

บทที่ 3

สรุปการวิจัยโครงการย่อยที่ 2

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

งานวิจัยจำนวนมาก (Alloway, 2008; 2009; Andersson, 2008; Hambrick et al., 2005) พบว่า สมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญา (Cognitive Function) ซึ่งเป็นความสามารถที่อยู่ในกระบวนการของความคิดด้านต่างๆ เช่น ความตั้งใจ ความจำขณะทำงาน การให้เหตุผล การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ และอื่นๆ โดยเฉพาะความจำขณะทำงาน (working memory) ซึ่งเป็นความสามารถในการกักเก็บข้อสนเทศไว้ชั่วคราว ไปพร้อมๆ กับการจัดการประมวลผลข้อสนเทศ สามารถทำนายความสามารถทางปัญญาด้านต่างๆ เช่น การคิด การให้เหตุผล และอื่นๆ ได้ รวมทั้งพบว่า ความจำขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับระดับสติปัญญา (Hambrick et al., 2005) การฝึกฝนพัฒนาความจำขณะทำงานส่งผลให้ความสามารถในการทำงานทางปัญญาเพิ่มขึ้นได้ Dehn (2008) สรุปว่า การทำงานที่มีประสิทธิภาพของความจำขณะทำงานและความจุ (working memory capacity) เป็นตัวกำหนดอัตราและขอบเขตของการเรียนรู้ โดยสมรรถนะการทำงานในชั้นเรียนและพัฒนาการทางภาษา และทางวิชาการ และอื่นๆ ขึ้นอยู่อย่างมากกับการทำหน้าที่อย่างเพียงพอของความจำขณะทำงาน (Classroom performance and the development of verbal and academic skills, , depend heavily on the adequate functioning of working memory) การพัฒนาความจำขณะทำงานจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการส่งเสริมความสามารถทางปัญญาของเยาวชน

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับผู้เรียนเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและจัดการเรียนการสอนในอดีตได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์ทางด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ซึ่งช่วยให้ครูสามารถจัดการเรียนการสอนให้ตอบสนองกับความต้องการของผู้เรียน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีความก้าวหน้าในการศึกษาค้นคว้าทางด้านประสาทวิทยาศาสตร์ (Neuroscience) ทำให้สามารถเข้าใจกลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสมองขณะที่มนุษย์มีการเรียนรู้ในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่ง Squire, et al. (2008) ได้อธิบายว่าประสาทวิทยาศาสตร์ เป็นการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์หลายสาขามาใช้วิเคราะห์ระบบประสาท ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้าใจพื้นฐานทางชีววิทยาที่เป็นจุดเริ่มต้นของพฤติกรรม ความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์ช่วยให้เรามีความเข้าใจกลไกการทำงานของสมองโดยเฉพาะอย่างยิ่งประสาทวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา (cognitive neuroscience) ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา เช่น ภาวะปัญญา การเรียนรู้ การจำ การสนใจ การอ่านการเขียน และความคิดสร้างสรรค์ (Geake and Cooper, 2003) มีข้อสรุปว่าการจัดการเรียนการสอนหรือการจัดการเรียนรู้จะทำได้ดีขึ้นหากเรามีความเข้าใจในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสมอง (Goswami, 2006)

ทฤษฎีการเรียนรู้ที่อาศัยแนวคิดของประสาทวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา (neurocognitive learning theory) ให้ความสำคัญกับองค์ความรู้จากสาขาวิชาประสาทสรีรวิทยา (neurophysiology) ซึ่งเกี่ยวข้องกับชีววิทยาและกิจกรรมของระบบประสาท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา (cognitive science) ซึ่งเกี่ยวข้องกับทฤษฎีประมวลผลข้อมูลหรือข้อสนเทศและการแสดงออกที่เกิดจากประสบการณ์ภายในของผู้เรียน และทฤษฎีการเรียนรู้ (learning theory) ที่อธิบายการมีปฏิสัมพันธ์และการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมทางการเรียนที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ โดยการผสมผสานองค์ความรู้จากทั้งสามสาขาวิชาเข้าด้วยกันเพื่ออธิบายความสามารถในการเรียนรู้ ตัวแบบการสร้างความรู้ของผู้เรียนตามทฤษฎีนี้อธิบายได้ว่า มีการรับข้อมูลเชิงผัสสะ (sensory input) จากประสาทสัมผัสทั้งห้า ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณเหล่านี้ถูกส่งเข้าไปยังธาลามัส (thalamus) ซึ่งมีหน้าที่แยกแยะข้อมูลแล้วส่งต่อไปที่พิวสมองส่วนคอร์เท็กซ์ (cortex) พิวสมองที่ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้จะมีการไหลเวียนของสัญญาณในร่างแหของเซลล์สมอง สมองจะมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งที่มากระทบเรียกว่า การรับผัสสะ (sensation) กระบวนการต่อเนื่องที่เกิดขึ้นตามมาคือการรับรู้ (perception) การรับรู้ความรู้สึกนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการแยกแยะลักษณะสัญญาณที่ไหลเวียนอยู่ในวงจรร่างแหของเซลล์สมองในตำแหน่งที่แตกต่างกัน สัญญาณจะถูกเปรียบเทียบ จัดกลุ่ม สร้างความหมาย เพื่อให้เกิดการแยกแยะความแตกต่างของสัญญาณ เรียกว่าการคิด ซึ่งเป็นการสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านั้น และความสัมพันธ์ของข้อมูลจะกลายเป็นข้อมูลใหม่ที่มีความซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ วงจรร่างแหของเซลล์สมองวงจรใดรองรับการไหลเวียนของสัญญาณที่เกิดขึ้นบ่อยๆ วงจรนั้นจะเกิดความคงตัวหรือเป็นทางที่สัญญาณผ่านได้ง่ายซึ่งพัฒนาเป็นความจำ (memory) (อัศวภูมิ จารุภากร และพรพิไล เลิศวิชา, 2550 ; Sousa, 2006) กล่าวได้ว่าข้อมูลที่รับเข้ามาจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการจัดการข้อมูล (executive function) ภายในสมอง ซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลเดิมที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำระยะยาว (Long term memory) ข้อมูลที่รับเข้ามามี 2 ลักษณะ คือข้อมูลที่รับจากภายนอก และรับจากภายในจากหน่วยความจำระยะยาว การจัดการข้อมูลจะนำข้อมูลมาสู่ความจำขณะทำงานซึ่งเป็นการจำที่เก็บไว้ชั่วคราวเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการใช้ในขณะหนึ่ง (Anderson, 2009) ความจำขณะทำงานมีผลต่อการเรียนรู้ โดย ความจำขณะทำงาน เป็นส่วนประกอบที่ซับซ้อนของการคิดของมนุษย์ในการสร้างความเข้าใจ โดยการใช้กระบวนการทางปัญญา (mentally) ทำหน้าที่สำคัญที่ช่วยในการคิดแก้ปัญหา สนับสนุนการได้มาซึ่งความรู้ใหม่ ส่งผลให้กิจกรรมบรรลุเป้าหมาย (Baddeley and Logie, 1999, สุรางค์ ไคว่ตระกูล, 2550)

ปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อ ความจำขณะทำงาน และ ความสามารถทางพุทธิปัญญาต่างๆ คือ ความตั้งใจ (attention) ความตั้งใจเป็นกระบวนการเลือกรับแ่งมุมหรือประเด็นใดประเด็นหนึ่งของสิ่งแวดล้อมโดยไม่สนใจสิ่งอื่น ๆ (Ward (2008) ตัวอย่างเช่นในงานเลี้ยงที่มีเสียงคนพูดคุยกันจ่อแจ แต่เราสามารถเลือกฟังและได้ยินสิ่งที่เพื่อนพูด โดยไม่สนใจเสียงอื่นๆ ในห้องได้ หรือ

เราสามารถฟังการสนทนาโทรศัพท์มือถือขณะขับรถอย่างระมัดระวังได้ ความตั้งใจเป็นหัวข้อหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างมากในสาขาจิตวิทยาและประสาทวิทยาศาสตร์ทางปัญญา

Ward (2008) อธิบายว่า ความตั้งใจ หมายถึง กระบวนการที่สิ่งมีชีวิตเลือกชุดย่อยของข้อมูลที่พร้อมใช้งานเพื่อส่งเสริมการประมวลผลและการบูรณาการ(integration). กระบวนการนี้ประกอบด้วยอย่างน้อย 3 ส่วน คือ การแนะนำ(orienting) การคัดกรอง(filtering) และการค้นหา(searching) ในส่วนของการแนะนำนั้น เขาอธิบายว่า วิธีง่ายที่สุดในการเลือกระหว่างสิ่งเร้าหลายตัวที่มากกระตุ้นคือการแนะนำตัวรับผัสสะของเราให้มุ่งไปที่สิ่งเร้าบางชุด และให้หลีกเลี่ยงจากสิ่งเร้าชุดอื่น โดยกล่าวว่าการมองเห็นและการได้ยินไม่ใช่เรื่องที่เป็นเชิงรับ(passive)เท่านั้น แต่เราเป็นคนทำกิจกรรมเชิงรุกในการดูหรือฟังเพื่อให้เห็นหรือได้ยิน ในเรื่องของงานเลี้ยงข้างคัน สมอของเรารับการแนะนำให้เลือกฟังเพื่อนพูด และเนื่องจากสมอแนะนำว่าให้ตั้งใจฟังเสียงเพื่อนโดยไม่ต้องฟังเสียงคนอื่น ดังนั้นสมอจึงคัดกรองเสียงอื่นออกโดยใส่ใจเฉพาะเสียงของกลุ่มสนทนา ในส่วนของการค้นหานั้น เกิดจากเมื่อเรารู้ว่าสิ่งที่เรากำลังมองหาอยู่คืออะไร แต่ไม่ทราบว่าจะพบได้ที่ไหน เราจึงต้องใช้ความตั้งใจในการค้นหาเพื่อให้พบเป้าหมาย

Naotsugu Tsuchiya แห่ง California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA บรรณาธิการของสารานุกรมเสรีออนไลน์ Scholarpedia ในหัวข้อหลัก [Attention](http://www.scholarpedia.org/article/User:Tsuchiya) (<http://www.scholarpedia.org/article/User:Tsuchiya> Retrieved July 20, 2011) สรุปว่าความตั้งใจเป็นแนวคิดสำคัญในสาขาจิตวิทยา วิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา ประสาทวิทยาศาสตร์และกำลังเป็นที่สนใจเพิ่มขึ้นในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไป ความตั้งใจ หมายถึงกระบวนการเลือกปัจจัยนำเข้า ความตั้งใจเกี่ยวข้องในหลายปรากฏการณ์การรับรู้ และเป็นตัวแปรหลักในการทำความเข้าใจการประมวลผลทางพุทธิปัญญาในสมอง มี ประเด็นย่อยมากมายที่นักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความตั้งใจ เช่น visual attention, attention and consciousness, attention and emotion, object-based attention, feature – based attention, cross modal attention เป็นต้น

ในช่วงเวลาที่โลกยุคใหม่ต้องการบุคคลที่มีความสามารถทางพุทธิปัญญา สามารถคิดวิเคราะห์ สร้างสรรค์ แก้ปัญหา หรือมีความคิดระดับสูง (higher order thinking) การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์โดยใช้องค์ความรู้จากประสาทวิทยาศาสตร์ หรือการจัดการศึกษา โดยการบูรณาการความรู้จากประสาทวิทยาศาสตร์ ตลอดจนความร่วมมือในการแสวงหาความรู้ข้ามสาขา ระหว่างประสาทวิทยาศาสตร์และศึกษาศาสตร์จึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนของประเทศ

ปัญหาของประเทศไทยขณะนี้คือ ยังไม่มีเครื่องมือวัดความจำขณะทำงานฉบับภาษาไทย ที่มีคุณภาพที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยด้านวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา(cognitive science) ได้อย่างมั่นใจ

ประเด็นสำคัญคือหากยังไม่มีองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญาเกี่ยวกับเด็กไทยที่แข็งแกร่งพอ โอกาสที่จะเข้าใจกระบวนการทางปัญญาของเด็กไทยโดยอาศัยแนวทางที่กำลังอยู่ในความสนใจของโลกขณะนี้คือแนวทางของสาขาวิชาประสาทวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา(cognitive neuroscience) ซึ่งเป็นสาขาวิชาที่บูรณาการองค์ความรู้ด้านประสาทวิทยาศาสตร์(neuroscience) เข้ากับองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา(cognitive science) ก็วยังไม่สามารถดำเนินการได้ ดังนั้นจึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องมีการพัฒนาเครื่องมือวัดความสามารถทางปัญญาลับภาษาไทยโดยเฉพาะที่ควรเริ่มดำเนินการก่อนคือ เครื่องมือวัดความตั้งใจและความจำขณะทำงาน

มหาวิทยาลัยขอนแก่นเล็งเห็นความสำคัญของการวิจัยด้านประสาทวิทยาศาสตร์ ได้สนับสนุนให้มีโครงการรวมกลุ่มนักวิจัยด้านประสาทวิทยาศาสตร์ สมาชิกในโครงการส่วนใหญ่เป็นคณาจารย์ในคณะแพทยศาสตร์ และคณะวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ งานวิจัยที่ดำเนินการส่วนใหญ่จึงเป็นงานทางด้านประสาทวิทยาศาสตร์โดยตรงที่ยังไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการจัดการเรียนรู้ได้

โครงการวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดสมรรถนะการทำงานของสมองฉบับภาษาไทย เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับศาสตร์ที่เกิดใหม่ที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างยิ่งในแวดวงการศึกษาของโลก ผลการวิจัยทำให้ได้เครื่องมือวัดสมรรถนะการทำงานของสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงานที่มีคุณภาพในเชิงการใช้งานได้จริง เนื่องจากแบบทดสอบที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยปัจจุบันเป็นแบบทดสอบที่ใช้ในคลินิกเพื่อวินิจฉัยอาการของผู้ป่วยที่มีความจำบกพร่อง ซึ่งยังไม่เหมาะสมที่จะใช้ศึกษาความสามารถเหล่านี้ในเยาวชนไทยที่มีสุขภาพดีเนื่องจากเกิดปัญหา ceiling effect ที่ผู้ทำแบบทดสอบที่มีสุขภาพดีบางส่วนมักจะทำได้เต็ม ผลการวิจัยทำให้นักวิจัยไทยสามารถขยายพรมแดนแห่งความรู้ในศาสตร์ด้านประสาทวิทยาศาสตร์โดยการศึกษาเกี่ยวกับเด็กไทยต่อไปได้ ทั้งนี้การดำเนินงานในโครงการเป็นความร่วมมือระหว่าง สาขาวิชาการวัด ประเมิน และวิจัยทางการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กับ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นการร่วมมือกันทำงานวิจัยระหว่างมหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาความเข้มแข็งของการวิจัยในศาสตร์ที่กำลังเริ่มต้นนี้ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างและตรวจสอบคุณภาพของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เป็นแบบทดสอบสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาลับภาษาไทย
2. เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธของแบบทดสอบสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาลับภาษาไทยที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับคลื่นไฟฟ้าสมองของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาขณะทำชุดแบบทดสอบด้านความตั้งใจและด้านความจำขณะทำงานที่พัฒนาขึ้น กับแบบทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์

3. เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญา ที่พัฒนาขึ้น โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบยืนยัน

กรอบแนวคิดของการวิจัย

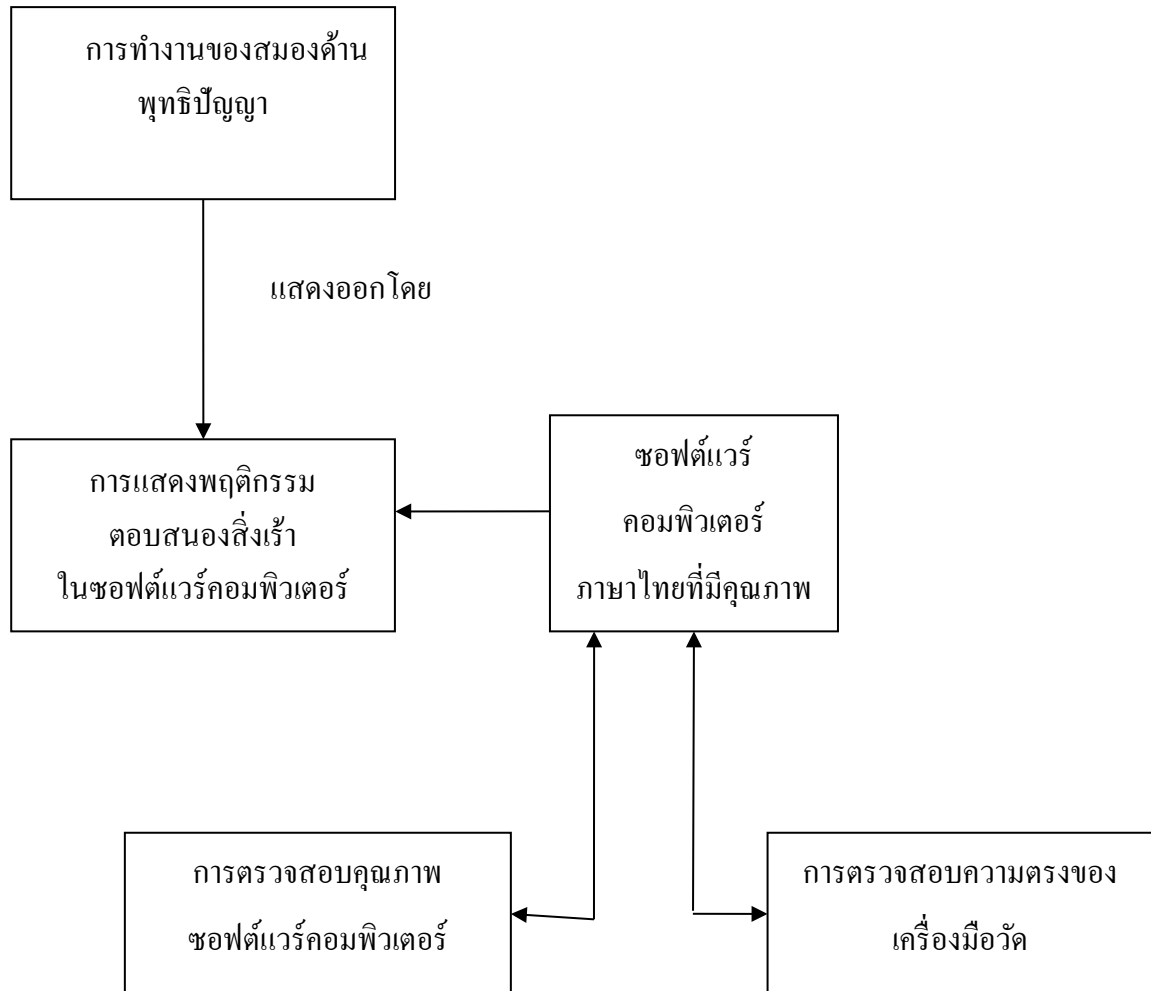
ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแนวทางของจิตวิทยาพุทธิปัญญาที่เชื่อว่า เราสามารถศึกษาความคิดหรือการทำงานของจิต(mind) ที่เกิดในสมองของบุคคลได้ โดยผ่านการวิเคราะห์พฤติกรรมที่บุคคลตอบสนองต่อสิ่งเร้า โครงการวิจัยนี้ เป็นการจัดทำซอฟต์แวร์ที่มีคุณภาพตามศาสตร์การพัฒนาซอฟต์แวร์ให้เป็นเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพตามศาสตร์ด้านการวัดผลเพื่อวัดความสามารถการทำงานของสมองด้านพุทธิปัญญาในประเด็นของความตั้งใจและความจำขณะทำงานเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดการเรียนรู้ต่อไป โดยการจัดทำสิ่งเร้าที่นำเสนอผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ บันทึกพฤติกรรมการตอบสนองของผู้รับการทดสอบ และวิเคราะห์พฤติกรรมการแสดงออก เพื่ออ้างอิงถึงความสามารถในการทำงานของสมองด้านพุทธิปัญญา ดังกรอบแนวคิดที่แสดงในภาพ 3.1

ขอบเขตการวิจัย

กำหนดขอบเขตสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญา เฉพาะด้านความตั้งใจ(attention) และความจำขณะทำงาน(working memory)

กำหนดขอบเขตการตรวจสอบคุณภาพของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โดยการตรวจสอบโดยผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ การตรวจสอบข้อบกพร่องของซอฟต์แวร์จากการทดลองใช้ และการตรวจสอบความพึงพอใจและความคิดเห็นของผู้ใช้

กำหนดขอบเขตประชากรเป้าหมายสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวัดเป็นเยาวชนไทยในระบบโรงเรียน ระหว่างชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นถึงระดับอุดมศึกษา



ภาพ 3.1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

ความหมายหรือนิยามศัพท์เฉพาะ

ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

หมายถึง ชุดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญา ซึ่งแบ่งเป็นส่วนที่ใช้วัด attention กับส่วนที่ใช้วัด working memory โดยโปรแกรมที่ใช้วัดสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาแต่ละส่วนจะเรียกว่า computerized battery test ซึ่งประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยๆ หลายๆ แบบทดสอบระยะเวลาในการทำงานของโปรแกรมที่ใช้วัดสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาแต่ละส่วนจะอยู่ที่ประมาณ 1.30 ชั่วโมง

ความตั้งใจ

หมายถึง ความสามารถในการ จดจ่อ หรือ เลือก สิ่งเร้าเป้าหมาย (สิ่งเร้าที่สนใจ) และ ละทิ้งสิ่งเร้าอื่น (สิ่งเร้าลวง) ซึ่งมารบกวนหรือขัดขวางซึ่งในงานวิจัยนี้วัดความตั้งใจ 3 ลักษณะ คือ Simple reaction time, Focus attention, Sustained attention และ Selective attention

Simple reaction time ใช้วัดความไวในการตอบสนองของมือ ถือว่าเป็นความไวพื้นฐาน (baseline speed)

Focus attention หมายถึงความสามารถในการสังเกตสิ่งเร้าเป้าหมาย และตอบสนองเฉพาะสิ่งเร้าเป้าหมายโดยไม่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าลวง

Sustained attention(vigilance)ความสามารถในการคงความตั้งใจจดจ่อกับการสังเกตสิ่งเร้าเป้าหมายเป็นระยะเวลานานพอสมควร โดยยังสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าเป้าหมายได้ถูกต้อง

Selective attention หมายถึง ความสามารถในการสังเกตสิ่งเร้าเป้าหมายที่มีมากกว่า 1 อย่าง และเลือกตอบสนองสิ่งเร้าเป้าหมายแต่ละอย่างได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าลวง

ความจำขณะทำงาน

หมายถึง ความสามารถในการจัดเก็บหรือการรักษาข้อมูลไว้ชั่วคราว และ นำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการทำหน้าที่เชิงบริหารหรือ executive functions ต่างๆ เช่นการทำให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายหรือภาระงานมีความทันสมัยในรูปแบบที่สามารถสามารถต้านทานการแทรกแซงอื่นได้ แบ่งเป็น 4 องค์ประกอบได้แก่ Basic processing, Inhibition, Switching(Shifting), และ Updating

Basic processing เป็นความสามารถในการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน

Inhibition เป็นความสามารถในการเพิกเฉยหรือละเว้นสิ่งเร้าที่ไม่เกี่ยวข้อง หรือระงับปฏิกิริยาที่ไม่เกี่ยวข้องในขณะที่กำลังทำงานอยู่

Switching หรือ Shifting หมายถึง ความสามารถในการย้ายหรือสลับเปลี่ยนการดำเนินการจากสถานการณ์หนึ่งไปยังอีกสถานการณ์หนึ่ง

Updating เป็น การทำให้ข้อมูลทันสมัยหรือการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลที่ถูกรักษาไว้ในความจำขณะทำงาน

ความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์ของแบบทดสอบ

หมายถึง การที่ผลการวัดลักษณะที่ต้องการวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กับผลการวัดอื่นที่ใช้เป็นเกณฑ์ โดยเกณฑ์ในการวิจัยนี้คือ ผลการวัดลักษณะเดียวกันด้วยแบบทดสอบที่เขียนด้วยโปรแกรม STIMซึ่งเป็นโปรแกรมมาตรฐานในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง neuroscan

ความตรงตามทฤษฎีหรือความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบ

หมายถึง การที่ผลการวัดลักษณะที่ต้องการวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ใช้อธิบายลักษณะที่ต้องการวัดนั้นที่ใช้วิธีตรวจสอบความสอดคล้องจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis)

โปรแกรม STIM

หมายถึง โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ ในหน่วยสร้างหรือแสดงสัญญาณจากภายนอก ของชุดเครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan ใช้สำหรับสร้างภาระงานเพื่อใช้ร่วมกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan

