Wave Activity เนื่องมาจากการกระตุ้นศูนย์สมองของการทำงานเฉพาะที่ (เช่นการตื่นตัวของ Visual Cortex เพื่อตอบสนองสิ่งกระตุ้นทางทางสายตา) ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งโดยทั่วไปในส่วนอื่น ๆ ของ Cortex เขาอธิบายเหตุผลว่าการเปลี่ยนแปลง Alpha Wave Activity แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการยับยั้งของ Cortical ที่เกิดพร้อมกับการตื่นตัวของศูนย์กลางการทำงานต่าง ๆ กัน และการเปลี่ยนแปลง การยับยั้ง การตื่นตัว เช่นนี้จำเป็นสำหรับการประมวลผลต่อสิ่งกระตุ้นภายนอกหรือภายใน (Ray, 1990) ความสนใจที่กระจายในวงกว้างความสัมพันธ์กับ Alpha Wave Activity ในขณะที่ความสนใจเฉพาะจุดมีความสัมพันธ์กับการลดลงหรือการหายไปของ Alpha Wave Activity จากกวิจัยเพิ่มเติมของ Berger พบว่าคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้น (ซึ่งเขาเรียกว่า Beta Waves) มีความสัมพันธ์กับการทำงานของสมองแบบเฉพาะจุด เขาอธิบายว่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้าของแบบแผน Wave Activity น่าจะเป็น Thalamic เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการกระตุ้นโดยทั่วไปในขณะที่ข้อค้นพบเดิมส่วนใหญ่ของ Berger ยังใช้ได้ แต่มีข้อสังเกตว่างานวิจัยไม่สามารถแสดงให้เห็นว่า Subcortical Activity เท่านั้นที่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าของแบบแผน EEG งานวิจัยในปัจจุบันสนับสนุน สมุติฐานที่เป็นโครงสร้าง Subcortical เช่น Thalamus ทำหน้าที่เป็น Presynaptic Inputs ไปยัง Cortical Neural Pathways โดยที่ Presynaptic Inputs ประสานการทำงานของเซลล์ประสาทของ Cortical Neurons กลุ่มใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดการกระตุ้น ดังนั้นจึงไม่ใช่ Neural Activity ของโครงสร้าง Subcortical ที่ถูกบันทึก แต่เป็นการทำงานของ Cortical Neurons ที่มีโครงสร้าง นักวิจัยส่วนใหญ่เห็นด้วยที่ว่าแหล่งกำเนิดที่น่าจะเป็นไปได้ของแบบแผน

คลื่นสมองซึ่งบันทึกที่กะโหลกศีรษะเป็น "การ Depolarization ของ Dendrites Trees ของ Pyramidal Cell ใน Cerebral Cortex" (Ray, 1990)

2. กลไกการเกิดคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG)

ความสามารถทางวิทยาการปัญญาขึ้นกับการทำงานของเปลือกสมองหรือ ซีรีบรัล คอร์เทกซ์ (Cerebral Cortex) ดังนั้นการจะเข้าใจกลไก และความแตกต่างของความสามารถทางวิทยาการปัญญา ต้องอาศัยการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของสมองในส่วนนี้ ในสมองของคนเรานั้นจะมีเซลล์ประสาทและเซลล์ค้ำจุนบริเวณเนื้อเยื่อของซีรีบรัล คอร์เทกซ์ที่มีการจัดเรียงอย่างเป็นระบบระเบียบมาก ซึ่งแสดงให้เห็นโดยการสร้างศักย์ไฟฟ้าเองอย่างเป็นจังหวะต่อเนื่องกัน (Spontaneous Rhythm) Berger เป็นคนแรกที่ทำให้มีการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองอย่างเป็นระบบและบัญญัติศัพท์คำว่า Electroencephalogram (EEG) หรือคลื่นไฟฟ้าสมองขึ้น โดยหมายความถึงการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของสมอง การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองนี้ทำได้โดยวางขั้วไฟฟ้า (Electrode) บนหนังศีรษะ EEG นี้ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์โดยบ่งชี้ถึงสภาพการทำงานของสมองในภาวะปกติ และมีพยาธิสภาพ และยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของสมองระหว่างทำกิจกรรมต่าง ๆ แต่มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองได้แก่ ปริมาตรของเนื้อสมอง ความหนาของซีรีบรัล คอร์เทกซ์ และปริมาตรของน้ำหล่อสมองและไขสันหลัง (Niedermeyer, & Silva, 1999)