โปรแกรม E-prime

หมายถึง โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบโดยบริษัท Psychology Software Tools, Inc. เพื่อให้นักจิตวิทยาได้ใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ร่วมกันซึ่งจะทำให้ให้นักวิจัยในมหาวิทยาลัยต่างๆสามารถสื่อสารและแบ่งปันวิธีการทดลองและข้อมูลกันได้

ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้เครื่องมือวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ทางปัญญาที่มีคุณภาพ
- 2) นักวิจัยและนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวิจัยด้านนี้ได้

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมตามลำดับดังนี้

1. การพัฒนาเครื่องมือวัดจิตลักษณะ
 - 1.1 การสร้างเครื่องมือวัดจิตลักษณะ
 - 1.2 คุณภาพของเครื่องมือวัดจิตลักษณะ
 - 1.3 การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดจิตลักษณะ
 - 1.3.1 การตรวจสอบความตรง
 - 1.3.2 การตรวจสอบความเที่ยง
2. การพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์
 - 2.1 ความหมายของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์
 - 2.2 กระบวนการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์
3. การวัดความสามารถด้านพุทธิปัญญา
4. ความตั้งใจ
 - 4.1 ความหมายและความสำคัญของความตั้งใจ
 - 4.2 พัฒนาการของการศึกษาเรื่องความตั้งใจ
 - 4.3 การวัดสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
5. ความจำขณะทำงาน
 - 5.1 ความหมายและความสำคัญของความจำขณะทำงาน
 - 5.2 พัฒนาการของการศึกษาเรื่องความจำขณะทำงาน
 - 5.3 การวัดสมรรถนะสมองด้านความจำขณะทำงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
6. การศึกษาสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงานโดยใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 6.1 คลื่นไฟฟ้าสมอง
 - 6.2 เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan
 - 6.3 โปรแกรมสร้างภาระงานสำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง
 - 6.3.1 โปรแกรม STIM
 - 6.3.2 โปรแกรม E prime
 - 6.4 การวิจัยที่วัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำภาระงานด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน

ผลการทบทวนวรรณกรรมในแต่ละหัวข้อสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนาเครื่องมือวัดจิตลักษณะ

1.1 การวัดจิตลักษณะ

จิตลักษณะ เป็นลักษณะที่เชื่อว่ามิอยู่ในตัวบุคคล เป็นตัวกำหนดให้บุคคลแสดงพฤติกรรมบางอย่างออกมาในสถานการณ์ต่างๆ มีลักษณะเป็นนามธรรม ไม่สามารถสังเกตและวัดได้โดยตรง ต้องอาศัยการสันนิษฐานจากพฤติกรรมภายนอกที่สังเกตได้ จิตลักษณะจึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ภาวะสันนิษฐาน (Construct) การวัดจิตลักษณะจึงต้องใช้วิธีวัดโดยอ้อมด้วยการสังเกตพฤติกรรมภายนอกแล้วอนุมาน (infer) ไปยังจิตลักษณะนั้นๆ กระบวนการวัดจิตลักษณะมักจะดำเนินการโดย (1) กำหนดจิตลักษณะที่ต้องการวัด (2) ศึกษาธรรมชาติของจิตลักษณะนั้นๆ โดยเฉพาะทฤษฎีที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างจิตลักษณะนั้นกับพฤติกรรมภายนอกที่แสดงออกให้สังเกตได้ (3) สร้างภาระงานที่จะเป็นสิ่งเร้าไปกระตุ้นจิตลักษณะนั้นให้แสดงออกเป็นพฤติกรรมที่สังเกตและวัดได้ (4) นำสิ่งเร้าไปกระตุ้นจิตลักษณะให้บุคคลแสดงพฤติกรรมตอบสนอง (5) สังเกตพฤติกรรมตอบสนองแล้วแปลงเป็นคะแนน และ (6) แปลความหมายของคะแนนโดยการอนุมานถึงจิตลักษณะที่ต้องการวัดว่าเป็นอย่างไรมีอยู่ปริมาณเท่าใด

1.2 การสร้างเครื่องมือวัดจิตลักษณะ

สิ่งสำคัญในกระบวนการวัดจิตลักษณะ คือ การสร้างสิ่งเร้าที่จะไปกระตุ้นจิตลักษณะให้แสดงพฤติกรรมตอบสนองและการแปลงพฤติกรรมตอบสนองให้เป็นค่าที่มีความหมายสามารถอนุมานไปยังจิตลักษณะนั้นได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะต้องดำเนินการ ตามขั้นตอนดังนี้ (1) กำหนดจุดประสงค์ของการวัดและกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้เครื่องมือวัด (2) ให้คำนิยามปฏิบัติการเชิงการวัด (Measured Operational Definition) ของจิตลักษณะนั้นๆ ว่า จะมีสิ่งเร้าอะไรไปกระตุ้นจิตลักษณะนั้นแล้วบุคคลจะตอบสนองอย่างไร จะสังเกตและแปลงพฤติกรรมตอบสนองนั้นเป็นคะแนนอย่างไร และจะแปลความหมายค่าคะแนนอย่างไร (3) กำหนดลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัด (Test Specification) ว่าจะประกอบด้วยสิ่งเร้าอะไรบ้าง มีน้ำหนักเป็นสัดส่วนเท่าใดของคะแนนในแบบวัดทั้งหมด (4) สร้างสิ่งเร้าหรือข้อวัด ทบทวน ทดลองใช้ และ ปรับปรุงให้เหมาะสม (5) รวบรวมสิ่งเร้าหรือข้อวัดเข้าเป็นแบบวัดหรือเครื่องมือวัด (6) ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดหรือเครื่องมือวัด และ (7) จัดทำคู่มือการใช้แบบวัดหรือเครื่องมือวัด

1.3 คุณภาพของแบบวัดจิตลักษณะ

เนื่องจากจุดประสงค์ของการวัดจิตลักษณะอยู่ที่การนำผลการวัดไปใช้ ดังนั้นคุณภาพของเครื่องมือวัดจิตลักษณะจึงอยู่ที่ผลของการวัดหรือคะแนนที่ได้ โดย เครื่องมือวัดที่มีคุณภาพจะต้องให้ผลการวัดหรือคะแนนที่มีคุณสมบัติดังนี้ (1) มีความตรง (Validity) หมายถึง ผลการวัดหรือคะแนนสามารถใช้สรุปอ้างอิงหรืออนุมานไปยังจิตลักษณะที่ต้องการวัดนั้นได้อย่างถูกต้อง (2) มีความเที่ยง

(Reliability) หมายถึง ผลการวัดหรือคะแนนที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริงน้อยมาก หรือมีความถูกต้องแม่นยำ (precision) สูง หรือให้ค่าสม่ำเสมอคงเส้นคงวา (Consistency) เมื่อมีการวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง (3) ความเป็นปรนัย (Objectivity) หมายถึง ผลการวัดหรือคะแนนที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันหรือมีความสอดคล้องกันระหว่างผู้วัด(ที่ได้รับการฝึกฝนมาอย่างดี) ที่แตกต่างกัน

1.4 การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดจิตลักษณะ

1.4.1 การตรวจสอบความตรง

หลักฐานที่นิยมใช้ยืนยันว่าเครื่องมือวัดมีความตรง ได้แก่ (1) ความเป็นตัวแทนของสิ่งเร้าหรือข้อวัด มักใช้ในกรณีที่วิธีการวัดนั้นมีการระบุขอบเขต (domain) ภาระงานหรือสิ่งเร้าไว้อย่างชัดเจนว่ามีอะไรบ้างจำนวนเท่าใด และภาระงานหรือสิ่งเร้าที่เลือกมาเป็นข้อวัดในเครื่องมือเป็นตัวแทนของสิ่งเร้าในขอบเขตนั้นอย่างเหมาะสม (มีสัดส่วนจำนวนสิ่งเร้าแบบต่างๆ เหมือนกับสัดส่วนที่มีอยู่จริงในขอบเขตภาระงานนั้น) การใช้หลักฐานลักษณะนี้ยืนยันความตรงของเครื่องมือวัด เรียกว่า เครื่องมือวัดมีความตรงตามเนื้อหา (Content Validity) (2) ความสัมพันธ์สอดคล้องกันระหว่างผลการวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับผลการวัดด้วยเครื่องมือหรือวิธีการอื่น ลักษณะที่วัดด้วยวิธีการหรือเครื่องมือที่จะนำมาหาความสัมพันธ์เรียกว่า ผลการวัดเกณฑ์ (Criterion measure) อาจเป็นจิตลักษณะเดียวกับที่เครื่องมือที่สร้างขึ้นต้องการวัด หรือเป็นจิตลักษณะอื่นที่เครื่องมือที่สร้างขึ้นต้องการทำนายก็ได้ ถ้าผลการวัดจิตลักษณะนั้นด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กับผลการวัดจิตลักษณะเดียวกันด้วยเครื่องมือหรือวิธีการวัดอื่นสูง ก็เรียกว่าเครื่องมือวัดนั้นมีความตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) ถ้าผลการวัดจิตลักษณะนั้นด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กับจิตลักษณะอื่นที่ต้องการใช้ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นทำนาย ก็เรียกว่าเครื่องมือวัดนั้นมีความตรงตามพยากรณ์ (Predictive Validity) การใช้หลักฐานลักษณะนี้ยืนยันความตรงของเครื่องมือวัด เรียกว่า เครื่องมือวัดมีความตรงที่สัมพันธ์กับเกณฑ์ (Criterion Related Validity) ทั้งนี้ เกณฑ์ที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ มีความเกี่ยวข้อง (relevance) กับจิตลักษณะที่ต้องการวัด มีความเชื่อถือได้ (reliable) ปราศจากอคติและมลทิน (free from bias and contamination) และสะดวกในการปฏิบัติ (practical advantage) (Brown, 1976 : 101-102) (3) ความแตกต่างของผลการวัดจากกลุ่มที่ได้รับการวินิจฉัยว่ามีจิตลักษณะที่ต้องการวัดแตกต่างกัน (The Known-Groups Method) ด้วยการนำเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นไปใช้วัดบุคคลที่ได้รับการวินิจฉัยด้วยวิธีการที่เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่ามีจิตลักษณะที่ต้องการวัดแตกต่างกัน และถ้าผลการวัดจิตลักษณะนั้นของกลุ่มบุคคลที่มีจิตลักษณะแตกต่างกันเหล่านั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะเป็นหลักฐานยืนยันได้ว่า เครื่องมือวัดนั้นสามารถวัดจิตลักษณะนั้นได้จริง เช่น ถ้าต้องการหาหลักฐานมายืนยันความตรงของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ก็นำแบบวัดไปวัดกลุ่มนักศึกษาที่เรียนทางด้านศิลปะ การออกแบบ หรือสถาปัตยกรรม ที่หลักสูตรการเรียนการสอนเน้นการฝึกให้คิดสร้างสรรค์ กับกลุ่มนักศึกษาที่เรียนในหลักสูตรที่ไม่ค่อยเน้นการ

ฝึกคิดสร้างสรรค์ เช่น นักศึกษาที่เรียนทางนิติศาสตร์ บัญชี เป็นต้น ถ้าคะแนนผลการวัดความคิดสร้างสรรค์ของนักศึกษาของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันก็อนุมานได้ว่าแบบวัดนี้สามารถวัดความคิดสร้างสรรค์ได้จริง อย่างไรก็ตามก็ทดสอบความแตกต่างของคะแนนผลการวัดด้วยวิธีการทางสถิติจะต้องระมัดระวังในการแปลความหมายเพราะถ้ากลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่มากเราก็จะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ง่ายกว่าการใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก วิธีแก้ก็อาจจะต้องกำหนดขนาดของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มที่จะยอมรับได้ไว้ให้ชัดเจน (4) ใช้ข้อมูลผลจากการทดลอง (Experimental manipulation) ด้วยวิธีนี้ผู้สร้างเครื่องมือวัดจะต้องหาหลักฐานว่ามีปัจจัยใดที่สามารถทำนายหรือมีผลกระทบต่อจิตลักษณะที่ต้องการวัดได้ แล้วออกแบบการทดลองเพื่อจัดกระทำให้เกิดปัจจัยสาเหตุดังกล่าวขึ้นและตรวจสอบว่าส่งผลกระทบต่อลักษณะทางจิตที่ต้องการวัดและวัดด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นหรือไม่ ถ้าปัจจัยทดลองดังกล่าวมีผลจริงก็ยืนยันได้ว่า เครื่องมือวัดนั้นสามารถวัดจิตลักษณะนั้นได้จริง เช่น ถ้ามีหลักฐานเชิงทฤษฎียืนยันว่าโปรแกรมการฝึกทักษะการคิดสร้างสรรค์โปรแกรมหนึ่งสามารถพัฒนาให้ผู้รับการฝึกมีความสามารถคิดสร้างสรรค์ได้จริง ถ้าเราต้องการยืนยันว่าแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ที่เราสร้างขึ้นสามารถวัดความคิดสร้างสรรค์ได้จริง เราก็ออกแบบการทดลองให้มีการฝึกความคิดสร้างสรรค์โดยใช้โปรแกรมการฝึกดังกล่าว เมื่อฝึกครบถ้วนตามโปรแกรมแล้ว ก็นำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ที่สร้างขึ้นมาวัดผลการฝึก ถ้าผลการวิเคราะห์ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าโปรแกรมการฝึกทักษะการคิดสร้างสรรค์มีผลต่อคะแนนที่วัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น ก็สามารถใช้หลักฐานนี้ยืนยันความตรงของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ที่สร้างขึ้นได้ หรือ (5) ใช้หลักฐานจากการวิเคราะห์ผลการวัดด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis) เริ่มด้วยมีหลักฐานทางทฤษฎีระบุชัดเจนว่าจิตลักษณะที่ต้องการวัดนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นลักษณะแฝง (Latent Traits) อะไรบ้าง และลักษณะแฝงเหล่านั้นส่งผลต่อตัวแปรที่สังเกตได้ (Observed Variables) อะไรบ้าง จากนั้นเราก็สร้างเครื่องมือที่ประกอบด้วยสิ่งเร้าหรือข้อวัดที่วัดตัวแปรที่สังเกตได้เหล่านั้น แล้วนำไปวัดบุคคลกลุ่มเป้าหมายนำผลการวัดมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ถ้าผลการวิเคราะห์แสดงว่าข้อมูลเชิงประจักษ์จากการวัดสอดคล้องกับทฤษฎี ก็สามารถอนุมานได้ว่าเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นวัดจิตลักษณะนั้นได้จริง

1.4.2 การตรวจสอบความเที่ยง

เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยง หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดแล้วให้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด นั่นหมายความว่าค่าที่วัดได้ (observed value - X) ต้องมีความสัมพันธ์กับค่าที่แท้จริง (true value - T) ในระดับที่สูงมากและเป็นความสัมพันธ์ในทิศทางตามกัน (positive correlation) ตามทฤษฎีการวัดแล้ว ดัชนีที่จะใช้บอกค่าระดับความเที่ยงของเครื่องมือก็คือ ค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าที่สังเกตได้กับค่าที่แท้จริง (ρ_{XT}^2) เรียกกันว่า

สัมประสิทธิ์ความเที่ยง (Coefficient of reliability - r_{tt}) แต่เนื่องจากว่าค่าที่แท้จริงเป็นค่าที่เราไม่สามารถวัดออกมาได้จริง ๆ จึงมีวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงขึ้น วิธีการเหล่านี้มีหลายวิธี เช่น (1) การใช้แบบวัดคู่ขนาน (Parallel measure Method) ซึ่งเป็นการใช้แบบวัดหรือเครื่องมือที่วัดสิ่งเดียวกันกับเครื่องมือที่ต้องการจะตรวจสอบ แต่อยู่ในรูปแบบที่ต่างกันหรือที่เรียกว่าเป็นแบบคู่ขนาน parallel form) มาวัดสิ่งเดียวกันแล้วนำผลที่ได้จากการวัดด้วยแบบวัดที่คู่ขนานกันนี้มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แล้วใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแบบวัดคู่ขนานกันนี้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยง (2) การทดสอบซ้ำ (Test-retest Method) ในทางทฤษฎีการวัดถือว่าแบบวัดหรือเครื่องมือวัดใดก็ตามเป็นแบบคู่ขนานของตัวมันเอง จากแนวคิดนี้ถ้าเราไม่สามารถหาแบบวัดคู่ขนานได้ก็อาจอนุญาตให้ใช้แบบวัดชุดเดิมวัดซ้ำถือเสมือนหนึ่งว่าผลการวัดวัดซ้ำนั้นเป็นผลการวัดที่ใช้แบบวัดคู่ขนานแล้วนำผลการวัดแต่ละครั้งมาพิจารณาความสัมพันธ์กัน ถ้าผลการวัดซ้ำมีความสัมพันธ์กันสูง ก็ถือว่าเครื่องมือนี้ให้ผลการวัดที่มีความเที่ยงสูง ในทางปฏิบัติจริงก็มักจะวัดซ้ำเพียง 2 ครั้งในช่วงเวลาที่ห่างกันพอสมควร (ตามปกติการหาความเที่ยงของแบบวัดทั่วไปมักจะวัดซ้ำห่างกันประมาณ 2 สัปดาห์) แล้วนำผลการวัดนั้นมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แล้วใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นเป็นค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความเที่ยง (3) การหาความสอดคล้องภายใน (Internal consistency) เนื่องจากการตรวจสอบความเที่ยงโดยวิธีการใช้แบบวัดคู่ขนานหรือการวัดซ้ำนั้นมีความไม่สะดวกในการปฏิบัติอยู่มากพอสมควรในกรณีที่แบบวัดของเราประกอบด้วยข้อวัดย่อย ๆ (items) และค่าที่เป็นผลจากการวัดนั้นคือผลรวมของค่าที่ได้จากการวัดด้วยข้อวัดย่อย ๆ ที่ประกอบขึ้นมาเป็นแบบวัด ในกรณีเช่นนี้ถือว่าข้อวัดย่อย ๆ ทุกข้อต่างก็มุ่งวัดลักษณะเดียวกัน การวัดด้วยข้อวัดย่อย ๆ จึงเปรียบเสมือนการวัดสิ่งเดียวกันซ้ำ ๆ หลายครั้ง ถ้าผลการวัดของข้อวัดย่อย ๆ เหล่านี้มีความสอดคล้องสัมพันธ์กันอาจถือได้ว่าการวัดนั้นมีความคงเส้นคงวาหรือมีความเที่ยงได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องภายใน (internal consistency index) ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงได้ ดัชนีความสอดคล้องภายในที่นิยมใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงมีหลายวิธี ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ (3.1) วิธีแบ่งครึ่งแบบวัด (Split-half Method) มีการแบ่งข้อวัดในแบบวัดออกเป็น 2 ส่วนให้แต่ละส่วนมีลักษณะคู่ขนาน (parallel) กัน แล้วนำผลการวัดจากแต่ละส่วนมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แล้วปรับแก้ด้วยสูตรของ Spearman-Brown ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ปรับแก้แล้วเป็นค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความเที่ยง วิธีการแบ่งครึ่งแบบวัดให้ได้แบบวัดที่คู่ขนานกันมีผู้แนะนำไว้หลายวิธี (3.2) วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ที่เสนอโดย Hoyt (1941) (3.3) ใช้สูตรที่ 20 ของ Kuder และ Richardson (1937) (3.4) ใช้สัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) ที่เสนอโดย Cronbach (1951) ซึ่งก็คือ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเที่ยงที่หาจากวิธีการแบ่งครึ่งแบบวัด จากการแบ่งครึ่งแบบวัดด้วยวิธีการที่เป็นไปได้ทั้งหมด (the average of all possible split-half coefficients for a given test) ทั้งนี้ วิธีการที่ 3.2) – 3.4) จะให้ผลการประมาณค่าเหมือนกัน

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

2.1 ความหมายของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

พจนานุกรม Merriam – Webster (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/software/> retrieved December 20 th, 2012) ให้ความหมายว่า หมายถึงโปรแกรมต่างๆที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์

สารานุกรมวิกิพีเดีย สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2556 อธิบายว่า ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ หรือที่เรียกสั้นๆว่า ซอฟต์แวร์ หมายถึง ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีรูปร่างเป็นตัวแทนแน่ชัด ที่เรียกกันว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มันอาจจะใช้เป็นคำคุณศัพท์ที่หมายถึง "ส่วนประกอบที่ไม่มีตัวตน" หรือ เป็นกลุ่มคำนามที่หมายถึง "โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมด" ศัพท์คำนี้เป็นคำทั่วไป ที่หมายถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงสถาปัตยกรรมของมัน ตัวอย่างเช่น ไฟล์ปฏิบัติการ ไลบรารี และสคริปต์ต่างก็ เป็น ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (<http://en.wikipedia.org/wiki/software/> retrieved December 20 th, 2012)

เว็บไซต์ openprojects.org อธิบายว่า ซอฟต์แวร์เป็นคำทั่วไปสำหรับการจัดระเบียบของข้อมูลและคำสั่งคอมพิวเตอร์ข้อมูล มักแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆคือ ซอฟต์แวร์ระบบที่มีฟังก์ชันพื้นฐานที่ไม่เฉพาะเจาะจงของเครื่องคอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่ใช้ โดยผู้ใช้ในการทำงานเฉพาะ ซอฟต์แวร์ระบบมีหน้าที่ในการควบคุม รวม และจัดการส่วนประกอบฮาร์ดแวร์แต่ละส่วนของระบบคอมพิวเตอร์เพื่อให้ซอฟต์แวร์อื่น ๆ และผู้ใช้ระบบเห็นเป็นหน่วยงาน โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับรายละเอียดระดับต่ำเช่นการถ่ายโอนข้อมูลจากหน่วยความจำไปยังดิสก์ หรือการทำให้เกิดข้อความบนจอแสดงผล โดยทั่วไป ซอฟต์แวร์ระบบประกอบด้วยระบบปฏิบัติการ และหน่วยพื้นฐานบางอย่าง เช่นตัวฟอร์แมตดิสก์ ตัวจัดการไฟล์ ตัวจัดการการนำเสนอ ตัวตรวจแก้ข้อความ การรับรองความถูกต้องของผู้ใช้ (ล็อกอิน) และเครื่อง มือการจัดการ และระบบเครือข่าย และซอฟต์แวร์ควบคุมอุปกรณ์ ส่วนซอฟต์แวร์ประยุกต์ถูกใช้ในการทำงานเฉพาะอย่างไม่ใช่เพียงแค่รันระบบคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ประยุกต์อาจประกอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โปรแกรมเดียว หรือเป็นการรวมโปรแกรมเล็กๆหลายโปรแกรม (เรียกว่าแพ็คเกจซอฟต์แวร์) ที่ทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดเพื่อให้บรรลุภาระงานใดงานหนึ่ง หรือการรวมโปรแกรมจำนวนมาก(มักจะเรียกว่าชุดซอฟต์แวร์) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกันแต่เป็นอิสระต่อกันและแพ็คเกจที่มีอินเทอร์เฟซผู้ใช้ร่วมกัน หรือใช้รูปแบบข้อมูลร่วมกัน เช่น Microsoft Office ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมประมวลผลคำ กระดาษคำนวณฐานข้อมูล ฯลฯ หรืออาจเป็นระบบซอฟต์แวร์ เช่นระบบจัดการฐานข้อมูล ซึ่งเป็นการรวมชุดโปรแกรมพื้นฐานที่อาจมีบริการบางอย่างไปยังโปรแกรมประยุกต์อิสระอื่น

(<http://www.openprojects.org/software-definition.htm/> retrieved 20 th December, 2012)