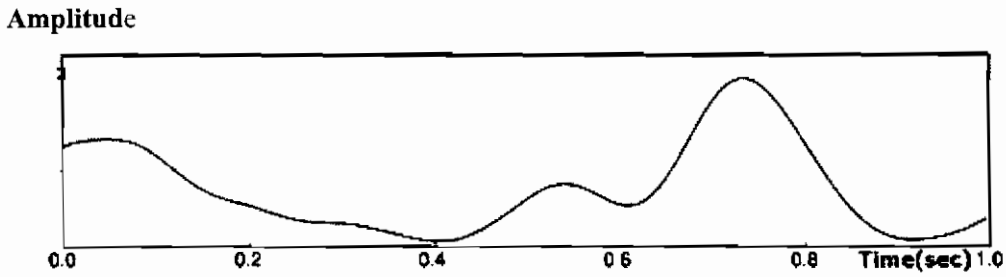
สมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทเป็นพัน ๆ ล้านเซลล์ แต่ละเซลล์จะมีการติดต่อถึงกัน (Synape) โดยอาศัยสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนจากภายนอกเซลล์เข้าไปในเซลล์ ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จากขณะพักซึ่งมีค่าเป็นลบเป็นศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (Action Potential) ซึ่งมีค่าเป็นบวก ดังนั้นคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จึงเกิดจากผลรวมของศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณจุดประสานประสาท (Synaptic Potential) เดนไดรต์มากมายที่อยู่ใกล้ผิวของคอร์เทกซ์ใต้อิเล็กโตรดที่บันทึก เซลล์ประสาทที่มีการเชื่อมต่อมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณจุดประสานประสาท การส่งสัญญาณจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง การเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ของคลื่นไฟฟ้าสมอง เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วสองขั้ว (Dipole) ที่มีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์อยู่เสมอเนื่องจากมีการนำเข้า (Input) เกิดการเปลี่ยนแปลงไปขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่กล่าวนี้ ขั้วหนึ่งอยู่ที่บริเวณเดนไดรต์ในคอร์เทกซ์ชั้นตื้น ๆ ส่วนอีกขั้วหนึ่งอยู่บริเวณตัวเซลล์ที่อยู่ลึกลงไป (Pyramidal Cell) นอกจากนี้การเปลี่ยนของคลื่นไฟฟ้าสมองยังขึ้นอยู่กับการส่งสัญญาณประสาทระหว่างคอร์เทกซ์กับธาลามัส ซึ่งบริเวณทั้งสองนี้สามารถให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นจังหวะได้ โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณธาลามัสจะส่งต่อมาที่คอร์เทกซ์ (Thalamocortical Network) ซึ่งสามารถบันทึกได้บริเวณหนังศีรษะ

กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่เซลล์ประสาทยิ่งมากและยิ่งใกล้ตำแหน่งที่เกิดไฟฟ้า สัญญาณที่บันทึกได้จะยิ่งมีขนาดความแรงหรือได้คลื่นไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่มาก แต่อิเล็กโตรดที่ใช้บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองค่อนข้างไกลจากต้นตอของสัญญาณไฟฟ้าในคอร์เทกซ์ ด้วยเหตุผลนี้ขนาดของคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้จากหนังศีรษะภายนอกจะเล็กกว่าขนาดศักย์ไฟฟ้าที่ผนังเซลล์ที่บันทึกจากภายในประมาณ 100 – 1,000 เท่า ถ้าบันทึกจากผิวของคอร์เทกซ์โดยตรง (Electrocorticogram) ระหว่างการทดลองในสัตว์หรือระหว่างการผ่าตัดสมองคน จะได้คลื่นไฟฟ้าสมองขนาดใหญ่กว่าที่บันทึกจากหนังศีรษะประมาณ 10 เท่า อย่างไรก็ตามคลื่นไฟฟ้าสมองก็สะท้อนถึงศักย์ไฟฟ้าที่รวมเข้าพร้อมกันจากเซลล์ประสาทกลุ่มใหญ่กลุ่มหนึ่ง ได้มีการประมาณไว้ว่า อิเล็กโตรด 1 ตารางมิลลิเมตรที่วางบนผิวของคอร์เทกซ์จะสุ่มตัวอย่างไฟฟ้าจากเซลล์ประสาท (Neuron) ประมาณ 100,000 ตัว และลงไปลึกประมาณ 0.5 มิลลิเมตร แต่ถ้าบันทึกโดยยังมีกะโหลกศีรษะ ไฟฟ้าที่ได้ขนาดเดียวกันนี้ต้องได้มาจากเซลล์ประสาทมากขึ้นถึง 10 เท่า ด้วยเหตุผลนี้เองขนาดของศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้ขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ประสาทที่ส่งกระแสประสาทออกมาพร้อมกัน และอยู่ในตำแหน่งที่มีทิศทางเดียวกันกระแสจึงสามารถรวมได้

3. การจำแนกชนิดตามความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง

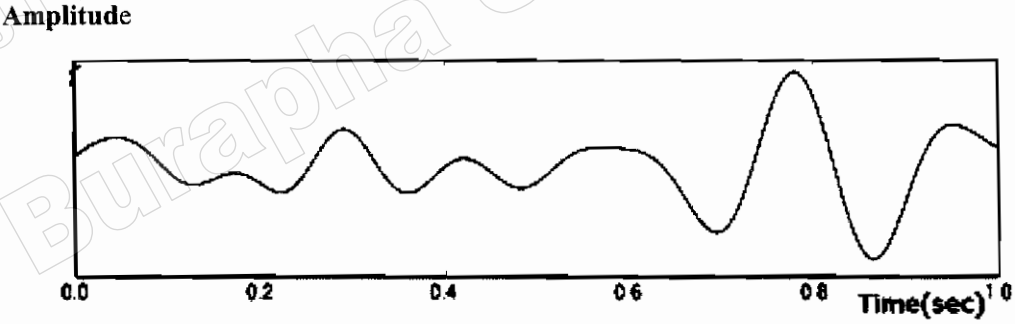
การศึกษาด้านประสาทวิทยาได้ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองในแง่ของย่านความถี่ที่สัมพันธ์กับกิจกรรมของร่างกายมนุษย์ เมื่อวางขั้วไฟฟ้าบนหนังศีรษะได้อย่างเหมาะสมสามารถบันทึกศักย์ไฟฟ้าต่ำ ๆ ไม่สม่ำเสมอจากส่วนต่าง ๆ ของสมองได้ ศักย์ไฟฟ้าเหล่านี้มีขนาดเพียง ไมโครโวลต์ เท่านั้น คลื่นไฟฟ้าปกติประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าที่มีขนาดและความถี่ต่าง ๆ กัน อย่างไรก็ตามระหว่างสถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่งทางสรีรวิทยาคลื่นไฟฟ้าจะมีการแกว่งขึ้นลง แต่พบว่ามีความถี่หนึ่งเด่นขึ้นมา คุณสมบัตินี้สำคัญมากกว่าขนาดของคลื่นแต่ละคลื่นในการแปลผลคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังนั้นจึงมีการแปลผลคลื่นไฟฟ้าตามความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยเรียกความถี่เหล่านี้ตามอักษรกรีกได้แก่

1. คลื่นเดลต้า (Delta) ความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์ จะใช้ในการศึกษาการทำงานของสมองขณะนอนหลับลึก และการศึกษาอาการบกพร่องทางสมอง คลื่นนี้มักใหญ่ ช้าและไม่สม่ำเสมอ พบในเด็กไม่พบในผู้ใหญ่ที่กำลังตื่น แต่เกิดขึ้นระหว่างระยะหลับลึก (Deep Sleep) มีการศึกษาในสัตว์ทดลองที่ตัดโครงสร้างที่อยู่ใต้คอร์เทกซ์เพื่อแยกซีรีบรัล คอร์เทกซ์ออกจากธาลามัส ก็ยังสามารถพบคลื่นนี้ได้ ดังนั้นคลื่นเดลตาสามารถเกิดในคอร์เทกซ์ได้โดยไม่ขึ้นกับการทำงานของโครงสร้างสมองส่วนล่าง



ภาพที่ 14 สัญญาณช่วงความถี่เดลต้า (Delta)

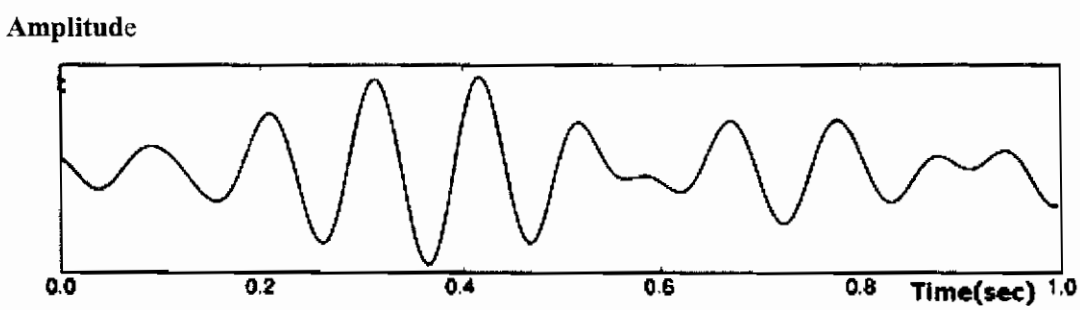
2. คลื่นเธต้า (Theta) ความถี่ประมาณ 4-8 เฮิรตซ์ จะสัมพันธ์กับร่างกายขณะหลับไม่ลึก หรือขณะสะลึมสะลือ มักเป็นคลื่นขนาดใหญ่สม่ำเสมอ พบในส่วนหน้ามากกว่าส่วนขมับ (Temporal) ของเด็กปกติ และอาจเกิดระหว่างความตึงเครียดทางอารมณ์ในผู้ใหญ่บางราย โดยเฉพาะระหว่างความรู้สึกผิดหวังและคับข้องใจ ในภาวะปกติคลื่นนี้จะมีลักษณะเหมือนกันทั้งในสมองซีกซ้ายและซีกขวา



ภาพที่ 15 สัญญาณช่วงความถี่เธต้า (Theta)

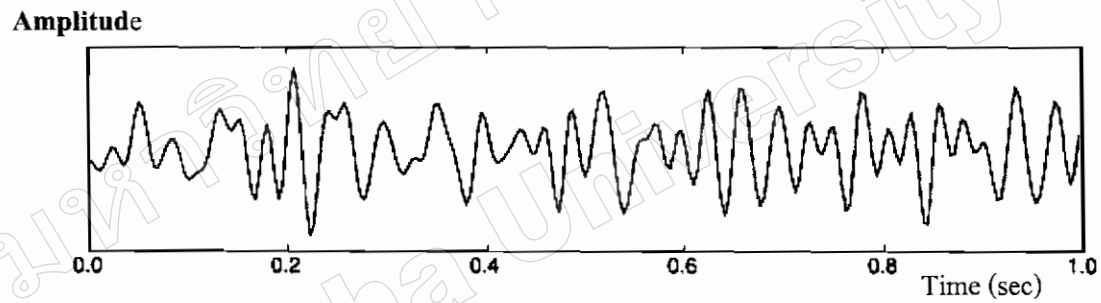
3. คลื่นอัลฟ่า (Alpha) ความถี่ประมาณ 8-12 เฮิรตซ์ สัญญาณนี้จะวัดได้ง่ายเมื่อหลับตา และทำจิตใจให้ผ่อนคลาย สัญญาณในช่วงความถี่นี้จะคล้ายกับสัญญาณอีอีจี (EEG) ประเภทหนึ่งที่เรียกว่ามิวริทึม (Mu, μ-rhythm) ซึ่งเป็นสัญญาณที่เกี่ยวกับการสั่งการเคลื่อนไหวของมือและแขนจากสมองส่วนที่เรียกว่ามอเตอร์คอร์เทก (Motor Cortex) เมื่อสมองคิดอยากจะเคลื่อนไหวอวัยวะจะทำให้สัญญาณนี้มีแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และแรงดันจะลดลงเมื่อเกิดเคลื่อนไหว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