เอกสารตำราภาษาไทยส่วนใหญ่อธิบายไว้คล้ายๆกัน เช่น ศรีไพร สักดิ์รุ่งพงศากุล และ เจษฎาพร ยุทธนวิบูลย์ชัย (2549) อธิบายว่า ซอฟต์แวร์ เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำงานด้านต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ซอฟต์แวร์ระบบ (system software) กับ ซอฟต์แวร์ประยุกต์ (application software) โดยในกรณีที่เป็นซอฟต์แวร์ประยุกต์ หากโปรแกรมนั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อความต้องการเฉพาะขององค์กรใดองค์กรหนึ่ง จะถูกเรียกว่า ซอฟต์แวร์เฉพาะงาน (custom program หรือ tailor-made software) ส่วน พรณี สวนเพลง(2552) อธิบายว่า ซอฟต์แวร์ เป็นโปรแกรมหรือคำสั่งที่สร้างหรือพัฒนาขึ้น สำหรับใช้กับงานด้านต่าง ๆ เพื่อสนองตามความต้องการของผู้ใช้ โดยหากเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานเฉพาะด้าน จะเป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นตามลักษณะงานหรือความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งแต่ละโปรแกรมก็มักมีเงื่อนไขแตกต่างกันตามความต้องการ หรือกฎเกณฑ์ของแต่ละหน่วยงานที่ใช้ ซึ่งสามารถดัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติม (modifications) ในบางส่วนของโปรแกรมได้ ในขณะที่ พนิกา พานิชกุล และ สุธิ พงศากุลชัย. (2552) อธิบายว่า ซอฟต์แวร์ หมายถึง ชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานใดๆ ตามที่ต้องการได้ ภายในซอฟต์แวร์ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายโปรแกรม ดังนั้น จึงมักเรียก “ซอฟต์แวร์” และ “โปรแกรม” ในความหมายเดียวกัน โดยซอฟต์แวร์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ซอฟต์แวร์ระบบ กับ ซอฟต์แวร์ประยุกต์ สำหรับซอฟต์แวร์ประยุกต์ หากเป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้งานเฉพาะด้าน จะถูกเรียกว่า “custom-designed application” ซึ่งการพัฒนาซอฟต์แวร์ชนิดนี้ ส่วนใหญ่เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน เนื่องจากผู้ใช้ไม่สามารถหาซอฟต์แวร์สำเร็จรูปมาใช้งานได้ตรงตามความต้องการทั้งหมด และ โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์ (2554) อธิบายว่า ซอฟต์แวร์ คือ โปรแกรมต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้เพื่อปฏิบัติงานและจัดการกับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์รอบข้าง ให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซอฟต์แวร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ซอฟต์แวร์ระบบ กับ ซอฟต์แวร์ประยุกต์ โดยหากเป็นซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นจากพนักงานภายในองค์กร จะเรียกว่า ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเองเพื่อนำมาใช้ตามฟังก์ชันหน้าที่ของแต่ละส่วนงาน

งานวิจัยนี้พัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ชนิดซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับใช้งานเฉพาะด้าน คือ ซอฟต์แวร์แบบทดสอบสำหรับการทดสอบด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน สำหรับเยาวชนไทยในระบบโรงเรียนตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นถึงระดับอุดมศึกษา

2.2 กระบวนการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์

กิตติ ภัคดิวัฒน์กุล และ พนิกา พานิชกุล. (2550) อธิบายว่า กระบวนการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ เป็นกรอบการดำเนินงานในการผลิตซอฟต์แวร์ตามหลักการเพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์ที่มีคุณภาพ เนื่องจากการกำหนดกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์นั้นต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ในการ

นำไปใช้งาน ขั้นตอนพื้นฐานของกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ที่กำหนดขึ้นจึงแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ซึ่งวิธีการในการแสดงให้เห็นกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ได้ทั้งหมด คือ การสร้างเป็นแบบจำลองของกระบวนการ ที่เรียกว่า แบบจำลองกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์

แบบจำลองกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ (software process model) หมายถึง การจำลองภาพของกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ เพื่อให้เห็นถึงการจัดโครงสร้างลำดับขั้นตอนของกระบวนการในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป แบบจำลองกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ที่เป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไปนั้น คือ แบบจำลองน้ำตก (waterfall model) โดยแบบจำลองนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงานที่เรียงต่อเนื่องกันเป็นลำดับ ขั้นตอนถัดไปจะดำเนินการได้จะต้องรอให้ขั้นตอนก่อนหน้าดำเนินการเสร็จสิ้นเสียก่อน ขั้นตอนพื้นฐานในการดำเนินงานผลิตซอฟต์แวร์ด้วยแบบจำลองนี้ จะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

- (1) การกำหนดความต้องการ (Requirement Definition) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับการจัดเก็บรวบรวมความต้องการต่าง ๆ จากการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีตลอดจนกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องแล้วทำการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดขอบเขตการทำงานของซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนา
 - (2) การออกแบบ (Design) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลความต้องการที่ได้จากขั้นตอนแรกมาใช้ในการออกแบบซอฟต์แวร์ใน 3 ส่วน คือ
 - (2.1) ส่วนของการออกแบบเชิงสถาปัตยกรรม (architecture design) เป็นการกำหนดลักษณะโครงสร้างของซอฟต์แวร์ในมุมมองระดับบน เช่น การเลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบเครื่องเดียว (stand-alone architecture) หรือสถาปัตยกรรมแบบแบ่งปันบริการและเซิร์ฟเวอร์ (client / server architecture) เป็นต้น
 - (2.2) ส่วนของการออกแบบในรายละเอียด (detailed design) เป็นการกำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดต่าง ๆ ของซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนา เช่น การกำหนดเกี่ยวกับโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ของซอฟต์แวร์
 - (2.3) ส่วนของการออกแบบส่วนประสานกับผู้ใช้ (user interface design) เป็นการกำหนดเกี่ยวกับส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถโต้ตอบกับซอฟต์แวร์ได้
- ในขั้นตอนของการออกแบบนี้ รวมถึงการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพงานออกแบบซอฟต์แวร์ด้วย ซึ่งเครื่องมือและเทคนิคที่นำมาใช้อาจเป็นการทบทวนงานออกแบบซอฟต์แวร์ (software design review) การวิเคราะห์งานออกแบบซอฟต์แวร์ (software design analysis) หรือการสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ (prototyping) เป็นต้น

- (3) การพัฒนา (implementation) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรมภาษาต่าง ๆ เช่น ภาษาซี (C) ภาษาจาวา (JAVA) เป็นต้น หรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการสร้างซอฟต์แวร์เพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน
งานวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้โปรแกรม E-prime ในการสร้างซอฟต์แวร์เพื่อการใช้งานเฉพาะด้านการวัดสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน เนื่องจากเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้งานง่าย เป็นที่นิยมของนักวิจัยด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน
- (4) การทดสอบ (testing) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบเพื่อหาข้อผิดพลาดของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยในการทดสอบนั้นจะต้องมีการสร้างกรณีทดสอบ (test case) ขึ้นมา การทดสอบซอฟต์แวร์สามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ คือ การทดสอบระดับหน่วย (unit / module testing) การทดสอบระดับรวมหน่วย (integration testing) และการทดสอบระบบ (system testing) ซึ่งการทดสอบในแต่ละระดับจะมี วิธีการที่แตกต่างกันออกไป
- (5) การนำไปใช้และบำรุงรักษา (operation and implementation) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้วผ่านการทดสอบแล้วไปติดตั้งเพื่อใช้งานจริง และเมื่อซอฟต์แวร์ได้ถูกใช้งานไประยะหนึ่งอาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ หรือดัดแปลงซอฟต์แวร์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

แบบจำลองกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์แบบนี้มีข้อดี คือ ช่วยในการแบ่งงานพัฒนาซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นงานที่ใหญ่และยากให้เป็นงานเล็กที่ง่ายต่อการจัดการ เนื่องจากในแบบจำลองมีการแบ่งขั้นตอนการทำงานและการกำหนดเกี่ยวกับผลลัพธ์ / ผลิตภัณฑ์ที่จะได้ไว้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแบบจำลองแบบนี้ คือ ในกรณีที่มีการค้นพบข้อผิดพลาดของผลลัพธ์ / ผลิตภัณฑ์ได้จากขั้นตอนที่เสร็จสิ้นแล้วจะไม่สามารถทำการแก้ไขได้ หากต้องการแก้ไขจำเป็นต้องกลับไปเริ่มรอบการทำงานในขั้นตอนดังกล่าวใหม่ นอกจากนี้ กลุ่มผู้ใช้เป้าหมายจะได้เห็นและทดลองใช้ซอฟต์แวร์ก็ต่อเมื่อถึงขั้นตอนสุดท้าย ดังนั้น หากซอฟต์แวร์ที่ได้ไม่ตรงกับความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน การแก้ไขจะทำให้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

3. การวัดความสามารถด้านพุทธิปัญญา

สมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญา หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการประมวลผลความคิด (Cognitive function refers to a person's ability to process thoughts) ประชาน หรือ การรู้คิด หรือ พุทธิปัญญา (cognition) หมายถึง สิ่ง ต่าง ๆ เช่น ความจำ(memory) ความสามารถในการเรียนรู้

ข้อสนเทศใหม่(the ability to learn new information) การพูด(speech) และการอ่านเพื่อความเข้าใจ (reading comprehension) เป็นต้น สมรรถนะของบุคคลที่มีสุขภาพดีส่วนใหญ่ จะมีความสามารถในการเรียนรู้ทักษะใหม่ ๆ ในแต่ละเรื่องเหล่านี้(โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กปฐมวัย) และ มีความสามารถการพัฒนาความคิดของตนเกี่ยวกับโลก ทั้งนี้ปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุและโรคอาจมีผลต่อสมรรถนะสมรรถนะด้านพุทธิปัญญา ตลอดเวลา ซึ่งทำให้มีผล เช่น สูญเสียความจำ หรือมีปัญหาในการคิดหาคำที่ถูกต้องในขณะที่พูด หรือเขียน มนุษย์โดยทั่วไปมีสมรรถนะสมรรถนะด้านพุทธิปัญญา ตั้งแต่เกิด หมายความว่าแต่ละคนสามารถเรียนรู้ หรือจดจำข้อสนเทศจำนวนหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไป สามารถวัดได้โดยใช้การทดสอบเช่นการทดสอบสติปัญญา (IQ) ถึงแม้ว่าการวัดเหล่านี้จะไม่ใช้การวัดความสามารถทางพุทธิปัญญาทั้งหมดของบุคคลก็ตาม วัยทารก และปฐมวัยเป็นช่วงเวลาที่คนส่วนใหญ่สามารถดูดซับ และใช้ข้อสนเทศใหม่ เด็กส่วนใหญ่เรียนรู้คำใหม่ มโนทัศน์ และวิธีการแสดงออกทุกวัน ความสามารถในการเรียนรู้เหล่านี้จะลดลงทีละน้อยเมื่อบุคคลมีอายุมากขึ้น แต่สำหรับบุคคลที่มีสุขภาพดี สมรรถนะสมรรถนะด้านพุทธิปัญญาโดยรวมจะไม่ลดน้อยลงมากนัก

Sharon Houston and Diane Rogers แห่งมหาวิทยาลัย Armstrong Atlantic State University อ้างคำกล่าวของ Schweizer (2005) ว่าการวัดความสามารถทางพุทธิปัญญาทำได้หลายวิธี ได้แก่

(1) วิธีวัดความไวในการทำงานด้านความคิด (The Mental-Speed Approach)

วิธีการนี้มีข้อดลลงว่า ความเร็วในการประมวลผลข้อมูลเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของสมองหรือจิตใจได้ เหตุผลหลักประการหนึ่ง คือ วิธีการนี้สามารถระบุอัตราเร็วของการประมวลผลข้อมูล และคุณภาพของการประมวลผลได้ กล่าวอีกนัยหนึ่ง การวัดด้วยวิธีนี้ไม่เพียงแต่แสดงความเร็วของกระบวนการทางปัญญา แต่ยังบอกว่าทำได้ดีแค่ไหนด้วย หลักฐานที่สนับสนุนวิธีการนี้ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตอบสนองแบบต้องเลือกดำเนินการ(choice reaction time) กับ คะแนนจากแบบทดสอบสติปัญญา

(2) วิธีวัดความตั้งใจ (The Attention Approach)

วิธีการนี้มุ่งไปที่การศึกษาว่ามนุษย์จัดสรรทรัพยากรที่ต้องใส่ใจหรือต้องตั้งใจรับอย่างไร (how humans allocate attentional resources) วิธีการคิดเกี่ยวกับเรื่องนี้วิธีหนึ่ง คือ สมรรถนะเราจัดกรองข้อมูลเพื่อให้เรารับรู้สิ่งเร้าหนึ่งและไม่รับรู้สิ่งเร้าตัวอื่น ๆ และแนะนำให้อำกัสมรรถนะที่จำกัดความสามารถในการประมวลผล มีข้อเสนอแนะอื่นอีกว่า การปันส่วนของทรัพยากรเป็นความสามารถมีความเกี่ยวข้องกับสติปัญญา

(3) วิธีวัดความจำขณะทำงาน (The Working-Memory Approach)

ความจำขณะทำงาน เป็น ปริมาณความจำจำนวนหนึ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการปฏิบัติการงานที่ซับซ้อนให้สำเร็จ เนื่องจากการปฏิบัติการงานที่ซับซ้อน ไม่สามารถกระทำได้ในเวลารวดเร็วเหมือนเช่นภาระงานง่าย ๆ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีความสามารถในการจำข้อมูลใหม่โดยที่ยังไม่สูญเสีย

ข้อมูลเก่าที่เพิ่งได้มา สมรรถนะของภาระงานประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความจุของความจำ (memory's capacity) และระยะที่หน่วยเวลาไป (decay time)

(4) วิธีวัดความจำ (The Memory-Access Approach)

เช่นเดียวกับวิธีการวัดความจำขณะทำงาน วิธีนี้สนใจการกักเก็บและค้นคืนข้อสนเทศ มีการสร้างตัวแบบโดยอาศัยการเปรียบเทียบกับห้องสมุด ในการใช้ห้องสมุดนั้น ข้อสำคัญคือต้องสามารถเข้าถึงหนังสือที่ต้องการได้ และที่สำคัญคือต้องสามารถได้หนังสือเหล่านั้นในเวลาที่กำหนด ประสิทธิภาพของพุทธิปัญญาขึ้นกับความเร็วในการค้นคืนข้อสนเทศที่เคยมีที่ถูกเก็บไว้ มีความสัมพันธ์สูงระหว่างความเร็วในการค้นคืนข้อมูลจากความจำระยะยาวและคะแนนจากแบบวัดสติปัญญา มีความสัมพันธ์ขนาดใกล้เคียงกันระหว่างการเข้าถึงความจำระยะสั้นและคะแนนจากแบบวัดสติปัญญา เช่นกัน

(5) วิธีถ่ายโอน (The Transfer Approach)

วิธีการนี้เน้นที่กระบวนการถ่ายโอนหรือย้ายข้อสนเทศจากความจำระยะสั้นไปยังความจำระยะยาว โดยเชื่อว่า "สติปัญญา และการเรียนรู้ ใช้กระบวนการพุทธิปัญญาเดียวกัน" กระบวนการเรียนรู้ต้องการการได้ข้อสนเทศ การบูรณาการ และการครอบครองข้อสนเทศ

เครื่องมือที่ใช้วัดพุทธิปัญญาทางการแพทย์ที่นำเสนอโดย National Institutes of Health (NIH) ของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศสหรัฐอเมริกา ใน www.NIHtoolbox.org/ สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2555 มีอยู่ 8 ลักษณะ ดังนี้

1) Picture Vocabulary Test เป็น แบบวัดเกี่ยวกับคำศัพท์ (receptive vocabulary) ใช้รูปแบบที่ปรับให้เหมาะได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ (computer – adaptive) โดยมีเสียงพูด คำ 1 คำ มีรูป 4 รูปบนจอคอมพิวเตอร์ ผู้เข้ารับการทดสอบต้อง click ที่รูปที่ใกล้เคียงกับความหมายของคำ ใช้คำที่ยาวแตกต่างกันโดยเลือกคำตามความสามารถของผู้เข้าสอบ ใช้เวลามากสุด 5 นาที

2) Flanker Inhibitory Control and Attention Test เป็นแบบวัด executive function ที่วัด attention และความสามารถในการ inhibit automatic responses ที่อาจแทรกแซง (interfere) กับ achieving goals

สำหรับเด็กอายุ 3-7 ปี ใช้รูปปลาถูกกระหนาบโดยปลา 2 ตัวแต่ละด้าน ส่วนเด็กโต และผู้ใหญ่ ใช้รูปลูกศรถูกกระหนาบโดยลูกศร 2 อัน การทดสอบมี 2 แบบ คือ แบบ congruent กับ incongruent แบบทดสอบที่นำเสนอไว้ใช้แบบผสม โดย มีคำว่า middle ปรากฏกลางจอ สำหรับเด็กเล็ก 3 – 11 ปี จะมีเสียงว่า Middle ด้วย ทุกคนต้องใช้นิ้วชี้เลือกลูกศรบน keyboard ที่สอดคล้อง (matches) กับทิศทางที่ปลา หรือ ลูกศรที่อยู่ตรงกลางชี้ไป ผู้คุมสอบเตือนนักเรียนถ้าจำเป็น ว่าให้ใช้เฉพาะนิ้วชี้ (และไม่ toggle 2 นิ้ว over the arrow keys)

3) List Sorting Working Memory วัดความสามารถในการประมวลผลข้อมูล (capacity to process information across a series of tasks and modalities) ให้ผู้เข้าสอบจัดลำดับ โดยเพิ่มความยาวของชุดของภาพและเสียงที่นำเสนอสิ่งเร้าตามลำดับขนาดจากเล็กสุดถึงใหญ่สุด ภาพอาหารและสัตว์ต่าง ๆ ถูกนำเสนอทั้งเสียงและตัวอักษรชื่ออาหารและสัตว์ ภาระงานมี 2 เงื่อนไขคือ 1 list และ 2 list กรณี 1 - list ผู้เข้าทดสอบต้องเรียงลำดับวัตถุ (อาหารและสัตว์) ตามลำดับขนาดจากเล็กสุดไปใหญ่สุด ส่วน กรณี 2 - list นำเสนอทั้งอาหารและสัตว์ และให้เรียงลำดับอาหารก่อนจากเล็กสุดไปใหญ่สุด แล้วจึงเรียงสัตว์จากเล็กสุดไปใหญ่สุด ทั้งนี้ถ้าเป็นเด็กเล็กให้ฝึกทำ 4 items ในแต่ละกรณี ส่วนเด็กโตให้ฝึกทำ 2 items ในแต่ละกรณี

4) Dimensional Change Card Sort ใช้วัด executive function และ cognitive flexibility กับ attention ลักษณะแบบวัด มีภาพเป้าหมาย 2 ภาพ ให้พิจารณา 2 มิติ คือ รูปร่างกับสี ให้จับคู่ (match sets) ภาพทดสอบ 2 ภาพที่แตกต่างกับภาพเป้าหมาย โดยมีคำชี้แนะ (cue word) ว่า “รูปร่าง” หรือ “สี” กลางจอให้ สำหรับเด็กเล็ก จะมีเสียงบอกว่าให้เลือกสีหรือรูปร่าง ด้วย มีการให้ลองฝึกทำ ชุดฝึก ใช้ สีขาวและสีน้ำตาล และใช้รูปร่างเป็นกระต่ายกับเรือใบ ส่วนชุดทดสอบจริง ใช้สีน้ำเงินและสีเหลือง และใช้รูปร่างเป็นลูกบอล กับ รถบรรทุก ให้ใช้นิ้วชี้เลือกลูกศรบน key board ที่ matches กับรูป 2 รูปบนจอที่สอดคล้องกับเงื่อนไขลักษณะของสิ่งเร้าที่นำเสนอ

5) Pattern Comparison Processing Speed ใช้วัด processing speed ให้ผู้เข้าสอบดูว่า 2 ด้านของรูปเหมือนกันหรือไม่ ถ้าเป็นเด็กเล็ก ให้เลือกหน้ายิ้มหรือหน้าบึ้ง ส่วนเด็กโต ให้เลือกปุ่ม yes, no ทุกคนให้ใช้นิ้วเลือกลูกศรบน key board ที่ match กับหน้ายิ้ม หน้าบึ้ง หรือ yes, no ใช้เวลา 90 วินาที

6) Picture Sequence Memory ใช้วัด episodic memory ใช้ Sequences of picture objects และ activities that are presented in particular order ให้ผู้เข้าสอบจัดรูปกลับเข้าที่ในลำดับที่ถูกนำเสนอ (สอนวิธีการย้ายภาพบนหน้าจอก่อนที่จะเริ่มการทดสอบ) หลังการฝึกหัดทำ จะมีแบบวัดที่ต่างกัน สำหรับอายุที่ต่างกัน (3-4, 5-6, 7, 8-85) ทั้งนี้ห้ามใช้ mouse ขณะที่มีการนำเสนอรูปภาพ

7) Picture Sequence Memory Test รูปและเสียงปรากฏเป็นชุดลำดับ(sequence) เมื่อจบ Sequence ผู้คุมสอบจะพูดว่า “That’s how to go camping, have a birthday party, play in the park, etc.” หลังจากนั้น Computer จะสลับรูปทั้งหมด แล้วผู้คุมสอบพูดว่า “Now, I want you to move the pictures to show me how to ... go camping, have a birthday party, play in the park, etc I want you to show them back to me in the same way in the same order that I showed you”

มีการให้ทดลองฝึกหัดทำก่อนทดสอบจริง

8) Oral Reading Recognition วัดความสามารถในการอ่านและออกเสียงตัวอักษรและคำให้ถูกต้องมากที่สุด ทั้งภาษาอังกฤษและภาษาสเปน ให้ใช้ computer ถ้าเป็นเด็กเล็กเริ่มด้วยอักษร 3 ตัว ความยากของคำเพิ่มขึ้นตามลำดับ จำนวนข้อขึ้นกับอายุ ส่วนใหญ่ประมาณ 25 ข้อ

4. ความตั้งใจ

4.1 ความหมายและความสำคัญของความตั้งใจ

ความตั้งใจเป็นกระบวนการของการเลือกรับแ่งมูมหรือประเด็นใดประเด็นหนึ่งของสิ่งแวดล้อมโดยไม่สนใจสิ่งอื่น ๆ ตัวอย่างเช่นในงานเลี้ยงที่มีเสียงคนพูดคุยกันจอแจ แต่เราสามารถเลือกฟังและได้ยินสิ่งที่เพื่อนพูด โดยไม่สนใจเสียงอื่นๆในห้องได้ หรือเราสามารถฟังการสนทนาโทรศัพท์มือถือขณะขับรถอย่างระมัดระวังได้ ความตั้งใจเป็นหัวข้อหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างมากในสาขาจิตวิทยาและประสาทวิทยาศาสตร์ทางปัญญา

Sarter et al., (2003) สรุปว่า ความตั้งใจ เป็นชุดของกระบวนการทางด้านพุทธิปัญญา ซึ่งทำให้บุคคลสามารถ รับ จำแนก และ ดำเนินการ ต่อสิ่งเร้าได้อย่างเหมาะสม โดยไปทำให้ระบบรับรู้ความรู้สึกของร่างกายไวต่อการค้นหาหรือรับสิ่งเร้าที่เลือกตาม ตำแหน่ง รูปแบบ โดยการปรับการทำงานของเซลล์ประสาทในบริเวณเปลือกสมอง (cortex) และอธิบายว่าเราสามารถจำแนกความตั้งใจออกได้เป็นหลายประเภท เช่น (1) Sustained attention (vigilance): เป็นภาวะที่บุคคลพร้อมที่จะค้นหาหรือรับการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์สิ่งเร้าที่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเกิดขึ้นในเวลาต่อมา (2) Selective attention: เป็นภาวะที่บุคคลนำข้อมูลหรือรายละเอียดที่เป็นเป้าหมาย (target information) เพื่อนำมามุ่งสู่ความมีสติสัมปชัญญะ (consciousness) และกีดการรับรู้หรือค้นหาข้อมูลหรือรายละเอียดที่ไม่ใช่เป้าหมาย (non-target information) และ (3) Divided attention เป็นภาวะที่บุคคลสามารถจัดการให้แหล่งสถานการณ์สิ่งเร้าหรืองานหลายอย่างเข้าสู่ความสนใจพร้อมกัน ซึ่งถือว่าเป็นระดับสูงสุดของความตั้งใจ (the highest level of attention) ความตั้งใจประเภทนี้เป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการการจำที่มีประสิทธิภาพ (Sacher et al., 2009)

Ward (2008) อธิบายว่า ความตั้งใจ หมายถึง กระบวนการที่สิ่งมีชีวิตเลือกชุดย่อยของข้อมูลที่พร้อมใช้งานเพื่อส่งเสริมการประมวลผลและการบูรณาการ(integration). กระบวนการนี้ประกอบด้วยอย่างน้อย 3 ส่วน คือ การแนะนำ(orienting) การคัดกรอง(filtering) และการค้นหา(searching) ในส่วนของการแนะนำนั้น เขาอธิบายว่า วิธีง่ายที่สุดในการเลือกรับระหว่างสิ่งเร้าหลายตัวที่มากกระตุ้นคือการแนะนำตัวรับผัสสะของเราให้มุ่งไปที่สิ่งเร้าบางชุด และให้หลีกเลี่ยงจากสิ่งเร้าชุดอื่น โดยกล่าวว่าการมองเห็นและการได้ยินไม่ใช่เรื่องที่เป็นเชิงรับ(passive)เท่านั้น แต่เราเป็นคนทำกิจกรรมเชิงรุกในการดูหรือฟังเพื่อให้เห็นหรือได้ยิน ในเรื่องของงานเลี้ยงข้างต้น สมอของเรารับการแนะนำให้เลือกฟังเพื่อนพูด และเนื่องจากสมอแนะนำว่าให้ตั้งใจฟังเสียงเพื่อนโดยไม่ต้องฟังเสียงคนอื่น ดังนั้นสมอจึงคัดกรองเสียงอื่นออกโดยใส่ใจเฉพาะเสียงของกลุ่มสนทนา ในส่วนของการค้นหานั้น เกิดจากเมื่อเรารู้ว่าสิ่งที่เรากำลังมองหาอยู่คืออะไร แต่ไม่ทราบว่าจะพบได้ที่ไหน เราก็ต้องใช้ความตั้งใจในการค้นหาเพื่อให้พบเป้าหมาย