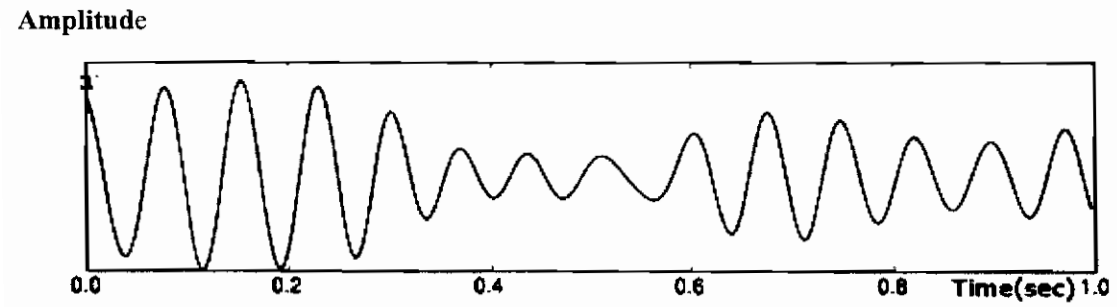
ภาพที่ 16 สัญญาช่วงความถี่แอลฟา (Alpha)

4. คลื่นเบต้า (Beta) ความถี่ย่านที่สูงกว่า 12 เฮิรตซ์ขึ้นไป เป็นคลื่นที่สัมพันธ์กับกิจกรรมหลาย ๆ อย่างที่เกิดขึ้นในขณะที่รู้สึกตัว ปัจจัยหลายอย่างเช่นการวิตกกังวล การรับสารเคมีหรือยา สามารถมีผลทำให้คลื่นเบต้ามีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปได้



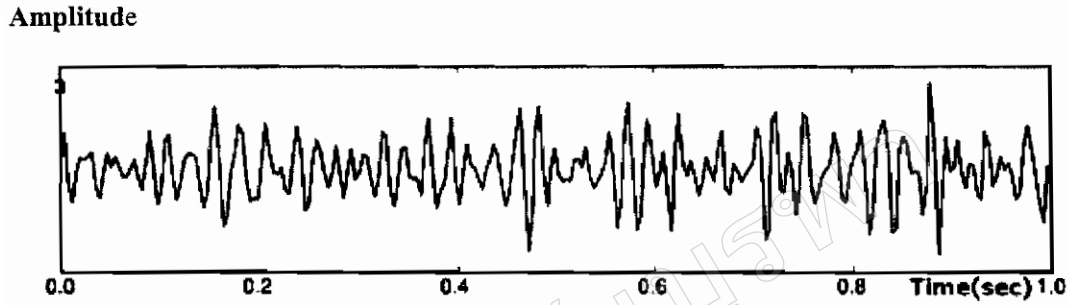
ภาพที่ 17 สัญญาณช่วงความถี่เบต้า

5. คลื่นเอสเอ็มอาร์ (Sensorimotor, SMR) ความถี่ประมาณ 12-16 เฮิรตซ์ เกี่ยวกับการรู้สึกตัว การมีสติ การรับรู้ของร่างกายในขณะนั้น

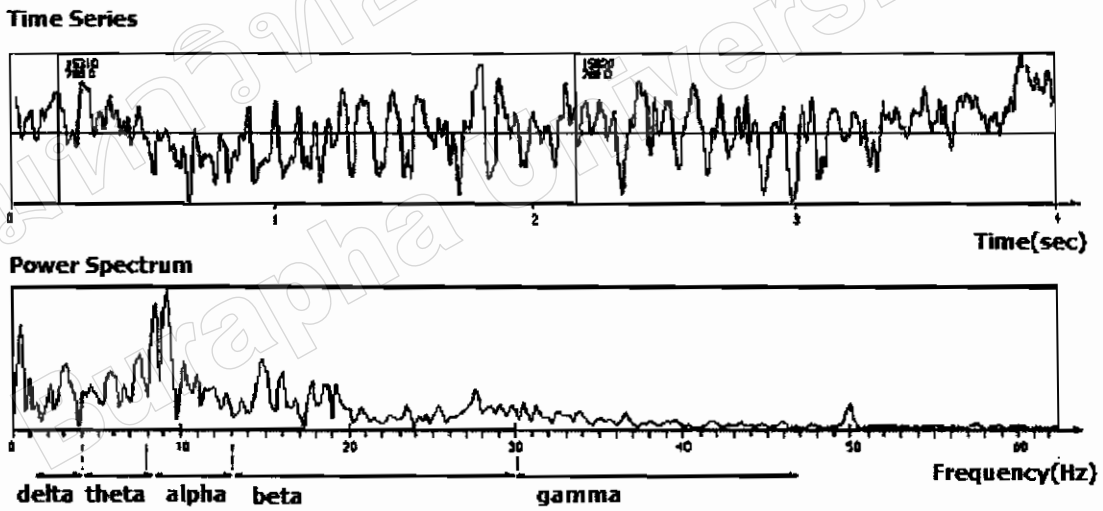


ภาพที่ 18 สัญญาณเอสเอ็มอาร์

6. คลื่นแกมม่า (Gamma) ความถี่ประมาณ 26-100 เฮิรตซ์ จะเกี่ยวกับด้านความคิดและจิตใจ เช่น ความกลัว การแก้ไขปัญหา การเรียนรู้ การมีสติรู้จักคิด เป็นต้น



ภาพที่ 19 สัญญาณช่วงความถี่แกมม่า



ภาพที่ 20 สเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณ EEG ในแต่ละช่วงความถี่

4. วิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

เครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองมีหน่วยขยายสัญญาณแยกจากกันต่างหาก เพื่อให้สามารถบันทึกจากหนังศีรษะหลาย ๆ จุดไปพร้อม ๆ กัน ขั้วไฟฟ้าที่ใช้มักเป็น Silver Chloride Disks ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร วางติดกับหนังศีรษะโดยไม่ต้องโกนผม หรือใช้หมวกสำเร็จรูป โดยทั่วไปมักใช้ขั้วไฟฟ้า จำนวน 16 อันหรือ 8 คู่ วางในรูปแบบซึ่งสามารถสุ่มตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้า

รอบความโค้งของสมองได้ ตามมาตรฐานสากลใช้ระบบวางขั้วไฟฟ้าเรียกว่า ระบบ 10-20 (10-20 Electrode Placement System) โดยแบ่งศีรษะออกเป็น 8 ส่วน คือ Frontal Pole (FP) Frontal (F) Central (C) Parietal (P) Temporal (T) และ Occipital (O) เป็นการบันทึกที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่สำหรับงานวิจัยต่าง ๆ เริ่มจากการวัดระยะจากดั้งจมูกที่อยู่ระหว่างคิ้วทั้งสองข้างถึงปุ่มท้ายทอย (Inion) ถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ส่วนละ 10% และ 20% ของระยะทั้งหมด แล้ววางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบนศีรษะส่วนที่เส้นแบ่งนั้นมาตัดกัน แต่ปัจจุบันมีหมวกที่วางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสำเร็จรูปซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยคลื่นไฟฟ้าสมองมากขึ้น ขั้วไฟฟ้าคู่หนึ่ง ๆ จะมีสัญลักษณ์ที่บ่งบอกว่าเป็นซีกซ้ายหรือซีกขวา ทางซ้ายมือจะมีชื่อเป็นเลขคี่ส่วนทางขวามือจะมีชื่อเป็นเลขคู่ การเรียกชื่อขั้วไฟฟ้าในส่วนใดส่วนหนึ่งจะไม่เรียงกัน ทั้งนี้เพราะต้องการเพิ่มขั้วไฟฟ้าที่ต้องการจะบันทึกมากขึ้นกว่าเดิมจะได้สามารถเรียกชื่อขั้วไฟฟ้าใหม่ตามตัวเลขที่กระโดดข้ามไปนั้นได้ (Kropoto et al. 2007, p. 3-11)

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองทำได้ 2 วิธี คือบันทึกแบบสองขั้ว (Bipolar Recording) และแบบขั้วเดียว (Monopolar หรือ Unipolar Recording) การบันทึกแบบสองขั้วเป็นการบันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว บนหนังศีรษะ ส่วนการบันทึกแบบขั้วเดียวเป็นการบันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตำแหน่งขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งบนหนังศีรษะกับตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) ที่ว่างอยู่ไกลออกไป ปกตินิยมว่างตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ติ่งหู (A_1 และ A_2) และกลางกะหม่อม (Vertex) ของกะโหลกศีรษะ (Cz) การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าทำได้โดยการพิจารณาเกี่ยวกับ แกนความถี่ (Frequency) และแอมปลิจูด (Amplitude) ระยะตั้งแต่เริ่มกระตุ้นจนเริ่มตอบสนองหรือระยะแฝง (Latency) การกระจายของคลื่นไฟฟ้าสมอง การวิเคราะห์ในปัจจุบันมักใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทำให้มีความสะดวกมากขึ้น

5. การกำหนดและการวิเคราะห์รูปแบบคลื่นตามช่วงความถี่

รูปแบบคลื่นที่อธิบายข้างต้นสามารถตรวจพบได้ในการบันทึก EEG โดยเฉพาะรูปแบบคลื่น Alpha และ Beta เพราะมีความถี่สูงกว่า จึงเป็นรูปแบบคลื่นที่เห็นได้ชัด แต่ในขณะที่รูปแบบคลื่นหนึ่งปรากฏชัดที่สุดในการบันทึก EEG ช่วงความถี่คลื่นอื่น ๆ ส่งผลให้คลื่นซับซ้อน เนื่องจากยากที่จะตรวจพบองค์ประกอบทั้งหมดของรูปแบบคลื่นที่ซับซ้อน จึงได้พัฒนาเทคนิคทางสถิติเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้านิยมใช้ Fast Fourier Transform (FFT) ซึ่งอาศัย Algorithm ที่พัฒนาโดย Cooley and Tukey (1965) ซึ่ง Algorithm นี้อยู่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ที่ปรับให้เรียบแล้วเรียกว่า การค่าประมาณ (Spectral Density Estimate) การพล็อต Spectral Density แสดงแอมปลิจูด ของแต่ละช่วงความถี่ในการบันทึกค่า ซึ่งแอมปลิจูดเหล่านี้บางครั้งเรียกว่า Power ของช่วงความถี่ ค่าประมาณ Power เหล่านี้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

การวัด EEG เป็นที่นิยมกันมากขึ้นในยุค ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เพื่อบันทึกรูปแบบคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดจากการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นบางอย่าง และต่อการประมวลผลความคิดในรูปแบบเฉพาะ Vaughn (1969) เสนอการเรียกรูปแบบคลื่นเหล่านี้ว่าศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวกับเหตุการณ์ (Event-Related Potentials: ERPs) งานวิจัยที่ใช้เทคนิค ERP ได้ศึกษาสรีรวิทยาของสมองโดยการพัฒนาวิธีการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกับเวลา ระหว่างสิ่งกระตุ้นที่ต้องอาศัยการประมวลผลบางรูปแบบ กับการตอบสนองที่สัมพันธ์กัน ในขณะที่งานวิจัย EEG มีความสำคัญต่อการอธิบายสภาวะทางประสาทสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับรูปแบบต่าง ๆ กันของความคิดและพฤติกรรม เทคนิค ERP ให้ข้อพิสูจน์เกี่ยวกับการตอบสนองทางประสาทสรีรวิทยาบางอย่างต่อสิ่งกระตุ้นและการทำงานของสมอง การวัดด้วยเทคนิค ERP เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการระบุว่าบุคคลตอบสนองอย่างไรต่อสิ่งกระตุ้นแต่ละชนิด