งานวิจัย (Klen, 2001; Scheffler, et al., 2009; Steinmay, et al., 2010) พบว่า ปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความสามารถทางพุทธิปัญญาต่างๆ คือ ความตั้งใจ(attention) Naotsugu Tsuchiya แห่ง California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA บรรณาธิการของสารานุกรมเสรีออนไลน์ Scholarpedia ในหัวข้อหลัก [Attention](http://www.scholarpedia.org/article/User:Tsuchiya) (<http://www.scholarpedia.org/article/User:Tsuchiya> Retrieved July 20, 2011) สรุปว่าความตั้งใจเป็นแนวคิดสำคัญในสาขาวิชาจิตวิทยา วิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา ประสาทวิทยาศาสตร์และกำลังเป็นที่สนใจเพิ่มขึ้นในสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไป ความตั้งใจ หมายถึงกระบวนการเลือกปัจจัยนำเข้า ความตั้งใจเกี่ยวข้องในหลายปรากฏการณ์การรับรู้ และเป็นตัวแปรหลักในการทำความเข้าใจการประมวลผลทางพุทธิปัญญาในสมอง มีประเด็นย่อยมากมายที่นักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความตั้งใจเช่น visual attention, attention and consciousness, attention and emotion, object-based attention, feature – based attention, crossmodal attention เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้ กำหนดนิยาม **attention** ว่า หมายถึง การ ตั้งใจ จดจ่อ หรือ เลือก สิ่งเราเป้าหมาย (สิ่งเร้าที่สนใจ) และ ละทิ้งสิ่งเร้าอื่น (สิ่งเร้าลวง) ซึ่งมารบกวนหรือขัดขวาง แบ่ง attention ออกเป็น 3 ลักษณะ คือ Focus attention, Sustained attention, และ Selective attention และเลือกการใช้ผัสสะทางตา หรือเป็นความตั้งใจด้านการมอง(Visual attention) ทั้งที่เป็นภาษา (verbal attention) และที่เป็นรูปภาพหรือมิติปริภูมิ(visual spatial attention) เป็นหลัก

4.2 พัฒนาการของการศึกษาเรื่องความตั้งใจ

สารานุกรมวิกิพีเดีย (<http://en.wikipedia.org/wiki/Attention/> retrieved May 3th, 2012) แบ่งการอธิบายการศึกษาเรื่องของความตั้งใจไว้เป็น 2 ช่วง คือช่วงทศวรรษ 1850s – 1900s และ 1950s – ปัจจุบัน รายละเอียดในแต่ละช่วงโปรดศึกษาในเอกสารรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

4.3 การวัดสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความตั้งใจเป็นกระบวนการทางพุทธิปัญญาแบบหนึ่ง เราสามารถแบ่งประเภทของความตั้งใจได้หลายลักษณะ เช่นถ้าใช้ลักษณะของภาระงานเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น sustained attention, selected attention, และ divided attention แต่ถ้าใช้ช่องทางผัสสะที่รับรู้เป็นเกณฑ์ สามารถแบ่ง perceptual attention ได้เป็น visual attention, auditory attention, และทางช่องทางผัสสะอื่นๆ ในส่วนของ visual attention ยังสามารถแยกย่อยได้อีกเช่นเป็น verbal , numerical, figural เป็นต้น หรืออาจแบ่งตามกระบวนการทำหน้าที่ออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ alerting ซึ่งเกี่ยวข้องกับการคงความ

พร้อม, ช่วงที่ orienting ที่รับผิดชอบการเลือกบริเวณ หรือช่องทางที่จะต้องถูก attend, และช่วงการควบคุมการทำงานที่เรียกว่า the executive control เป็นต้น ส่วนตัวแปรหรือค่าคะแนนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดเหล่านี้ ส่วนใหญ่คือ เวลาในการตอบสนอง และ ความถูกต้องของการตอบสนอง

แบบทดสอบที่สถาบันสุขภาพแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา(National Institute of Health - NIH) ระบุว่าแบบทดสอบที่ใช้วัดความตั้งใจ ได้แก่ Flanker Inhibitory Control and Attention Test และ Dimensional Change Card Sort (<http://www.NIHtoolbox.org/> retrieved May 15th, 2012) ผลการทบทวนวรรณกรรมโดยใช้คำค้น "attention tests" และ "attention tasks" พบเครื่องมือวัดความตั้งใจหลายลักษณะ โปรดศึกษาได้จากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

5. ความจำการทำงาน

5.1 ความหมายและความสำคัญของความจำการทำงาน

Nelson Cowan (2010) สรุปว่า ศัพท์ คำว่า “Working Memory” ถูกสร้างขึ้นโดย Miller, Galanter, and Pribram เมื่อปี 1960 และได้รับการนำไปประยุกต์ใช้โดย Baddeley and Hitch ในปี 1974 ความจำการทำงาน หรือ Working memory เป็น ความสามารถในการเก็บข้อมูลไว้ในใจเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อมุ่งเน้นที่การทำการงาน และจดจำในใจว่าจะต้องทำอะไรต่อไป โดยการฝึกฝนความจำการทำงาน เราจะมีความสามารถมากขึ้นในการมุ่งเน้นที่ภาระงาน หลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้ไขว้เขว วางแผนงานขั้นตอนถัดไป จดจำคำสั่ง และเริ่มการทำงานและปฏิบัติการงานได้เสร็จสิ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง ความจำการทำงาน หมายถึงความจำซึ่งใช้ในการดึงข้อมูลมาใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ ในขณะที่กำลังทำงาน (Sweatt , 2010) เป็นระบบการจัดเก็บข้อมูลชั่วคราว การจัดการกับข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการทางพุทธิปัญญา (Cognitive process) ที่มีความซับซ้อนเพื่อสร้างความเข้าใจและให้เหตุผลในการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย การเลือกรับข้อมูล การนำข้อมูลเข้า การเข้ารหัสข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลและการดึงข้อมูลออกมาใช้ (Webster’s New World™ Medical Dictionary 3rd Edition , 2008) กล่าวได้ว่าเป็นความสามารถในการประมวลผลข้อมูลแบบออนไลน์ หรือความสามารถในการคิดในใจ หรือเป็นกระบวนการตัดสินใจในทันทีทันใด

เว็บไซต์ www.cognitiveatlas.org ซึ่งจัดทำคำศัพท์ต่างๆ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา ไว้ (retrieved April 10th, 2009, from <http://www.cognitiveatlas.org/>) ให้ความหมายของคำศัพท์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความจำการทำงานไว้ดังนี้

ความจำการทำงาน เป็นส่วนหนึ่งของ ความจำ(memory)

ความจำ เป็น ความสามารถของสิ่งมีชีวิตในการระลึกถึงบางอย่างได้ หรือ เป็นความสามารถของสิ่งมีชีวิตในการใช้เหตุการณ์ที่ผ่านมาในการทำให้นั้นกระทำ สิ่งต่างๆในขณะปัจจุบัน

ความจำขณะทำงาน เป็น การชำระรักษา และทำให้ข้อมูลข่าวสารข้อสนเทศที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายหรือภาระงาน มีความทันสมัย (update) ในรูปแบบที่สามารถต้านทานการแทรกแซงอื่นได้ แต่ความจำลักษณะนี้มีความจุจำกัด

การทำงานของความจำขณะทำงาน ประกอบด้วย การค้นคืนความจำขณะทำงาน ([working memory retrieval](#)) การกักเก็บความจำขณะทำงาน ([working memory storage](#)) การปฏิบัติการรักษาให้คงอยู่ ([active maintenance](#)) การจัดการการแทรกแซง ([interference resolution](#)) และการทำให้ข้อมูลทันสมัย([updating](#))

การค้นคืนความจำขณะทำงาน เป็น กระบวนการของการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารซึ่งถูกเก็บรักษาไว้ในความจำขณะทำงาน เป็นกระบวนการย่อยซึ่งเข้าถึงเนื้อหาสาระของความจำขณะทำงาน

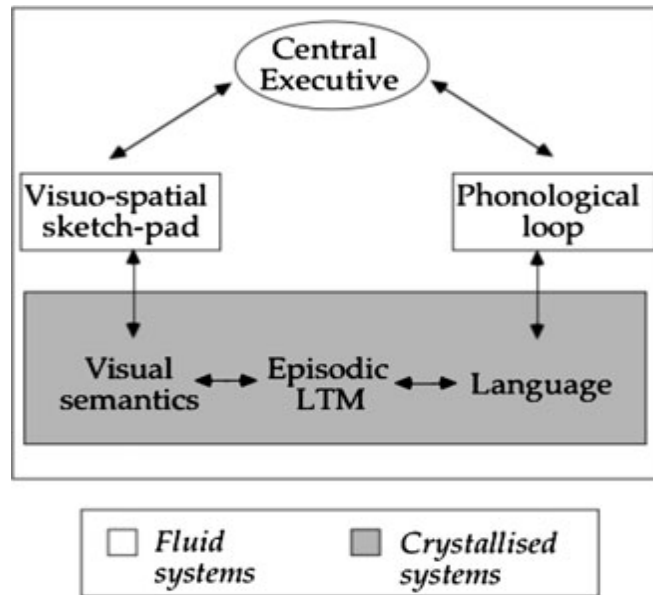
การกักเก็บความจำขณะทำงาน เป็น การชำระรักษาข้อมูลข่าวสารของความจำที่ทำงาน เป็นองค์ประกอบย่อยของความจำขณะทำงานซึ่งยอมให้เนื้อหาสาระของความจำขณะทำงานถูกสแกนไว้

การปฏิบัติการรักษาให้คงอยู่ เป็น การรักษาข้อมูลข่าวสารของความจำขณะทำงานผ่านแนวทางเชิงรุกหรือการกระทำ(อย่างตั้งใจ)มากกว่าใช้แนวทางเชิงรับ

การจัดการการแทรกแซง เป็น กระบวนการของการเลือกข้อมูลข่าวสารโดยเคารพต่อความสัมพันธ์กับภาระงานที่กำลังดำเนินการอยู่

การทำให้ข้อมูลทันสมัย เป็น การปรับปรุงแก้ไขข้อมูลข่าวสารที่ถูกรักษาไว้ในความจำขณะทำงาน

นักวิชาการที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้ริเริ่มในเรื่องของความจำขณะทำงาน คือ Baddeley ซึ่งเสนอว่าความจำขณะทำงานประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นวงจรเกี่ยวกับเสียงและการได้ยิน(Phonological Loop) , ส่วนที่เกี่ยวกับการมองเห็นภาพและตำแหน่งหรือปริภูมิ (Visuospatial sketchpad) , ส่วนที่เกี่ยวกับการเรียกข้อมูลจากความจำระยะยาว (Episodic Buffer) และ ส่วนประมวลผลกลาง(Central Executive) (Baddeley ,2010; Sweatt, 2010; Scott, 2006) ดังภาพที่ 3.2



ภาพ 3.2 โมเดลความจำขณะทำงาน (Baddeley, 2012)

Scott(2006) อธิบายว่า

ส่วนที่เป็นวงจรเกี่ยวกับเสียงและการได้ยิน(Phonological Loop) เป็น ความจำระยะสั้นที่เกี่ยวกับคำพูด (Verbal short – term memory) เป็นการเก็บข้อมูลในระยะสั้นๆ เกี่ยวกับคำ เกิดจากการใช้กระบวนการประมวลข้อมูลทางภาษา(Language Processing) การฝึกซ้ำ (Rehearsal) การแก้ปัญหาเกี่ยวกับคำ (Verbal problem solving) เลขคณิต (Arithmetic) การวัดความจำระยะสั้นเกี่ยวกับคำ สามารถวัดได้โดยการประเมินจากความสามารถในการจำตัวเลข (Digit Span) หรือคำศัพท์ (Verbal Span) และการเพิ่มภาระงาน ผสมผสานระหว่างการจำคำและทำโจทย์ปัญหาเลขคณิต

ส่วนที่เกี่ยวกับการมองเห็นภาพและตำแหน่งหรือปริภูมิ(Visuospatial sketchpad) เป็น ความจำด้านการมองเห็นภาพ (Visual images) ทดสอบได้โดยให้เล่าเรื่องเกี่ยวกับภาพที่มองเห็น และการบอกตำแหน่งของวัตถุ (Visuospatial) โดยการทดสอบ spatial span test ซึ่งใช้ทดสอบการจำตำแหน่งของวัตถุโดยให้ผู้ตอบตัดสินใจถึงความสอดคล้องและรูปแบบที่มีอยู่ของวัตถุ มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการมองเห็นภาพและตำแหน่งของวัตถุในความจำระยะสั้น Nelson et al.. (2006) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนา Visuospatial Working memory คือ Phonological encoding โดยศึกษานักเรียนอายุ 8 ปี โดยใช้กลยุทธ์ทางด้านภาษาในขณะที่นักเรียนทำภาระงานเกี่ยวกับการมองเห็น (Visual memory tasks) เช่นการจำวัตถุ สิ่งของต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของ Visuospatial Working memory อาจไม่มีความสมบูรณ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่นเช่น การเปลี่ยนแปลงฐานความรู้ของผู้เรียน(Changes Knowledge base) , การเปลี่ยนแปลงยุทธวิธี (Changes in strategy) การเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับความเร็วในการประมวลข้อมูล (Changes in Processing speed) และการเปลี่ยนแปลงในสมาธิหรือความตั้งใจ (changes in attention focus)

ส่วนที่เกี่ยวกับการเรียกข้อมูลจากความจำระยะยาว (Episodic Buffer) เป็นระบบที่เกิดจากการเรียกกลับคืนข้อมูลจากความจำระยะยาว มาใช้ในความจำระยะสั้น ตัวอย่างเช่นในการเรียนเกี่ยวกับคำหรือเลขคณิต นักเรียนจะต้องดึงข้อมูลที่มีอยู่ในความจำระยะยาวมาใช้

ส่วนประมวลผลกลาง(Central Executive) เป็นระบบที่มีการประสานและบูรณาการทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกัน การทำงานทั้งหมดอาศัย การประมวลผลกลาง ซึ่งเป็น กระบวนการเชิงความคิดหลักของความจำขณะทำงานซึ่งยอมให้ข้อมูลข่าวสารที่เก็บไว้ในความจำระยะสั้น สามารถถูกจัดกระทำได้ทันที(ตัวอย่างเช่นการคิดเลขคณิตในใจ) ศัพท์คำว่า 'central executive' นี้ใช้เป็นครั้งแรกโดยนักจิตวิทยา Alan Baddeley ในตัวแบบของความจำขณะทำงาน (Model of Working Memory)

Ellis and Nathan (2001) สรุปว่า ความจำขณะทำงานเป็นความสามารถในการระลึกได้หรือรักษาหรือคงข้อสนเทศไว้ชั่วขณะหนึ่งเพื่อดำเนินการประมวลผลต่อไป โดยอธิบายว่า Baddeley ได้เสนอในปี 1992 ว่า กระบวนการนี้มี 2 องค์ประกอบ ได้แก่ การกักเก็บระยะสั้น (short term storage) (โดยทั่วไปเป็นวินาที) และ กระบวนการดำเนินการกับสิ่งที่กักเก็บนั้น (executive processes) ความจำขณะทำงานถูกส่งไปโดยระบบประสาทที่กระจายไปทั่วในสมองมนุษย์ การศึกษาภาพการทำงานของสมองของมนุษย์ บ่งชี้ว่า บริเวณคอร์เทกซ์ (cortical) มีส่วนในความจำขณะทำงานทั้งแบบมิติปริภูมิ (spatial) และแบบที่ไม่ใช่มิติปริภูมิ (non - spatial) ได้แก่บริเวณ occipital, temporal, parietal และบริเวณ prefrontal cortical การศึกษาภาพการทำงานของสมองยังชี้ว่า บริเวณเหล่านี้อาจมีส่วนในขั้นตอนที่แตกต่างกันของความจำขณะทำงาน เช่น occipitotemporal cortex มีส่วนในกระบวนการรับรู้ และ prefrontal cortex (PFC) มีส่วนในการรักษาตัวแทนการนำเสนอเชิงรุก (active representation) ตลอดช่วงเวลาที่หน่วงไป(delayed period) เป็นต้น

5.2 พัฒนาการของการศึกษาเรื่องความจำขณะทำงาน

Dehn (2008) อธิบายว่า จุดกำเนิดของแนวคิดเรื่องความจำขณะทำงานสามารถสืบสาวไปไกลได้ถึงต้นยุคของจิตวิทยาสมัยใหม่ กล่าวคือ ในปี 1960 นักปรัชญา John Locke ได้จำแนกคำระหว่าง contemplation กับ memory โดยเสนอว่า contemplation เป็นการนำความคิดเข้าไปในจิต (bringing an idea to mind) ต่อมา William James (1890) ซึ่งน่าจะเป็นนักจิตวิทยาชาวอเมริกันคนแรก ที่นำเสนอว่าความจำมี 2 ประเภท ที่เขาเรียกว่าประเภทปฐมภูมิ (primary) และทุติยภูมิ (secondary) James นิยาม ความจำปฐมภูมิว่าเป็นร่องรอยที่แสดงชายขอบของความมีสติในปัจจุบัน(the trailing edge of the conscious present) และนิยาม ความจำทุติยภูมิ ว่าเป็นข้อสนเทศจำนวนมหาศาลที่ถูกเก็บรักษาไว้ตลอดชีวิต(the vast amount of information stored for a lifetime) นักจิตวิทยาปัจจุบันบางคนมองความจำขณะทำงานว่าเป็นความจำปฐมภูมิ และ ความจำระยะยาว(long term memory) คือ ความจำทุติยภูมิ ศัพท์คำว่า ความจำระยะสั้น และความจำระยะยาว(short – and long term memory) อาจมาจาก Thorndike เมื่อประมาณปี 1910 อย่างไรก็ตามในช่วงครึ่งแรกของศตวรรษที่ 20 ความจำ

ถูกมองว่าเป็นตัวแปรทฤษฎีหรือตัวแปรโครงสร้างตัวแปรเดียว(a unified construct) จนปี 1950 นักจิตวิทยาส่วนใหญ่เริ่มตระหนักว่าจำเป็นต้องมีกระบวนการความจำพิเศษบางอย่างที่รับผิดชอบการระลึกถึงข้อสนเทศในช่วงสั้นๆ ในปี 1949 Hebb เสนอว่า สมองถูกแบ่งเป็นระบบการเก็บข้อมูลที่แยกจากกัน ส่วนหนึ่งเป็นความจำชั่วคราว และอีกส่วนหนึ่งเป็นความจำถาวร การแบ่งความจำของ Hebb มีกรณีศึกษาสนับสนุนจากผู้ที่ได้รับบาดเจ็บที่สมอง ที่บางคนมีความสามารถในการระลึกในช่วงเวลาสั้นๆ ได้เหมือนคนปกติ ในขณะที่มีปัญหาเกี่ยวกับความจำระยะยาว ในขณะที่ผู้ป่วยบางคนแสดงอาการกลับกัน การเริ่มต้นของทฤษฎีประมวลผลข้อมูลช่วงกลางศตวรรษ จุดประกายการสืบค้นอย่างมากมายในเรื่องของความจำขณะทำงาน และตัวแบบหรือโมเดลความจำขณะทำงานหลายโมเดลก็อุบัติขึ้น ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี พร้อมๆกับความสนใจเรื่องจิตวิทยาประสาทวิทยา และ ประสาทวิทยาศาสตร์ ทำให้มีงานวิจัยด้านความจำขณะทำงานที่อิงความรู้เรื่องสมอง(brain-based working memory research) อย่างมากมายตลอดระยะเวลา 15 ปีที่ผ่านมา ข้อเท็จจริงก็คือ มีบทความวิจัยเรื่องความจำขณะทำงานตีพิมพ์ในปี 2006 และ 2007 ปีละมากกว่า 200 บทความ รายละเอียดในหัวข้อนี้ โปรดศึกษาในรายงานฉบับสมบูรณ์

5.3 การวัดสมรรถนะสมองด้านความจำขณะทำงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือวัดความจำขณะทำงานมีหลายลักษณะ เช่น แบบทดสอบ แบบตรวจสอบรายการ เป็นต้น ตัวอย่างแบบทดสอบที่มีผู้รวบรวมไว้แสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตัวอย่างแบบทดสอบความจำขณะทำงาน

แบบทดสอบ	สิ่งที่วัด	กิจกรรมการวัด
Digit Recall	Phonological loop	ฟังรายการตัวเลข จำตัวเลขตามลำดับ ตอบทันที
Word List Matching	Phonological loop	ฟังรายการคำที่คู่กัน เมื่อฟังคำแรกซ้ำ ให้ตอบคำที่เป็นคู่
Nonword List Matching	Phonological loop	ฟังรายการคำ(ที่ไม่มีความหมาย)ที่คู่กัน เมื่อฟังคำแรกซ้ำ ให้ตอบคำที่เป็นคู่
Word List Recall	Phonological loop	ฟังรายการคำ จำลำดับของคำที่ได้ยิน และตอบให้มากที่สุด
Nonword List Recall	Phonological loop	ฟังรายการคำที่ไม่มีความหมาย จำลำดับของคำที่ได้ยิน และตอบให้มากที่สุด
Matrices Static	Visuospatial Sketchpad	นำเสนอตารางสี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยสี่เหลี่ยมดำและขาว ให้ตอบตำแหน่งของสี่เหลี่ยมดำ
Matrices Dynamic	Visuospatial Sketchpad	สี่เหลี่ยมดำในตารางถูกนำเสนอเป็นรูปแบบตามลำดับให้ตอบลำดับของการนำเสนอ

ตาราง 3.1 ตัวอย่างแบบทดสอบความจำขณะทำงาน(ต่อ)

แบบทดสอบ	สิ่งที่วัด	กิจกรรมการวัด
Mazes Static	Visuospatial Sketchpad	นำเสนอเส้นทางสองมิติในลักษณะที่คล้ายโดยการวาดเส้นให้นักเรียนลากเส้น
Mazes Dynamic	Visuospatial Sketchpad	เส้นทางสองมิติที่คล้ายถูกกลายโยงโดยผู้วัด ให้ผู้ตอบเขียนเส้น
Listening Recall	Central executive	ให้ฟังประโยค ตอบว่าถูกหรือผิด แล้วตามด้วยการให้พูดคำสุดท้ายของแต่ละประโยคที่ได้ยิน
Counting Recall	Central executive	นำเสนอจุดใน Card ให้นับจุดใน Card และบอกผลรวมของจุด
Backward Digit Recall	Central executive	ให้ฟังตัวเลขชุดหนึ่ง ให้พูดโดยกลับลำดับ

ที่มา Pickering, Susan J. Working memory in Dyslexia. in Alloway, T. P. (ed.). (2006). **Working memory and neurodevelopmental disorder**. N.Y.: Psychology Press.