รูปแบบคลื่น ERP ส่วนใหญ่ระบุได้จากแกนความสูง (Amplitude) และ เวลา (Latency) โดยที่ Amplitude Components ที่เป็นบวกแทนด้วยสัญลักษณ์ 'P' ในขณะที่ Amplitude Components เป็นลบแทนด้วยสัญลักษณ์ 'N' กำหนด Latency มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที ซึ่งหมายถึงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มการกระตุ้นไปจนถึงการปรากฏของรูปแบบที่กำหนด ดังนั้นรูปแบบคลื่นที่ระบุเป็น N100 หมายความว่า Component ลบเกิดขึ้นเฉลี่ย 100 มิลลิวินาทีหลังเริ่มการกระตุ้น มีข้อสังเกตว่าการแปลความหมายรูปแบบคลื่น นั่นคือ Component (เช่น N100) แสดงด้วย Amplitude สูงสุดภายใน Predetermined Range เช่น N100 Amplitude Score จะเป็น Amplitude Point ลบสูงสุดระหว่าง 0-200 มิลลิวินาทีหลังเริ่มกระตุ้น (Coles, Gratton, Fabiani, 1990) คะแนน Latency สำหรับรูปแบบคลื่นเดียวกันจะเป็นจำนวนมิลลิวินาทีที่ผ่านไปเมื่อบันทึกค่า Amplitude เป็นลบสูงสุด มีข้อพิจารณาทางสถิติหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการระบุคะแนน Amplitude และ Latency ซึ่งจะอภิปรายโดยละเอียดในส่วนของการวิเคราะห์ ลักษณะพื้นฐานบางประการของรูปแบบคลื่น ERP ที่สำคัญมีดังนี้

N100 เป็นรูปแบบคลื่นลบที่เกิดระหว่าง 0-200 มิลลิวินาทีหลังเริ่มการกระตุ้น เป็นรูปแบบคลื่นแรกที่พบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ERPs สามารถใช้เพื่อศึกษาเรื่องความสนใจ (Coles, Gratton, & Fabiani, 1990) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง N100 มีความสัมพันธ์กับความสนใจเชิงเลือกสรร อันเป็นกลไกสมมุติฐานของการควบคุมกระแสข้อมูลในการประมวลผลความคิด (เช่น โมเดลกรองของ Broadbent (1957) และโมเดลเชาว์ปัญญาของ Kahneman, (1973) (Coles, Gratton, & Fabiani, 1990) เช่นเดียวกับงานวิจัยคัดกรองแบบเดิม วิธีการ N100 ใช้ภารกิจจำแนกลักษณะ โดยให้กลุ่มตัวอย่างมุ่งความสนใจไปที่ลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยทั่วไป N100 Amplitude จะกว้างกว่าในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่สนใจ

P300 พบเป็นครั้งแรกโดย Sutton, Braren, Zubin, and John (1965) เป็นหนึ่งในรูปแบบคลื่นที่มีการศึกษามากที่สุดเกี่ยวกับการทำหน้าที่การคิด เป็นรูปแบบคลื่นบวกที่เกิดประมาณ 300 มิลลิวินาทีหลังเริ่มกระตุ้น ค่า Amplitude สูงสุดสำหรับ P300 โดยทั่วไปจะช้ากว่า 300 มิลลิวินาที เพราะเป็นรูปแบบคลื่นที่กว้าง P300 มีทิศทางที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 250-350 มิลลิวินาที แต่ Amplitude สูงสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ เกิดขึ้นสูงถึง 750 มิลลิวินาทีหลังเริ่มกระตุ้น โดยทั่วไป P300 ปรากฏระหว่างภารกิจที่ให้กลุ่มตัวอย่างมุ่งความสนใจไปที่สิ่งกระตุ้นที่ปรากฏทีละภาพ P300 Amplitude เพิ่มขึ้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างมองสิ่งกระตุ้นที่ปรากฏนาน ๆ ครั้งหรือสิ่งกระตุ้นที่เครียดมากขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้จากกระจายกว้าง ๆ ทั่วกระโหลกศีรษะ แต่ Amplitudes สูงสุดโดยทั่วไปจะพบเหนือบริเวณ Parietotemporal Region (Andreassi, 2000, pp. 267-273)

กิจกรรมที่มักใช้เพื่อหา P300 คือ การใช้สิ่งแปลกใหม่ ที่ประกอบด้วยสิ่งกระตุ้นอย่างน้อย 2 หรือ 3 รูปแบบ ได้แก่ เป้าหมาย สิ่งรบกวน และสิ่งแปลกใหม่ สิ่งกระตุ้นที่ตามเป้าหมาย เป็นสิ่งที่กลุ่มตัวอย่างรู้จักและคาดคะเนได้และให้ตรวจสอบ โดยการนับจำนวนครั้งที่สิ่งกระตุ้นปรากฏในชุดหนึ่ง ๆ สิ่งกระตุ้นที่เป็นสิ่งรบกวนที่คาดคะเนได้ แต่กลุ่มตัวอย่างไม่ต้องตรวจสอบ สิ่งกระตุ้นที่แปลกใหม่คาดคะเนไม่ได้ จึงไม่กำหนดให้ตรวจสอบ สิ่งกระตุ้นเป้าหมายและแปลกใหม่ปรากฏด้วยความถี่ต่ำกว่าสิ่งกระตุ้นรบกวน สิ่งกระตุ้นทั้งหมดปรากฏเรียงลำดับแบบสุ่ม โดยทั่วไป P300 Amplitude เพิ่มขึ้นสำหรับสิ่งกระตุ้นเป้าหมายและสิ่งกระตุ้นแปลกใหม่ ในขณะที่การนำเสนอมีความถี่ลดลง P300 Latency อธิบายได้ด้วยเวลาการประเมินสิ่งกระตุ้น การใช้เวลามากขึ้นเพื่อประเมินสิ่งกระตุ้น (นั่นคือ ระบุว่าเป็นเป้าหมายหรือไม่) ก็ยิ่งใช้เวลานานขึ้นกว่าจะได้ค่า P300 amplitude สูงสุด (Cole, Gratton, & Fabiani, 1990)

N400 เป็นรูปแบบคลื่นลบที่เกิดระหว่าง 400-700 มิลลิวินาทีในการตอบสนองภารกิจจำแนกความหมาย มีข้อสังเกตว่า P300 ซึ่งเป็นรูปแบบคลื่นที่มี Latency ยาวกว่า มีความสัมพันธ์กับการประมวลผลความคิดช้ากว่า ในขณะที่ P300 มีความสัมพันธ์กับการจำแนกความแตกต่างทางกายภาพระหว่างสิ่งกระตุ้น แต่ N400 มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างด้านความหมาย ยังไม่ชัดเจนว่า P300 จะพบได้หรือไม่พร้อมกับการตอบสนอง N400 เนื่องจากความแตกต่างด้านความหมายเป็นความแตกต่างทางกายภาพเช่นกัน แต่เป็นที่ชัดเจนว่า N400 ไม่ปรากฏเฉพาะความแตกต่างทางกายภาพ (Coles, Gratton, & Fabiani, 1990) รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้สำหรับ N400 สร้างขึ้นโดย Kutas & Hillyard (1980, pp. 99-116) โดยให้กลุ่มตัวอย่างอ่านประโยคที่ขาดคำสุดท้าย หลังจากลบประโยคออกจากจอภาพ จึงแสดงคำสุดท้าย พบว่า N400 เพิ่มขึ้นซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับคำสุดท้ายว่ามีความเหมาะสมเพียงใด เช่น ถ้าประโยคคือ "ฉันต้องการไปว่ายน้ำใน" คำสุดท้ายอาจเป็น "สระว่ายน้ำ" (เหมาะสม), "บ่อน้ำ" (ไม่เหมาะสม), "บ่อน้ำพุร้อน" (ไม่เหมาะสม) N400

Amplitude เพิ่มขึ้นถ้าคำสุดท้ายเหมาะสมในขณะที่มีรูปแบบคลื่นอีกมากที่ระบุได้จากการวิจัย ERP แต่รูปแบบคลื่นที่นำเสนอข้างต้น มีการวิเคราะห์มากที่สุด และเกี่ยวข้องที่สุดกับการศึกษาครั้งนี้ รูปแบบคลื่นเหล่านี้เกิดขึ้นในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่แปลกใหม่หรือไม่คาดคิด ดังนั้น รูปแบบคลื่นเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจความแตกต่างระหว่างบุคคลในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่แปลกใหม่หรือไม่คาดคิด

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

Arce, Ramos, Guevara, and Corsi-Cabrera (1995) ได้ศึกษาผลของความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และเพศที่มีต่อพลังงาน EEG ในนักเรียนมัธยมศึกษาที่มีอายุระหว่าง 17 ถึง 21 ปี วัดความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยแบบทดสอบ และวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะลืมตาและหลับตา วิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าสมองเป็น Absolute Power (AP) และ Relative Power (RP) ของช่วงคลื่นความถี่ 5 ช่วงคลื่นความถี่ ผลปรากฏว่า กลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์สูงคลื่นความถี่แอลฟา 1 มี RP ต่ำกว่ากลุ่มที่มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ต่ำ และผู้หญิงมี AP ของช่วงความถี่ Beta1 และ Beta2 สูงกว่าผู้หญิงแสดงว่า มีความเครียดมากกว่าผู้ชาย

Klingberg, Forssberg, and Westerberg (2002) ได้ศึกษาการใช้โปรแกรมการฝึกที่อาศัยกระบวนการทำงานของสมองที่เกี่ยวข้องกับความจำขณะคิดประกอบด้วยกิจกรรม 4 กิจกรรม ได้แก่ Visual Span Task, Backward Span Task, Letter-Span Task และ Go/ Nogo Task ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีปัญหาสมาธิสั้น (Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder: ADHD) โดยฝึกทางหน้าจอติดต่อกันทุกวันครั้งละ 25 นาที เป็นเวลา 5-6 สัปดาห์ คณะผู้วิจัยได้มีการวัดเชาวน์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลโดยใช้แบบสอบ Advanced Progressive Matrices (APM) ก่อนและหลังฝึก ผลการวิจัยปรากฏว่า คะแนนจากการทำแบบสอบ APM หลังการฝึกสูงกว่าก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Dehaene et al. (2004) ได้ศึกษาเรื่องคณิตศาสตร์กับสมองการศึกษาโดยการถ่ายภาพเซลล์ประสาทของมนุษย์ ชี้ให้เห็นว่าความสามารถด้านคณิตศาสตร์ของมนุษย์มีต้นกำเนิดจากสมองอย่างเห็นได้ชัด บริเวณร่องอินทราพาไรทัล (Intraparietal Sulcus) ของมนุษย์ที่ได้รับการกระตุ้นอย่างเป็นระบบในภารกิจตัวเลขและอาจเป็นส่วนที่สร้างสัญลักษณ์แทนจำนวน ส่วนบริเวณสมองส่วนพรีเซ็นทรัล (Precentral) และส่วนพรีฟรอนทัลทางด้านหลัง (Inferior Prefrontal Cortex) มีการกระตุ้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างคำนวณเลขในใจ พบลักษณะที่คล้ายกันนี้บริเวณสมองกลีบข้างและสมองกลีบหน้า ในลิง และการจำแนกตามลักษณะข้อมูลที่เซลล์ประสาทได้รับจากตัวเลข