Dehn (2008) สรุปว่า เครื่องมือวัดพุทธิปัญญาที่เป็นแบบทดสอบมาตรฐานบางเครื่องมือ มีแบบทดสอบที่วัด ความจำขณะทำงานด้วย เช่น

1. Stanford-Binet Intelligence Scales-Fifth Edition (SB5) ตีพิมพ์เมื่อปี 2003 สำหรับคนอายุ 2 ปี ถึง 85 ปี และมากกว่า มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้านความจำขณะทำงาน โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 4 ฉบับได้แก่ Delay Response (Visuospatial STM); Block span(Visuospatial WM); Memory for Sentences(Verbal WM); และ Last Word(Executive WM)

2. Differential Ability Scales-Second Edition (DAS-II) ตีพิมพ์เมื่อปี 2006 สำหรับเด็กอายุ 2 ปี 6 เดือน ถึง 17 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้านความจำขณะทำงาน โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 7 ฉบับได้แก่ Recall of Digits Forward (Phonological STM); Recall of Digits Backward (Executive WM); Recall of Sequential Order(Executive WM); Recall of Design(Visuospatial STM); Recognition of Pictures(Visuospatial STM); Recall of Objects Immediate(Learning); และ Rapid Naming(Long-Term Retrieval)

3. Kaufman Assessment Battery for Children-Second Edition(KABC-II) ตีพิมพ์เมื่อปี 2004 สำหรับเด็กอายุ 3 ปี ถึง 18 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Sequential Processing/ Short-Term Memory และ Learning Ability/ Long-Term Retrieval โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 6 ฉบับได้แก่ Number Recall (Phonological STM); Word Order

(Executive WM); Hand Movements(Visuospatial STM); Face Recognition(Visuospatial STM); Atlantis(Learning); และ Rebus(Learning)

4. Cognitive Assessment System (CAS) ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับเด็กอายุ 5 ปี ถึง 17 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Successive Processing และ Simultaneous Processing โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 4 ฉบับได้แก่ Word Series (Phonological STM); Sentence Repetition (Verbal WM); Sentence Questions(Executive WM, Verbal WM); และ Figure Memory(Visuospatial STM)

5. Woodcock Johnson III Tests of Cognitive Abilities (WJ III COG)) ตีพิมพ์เมื่อปี 2001 สำหรับคนอายุ 2 ปี ถึง มากกว่า 90 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Working Memory, Short-Term Memory และ Long-Term Retrieval โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 7 ฉบับได้แก่ Number Reversed Series (Executive WM); Auditory Working Memory (Verbal WM, Executive WM); Memory for Words(Phonological STM); Picture Recognition(Visuospatial STM); Visual-Auditory Learning(Learning); Retrieval Fluency(Long-Term Retrieval); และ Rapid Picture Naming (Long-Term Retrieval)

6. Universal Nonverbal Intelligence Test (UNIT) ตีพิมพ์เมื่อปี 1998 สำหรับเด็กอายุ 5 ปี ถึง 17 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Memory Quotient โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 3 ฉบับได้แก่ Symbolic Memory (Visuospatial STM); Spatial Memory (Visuospatial STM); และ Object Memory (Visuospatial STM)

7. Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition (WAIS-III) ตีพิมพ์เมื่อปี 1997 สำหรับคนอายุ 16 ปี ถึง 89 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Working Memory Index โดยแบบทดสอบที่เกี่ยวข้องมี 4 ฉบับได้แก่ Digit Span Forward (Phonological STM); Digit Span Backward (Executive WM); Letter-Number Sequencing(Verbal WM, Executive WM); และ Arithmetic (Executive WM)

8. WISC-IV Integrated ตีพิมพ์เมื่อปี 2004 สำหรับเด็กอายุ 6 ปี ถึง 16 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เกี่ยวข้อง 8 ฉบับได้แก่ Visual Digit Span (Visuospatial STM); Spatial Span Forward (Visuospatial STM); Spatial Span Backward (Visuospatial WM); Letter Span Nonrhyming(Phonological STM); Letter Span Rhyming(Phonological STM); Letter-Number Sequencing Processing Approach (Verbal WM, Executive WM); Arithmetic Processing Approach Part A (Executive WM)และ Arithmetic Processing Approach Part B (Executive WM)

9. The NEPSY II : A Developmental Neuropsychological Assessment ตีพิมพ์เมื่อปี 2004 สำหรับเด็กอายุ 6 ปี ถึง 16 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เกี่ยวข้อง 10 ฉบับ

ได้แก่ Memory for Faces(Visuospatial STM); Memory for Names(Learning); Narrative Memory(Verbal WM); Sentence Repetition (Verbal WM); List Learning (Learning); Word List Interference Approach (Verbal WM, Executive WM); Memory for Designs(Visuospatial STM); Speeding Naming (Long-Term Retrieval); Repetition of Nonsense Words(Phonological STM); และ Verbal Fluency(Long-Term Retrieval)

10. Kaplan Baycrest Neurocognitive Assessment ตีพิมพ์เมื่อปี 2000 สำหรับคนอายุ 20 ปี ถึง 89 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Immediate Memory Recall, Delayed Memory Recognition, และ Delayed Memory Recall มีแบบทดสอบที่เกี่ยวข้อง 4 ฉบับได้แก่ Word List 1(Recall); Complex Figure 1 (Recall); Repetition และ Numbers

11. Leiter International Performance Scale – Revised ตีพิมพ์เมื่อปี 1999 สำหรับเด็กอายุ 2 ปี ถึง 20 ปี 11 เดือน มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำด้าน Attention and Memory, Memory Screen, Associative Memory, Memory Span, Memory Process, และ Recognition Memory มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 5 ฉบับได้แก่ Associated Pairs, Immediate Recognition, Forward Memory, Reverse Memory และ Spatial Memory

12. Reynolds Intellectual Assessment Scales ตีพิมพ์เมื่อปี 2003 สำหรับคนอายุ 3 ปี ถึง 94 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เรียกว่า Composite Memory Index มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 2 ฉบับได้แก่ Verbal Memory และ Nonverbal Memory

13. Repeatable Battery for the Assessment of Neuropsychological Status ตีพิมพ์เมื่อปี 1998 สำหรับคนอายุ 20 ปี ถึง 89 ปี มีแบบทดสอบวัดองค์ประกอบของความจำที่เรียกว่า Immediate Memory และ Delayed Memory มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 2 ฉบับได้แก่ List Learning และ Digit Span

14. Ross Information Processing Assessment – Second Edition ตีพิมพ์เมื่อปี 1996 สำหรับคนอายุ 15 ปี ถึง 90 ปี มีแบบทดสอบย่อยในส่วนของ Working Memory 2 ฉบับได้แก่ Immediate Memory และ Recent Memory

Dr. Tracy Alloway นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Durham ประเทศสหราชอาณาจักร ผู้อ้างว่าได้สร้างเครื่องมือแรกของโลกเพื่อประเมินความจุของความจำขณะทำงานของนักเรียนในชั้นเรียนเสนอว่าเด็กที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำในโรงเรียนอาจเป็นเพราะมีความจำขณะทำงานที่ไม่ดี ไม่ใช่เป็นเพราะสติปัญญาต่ำ และถ้าไม่มีการช่วยเหลือที่เหมาะสม ความบกพร่องของความจำขณะทำงานในเด็ก ซึ่งเดิมคิดกันว่าเกิดจากพันธุกรรม จะมีผลกระทบต่อความสำเร็จทางวิชาการระยะยาวจนโตเป็นผู้ใหญ่และทำให้เด็กไม่บรรลุศักยภาพของพวกเขาในการเรียนรู้ (<http://www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080227205111.htm> retrieved June, 06/2011)

Alloway และคณะ ดำรวจเด็กในประเทศสหราชอาณาจักรมากกว่าสามพันคน พบว่ากว่าร้อยละสิบของนักเรียนในทุกช่วงอายุมีปัญหาเนื่องจากความบกพร่องด้านความจำขณะทำงานส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ของพวกเขา ซึ่งเท่ากับว่ามีเด็กระดับประถมศึกษาในประเทศสหราชอาณาจักรเกือบครึ่งล้านคนที่ได้รับผลกระทบนี้ อย่างไรก็ตาม นักวิจัยพบว่า ครุมีความยากลำบากในการระบุว่าเด็กมีปัญหาเรื่องความจำขณะทำงานหรือไม่ โดยครุมักกล่าวถึงเด็กที่มีปัญหานี้ว่าเป็นเด็กไม่ตั้งใจเรียนหรือมีระดับสติปัญญาต่ำ นักวิจัยอ้างว่าเครื่องมือใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กับแบบตรวจสอบรายการโดยใช้ข้อสนเทศจากผลการวิจัยที่ศึกษามาเป็นเวลาหลายปีเกี่ยวกับความบกพร่องของความจำขณะทำงานของเด็ก จะเป็นครั้งแรกที่ช่วยครูให้สามารถระบุและประเมินความจุของความจำขณะทำงานของเด็ก ๆ ในชั้นเรียนได้ตั้งแต่เล็กอายุประมาณ 4 ปี นักวิจัยเชื่อว่าการประเมินเด็กได้ตั้งแต่ขวบปีแรกๆจะช่วยให้ครูปรับวิธีการสอนใหม่ที่จะช่วยแก้ปัญหาผลสัมฤทธิ์ต่ำได้

เครื่องมือนี้ได้รับการทดลองใช้นำร่องในโรงเรียน 35 โรงเรียนทั่วประเทศสหราชอาณาจักร และขณะนี้ถูกแปลเป็นภาษาต่างประเทศ 10 ภาษา Dr. Alloway อธิบายว่า “ความจำขณะทำงานเป็นความสามารถในการรักษาข้อสนเทศไว้ในหัวของคุณ และใช้มันในใจ คุณใช้พื้นที่ทำงานในใจนี้ในการบวกเลข 2 จำนวนที่ใครคนใดคนหนึ่งบอกให้ทำโดยไม่ให้ใช้กระดาษ ปากกา หรือเครื่องคิดเลข เด็กๆในโรงเรียนต้องการความจำแบบนี้ในการทำภาระงานหลายๆอย่างในชีวิตประจำวัน เช่นการติดตามการสอนของครูหรือการจำประโยคที่เพิ่งถูกสั่งให้เขียนลงในสมุด” ... “ความจำขณะทำงานเป็นเหมือนกับแผ่นสำหรับจดบันทึกในจิตใจและจะมีคุณภาพดีหรือไม่คืออยู่ที่มันง่ายที่จะมีเส้นทางจากความจำขณะทำงานนี้ไปยังการเรียนรู้หรือมันป้องกันไม่ให้เกิดการเรียนรู้” “จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่หลายเรื่องที่เราดำเนินการมา เราเชื่อว่า วิธีเดียวที่เด็กที่มีความบกพร่องด้านความจำขณะทำงานจะสามารถประสบความสำเร็จในการเรียนคือการสอนวิธีการเรียนรู้ แม้ว่าพวกเขาจะมีความจุของความจำขณะทำงานน้อยในการเก็บข้อสนเทศในใจ” ... “ปัจจุบัน เด็กไม่ได้ถูกระบุ และประเมินเกี่ยวกับความจำขณะทำงานในบริบทของชั้นเรียน การระบุเรื่องนี้ได้ตั้งแต่แรกๆเป็นขั้นตอนสำคัญสู่การแก้ไขเรื่องผลสัมฤทธิ์ต่ำ มันจะช่วยครูให้สามารถปรับวิธีการสอนของตนเองเพื่อช่วยในการเรียนรู้ของเด็กก่อนที่พวกเขาจะไปอยู่สัปดาห์เพื่อไกล่เกลี่ยไป”

นักวิจัยอ้างว่าแบบตรวจสอบรายการ ที่เรียกว่า Working Memory Rating Scale (WMRS) จะช่วยให้ครูระบุเด็กที่คิดว่าอาจมีปัญหาเรื่องความจำขณะทำงานได้ โดยไม่ต้องนำเด็กไปรับการทดสอบทันที เด็กที่ได้คะแนนสูงในแบบตรวจสอบรายการนี้มีแนวโน้มว่าจะมีปัญหาเกี่ยวกับความจำขณะทำงานซึ่งมีผลต่อความก้าวหน้าทางวิชาการของพวกเขา แต่ถ้าครูรู้สึกว่ามันจำเป็นต้องใส่ใจกับสมรรถนะของเด็กคนใดเป็นพิเศษ ครูก็สามารถนำเด็กไปรับการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ชื่อ Automated Working Memory Assessment (AWMA) เครื่องมือนี้มีคำแนะนำสำหรับ

ครูถึงวิธีจัดการกับขนาดบรรทุกความจำขณะทำงาน (working memory loads) ของเด็กซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่ทำให้เด็กล้มเหลวในการทำการงานด้วย ทั้งนี้ เครื่องมือทั้งสองชิ้นนี้ได้รับการเผยแพร่ โดย The Pearson Assessment งานวิจัยที่เป็นพื้นฐานของ AWMA ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจาก the Economic and Social Research Council and the British Academy.

Miyake et al. (2000) นำเสนอโมเดลของ Complex Executive Task ว่าประกอบด้วย Shifting, Updating, และ Inhibition โดยภาระงานของ Shifting ได้แก่ Plus – Minus, Number – Letter, และ Local – Global ส่วนภาระงานของ Updating ได้แก่ Keep Track, Tone Monitoring, และ Letter Memory และภาระงานของ Inhibition ได้แก่ Antisaccade, Stop – Signal, และ Stroop

รายละเอียดแต่ละภาระงาน โปรดศึกษาในเอกสารรายงานฉบับสมบูรณ์

6. การศึกษาสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงานโดยใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 คลื่นไฟฟ้าสมอง

เนื่องจากระบบประสาทจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในขณะที่ทำงาน ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างบริเวณที่ทำงานกับบริเวณที่ไม่ทำงาน ในขณะที่มีชีวิตอยู่สมองต้องทำงานอยู่เสมอ โดยที่เราอาจรู้ตัวหรือไม่รู้ตัวก็ได้ คนที่มีชีวิตจึงมีกระแสไฟฟ้าจากสมองจำนวนน้อย ๆ ที่วัดได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องกระตุ้น คลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้นี้เรียกว่า electroencephalogram (EEG) นอกจากนี้เรายังสามารถกระตุ้นระบบประสาทรับรู้สัมผัสและวัดคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทางเดินประสาทนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า evoked potential กระแสไฟฟ้าในเซลล์ประสาทเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ กล่าวคือ เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้น โซเดียมไอออนจะเข้าไปในเซลล์ และโพแทสเซียมไอออนถูกขับออกมานอกเซลล์ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ซึ่งสามารถวัดขนาดของความต่างศักย์นี้ได้ ต่อมาก็กลับคืนสู่ปกติดั้งเดิม การเปลี่ยนแปลงนี้ต้องอาศัยพลังงานจาก adenosine triphosphate (ATP) ช่วยในการทำงานของสารสื่อประสาท การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเกิดขึ้นทั้งที่ตัวเซลล์ประสาทและ dendrite ของเซลล์ประสาท ถ้าวัดที่ตัวเซลล์ประสาทจะให้ลักษณะเป็นยอดแหลม (spike) ซึ่งแสดงว่ามีความต่างศักย์เกิดขึ้นรวดเร็วและหายไปรวดเร็ว แต่ถ้าวัดที่ dendrite จะแสดงการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นช้ากว่า คลื่นไฟฟ้าที่วัดได้จากหนังศีรษะหรือ EEG เกิดจากผลรวมของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจาก dendrite ทั้งหมด และศักย์ทำงานที่มาจากมีการมีเซลล์ประสาทรวมตัวกันอยู่มาก (neuronal aggregates) และมีการติดต่อของปลายประสาทจำนวนมาก (rich synaptic interconnection) (ราตรี สุตทรวง และ วีระชัย สิงห์นิม, 2550) การติดต่อเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาทภายในเปลือกสมอง (cortex) และภายใต้เซลล์ประสาทที่อยู่ใต้เปลือกสมอง อาทิ ธารามัส (thalamus) มีลักษณะเป็น reverberating circuit

ของกระแสประสาทเกิดขึ้นตลอดเวลาและมี pace maker ในตัวเองด้วย (Klimesch et al., 1999) เราสามารถวัด EEG โดยใช้ขั้วไฟฟ้าหลาย ๆ ขั้ววางที่หนังศีรษะในตำแหน่งต่าง ๆ กันและวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ละ 2 ขั้ว ซึ่งมีวิธีการวัด 2 แบบคือ

1) Unipolar method เป็นการวัดความต่างศักย์โดยเทียบกับตำแหน่งที่ถือว่ามิศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 โดยใช้ indifferent electrode (potential เท่ากับศูนย์) วางอยู่ที่ใบหู ส่วน active electrodes วางอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของหนังศีรษะ

2) Bipolar method เป็นการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า (active electrodes) 2 ขั้ว ความถี่และความแรงของคลื่นไฟฟ้าของระบบประสาทที่วัดได้ ขึ้นอยู่กับผลรวมของเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ ถ้ามีการทำงานของเซลล์ประสาทจำนวนมาก พร้อมกัน เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน (synchronization) ก็จะมี voltage สูง และความถี่ (frequency) ลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามี desynchronize ของเซลล์ประสาทคือทำงานไม่พร้อมกัน ก็จะพบ voltage ต่ำ และความถี่สูง นักวิชาการแยกประเภทของคลื่นไฟฟ้าสมองตามความถี่ต่อวินาทีเป็น 4 ประเภทคือ (Klimesch et al. 1996; Klimesch et al. 1999)

1) Beta rhythm มีความถี่ 14-30 รอบ/วินาที มี voltage ต่ำมากจนบางครั้งไม่สามารถวัดได้ มีความสัมพันธ์กับการทำงานของ motor cortex พบได้ชัดที่หนังศีรษะบริเวณ frontal midline และ parietal (Klimesch et al. 2005)

2) Alpha rhythm พบได้ชัดเจนที่หนังศีรษะบริเวณ occipital และ posterior head region มีขนาดค่อนข้างใหญ่ (10-150 มิลลิโวลต์) มีความถี่ 8-13 รอบ/วินาที อาจเรียก EEG synchronization พบได้ในผู้ถูกวัดที่ปล่อยตัวตามสบาย (relaxed) หลับตา ไม่ได้คิดอะไร และพบได้ชัดเจนดีในเด็กอายุ 6-8 ปี

3) Theta rhythm มีความถี่ 4-7 รอบ/วินาที พบได้ปกติในเด็กและในทุกๆระยะระหว่างนอนหลับใหม่ พบได้ชัดที่หนังศีรษะบริเวณ temporal lobe และ parietal lobe ในเด็ก ในผู้ใหญ่พบว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพทางอารมณ์ (emotional state) ซึ่งจะพบได้ในผู้ป่วยโรคจิต

4) Delta rhythm ความถี่น้อยกว่า 4 รอบ/วินาที ไม่พบในคนปกติที่ตื่นอยู่ แต่พบได้ในคนนอนหลับปกติและทารก

พบว่า Alpha rhythm และ Theta rhythm เกิดขึ้นในบุคคลที่กำลังอยู่ในสถานการณ์ประมวลผลข้อมูล อาทิ การคำนวณเลขในใจ จนถึงในสถานการณ์ที่เผชิญกับปัญหาทางที่ยุ่งยากหรือซับซ้อน (Antonenko et al., 2010) และช่วงคลื่นทั้งสองยังแสดงถึงภาวะทางด้านพุทธิปัญญาและความจำในบุคคล (Klimesch, 1999)

การบันทึกความจำเป็นกระบวนการที่บันทึกข้อมูลต่างๆให้อยู่ในรูปของรหัส (code) ซึ่งต้องอาศัยการทำงานของตัวรับความรู้สึกต่างๆ เช่น จากจอตาเพื่อรับภาพ จาก organ of corti ของ

cochlear ในหูชั้นในเพื่อรับเสียง จาก olfactory receptor ของเยื่อในโพรงจมูก เพื่อรับกลิ่น จาก gustatory receptor ในตุ่มรับรส (taste bud) ของลิ้น เพื่อรับรส และ จาก touch receptor ในผิวหนังเพื่อรับสัมผัส โดยอาศัยการทำงานในรูปของสัญญาณประสาทศัลยกรรมทำงาน

การบันทึกข้อมูลเป็นรหัสของสมองสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การบันทึกข้อมูลลงสู่สมองที่เน้นลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของสิ่งเร้า (structural encoding) การบันทึกข้อมูลลงสู่สมองที่เน้นเสียงของคำ (phonemic encoding) และเป็นการบันทึกข้อมูลลงสู่สมองที่เน้นที่เน้นความหมายของคำ (semantic encoding) นอกจากการบันทึกใน 3 ลักษณะที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังอาจบันทึกในแง่มุมอื่นๆ ได้อีก เช่น การเชื่อมโยง (association) กับข้อมูลอื่น เป็นต้น (จินตนากรณวิวัฒน์ธร, 2544) ซึ่งนอกจากลักษณะของข้อมูลที่มีผลต่อการบันทึกความจำแล้วยังพบว่า ความตั้งใจ หรือความใส่ใจหรือความสนใจ (attention) ยังส่งผลต่อการบันทึกความจำด้วย

นักประสาทวิทยาศาสตร์บางกลุ่มเชื่อว่าข้อมูลที่ต่างชนิดกันจะถูกบันทึกในรูปแบบของอัตราการเกิดสัญญาณประสาทหรือศัลยกรรมทำงานที่แตกต่างกัน โดยที่การเกิดสัญญาณประสาทใน EEG ของ short-term หรือ episodic memory เกิดสัญญาณใน theta band ในขณะที่ long-term หรือ semantic memory เกิดสัญญาณใน alpha band (Klimesch, 1996) และมีการเชื่อมโยงของวงจรประสาทตลอดจนเส้นทางเดินประสาทแตกต่างกัน การกระตุ้นจากเสียง (audio stimuli) ที่มีกลิ่นความถี่ที่ต่างกันหรือเห็นภาพ (visual stimuli) ที่มีลักษณะแตกต่างกันเช่น ภาพแนวเส้นหรือภาพที่มีการเคลื่อนไหว อัตราการเกิดสัญญาณประสาทที่เกี่ยวข้องกับเรื่องราวเหล่านั้นมีความแตกต่างกัน อาทิ การศึกษาของ Maljickovic and Maljickovic (2009) พบว่าโครงสร้างของสมองส่วน amygdala เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญใน visual encoding โดยรับภาพที่เห็นและลงรหัสเป็นสิ่งที่มีความหมายในทางบวกหรือลบ นอกจากนั้นยังพบว่าข้อมูลที่จะถูกเก็บบันทึกไว้ในรูปความจำจะต้องเป็นข้อมูลที่มีความหมาย (meaningful) และจากการศึกษาของ Mathiak et al. (2000) พบว่าข้อมูลเสียงที่รับฟังจากหูทั้งสองข้างมีผลต่อสมองการรับรู้มากกว่าการฟังจากหูเพียงข้างเดียว

การใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) สามารถแสดงได้ว่า ขณะที่วัดนั้น บุคคลกำลังใช้งานสมองส่วนใดอยู่ ดังนั้นการใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ในการยืนยันความตรงตามเกณฑ์สัมพันธ์ของแบบทดสอบจึงอยู่ในวิสัยที่เป็นไปได้ โดยหากผลการวัดขณะที่ทำเครื่องมือวัด 2 ฉบับแสดงว่า สมองทำงานที่บริเวณเดียวกัน น่าจะพอเชื่อได้ว่า เครื่องมือวัด 2 ฉบับนั้น วัดความสามารถด้านเดียวกัน การวิจัยนี้จึงจะดำเนินการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาโดยเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองเมื่อนักศึกษาทำแบบทดสอบ 2 ฉบับคือฉบับที่ใช้เป็นเกณฑ์ กับ ฉบับที่พัฒนาขึ้น

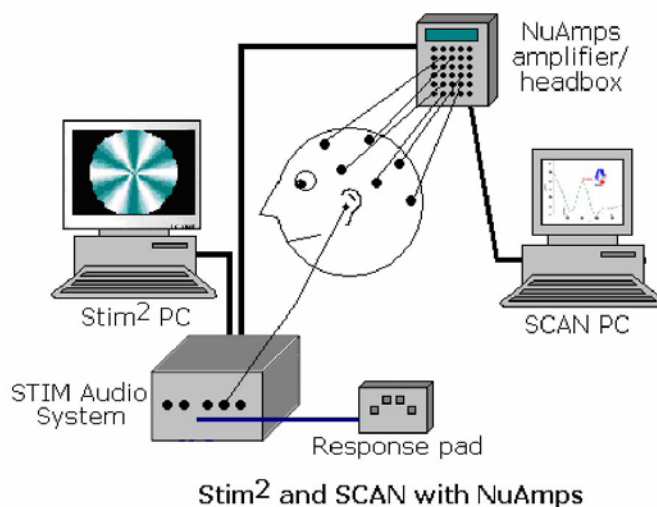
6.2 เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Neuroscan

Neuroscan เป็นชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทที่ผลิตโดยบริษัท Compumedic Neuroscan โดยทีมงานนักประสาทวิทยาศาสตร์ ที่มีการนำไปใช้ในงานวิจัยทางคลินิก และงานวิจัยทางสาขา cognitive field อย่างแพร่หลาย ชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทนี้ประกอบด้วย hardware และ software package เพื่อสำหรับการวัด วิเคราะห์ข้อมูลทั้ง EEG และ ERP ข้อมูลดังกล่าวมีตั้งแต่ระดับพื้นฐานของระบบรับรู้ของร่างกาย (sensory system) ระบบประสาทยนต์ (motor system) การรับรู้ (perceptual) ไปจนถึงระดับการวัดทางพุทธิปัญญารวมทั้งงานด้านความตั้งใจ (attention) และความจำขณะทำงาน (working memory) EEG และ ERPs ที่ได้จากการวัดนั้นยังสามารถนำไปประกอบเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลของ MRI (Compumedics, 2003) ชุดเครื่องมือวิจัยทางระบบประสาทดังกล่าวที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