Jaeggi, buschkuehl, Jonides, and Perrig (2008) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้วิธีฝึกสมองทางคอมพิวเตอร์ที่ช่วยปรับปรุงความสามารถในการแก้ปัญหาทั่วไป ในกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุเฉลี่ย 19 ปี แบ่งกลุ่มอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งฝึกทางคอมพิวเตอร์ 25 นาทีต่อวัน โปรแกรมการฝึกสมองนั้นมีการฟังเสียงอ่านเป็นชุด ๆ แล้วให้ฟื้นความจำว่าเป็นชุดเดียวกับที่เคยฟังในขั้นตอนก่อน ๆ มาแล้วหรือไม่ ขณะเดียวกันก็มีการจับคู่ชุดสี่เหลี่ยมจัตุรัสในรูปแบบต่าง ๆ ให้เข้ากับชุดก่อน ๆ ที่เคยดูผ่านมา แต่อีกกลุ่มไม่ได้ฝึกอะไรเลย การฝึกนั้นทำซ้ำ ๆ ทุกวันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วให้กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มทำแบบสอบ 2 ชุด คือแบบสอบการใช้เหตุผล และแบบสอบ APM เปรียบเทียบผลการทดสอบปรากฏว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกทำคะแนนจากแบบสอบการใช้เหตุผล และแบบสอบ APM ได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก

Davis et al. (2009) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของเซลล์ประสาทของความสามารถในการคำนวณของเด็ก โดยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่อง fMRI การศึกษาเป็นการวิเคราะห์การประมวลผลด้านคณิตศาสตร์ในกลุ่มผู้ใหญ่ เพื่อวิเคราะห์กลุ่มเซลล์ประสาทของทักษะในการคำนวณ และอิทธิพลของอายุที่มีต่อความสัมพันธ์ดังกล่าวในกลุ่มผู้ใหญ่และกลุ่มเด็กระดับเกรด 3 ที่มีค่าเฉลี่ยเกินกว่าค่าเฉลี่ยความสามารถทางคณิตศาสตร์ ให้กลุ่มตัวอย่างทำกิจกรรมการคำนวณตัวเลขที่แน่นอนและโดยประมาณทั้งแบบง่ายและยากในขณะที่อยู่ในเครื่อง fMRI ปรากฏว่าเด็กและผู้ใหญ่มีการกระตุ้นโครงข่ายประสาทบริเวณสมองกลีบหน้า (Frontal) และสมองกลีบข้าง (Parietal Lobes) ระหว่างการคำนวณตัวเลข และพื้นที่สมองเพิ่มกิจกรรมที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบโดยตรงระหว่างเด็กกับผู้ใหญ่ แสดงให้เห็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในระดับการกระตุ้นของกิจกรรมทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบบแผนการกระตุ้นในส่วนสมองกลีบข้าง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเนื่องมาจากอายุ

Karbach and Kray (2009) ได้ศึกษาผลของการฝึกด้วยกิจกรรมที่ต้องอาศัยการปรับเปลี่ยนการทำงานของสมองตามสถานการณ์หรือสิ่งกระตุ้นที่เปลี่ยนไป (Task-Switch Training) ซึ่งความสามารถทางด้านนี้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในหน้าที่บริหารจัดการของสมอง (Executive Function) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 126 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยเด็ก (อายุเฉลี่ย 9 ปี) กลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ตอนต้น (อายุเฉลี่ย 22 ปี) และกลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ตอนปลาย (อายุเฉลี่ย 69 ปี) ส่วนกลุ่มควบคุมนั้นประกอบด้วยทั้งสามช่วงวัย กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3กลุ่มยกเว้นกลุ่มควบคุมจะได้รับการฝึก Task-Switch Training ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์สัปดาห์ละ 4 วัน วันละ 30-40 นาที กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับการทดสอบเชาวน์ปัญญาเชิงเลื่อนไหลด้วยแบบสอบ Standard Progressive Matrices (SPM) ของราเวน ก่อนฝึกและ

หลังฝึก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 กลุ่มที่ได้รับการฝึก Task-Switch Training ได้คะแนนจากแบบสอบ SPM เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและก่อนได้รับการฝึก

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยสรุปได้ว่าการฝึกสมองด้วยเกมปริศนาซุโดะกุเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มการทำงานของสมองให้มีประสิทธิภาพ ทำให้กระตุ้นสมองบริเวณที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดด้านมิติสัมพันธ์ และการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของกลุ่มเซลล์ในระบบประสาท คลื่นที่บันทึกได้นำมาใช้ประโยชน์ในทางการวิจัย และด้านอื่น ๆ ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจการทำงานของสมองที่มีความซับซ้อนได้ละเอียดขึ้น จนสามารถสร้างนวัตกรรมขึ้นมาเพื่อช่วยแก้ไขการทำงานของสมองทำให้สมองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการวิจัยครั้งผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นเครื่องวัดการทำงานของสมอง โดยใช้เครื่องวัดสัญญารุ่น EEG 100C, MP150 ยี่ห้อ BIOPAC ประเทศสหรัฐอเมริกา และหมวกอิเล็กโตรดที่อ้างอิงระบบมาตรฐานสากล 10-20 ในการทดลอง เพื่อใช้การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำแบบทดสอบความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ และนำคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์และแปลผลวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม AcqKnowledge 4.2 และโปรแกรม EEGLAB บนระบบปฏิบัติการโปรแกรม Matlab สำหรับการวิเคราะห์ Fast Fourier Transform (FFT) และพลังงานสัมพัทธ์ (Power Spectral) ต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University