1) หน่วยสร้างหรือแสดงสัญญาณจากภายนอก (Stimulus presentation unit) ซึ่ง Neuroscan มีโปรแกรม Stim2 สำหรับสร้างภาระงานมาเพื่อเป็นสิ่งเร้า ภาระงานนั้นมีทั้งภาระงานทางด้าน ระบบประสาทยนต์ (motor) การรับรู้ (perceptual) ความตั้งใจ (attention) ความจำ (memory) รวมทั้งภาระงานด้าน พุทธิปัญญา (cognitive) และยังมีส่วนภาระงานทั่วไป (gentask) ซึ่ง เป็นส่วนที่สามารถนำไปสร้างภาระงานที่สามารถจัดการและควบคุมตามต้องการได้

2) หน่วยขยายและแปลงสัญญาณ (Signal amplification and digitization) เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ขยายและแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้จากหนังศีรษะจากระบบ analog ไปเป็นระบบ digital ในขณะที่ทำการวัดโดยการทำหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เรียกว่า NuAmps

3) หน่วยในการรับสัญญาณและการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ (Data acquisition and analysis) ซึ่งระบบ SCAN system มีโปรแกรม Acquire 4.5 ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ และมีโปรแกรม Edit 4.5 ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณที่ได้



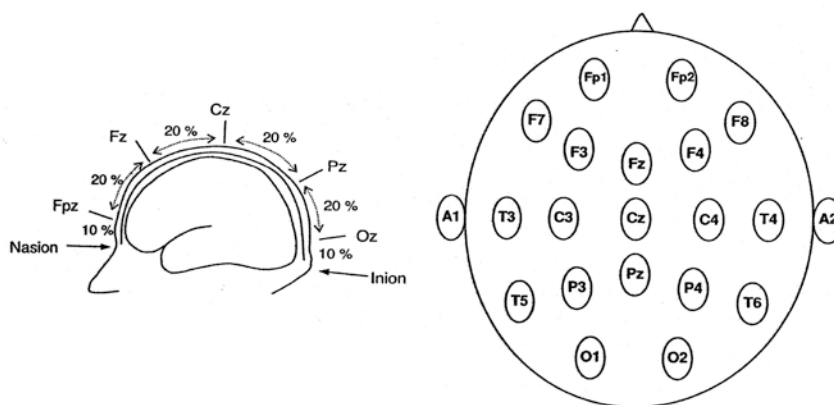
ภาพ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่อง Neuroscan (Compumedics Neuroscan, 2009)

ขั้นตอนของการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและการบันทึกผลในห้องปฏิบัติการ

- 1) ให้นั่งบนเก้าอี้โน้มซึ่งสามารถปรับระดับเอนได้ในท่าสบายและผ่อนคลาย
- 2) วัดศีรษะจากตำแหน่ง Nasion ซึ่งเป็นบริเวณที่ระหว่างหัวคิ้วทั้งสองข้างไปจนถึงบริเวณ inion ซึ่งเป็นปุ่มกระดูกนูนบริเวณท้ายทอย เพื่อหาตำแหน่งสำหรับวางขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก (microelectrode) บนหนังศีรษะในตำแหน่งต่างๆ
- 3) ทำความสะอาดหนังศีรษะ บริเวณที่จะวางขั้วไฟฟ้าด้วยน้ำยาสำหรับทำความสะอาดผิวหนัง
- 4) วางหมวกวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กจัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากลที่เรียกว่า ระบบ 10-20 (10-20 system) กระจายอยู่ตามตำแหน่งดังภาพ 2 (Boutros et al., 2011)
- 5) ทำการบันทึกภาพคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะที่ทำแบบทดสอบความตั้งใจ หรือแบบทดสอบความจำขณะทำงาน ในเครื่องคอมพิวเตอร์

หมวกวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

เป็นหมวกที่มีขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กจัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากลที่เรียกว่า ระบบ 10-20 (10-20 system) การวัดตำแหน่งของศีรษะวัดจาก ตำแหน่งจุดเริ่มของสันจมูก (Nasion) ซึ่งเป็นบริเวณระหว่างกระดูกจมูกกับกระดูกหน้าผากไปจนถึงบริเวณ occipital protuberance (inion) ซึ่งเป็นปุ่มกระดูกนูนบริเวณท้ายทอย ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กตามตำแหน่งกลีบของเปลือกสมอง (lobe of cerebral cortex) อาทิ Frontal pole (Fp), Central (C), Parietal (P), occipital (O), Temporal (T) และตัวเลขก็แสดงถึงสมองซีกซ้ายส่วนตัวเลขคู่แสดงถึงสมองซีกขวา แสดงดังภาพ 3.3 (Boutros et al., 2011)



ภาพ 3.4 ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กจัดเรียงตามวิธีมาตรฐานสากล ระบบ 10-20 (Boutros et al., 2011)

6.3 โปรแกรมสร้างภาระงานสำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำภาระงาน

6.3.1 โปรแกรม STIM

STIM เป็นโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับใช้สร้างภาระงานที่กำหนดในเครื่อง Neuroscan โปรแกรม STIM ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ร่วมกับระบบประสาทจิตวิทยา สามารถวัดระบบความรู้สึกร่างกาย วัดภาระงานทางปัญญา และวัดงานทางด้านประสาทจิตวิทยา ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับเครื่องวัดคลื่นสมอง สามารถแสดงคลื่นสมองขณะทำกิจกรรมต่างๆ ทั้งขณะปฏิบัติงานทางด้านพุทธิปัญญา รวมทั้งงานด้านความตั้งใจ โปรแกรมแบ่ง 8 ส่วนหลัก (Compumedics Neuroscan, 2003) คือ

- 1) ระบบประสาทยนต์ (motor) ประกอบด้วย Tap และ track task
- 2) การรับรู้(perceptual) ประกอบด้วย contrast, naming และ stroop task
- 3) ความตั้งใจ(attention) ประกอบด้วย cued, contingent CPT audio CPT และ visual CPT task
- 4) ความจำ(memory) ประกอบด้วย spatial memory, verbal learning และ serial probe recognition task
- 5) พุทธิปัญญา(cognitive) ประกอบด้วย card sorting และ categories task
- 6) ภาระงานทั่วไป(gentask) เป็นส่วนสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ได้มีความยืดหยุ่น สามารถควบคุมและจัดการได้
- 7) การปรับเสียง(sound editor) เพื่อการปรับปรุงและดัดแปลง SND และ WAVE file
- 8) การใช้สอย(utility)เพื่อการปรับปรุงและดัดแปลงไฟล์รูปภาพ เพื่อการพิมพ์ในเอกสาร

6.3.2) โปรแกรม E-prime

เป้าหมายของการพัฒนาชุดโปรแกรม E -prime (Schneider, 2002) คือเพื่อจัดทำภาษาคอมพิวเตอร์ร่วมกันสำหรับงานวิจัยทางจิตวิทยาที่เป็นมาตรฐาน แม่นยำ ที่เหมาะสมกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ชุด โปรแกรม E -prime ถูกออกแบบมาเพื่อให้ นักวิจัยสามารถพัฒนาการทดลอง ที่สามารถทำงานอย่างแม่นยำบนคอมพิวเตอร์ทั่วโลกได้อย่างรวดเร็ว การใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ธรรมดาร่วมกันทำให้นักวิจัยในมหาวิทยาลัยต่างๆสามารถสื่อสารและแบ่งปันวิธีการทดลองและข้อมูลกันได้ ผู้พัฒนามีแนวคิดที่ระบบต้องยืดหยุ่นพอที่จะยอมให้ งานวิจัยทางจิตวิทยาลักษณะที่ทำกันเป็นส่วนมากที่สุดทำงานบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ได้ โดยต้องให้ข้อมูลที่แม่นยำเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกต้อง และที่สำคัญที่สุด มีการตรวจสอบภายในเพื่อให้ นักวิจัยสามารถรายงานค่าที่แม่นยำของการทดลอง ผู้พัฒนาโปรแกรมเสนอว่าคงเป็นประโยชน์ต่อชุมชนวิจัยที่จะมีทีมงานผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ผลที่อุทิศตนและใส่ใจกับสภาพแวดล้อมทางคอมพิวเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้มีการทดลองที่แม่นยำบนเครื่องมือทางการค้าที่เป็นมาตรฐาน ชุดโปรแกรม E -prime จึงถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็วที่จะทำให้มีค่า

ความแม่นยำและยืดหยุ่นกับวิธีการทดลองแบบต่างๆ โปรแกรมถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับวิธีการที่นักวิจัยเลือกทั้งโครงสร้างและการจัดการการทดลอง ปัจจุบันมีงานวิจัยนับพันที่ดำเนินการโดยใช้ E -prime ทั้งงานวิจัยเกี่ยวกับพื้นฐานในชีวิตประจำวันไปจนถึงงานวิจัยทดลองที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์คุณภาพสูง

ชุดโปรแกรม E -prime ออกแบบมาให้ให้นักวิจัยสามารถนำไปปรับใช้ในการออกแบบงานวิจัยได้หลายลักษณะ สามารถใช้สิ่งเร้าได้ทั้งตัวอักษร ภาพ และเสียง ทั้งโดยการกำหนดค่าและการสุ่ม ให้ผลแสดงการทำงานออกมาเป็นค่าเวลาการตอบสนอง(reaction time) ที่แม่นยำในหน่วยมิลลิวินาที

มีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการใช้โปรแกรมทุกครั้งจะต้องมี **hardware Key** ซึ่งเชื่อมต่อทาง USB port และมีหมายเลขสินค้า (serial number) กำกับในการติดตั้งโปรแกรม อย่างไรก็ตาม สำหรับผู้ที่ไม่ได้ต้องการพัฒนาแบบทดสอบเอง สามารถ download โปรแกรมมาใช้งานที่มีผู้เขียนโปรแกรมไว้แล้วได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลที่ต้องการให้ปรากฏในผลการทดลองขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา การวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาตัวแปร ACC, CRES, RES, และ RT

ACC หรือ accuracy of the response เป็น ค่าคะแนนที่ได้ ซึ่งกำหนดเป็น 1 เมื่อตอบถูก และเป็น 0 เมื่อตอบผิดหรือไม่ตอบ

CRESP (correct response) เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

RESP (response) เป็นการตอบสนองของผู้เล่น

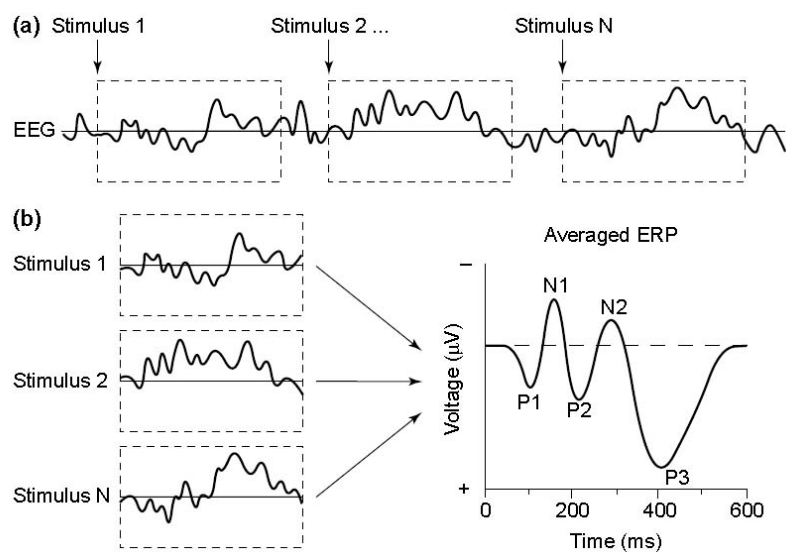
RT (Reaction time) เป็นจำนวนเวลาในการตอบสนองของผู้เล่นเป็นมิลลิวินาที ตั้งแต่เริ่มเห็นสิ่งเร้าจนถึงเวลาคลิกปุ่ม

6.4 การวิจัยที่วัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำภาระงานด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง(EEG) เป็นเทคนิควิธีที่ถือว่าไม่มีผลอันตรายต่อผู้ถูกวัด (non-invasive technique) ค่าของคลื่นไฟฟ้าสมองส่วนที่นำมาศึกษากัน คือ ค่าคลื่นไฟฟ้าสมองที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการกระตุ้นของเหตุการณ์ ที่เรียกว่า Evoked potentials หรือ Event-Related Potential (ERPs) (Teplan,2002) ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้าของสมองที่บันทึกจากการเปลี่ยนแปลงไปอันเป็นผลเนื่องมาจากมีเหตุการณ์จากภายนอกหรือภายในมากระตุ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง(Time-locked EEG activity) การศึกษา ERPs ทำให้สามารถทราบการเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมองในขณะที่ทำงานต่างๆ เช่น ขณะทำงานด้านประสาทยนต์ (motor) ขณะทำงานด้านประสาทรับความรู้สึก รวมทั้งขณะที่ทำงานการรับรู้ ขณะที่ทำงานประมวลผลทางภาษา (language processing) ความจำ การใช้ความคิดต่างๆ การประมวลผลทางพุทธิปัญญาขั้นสูง (high cognitive processing) รวมทั้ง ความตั้งใจ (attention) และความจำขณะทำงาน(working memory) (Friedman &

Johnson, 2000; Luck, et al., 2000; S. Finnigan et al., 2010) กล่าวได้ว่า การศึกษา ERPs เป็นการศึกษาที่ให้คำตอบสำหรับคำถามที่สำคัญขององค์ความรู้ทางด้านพุทธิปัญญา(Luck, et al., 2000) หลักการสำคัญของการศึกษาวิจัยลักษณะนี้ คือ การนำเสนอ สิ่งเร้าที่ 1, สิ่งเร้าที่ 2, ไปจนถึง สิ่งเร้าที่ N ต่อผู้ถูกวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และบันทึกค่าคลื่นไฟฟ้าสมองทั้งหมด(EEG)ไว้ เพื่อจะนำค่าคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงที่ทำงานแต่ละช่วง(ERPs)มาศึกษา แต่เนื่องจากการตอบสนองที่เฉพาะเจาะจงในการกระตุ้นแต่ละครั้งมีขนาดเล็กเกินไปที่จะมองหาในมวลคลื่นสมองจำนวนมากได้ ดังนั้นจึงต้องนำคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ยและหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ ERP ที่ชัดเจนขึ้น

ดั่งภาพ 3.5



ภาพ 3.5 (a) คลื่นไฟฟ้าสมอง เมื่อ สิ่งเร้าที่ 1, สิ่งเร้าที่ 2, ไปจนถึง สิ่งเร้าที่ N ถูกนำเสนอ (b) การนำ EEG ที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ยและหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ ERP ที่ชัดเจน (Luck, et al., 2000)

ERPs ของคนสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1) กลุ่มคลื่นช่วงต้น (early waves) ซึ่งเป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มียอดคลื่นสูงสุด(peaking) ก่อนเวลา 100 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้น เรียกว่า 'sensory' หรือ 'exogenous' คลื่นกลุ่มนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของสิ่งเร้า (depend largely on the physical parameters of the stimulus) และ

2) กลุ่มคลื่นช่วงหลัง(late waves) เป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่มี ยอดคลื่นสูงสุดถัดจากเวลา 100 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นไปแล้ว เรียกว่า 'cognitive' หรือ 'endogenous' ERPs เป็น คลื่นไฟฟ้าที่แสดงถึงการประมวลผลข้อมูล (examine information processing) ซึ่งมีหลายลักษณะ

การเรียกชื่อรูปแบบของคลื่น (waveforms) ERPs สามารถเรียกตามช่วงเวลา(latency) ที่เกิด ยอดคลื่นสูงสุด หรือมีแอมพลิจูด(amplitude)สูงสุดหลังได้รับการกระตุ้น เช่น คลื่นทางบวก(positive)

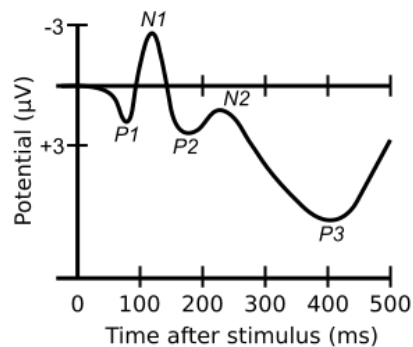
ที่มีค่า amplitude สูงสุด ที่เกิดเมื่อช่วงเวลาหลังการได้รับการกระตุ้น (latency) ประมาณ 100 มิลลิวินาที เรียกว่า P100 และถ้าเกิดที่ latency ประมาณ 200, 300 มิลลิวินาที เรียกว่า P200, P300 เป็นต้น (Shravani Sur and Sinha, 2009)

งานวิจัยครั้งนี้สนใจประเด็นการประมวลผลข้อมูลของสมอง จึงศึกษากลุ่มคลื่นช่วงหลังซึ่งแสดงถึงการประมวลผลข้อมูล อันได้แก่ N100, P200 และ P300 ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่ใช้เป็นองค์ประกอบ ERPs (ERP components) ในการศึกษาเรื่องของความตั้งใจและความจำขณะทำงาน (Luck, et al., 2000; Zanto et al., 2010)

ลักษณะของคลื่น ERP

1. ยอดคลื่น (peak)

คลื่น ERP 1 ช่วงคลื่น หรือ 1 ERP waveform จะมีปลายยอดของคลื่น (peak) ซึ่งอาจมีทิศทางขึ้นหรือลง แสดงถึงผลรวมของค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ผ่านไปนับตั้งแต่ปรากฏสิ่งเร้า มักใช้อักษรตัวย่อ P เมื่อผลรวมความต่างศักย์มีค่าเป็นบวก และ ตัวย่อ N เมื่อผลรวมความต่างศักย์มีค่าเป็นลบ ทำให้ ERPs เกิดเป็นองค์ประกอบจากยอดคลื่นเหล่านั้นเป็นค่าต่างๆ เช่น P1, N1, P2, N2, P3 เป็นต้น (Luck et al., 2000) ยอดคลื่นเหล่านี้ทำให้เกิด latent components ซึ่งเป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นนำเสนอสิ่งเร้าไปจนเกิดยอดคลื่นต่างๆ ดังภาพ 3.6



ภาพ 3.6 ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นนำเสนอสิ่งเร้าไปจนเกิดยอดคลื่นต่างๆ

จากภาพ 3.6 ปลายยอดคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกครั้งแรก เรียกว่า P1 หรือ P100 ส่วนปลายยอดคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบครั้งแรก เรียกว่า N1 หรือ N100 การวิจัยครั้งนี้ศึกษา N100, P200 และ P300 โดย N100 เป็นยอดคลื่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเมื่อประมาณ 80-130 มิลลิวินาที นับจากเริ่มต้นนำเสนอสิ่งเร้าไปจนเกิดยอดคลื่น ส่วน P100, P200, และ P300 เป็นคลื่นที่มียอดคลื่นสูงสุดไปทางบวกที่เกิดขึ้นประมาณ 80-120 มิลลิวินาที, ประมาณ 150-210 มิลลิวินาที, และประมาณ 280-400 มิลลิวินาที หลังได้รับการกระตุ้น ตามลำดับ (Beydagi et al., 2000)

2. แอมพลิจูด(Amplitude)

ค่าแอมพลิจูดเป็นเป็นศักย์ไฟฟ้าที่แสดงถึงปริมาณของเซลล์ประสาทที่กำลังเกิดการ ทำงานพร้อมกัน (synchrony) มีหน่วยเป็นไมโครโวลต์ ดูได้จากความสูงของยอดคลื่นทั้งที่ปลายยอดชี้ ขึ้นข้างบนและลงข้างล่างเทียบกับค่าความต่างศักย์ที่เป็น 0

สถาบันประสาทวิทยา กรมการแพทย์ (2549) แบ่งขนาดของแอมพลิจูดเป็น 3 ขนาดคือ ค่าที่ต่ำกว่า 20 ไมโครโวลต์ เป็นค่าขนาดเล็ก (low amplitude) ค่าขนาดปานกลางอยู่ที่ 20-50 ไมโครโวลต์ และค่าที่สูงกว่า 50 ไมโครโวลต์ ถือว่ามีค่าสูง

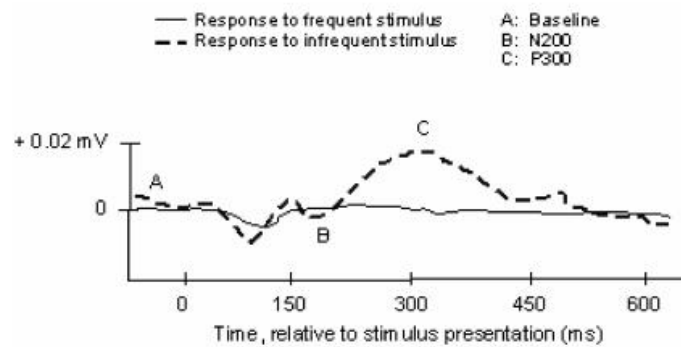
การวิจัยทางด้านการความตั้งใจและความจำขณะทำงานส่วนใหญ่ ศึกษา ERPs ซึ่งเป็นคลื่น ที่แสดงถึงการประมวลผลข้อมูล (examine information processing) ที่ตำแหน่ง N100, N200, P100, P200, และ P 300

N1 หรือ N100

N1 หรือ N100 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางลบที่เกิดขึ้นประมาณ 80-130 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้น ซึ่งสังเกตได้เมื่อมีการเกิดขึ้นของสิ่งเร้าที่ไม่คาดหวัง (unexpected stimulus) เป็นการเตรียมการตอบสนองที่ matching กับสิ่งเร้าเป้าหมายที่จะเกิดขึ้น เชื่อว่า N1 สร้างขึ้นในสมองในแนวกลาง โดยเฉพาะจะสูงสุดในขั้วอิเล็กโทรด Cz ซึ่งเรียกว่า “vertex potential” เป็นดัชนีแสดงถึงการเรียงลำดับของความตั้งใจ (orienting of attention) ที่แสดงถึงความตั้งใจของผู้ถูกวัดที่มีต่อสิ่งเร้า (Luck et al., 2000; Natale et al., 2006; [Shravani Sur](#) and [Sinha](#), 2009) หรือเป็น intersection ระหว่างการเลือกรับรู้รูปร่าง (feature selection) กับ การลงรหัสของ working memory encoding” (Zanto et al., 2010, p. 22). พบว่า ผู้ป่วยที่มีรอยโรคที่สมองส่วน prefrontal cortex จะมีการลดลงของ N1 and N2 (Knight, 1997)

N 2 หรือ N 200

N 2 หรือ N 200 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางลบที่เกิดขึ้นประมาณ 180-325 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นด้วยภาพหรือเสียงที่จำเพาะบางอย่าง มีการทดลองที่เป็น oddball paradigm ซึ่งเป็นการทดลองที่มีสิ่งเร้า 2 อย่าง สิ่งเร้าแรกเป็นสิ่งเร้าที่ที่ปรากฏเป็นประจำ (frequent stimulus) และสิ่งเร้าที่ 2 เป็นสิ่งเร้าที่นานๆจึงจะเกิดครั้งหนึ่ง (infrequent stimulus) (ภาพ 3.6) พบว่า ค่าแอมพลิจูดของ N 200 มีค่าสูงขึ้นในกรณีที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งเร้าแรก และพบว่า N 200 มักเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการตอบสนองด้วยระบบประสาทมอเตอร์โดยการกดแป้น เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่า N 200 เชื่อมโยงกับการจำแนกสิ่งเร้า (identification and distinction) ([Patel](#) and [Azzam](#) , 2005)



ภาพ 3.7 N200 ในการตอบสนองต่อ *oddball paradigm*

เราสามารถ จำแนก N200 ออกเป็นองค์ประกอบย่อยๆ คือ N2a, N2b และ N2pc

N2a เป็นยอคคลื่นที่มีการกระจายอยู่เปลือกสมองทางด้านหน้าที่เกิดขึ้นทั้ง conscious attention to, or ignoring of, a deviating stimulus mismatch negativity (MMN), หรือ auditory N2a เป็นองค์ประกอบย่อยของ N200 ที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นเสียงเมื่อใช้การทดลองที่เป็น *oddball paradigm* ที่มีสิ่งเร้าเป็น เสียง (Picton et al., 2000) ในขณะที่ยอคคลื่นที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นภาพที่เกิดหลังจากการเสนอด้วยสิ่งเร้าประมาณ 120-200 มิลลิวินาที ในการทดลองที่เป็น *oddball paradigm* เรียกว่า vMMN ซึ่งเกิดขึ้นที่สมองบริเวณ prestriate region โดย ภาระงานในการจำแนกสี จากการศึกษาด้วยรอยโรค ที่พบในสมอง(brain-lesion) และการทำหน้าที่ของสมองสรุปได้ว่า MMN กำเนิดจากสมองส่วนหน้า (frontal lobe) ร่วมกับ thalamus และ hippocampus (Patel and Azzam , 2005)

N2b เป็นยอคคลื่นที่มีการกระจายอยู่เปลือกสมองสมองบริเวณตรงกลาง ซึ่งพบเฉพาะภาวะผู้วัดคลื่นสมองมีสติ (conscious stimulus attention) N2b ต่างจาก mismatch negativity (MMN) ที่การตอบสนองไม่จำกัดที่สิ่งเร้าที่เป็นเสียงเท่านั้น ในการทดลอง *oddball paradigm* ที่มีสิ่งเร้าเป็นได้ทุกหมวดที่สิ่งเร้าใหม่นั้นแตกต่างไปจากสิ่งเร้าเดิมที่เกิดเป็นประจำ เชื่อว่ายอคคลื่นนี้สร้างจากสมองบริเวณ frontal lobe และ superior temporal cortex

N2pc เป็นยอคคลื่นที่เกิดในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นภาพที่เกิดทางด้านซ้ายหรือขวาของจอภาพ และมักพบว่าบริเวณที่ทำงานที่เกิดคลื่นนี้จะอยู่ที่สมองบริเวณ occipital-temporal region ด้านตรงข้ามกับสิ่งเร้า และถือว่าเป็นดัชนีการเปลี่ยนความตั้งใจ (index of attentional shift)

P1 หรือ P100

P1 หรือ P100 หรือ C2 (Russo et al., 2001) เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางบวกที่เกิดขึ้นประมาณ 80–120 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้น ซึ่งสามารถพบได้ชัดเจนในสมอง

บริเวณท้ายทอย (occipital lobe) โดยประมาณทางด้าน ventrolateral prestriate cortex ของสมองส่วนที่ตรงข้ามกับลานสายตาที่รับสิ่งเร้า (Mangun et al., 1993) ที่เรียกว่า P1 เพราะเกิดจากการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกครั้งแรกเมื่อใช้จุด mastoid เป็นจุดวางขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ส่วนที่เรียกว่า P100 เพราะ peak ของคลื่นมักเกิดขึ้นที่เวลาประมาณ 100 มิลลิวินาที เชื่อว่า P1 สร้างขึ้นในสมองส่วน extrastriate cortex ตำแหน่ง ventral occipital cortex (Russo et al., 2001) ที่แสดงถึงความตั้งใจของผู้ถูกวัดที่มีต่อสิ่งเร้า โดยพบว่า P1 ในบุคคลที่สนใจหรือตั้งใจต่อตำแหน่งของสิ่งเร้าจะมีแอมพลิจูดขนาดใหญ่กว่าบุคคลที่ไม่ให้ความสนใจต่อตำแหน่งของสิ่งเร้า การตั้งใจต่อสิ่งเร้านี้เชื่อว่ามีอิทธิพลมาจากกระบวนการ top-down processes ที่มีสมองส่วน prefrontal cortex เป็นตัวคอยควบคุม P1 เป็นการแสดงถึงบุคคลที่มี sensory selection (e.g., Heinze, Luck, Mangun, & Hillyard, 1990) โดยกระบวนการ top-down suppression (Hillyard et al., 1998) Natale et al. (2006) อ้างว่า P1 ถือว่าเป็นดัชนีคลื่นไฟฟ้าสมองแรกสุด (earliest ERP index) ที่แสดงถึงการควบคุมความตั้งใจ (attentional control) โดยการกดกระบวนการ bottom-up sensory processing ผ่านการติดต่อเชื่อมโยงประสาทของสมองส่วนหน้าที่มีต่อสมองส่วนหลัง (frontal-posterior attention networks) ลักษณะและรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏทางสายตา รวมทั้งสี และลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ความเข้มของแสง ระยะเวลาในการกระพริบของแสงล้วนมีผลต่อ P1 ทั้งสิ้น

Gazzaley et al. (2008) รายงานว่าขนาดของแอมพลิจูดและ latency ของ P1 สัมพันธ์กับอายุ แอมพลิจูดของ P1 เป็นสิ่งแสดงถึง top-down suppression ของบุคคลผู้สูงอายุที่มีประสิทธิภาพลดลง และยังพบว่า latency ของ P1 แสดงถึง attentional suppression ของสิ่งเร้าทางสายตาอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง (irrelevant visual stimulus) ซึ่งเป็นช่วงที่แสดงถึงการลงรหัสของความจำขณะทำงาน (working memory encoding)

Handy et al. (2001) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของ สิ่งเร้าทางสายตาอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้อง (irrelevant stimuli) ทำให้หรือมี การรับรู้มากขึ้น (perceptual load) ทำให้ขนาดของแอมพลิจูดลดลงตลอดจนทั่วแนวบริเวณ parietal-occipital region นอกจากนี้ยังพบว่าการลดลงของขนาดของแอมพลิจูดนี้เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการรับรู้มากขึ้น (perceptual load) นั้นลดความสามารถในความตั้งใจในการจำแนกคุณลักษณะของสิ่งเร้าในลานสายตา (visual field) อีกด้วย

ส่วนการลดขนาดของแอมพลิจูดของ P1 ภายใต้ภายใต้สภาวะมีภาระทางปัญญา (cognitive load) เช่น การรักษาสภาพความจำขณะทำงาน (working memory maintenance) นั้นแสดงถึงมีการตั้งใจที่ลดลง (less attention) เพื่ออำนวยความสะดวกในการค้นหาสิ่งเร้าเป้าหมาย (allocated for target detection) ในภาระงานที่สอง (secondary task)

P2 หรือ P200

P2 หรือ P200 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางบวกที่ เกิดขึ้นประมาณ 100-250 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นของสิ่งเร้า เชื่อว่า P2 สร้างขึ้นในสมองบริเวณ parieto-occipital regions (Freunberger, Klimesch, Doppelmayr, & Holler, 2007) ที่แสดงถึงการทำงานของ การลงรหัส(encoding)ของ working memory (Chapman, McCrary, & Chapman, 1978; Dunn, Dunn, Languis, & Andrews, 1998) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า P1, N1, and P2 components เป็นตัวชี้วัดทางประสาทสรีระของบุคคล (neurophysiological markers) ที่ชัดเจนในการบ่งบอกถึงระดับของความตั้งใจ ซึ่งอาจรวมถึงกระบวนการการลงรหัส(encoding)ของ working memory ในบุคคล จากการศึกษาพบว่าแอมพลิจูดของ P2 มีขนาดใหญ่เมื่อบุคคลต้องหาสิ่งเร้าเป้าหมายที่เป็นทั้งภาพและเสียงที่นานๆ เกิดครั้งหนึ่ง คล้ายคลึงกับของ P3 (Patel and Azzam, 2005)

P3 หรือ P300

P3 หรือ P300 เป็นคลื่นสมองที่มี peaking ไปทางบวกที่ เกิดขึ้นประมาณ 300–650 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นของสิ่งเร้า ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนบริเวณแนวกลางศีรษะ central-parietal region ที่วัดได้จาก midline electrodes (Fz, Cz, Pz) โดยเฉพาะใน parietal electrode (Johnson, 1993). คลื่นส่วนนี้สัมพันธ์กับการเปลี่ยนความตั้งใจ(shifts in attention) ซึ่งเป็นการ update ของ working memory (Polich and Kok, 1995) และเป็นดัชนีชี้วัด working memory ที่สำคัญ (Wintink et al., 2001) แม้ว่าช่วง latency ของ P300 จะกว้างมาก แต่โดยส่วนใหญ่จะเกิดที่ประมาณ 300–400 มิลลิวินาทีหลังการได้รับการกระตุ้นของสิ่งเร้า แต่ก็มีรายงานว่าอาจจะเริ่มจาก 250 ไปจนถึง 900 มิลลิวินาที ส่วนแอมพลิจูดปกติเริ่มจาก 5 ไปจนถึง 20 μV ในการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เป็นภาพและเสียง แม้ว่าจะเคยมีการรายงานว่าบางที่สูงถึง 40 μV (Patel and Azzam, 2005) P300 ได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Sutton, et al. (1965 cited in Polich, 2010)

แอมพลิจูดของ P300 สัมพันธ์กับ

- 1) โอกาสในการเกิดของสิ่งเร้าเป้าหมาย มักพบว่าเมื่อการเกิดสิ่งเร้าเป้าหมายลดลง ค่าแอมพลิจูดของ P300 มีแนวโน้มลดลง (Kok, 2001; Polich, 2010)
- 2) ในกรณีการทำงานสองอย่างไปพร้อมกัน พบว่า ค่าแอมพลิจูดของ P300 ขึ้นกับความยากง่ายของงานชิ้นแรก หากงานชิ้นแรกมีความยาก แอมพลิจูดของ P300 จะมีขนาดต่ำ และพบว่า latency มีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้างานชิ้นแรกง่าย พบว่าแอมพลิจูดของ P300 มีขนาดสูงขึ้นและ latency มีค่าลดลงด้วย แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มภาระความจำ (memory load) มีผลในการลดแอมพลิจูดของ P300 เนื่องจากต้องอาศัยทรัพยากรสมองบางส่วนไปใช้ในการความตั้งใจ (attentional resources) (Kok, 2001; Polich, 2010)

3) ช่วงระยะห่างของเวลาระหว่างสิ่งเร้าเป้าหมาย (target-to-target interval (TTI) time) ถ้าเพิ่มระยะห่างของเวลามากขึ้น ค่าแอมพลิจูดของ P300 ก็มากตาม แสดงถึงการทำงานที่ต้องอาศัยเวลาในการพักของเซลล์ประสาทต้นกำเนิดการเกิดคลื่นสมอง P300 นี้ (Kok, 2001; Polich, 2010)

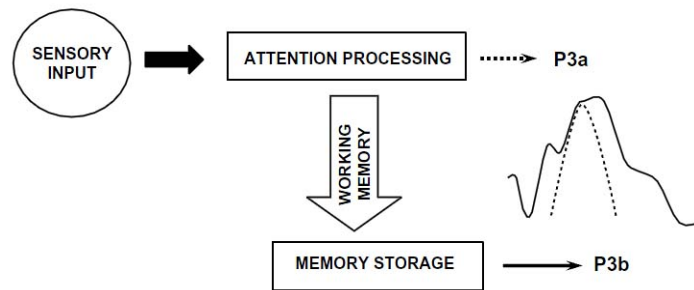
4) ความแตกต่างของสิ่งเร้าเป้าหมายกับสิ่งเร้าลวงหรือสิ่งเร้ามาตรฐาน (standard stimulus) เช่น ขนาดตัวอักษร หรือสี ของสิ่งเร้าเป้าหมายกับสิ่งเร้าลวงหรือสิ่งเร้ามาตรฐาน ถ้าแตกต่างกันมาก แอมพลิจูดของ P300 มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากสัมพันธ์กับบริบทสิ่งเร้าที่มาของ working memory (Fabiani, Karis, & Donchin, 1990). เป็นการบ่งบอกถึงความแรงของความจำในการกระบวนการลงรหัสและการจัดเก็บความจำ (encoding and storage processes) (Polich, 2010)

อาจกล่าวได้ว่า P300 เป็นดัชนีแสดงถึงการประมวลผลความตั้งใจ (attention processing) และความต้องการของความจำขณะทำงาน (working memory demands) โดย Wintink et al. (2001) พบว่าแอมพลิจูดของ P300 ในสมองบริเวณ parietal region ลดลงครึ่งละ $1 \mu V$ เมื่อเพิ่ม item ในภาระงาน n-back task และพบว่าแอมพลิจูดมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเมื่อภาระงานเพิ่มขึ้น (Watter et al., 2001) จึงบอกได้ว่า n-back task ซึ่งเป็นงานแบบ of dual task paradigm ที่ต้องการการ update พร้อมไปกับการ encoded สิ่งเร้านั้น เมื่อทำภาระงานที่ต้อง encoded สิ่งเร้ามากขึ้นเช่นเพิ่มจาก 0back เป็น 1 back, 2 back, 3back ... ทำให้แอมพลิจูดของ P300 มีค่าลดลงตามลำดับ

P300 latency ถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดของความเร็วของสมอง (index classification speed) เนื่องจากเป็นเวลาที่แสดงถึงการตรวจพบและการประมวลผลต่อสิ่งเร้า P300 จึงเป็นการเชื่อมระหว่าง การรับรู้สิ่งเร้าและการตอบสนองต่อสิ่งเร้า P300 latency จะมีขนาดสั้นกว่า ในบริเวณสมองส่วนหน้า และมีขนาดยาวขึ้นในสมองบริเวณ parietal areas (Conroy & Polich, 2007) ความแตกต่างของ P300 latency สัมพันธ์กับความเร็วของการคิดในใจของบุคคล ผู้มี P300 latency น้อยมักแสดงถึงประสิทธิภาพพุทธิปัญญาระดับสูงได้ (cognitive performance) และ P300 latency แสดงถึงความสามารถทางพุทธิปัญญาในการเข้าสู่ทรัพยากรสมองในความตั้งใจ (attentional resources) (Polich, 2010) P300 latency มีขนาดเล็กในวัยเด็กเล็ก และเพิ่มขึ้นในวัยผู้ใหญ่ และพบว่าผู้ที่มีความจำเสื่อม (dementia) จะมีขนาด P300 latency เพิ่มขึ้น (O'Donnell et al. 1992) ดังนั้นอาจนำ P300 ไปใช้ในการประเมิน cognitive function ได้

จากการศึกษาทางประสาทสรีรวิทยา พบว่า P300 สามารถจำแนกออกเป็นองค์ประกอบย่อยได้ 2 อย่างคือ P3a และ P3b เซลล์ประสาทที่กำเนิดคลื่นสมอง P3a มาจากสมองส่วน frontal และใช้ dopaminergic เป็นสารสื่อประสาท ส่วน P3b มาจากสมองส่วน parietal และใช้ norepinephrine เป็นสารสื่อประสาท การ update สิ่งเร้า (context-updating) สัมพันธ์กับการเกิดคลื่น P3a และคลื่นนี้จะลดลงไปและเกิดคลื่น P3b มาทดแทนเมื่อมีสิ่งเร้าเป้าหมาย (target stimuli) ปรากฏขึ้น เมื่อมีการรับรู้ลึกเข้ามามีกระบวนการของความตั้งใจทำให้เกิดคลื่น P3a ขึ้นมา และเมื่อมี

กระบวนการของความจำขณะทำงานจนมีการกักเก็บความจำ จะทำให้เกิดคลื่น P3b ขึ้นมา (Polich, 2007) ดังภาพ 3.8



ภาพ 3.8 การเกิด P3a และ P3b (Polich, 2007)

6.4 งานวิจัยที่ศึกษาความตั้งใจและความจำขณะทำงานจากคลื่นไฟฟ้าสมอง

Sternberg and Sternberg (2012) อธิบายว่า เริ่มจากทศวรรษ 1970 ที่นักวิจัยใช้ event-related potentials (ERPs) ในการศึกษาเรื่องความตั้งใจ ผลงานที่สำคัญดำเนินการโดย Hillyard และเพื่อนในปี 1973 เมื่อพวกเขาให้กลุ่มตัวอย่างฟังเสียง 2 ความถี่ แต่ละเสียงในแต่ละหู กลุ่มตัวอย่างต้องตรวจจับสิ่งเร้าเป้าหมายที่เกิดโดยสุ่ม เมื่อสิ่งเร้าเป้าหมายเกิดในหูข้างที่ให้ความสนใจฟัง จะมีองค์ประกอบทางลบขององค์ประกอบแรกของ ERP ที่ใหญ่กว่าเมื่อสิ่งเร้าเป้าหมายเกิดในหูข้างที่ไม่ตั้งใจ N1 เป็นคลื่นทางลบที่เกิดเมื่อประมาณ 90 มิลลิวินาทีหลังจากเกิดสิ่งเร้าเป้าหมาย สมมติฐานของนักวิจัยคือ คลื่น N1 เป็นผลของการกระตุ้นของสิ่งเร้าเป้าหมาย ในเวลาเดียวกัน มีการกดสิ่งเร้าอื่นๆ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับทฤษฎีตัวกรอง (filter theories) การศึกษาต่อมาโดย Woldorff และ Hillyard เมื่อปี 1991 พบว่าปฏิกิริยาก่อนนั้นต่อสิ่งเร้าเป้าหมายเป็นรูปแบบของคลื่นทางบวกที่เกิดเมื่อประมาณ 20-50 มิลลิวินาทีหลังการเกิดสิ่งเร้าเป้าหมาย คลื่นกำเนิดใน Heschl's gyri ซึ่งอยู่ใน auditory cortex (Woldorff et al., 1993) การวิจัยในปัจจุบันยังคงใช้วิธีการเหล่านี้อยู่ การวิจัยในหัวข้อเช่น อิทธิพลของสภาพการศึกษาเศรษฐกิจสังคม (SES) ของมารดาต่อการตั้งใจเลือก (selective attention) ของ Stevens et al. เมื่อปี 2009 พบว่าเด็กที่มารดามีระดับผลการศึกษาที่ต่ำส่งอิทธิพลให้มีค่าคะแนน selective attention ลดลงด้วย มีข้อค้นพบคล้ายๆกันในการศึกษาของ visual attention ด้วย กล่าวคือ ถ้าสิ่งเร้าเป้าหมายปรากฏในบริเวณที่ตั้งใจของ visual field พบว่า the occipital P1 (คลื่นทางบวกคลื่นแรก) จะใหญ่กว่าเมื่อเป้าหมายปรากฏในบริเวณที่ไม่ได้ตั้งใจ (Eason et al., 1969; van Voorhis & Hillyard, 1977) ผล P1 เกิดเมื่อความตั้งใจของกลุ่มตัวอย่างถูกนำมาจากตำแหน่งเฉพาะโดยตัวชี้แนะทางผัสสะ (sensory cue) และเป้าหมายปรากฏต่อมาในตำแหน่งนั้น ถ้าช่วงเวลาระหว่างการปรากฏของตัวชี้แนะและเป้าหมายมีค่าน้อย คลื่น P1 จะขยายใหญ่ขึ้นและเวลาการตอบสนองจะเร็วกว่าเมื่อเป้าหมายปรากฏโดยมีช่วงการหน่วงหลังตัวชี้แนะ ความจริงแล้ว การหน่วงเวลาระหว่างตัวชี้แนะและเป้าหมาย

สามารถนำไปสู่การหน่วงในเวลาการตอบสนองและการลดขนาดของคลื่น P1(Hopfinger & Mangun, 1998,2001)

Lenartowicz et al. (2014) ค้นหาการแยกกระบวนการองค์ประกอบของความจำการทำงาน (ความระมัดระวัง – vigilance, การเข้ารหัส- encoding, และการธำรงรักษา- maintenance) ซึ่งอาจบกพร่องในกลุ่มบุคคลที่มีความผิดปกติประเภท attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) นักวิจัยเก็บข้อมูล EEG จากเด็ก ADHD จำนวน 52 คน และเด็กปกติ 47 คน อายุระหว่าง 7-14 ปี ขณะที่ทำการระจางความจำการทำงาน ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ independent component analysis และ time-frequency analysis ในการระบุคลื่น midoccipital alpha(8-12 Hz) ในการประเมินกระบวนการเข้ารหัส และคลื่น frontal midline theta (4-7 Hz) ในการประเมินกระบวนการธำรงรักษา ทำการทดสอบผลของความยากของภาระงานและกระบวนการชี้แนะ(cue processing) เพื่อประเมินความระมัดระวัง ผลวิจัยพบว่า เด็ก ADHD แสดง attenuated alpha band event-related desynchronization(ERD) ระหว่างการเข้ารหัส ผลนี้เห็นชัดเมื่อความยากของภาระงานมีค่าน้อย (สอดคล้องกับการขาดความระมัดระวัง)และสามารถทำนายความสามารถในการระจางความจำและความรุนแรงของอาการ(symptom severity) ความสัมพันธ์กับ alpha ERD ระหว่างการเข้ารหัส คือ ค่า alpha power ลดลงในระหว่างช่วงการธำรงรักษา(เทียบกับค่าเส้นฐาน-baseline) แสดงถึงความพยายามในการชดเชย(compensatory effort) สอดคล้องกับการตีความนี้ midfrontal theta power ที่ลดลงระหว่างการธำรงรักษา มีค่ามากในกลุ่มเด็ก ADHD และในกรณีที่เป็น high-load memory. นอกจากนี้ เด็กที่เป็น ADHD แสดงการขาดวุฒิภาวะในพัฒนาการของ posterior alpha power ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับอายุใน frontal theta power เบี่ยงเบนไปจากแผนแยกของเด็กปกติท้ายที่สุด เด็ก ADHD แสดงการตอบสนองแบบ evoked responses ที่น้อยลงโดยไม่ขึ้นกับอายุ (age-independent attenuation of evoked responses) ต่อตัวชี้แนะที่มาเตือน ซึ่งแสดงถึงการมีความระมัดระวังต่ำ โดยรวม การวัด EEG 3 อย่างนี้ทำนายการวินิจฉัยได้ถูกต้องร้อยละ 70 นักวิจัยสรุปว่า อิทธิพลที่มีต่อกันและกันของความบกพร่องเรื่องความระมัดระวังและการเข้ารหัสของเด็ก ADHD อาจส่งผลต่อการธำรงรักษา และนำไปสู่ความบกพร่องของความจำการทำงานของเด็กกลุ่มนี้

Hwang et al. (2005) ศึกษาความสัมพันธ์ของคลื่นไฟฟ้าสมองของความจำการทำงานทางวาจา (verbal)และไม่ใช่ทางวาจา(nonverbal) เนื่องจาก ความจำการทำงานทางวาจา)และไม่ใช่ทางวาจา ใช้การสนับสนุนของกระบวนการทางปัญญาที่แตกต่างกัน โดยความจำทางวาจาขึ้นกับการทำซ้ำหรือท่องจำรายการต่าง ๆ ในใจ ดังนั้นจึงบันทึก EEG ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างทำการงาน Sternberg ทั้งนี้ในการทดลองแต่ละครั้ง กลุ่มตัวอย่างต้องตัดสินใจว่า รายการคำถามนั้นเป็นหนึ่งในสามในรายการที่กำหนดหรือไม่ รายการที่กำหนดประกอบด้วยสิ่งเร้าจากหนึ่งใน 5 กลุ่มซึ่งสิ่งเร้าแต่ละสิ่งอาจเป็นชนิดที่ท่องซ้ำได้(ตัวอักษร คำ รูปภาพของวัตถุทั่วไป) หรือเป็นสิ่งที่ท่องซ้ำได้ยาก

(ตำแหน่งต่างๆของจุด 1 จุด, sinusoidal grating patterns) ผลการวิจัย พบว่า oscillatory เฉพาะสิ่งเร้าทางวาจาในช่วงความถี่ θ (4-8 Hz), α (9-12 Hz) β (14-28 Hz), และ γ (30 – 50 Hz) โดยทั่วไปสิ่งเร้าทางวาจาจึงพลังได้มากกว่าสิ่งเร้าที่ไม่ใช่ทางวาจา พบการเพิ่มพลังทางวาจา ในช่วง θ บริเวณหน้าผากและท้ายทอย(frontal and occipital areas) ในช่วงความถี่ α และ β และบริเวณตรงกลางในช่วงความถี่ γ เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีในประเด็นของช่วงเวลาพบว่าค่า oscillatory power ที่อยู่ระหว่างการนำเสนอรายการ(between item representations) มีค่ามากกว่า oscillatory power ในระหว่างการนำเสนอรายการ(during item representations) และพบการส่งเสริมกิจกรรม β ในบริเวณหน้าผาก และท้ายทอย ผลวิจัยเหล่านี้แสดงถึงกิจกรรม oscillatory ที่เหนี่ยวนำโดยสิ่งเร้า(stimulus-induced oscillatory activity) ในความจำขณะทำงานทางวาจาและ กิจกรรม β ในกระบวนการท่องจำในใจ

Li, Zhang , and Jiang (2011) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความจำขณะทำงานทางภาพ (Visual Working Memory - VWM) ที่เกี่ยวข้องปริมาณภาระ(load) ในกิจกรรมของเซลล์ประสาทและการเชื่อมต่อเชิงหน้าที่ เนื่องจาก VWM ช่วยให้เรเก็บข้อสนเทศทางภาพเพื่อเตรียมตัวสำหรับพฤติกรรมต่อไป กลไกทางประสาทวิทยาสำหรับการคงข้อสนเทศที่เชื่อมโยงข้อสนเทศทางภาพและกลไกสำหรับความจุที่จำกัดของ VWM ยังคงไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แม้ว่าการศึกษาจำนวนมากได้ใช้ค่าความถูกต้อง กิจกรรมของเซลล์ประสาท และเชื่อมต่อในการสำรวจกลไกของความคงทนของ VWM แต่เรายังมีความรู้ร่น้อยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับ load ในการเชื่อมต่อการทำหน้าที่สำหรับความคงทนของ VWM งานวิจัยนี้ บันทึก EEG จากผู้ใหญ่ปกติ 14 คนในขณะที่ทำการงาน bilateral visual field memory ซึ่งพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการตอบสนองมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และถูกต้องในกรณี left visual field (LVF) memory condition ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดระหว่าง ipsilateral และ contralateral event-related potential (ERP) ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโตรด parietal-occipital electrodes ในช่วงเวลาการคงทนของข้อสนเทศได้จากการใช้ภาระความจำ(memory ที่แตกต่างกัน 6 แบบ วัดการเชื่อมต่อการทำหน้าที่ระหว่างบริเวณต่างๆ 128 แห่งโดยดู EEG phase synchronization ในช่วงความถี่ theta- (4–8 Hz), alpha- (8–12 Hz), beta- (12–32 Hz), and gamma- (32–40 Hz) ผลการวิจัยพบว่าเครือข่ายสมองของช่วงความถี่ theta-, alpha-, beta-, และ gamma ไม่ขึ้นกับภาระที่ทำและไม่ขึ้นกับบริเวณการรับภาพ (brain networks of theta-, alpha-, beta-, and gamma- frequency bands were load-dependent and visual-field dependent)เครือข่ายของการประสานกันของช่วงคลื่น theta และ alpha มีอิทธิพลมากที่สุดในช่วงเวลาการคงทนสำหรับความจำขณะทำงานใน right visual field (RVF) มากกว่าสำหรับความจำขณะทำงานใน LVF . นอกจากนี้ เฉพาะกรณีความจำใน RVF ความหนาแน่นของเครือข่ายสมองช่วงความถี่ theta ถูกเชื่อมโยงกับความล่าช้าหรือการหน่วงเวลาของเวลาการตอบสนองพฤติกรรม และคุณสมบัติทาง topology ของเครือข่ายคลื่น alpha เป็นความสัมพันธ์ทางลบกับค่าที่ได้ถูกต้อง งานวิจัยนี้แนะนำว่า ความแตกต่างในคลื่น theta และ alpha

ระหว่าง LVF และ RVF สภาพในการทำงานเชื่อมต่อและคุณสมบัติ topology ในระหว่างช่วงเวลาของความคงทนของข้อมูลอาจมีผลในการลดลงของการแสดงพฤติกรรมในการะงาน RVF

Michels, et al. (2010) ศึกษา EEG และ fMRI พร้อมกันในระหว่างทำภาระงานความจำขณะทำงาน เนื่องจากการศึกษา EEG ของความจำขณะทำงาน ซึ่งพบว่าคลื่นสมองที่ความถี่ต่างๆไม่ขึ้นกับปริมาณภาระ(load) แต่การศึกษา FMRI พบว่ามีการ localized load modulated activity ที่ dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC), medial prefrontal cortex (MPFC), และ posterior parietal cortex (PPC) ล่าสุด การศึกษา EEG- fMRI พร้อมกันพบว่า กิจกรรมของแถบคลื่นสมองความถี่ต่ำ (theta และ alpha) มีสหสัมพันธ์ทางลบกับสัญญาณ blood-oxygen-level-dependent (BOLD) ระหว่างขั้นตอนการคงข้อมูลไว้ของภาระงานความจำขณะทำงาน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับคู่ของคลื่นความถี่สูง (beta และ gamma) กับสัญญาณ BOLD ระหว่างการภาระงานความจำขณะทำงาน งานวิจัยนี้ จึงศึกษาผู้ใหญ่สุขภาพดี 16 คน เริ่มจากการสืบค้นความสัมพันธ์ EEG-BOLD สำหรับคลื่น theta (5–7 Hz), alpha1 (8–10), alpha2 (10–12 Hz), beta1 (13–20), beta2 (20–30 Hz), และ gamma (30–40 Hz) ในระหว่างช่วงเวลาการคงข้อมูลในการะงานความจำขณะทำงาน และ ตรวจสอบว่าบริเวณสมองที่ไวต่อปริมาณภาระ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลที่เกี่ยวข้องกับผลของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคลื่นกับสัญญาณ BOLD หรือไม่ ผลการวิจัย พบความสัมพันธ์ทางลบของ theta-BOLD ใน MPFC, PPC, and cingulate cortex (ACC and PCC) ในส่วนของ alpha1 พบความสัมพันธ์ทางบวกใน ACC, MPFC, and PCC; พบความสัมพันธ์ทางลบใน in DLPFC, PPC, และ inferior frontal gyrus (IFG) พบความสัมพันธ์ทางลบของ alpha2-BOLD ในบริเวณ parieto-occipital มีความสัมพันธ์ทางบวก Beta1-BOLD ใน ACC และทางลบใน precentral and superior temporal gyrus ส่วน Beta2 และ gamma พบว่ามีเฉพาะความสัมพันธ์ทางบวกกับสัญญาณ BOLD เช่นใน DLPFC, MPFC (gamma) และใน IFG (beta2/gamma). การวิเคราะห์ปริมาณภาระแสดงว่า theta และ beta and gamma(ยกเว้นกรณีเดียว) มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณภาระ ในขณะที่ alpha1 แสดงเฉพาะผลทางลบเท่านั้น นักวิจัยสรุปว่า ทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG และสัญญาณ BOLD แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของสมองและแต่ละความถี่ของคลื่นสมอง นอกจากนี้ บางบริเวณของสมองแสดงทั้งอิทธิพลจาก load sensitive BOLD และ frequency band ข้อมูลระบุว่าการขึ้นของ คลื่นความถี่ต่ำ และสูง เชื่อมโยงกับกระบวนการ neurovascular ระหว่างทำภาระงานความจำขณะทำงาน

Agam and Sekuler (2007) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานและการรับรู้ทางภาพ (visual perception) โดยใช้การศึกษา ERP/EEG ซึ่งพบว่า แอมพลิจูดของ ERPs ในระหว่างการนำเสนอสิ่งเร้ามีความสัมพันธ์กับความสามารถทางพฤติกรรม กล่าวคือ ยิ่งแอมพลิจูดใหญ่มาก การทำตามแบบยิ่งถูกต้องมากขึ้น ผลการวิจัยเหล่านี้แสดงว่า การประมวลผลทางภาพของสิ่งเร้าที่มาเป็น

ลำดับไม่ได้เป็นแบบแผนเดียว หากแต่ ข้อเสนอแนะที่มาก่อนจะดึงให้กิจกรรมของเซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น

ผลการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่ศึกษาโดยใช้ EEG ในระยะแรกๆเป็นการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ป่วยหรือมีความบกพร่องทางสมอง แต่ปัจจุบันมีการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่มีสุขภาพดีเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสามารถนำผลวิจัยไปใช้ในคนที่มีสุขภาพดีได้มากขึ้น ดังเช่น Chung, et al. (2002) ศึกษาอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี 7 คน ในขณะที่ทำการงานความจำขณะทำงาน กับขณะอยู่เฉยๆ เปรียบเทียบผลวัดพฤติกรรม, EEG, และ ERPs ระหว่างรอบเวลาที่ได้รับยา phenytoin 10mg/kg หรือยาหลอกอย่างใดอย่างหนึ่ง พบว่า การวัดเชิงประสาทกายภาพ (neurophysiological) แสดงความไวในการวัดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการประมวลผลความตั้งใจ แม้ว่าการตอบสนองยาของ phenytoin จะดำเนินไปในการทำให้เกิดพฤติกรรม ผลลัพธ์ดังกล่าวบ่งชี้ว่า การวัด EEG และ ERP สามารถให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับผลข้างเคียงด้าน neurocognitive ของยา ที่ไม่สามารถสรุปได้จากการประเมินประสิทธิภาพโดยดูจากความสามารถในการทำการงานทางพุทธิปัญญาเพียงอย่างเดียว ดังนั้น การศึกษาความสามารถทางพุทธิปัญญาโดยการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองควบคู่ไปกับการศึกษาพฤติกรรมตอบสนองต่อภาระงานของบุคคล จึงเป็นแนวทางที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน งานวิจัยครั้งนี้ จึงใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองร่วมในการตรวจสอบความตรงของชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นด้วย

ระเบียบวิธีวิจัยและผลวิจัย

โครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 7 ขั้นตอน คือ

1. การทดสอบแนวความคิดเบื้องต้น
2. การพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงานและความตั้งใจ ซึ่งเป็นการวิจัยและพัฒนา (research and development) โดยใช้แบบจำลองกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์แบบแบบจำลองน้ำตก (waterfall model) ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานที่เรียงต่อเนื่องกันเป็นลำดับ 5 ขั้นตอน
3. การศึกษาความเที่ยงของชุดแบบทดสอบแบบวัดซ้ำ
4. การคัดเลือกแบบทดสอบ
5. การตรวจสอบความตรงเชิงสัมพันธ์กับเกณฑ์
6. การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างหรือเชิงทฤษฎี และ
7. การจัดอบรมให้ความรู้แก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และผู้สนใจ

1. การทดสอบแนวความคิดเบื้องต้น

เนื่องจากเครื่องวัดคลื่นสมอง neuroscan ที่ศูนย์วิจัยฮอติสติก มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้โปรแกรม STIM ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้วัดสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาในห้องปฏิบัติการงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถนำไปใช้วัดสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาในห้องเรียนปกติทั่วไปที่ไม่ใช่ห้องปฏิบัติการวัดคลื่นสมองโดยเฉพาะได้ โดยมีแนวความคิดเบื้องต้นว่าอาสาสมัครคนเดียวกันที่ทำแบบทดสอบลักษณะเดียวกัน ย่อมได้ผลการวัดแบบเดียวกัน แม้การเขียนภาระงานนั้นจะใช้โปรแกรมคนละโปรแกรมกัน ดังนั้น หากเชื่อว่า ภาระงานในโปรแกรม STIM ซึ่งเป็นโปรแกรมมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง neuroscan ภาระงานวัดความสามารถทางพุทธิปัญญาใด หากการปฏิบัติการงานนั้นที่เขียนในโปรแกรมอื่นได้ผลเช่นเดียวกัน ย่อมสามารถสรุปได้ว่าภาระงานเดียวกันที่เขียนโดยใช้โปรแกรมอื่นนั้น วัดความสามารถทางพุทธิปัญญาเดียวกับที่กล่าวอ้างไว้ในภาระงานที่เขียนโดยโปรแกรม STIM ด้วย งานวิจัยนี้พิจารณาเลือกใช้โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ชื่อ E prime เป็นโปรแกรมช่วยในการจัดทำซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบความสามารถทางพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบแนวคิดเบื้องต้นนี้ก่อนดำเนินงานวิจัยต่อไป ซึ่งพบว่า ผลการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองอาสาสมัคร 5 คน (เป็นนักศึกษาหญิง 2 คน ชาย 3 คน อยู่ในกลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ(คณะสัตวแพทยศาสตร์) 1 คน กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(คณะวิศวกรรมศาสตร์) 1 คน และ กลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์(คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์) 3 คน ทุกคนถนัดมือขวา) ที่ทำแบบทดสอบจำนวน 2 แบบทดสอบ(คือ Sound และ Stroop)ที่เขียนโดยใช้โปรแกรม E prime และโปรแกรม STIM มีค่าเฉลี่ยร้อยละของความถูกต้องในการทำภาระงาน(accuracy)ในแบบทดสอบ ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 แบบทดสอบ (Wilcoxon U = 1.225, p= .221 ; Wilcoxon U = 1.786, p= .074 ตามลำดับ) ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนอง(reaction time)แต่ละแบบทดสอบไม่แตกต่างกัน (Wilcoxon U = 1.483, p= .138 ; Wilcoxon U = 2.023, p= .096 ตามลำดับ) และค่าเฉลี่ย ERP ที่แต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน(sound : Wilcoxon U มีค่า 0.135 ถึง 0.944, p มีค่า .345 ถึง .893; stroop : Wilcoxon U มีค่า 0.135 ถึง 1.483, p มีค่า .138 ถึง .893) ดังนั้นจึงดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบต่อไป

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงานและความตั้งใจ

การดำเนินการในขั้นตอนนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยใช้แบบจำลองกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ แบบแบบจำลองน้ำตก (waterfall model) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานที่เรียงต่อเนื่องกันเป็นลำดับ 5 ขั้นตอน ได้แก่

2.1 การกำหนดความต้องการ (Requirement Definition) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับการจัดเก็บรวบรวมความต้องการต่าง ๆ จากการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี ตลอดจนกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องแล้วทำการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดขอบเขตการทำงานของซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนา ผลการ

ดำเนินการในขั้นตอนนี้ กำหนดขอบเขตการทำงานว่า งานวิจัยนี้จะพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับใช้งานเฉพาะด้าน คือ ซอฟต์แวร์แบบทดสอบสำหรับการทดสอบด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน สำหรับเยาวชนไทยในระบบโรงเรียนตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นถึงระดับอุดมศึกษา

2.2 การออกแบบ (Design) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลความต้องการที่ได้จากขั้นตอนแรกมาใช้ในการออกแบบซอฟต์แวร์ใน 3 ส่วน คือ (1) ส่วนของการออกแบบเชิงสถาปัตยกรรม(architecture design) เป็นการกำหนดลักษณะโครงสร้างของซอฟต์แวร์ในมุมมองระดับบน (2) ส่วนของการออกแบบในรายละเอียด (detailed design) และ (3) ส่วนของการออกแบบส่วนประสานกับผู้ใช้ (user interface design) โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผู้ร่วมออกแบบจากหลายสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกล่าวคือ สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาวัดและประเมินผลการศึกษา สาขาวิชาประสาทวิทยาศาสตร์ และสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ทำการคัดเลือกรูปแบบลักษณะซอฟต์แวร์และแบบทดสอบสมรรถนะสมองแต่ละด้าน และออกแบบซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน ผลการดำเนินงานสรุปได้ดังนี้

- 1) เลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบเครื่องเดียว (stand-alone architecture)
- 2) กำหนดโปรแกรมย่อยในซอฟต์แวร์ 5 ส่วน คือส่วนที่เป็นการบันทึกข้อมูลพื้นฐานของผู้ทำชุดแบบทดสอบ ส่วนที่เป็นการแนะนำวิธีการทำแบบทดสอบย่อยแต่ละฉบับ ส่วนที่เป็นตัวแบบทดสอบย่อยแต่ละฉบับ ส่วนที่เป็นการบันทึกผลข้อมูลแต่ละตัวแปร และส่วนที่เป็นการประมวลผลข้อมูล
- 3) กำหนดให้ผู้ใช้ตอบสนองโดยการกดแป้นพิมพ์หรือคีย์บอร์ด
- 4) กำหนดนิยาม ของ ความจำขณะทำงาน ว่า หมายถึง ความสามารถในการจัดเก็บหรือการรักษาข้อมูลไว้ชั่วคราว และ นำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการทางพุทธิปัญญา โดยทำให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายหรือภาระงาน มีความทันสมัย ในรูปแบบที่สามารถดำเนินการแทรกแซงอื่นได้
- 5) กำหนดนิยาม ของ ความตั้งใจ ว่าหมายถึง ความสามารถในการ จดจ่อ หรือเลือก สิ่งเร้าเป้าหมาย (สิ่งเร้าที่สนใจ) และ ละทิ้งสิ่งเร้าอื่น (สิ่งเร้าลวง) ซึ่งมารบกวนหรือขัดขวาง
- 6) ให้ความสนใจเป็นพิเศษกับการวัดที่ใช้ผัสสะทางตา หรือด้านการมอง(Visual attention) ทั้งที่เป็นภาษา (verbal attention) และ ที่เป็นรูปภาพหรือมิติปริภูมิ(visual spatial attention)

2.3 การพัฒนา (implementation) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา ซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรมภาษาต่าง ๆ เช่น ภาษาซี (C) ภาษาจาวา (JAVA) เป็นต้น หรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการสร้างซอฟต์แวร์เพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน(tailor-made software)

งานวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้โปรแกรมภาษคอมพิวเตอร์ชื่อ E-prime ในการสร้างซอฟต์แวร์เพื่อการใช้งานเฉพาะด้านคือการสร้างซอฟต์แวร์วัดสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและ

ความจำเพาะทำงาน เนื่องจากเป็นโปรแกรมภาษาที่ใช้ทำงานง่าย เป็นที่นิยมของนักวิจัยด้านความตั้งใจและความจำเพาะทำงาน และราคาอยู่ในวิสัยที่จะพอจัดซื้อได้

2.4 การทดสอบ (testing) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบเพื่อหาข้อผิดพลาดของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยในการทดสอบนั้นจะต้องมีการสร้างกรณีทดสอบ (test case) ขึ้นมา การทดสอบซอฟต์แวร์สามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ คือ การทดสอบระดับหน่วย (unit / module testing) การทดสอบระดับรวมหน่วย (integration testing) และการทดสอบระบบ (system testing)

งานวิจัยนี้กำหนดการทดสอบทั้ง 3 ระดับ โดยการทดสอบระดับหน่วยและระดับรวมหน่วย กระทำโดยผู้พัฒนา และทดสอบกับนักศึกษารายบุคคล 2 คน ส่วนการทดสอบระบบ ดำเนินการทดสอบโดยทดลองในชั้นเรียนจริง ข้อมูลผลการทดสอบระดับหน่วยและระดับรวมหน่วย นำมาใช้ในการปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานได้ตรงตามความต้องการ ให้ผลการวัดที่ละเอียดและถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ยังเป็นการตรวจสอบภาษาที่ใช้ในแบบทดสอบว่ามีความชัดเจน กำกวมหรือไม่ อย่างไร มีการดำเนินการทดสอบการใช้งาน (Usability Test) กับอาสาสมัครกลุ่มเล็ก และทดลองใช้ซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบกับนักเรียนกลุ่มใหญ่ในโรงเรียน เพื่อตรวจสอบความยุ่งยากในการใช้งานจริงในชั้นเรียน ผลการทดสอบทำให้ต้องจัดทำคู่มือการใช้งานแบบทดสอบในส่วนของ การลงโปรแกรม E-prime ฉบับที่สามารถ download มาใช้งานได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และมีการคัดเลือกแบบทดสอบบางแบบทดสอบออกเพื่อให้เหมาะสมกับเวลาที่จะนำไปใช้งานได้จริง รวมทั้งทดสอบการยอมรับ (Acceptance Test) โดยผู้ใช้งาน (end-user) 4 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มครูคอมพิวเตอร์ในโรงเรียนที่ไปเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 13 คน (2) กลุ่มครู บุคลากรทางการศึกษา และ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งเข้ารับการอบรมการใช้ซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2556 จำนวน 77 คน (3) กลุ่มนักศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ทำชุดแบบทดสอบจำนวน 48 คน และ (4) กลุ่มนักเรียนที่ทำชุดแบบทดสอบจำนวน 107 คน ผลการทดสอบการใช้งาน โดยใช้แบบประเมินความคิดเห็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ เมื่อ 5 หมายถึง ง่ายหรือเหมาะสมอย่างยิ่ง และ 1 หมายถึง ยากหรือไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง พบว่ากลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีความคิดเห็นว่า ซอฟต์แวร์นี้ใช้งานง่าย (ค่าเฉลี่ยการยอมรับ ในประเด็นของความง่ายของการใช้งานซอฟต์แวร์ อยู่ที่ 4.252 ถึง 4.385 และมีความเหมาะสมในประเด็นต่างๆที่สอบถามในระดับสูง)

2.5 การนำไปใช้และบำรุงรักษา (operation and implementation) เป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้วผ่านการทดสอบแล้วไปติดตั้งเพื่อใช้งานจริง และเมื่อซอฟต์แวร์ได้ถูกใช้งานไประยะหนึ่งอาจต้องมีเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ หรือดัดแปลงซอฟต์แวร์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบและตรวจสอบความตรงของแบบทดสอบ ดังนั้นจึงถือว่า การติดตั้งซอฟต์แวร์ใน โรงเรียนต่างๆ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาความตรงเชิงโครงสร้าง อยู่ในขั้นตอนการนำไปใช้และบำรุงรักษานี้ได้

ผลการดำเนินการในส่วนนี้ทำให้ได้ต้นแบบซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบความตั้งใจ 1 ชุด ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อย 41 แบบทดสอบ และ ชุดแบบทดสอบความจำเพาะทำงาน 1 ชุด ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อย 19 แบบทดสอบ

3. การศึกษาความเที่ยงของชุดแบบทดสอบแบบวัดซ้ำ

การวิจัยนี้ศึกษาความเที่ยงของแบบทดสอบโดยการทดสอบซ้ำ ระยะเวลาห่างกัน 2 สัปดาห์ ระหว่างวันที่ 20- 23 พฤษภาคม, 2556 และ วันที่ 3-6 มิถุนายน 2556 โดยใช้กลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 6 โรงเรียนห้วยแถลงศึกษา จังหวัดนครราชสีมา จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาความเที่ยงของแบบทดสอบความตั้งใจ และความจำเพาะทำงาน มี 102 และ 183 คน ตามลำดับ ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาความเที่ยงของแบบทดสอบความตั้งใจ และความจำเพาะทำงานจำแนกตามเพศและระดับชั้น

ชุดแบบทดสอบความตั้งใจ				ชุดแบบทดสอบความจำเพาะทำงาน			
ชั้น	ชาย (คน)	หญิง(คน)	รวม(คน)	ชั้น	ชาย (คน)	หญิง(คน)	รวม(คน)
ม.1	0	14	14	ม.1	19	4	23
ม.2	15	20	35	ม.2	32	41	73
ม.3	0	11	11	ม.3	11	13	24
ม.4	0	11	11	ม.4	9	21	27
ม.5	3	11	14	ม.5	3	19	22
ม.6	2	15	17	ม.6	2	12	14
รวม	20	82	102	รวม	76	110	183

ผลการศึกษาพบว่า แบบทดสอบย่อยแต่ละฉบับมีค่าความเที่ยงสูง ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบวัดซ้ำของแบบทดสอบย่อยความตั้งใจ และแบบทดสอบย่อยความจำเพาะทำงาน อยู่ระหว่าง 0.822 - 0.995 และ 0.939 - 0.998 ตามลำดับ รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแต่ละแบบของแต่ละแบบทดสอบย่อยในชุดแบบทดสอบความตั้งใจและความจำเพาะทำงานแสดงได้ดังตาราง 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตาราง 3.3 ความเที่ยงแบบทดสอบซ้ำของแต่ละแบบทดสอบย่อยในชุดแบบทดสอบความตั้งใจ

ชุดแบบทดสอบความตั้งใจ			ชุดแบบทดสอบความตั้งใจ		
ลำดับ ที่	แบบทดสอบย่อย	ความ เที่ยง	ลำดับที่	แบบทดสอบย่อย	ความเที่ยง
1	A1-SR-digit 1	0.911	21	B1-focus-dot	0.976
2	C-sustain- digit 1	0.900	22	C-sustain-dot 1	0.966
3	D1-Select-ch-dig 2	0.946	23	D1-Select-ch- dot 2	0.970
4	E1-Select-ch- digit3	0.965	24	E1-Select-ch- dot 3	0.846
5	A1-SR-letter Thai1	0.955	25	F1-Sustain-ch-pattern	0.995
6	B1-focus- letter Thai 0	0.938	26	G1 -Select-ch- pattern 3	0.932
7	C-sustain- letter Thai	0.959	27	H1-Select-ch- pattern4	0.940
8	D1-Select-ch-letterThai 2	0.966	28	I1- Sust-ch- pattern 3	0.920
9	E1-Select-ch- letter Thai3	0.975	29	cueing	0.803
10	F1-Sustain-ch- letter Thai	0.982	30	A1-SR-symbol	0.978
11	G1-Select-ch- letter Thai3	0.990	31	D1-symbol 2	0.940
12	H Select-ch- letter Thai4	0.985	32	A1-SR- Picture 1	0.987
13	I1-Sust-ch- letter Thai3	0.981	33	B1-picture	0.703
14	J series thai letter	0.940	34	C sustain- picture	0.976
15	A1-SR-word Thai 1	0.983	35	D1-Select-ch- picture 2	0.976
16	Sustain- word Thai 1	0.921	36	F1-Sustain-ch-picture	0.951
17	D1-Select-ch- Word Thai 2	0.901	37	H1-Select-ch- picture4	0.947
18	H Select-ch- word Thai4	0.983	38	I1- Sust-ch- picture 3	0.933
19	I1-Sust-ch- word Thai 3	0.992	39	A1-SR- sound 1	0.897
20	A1-SR-dot	0.979	40	C sustain- sound	0.946
			41	D1-Select-ch- sound 2	0.822

ตาราง 3.4 ความเที่ยงแบบทดสอบซ้ำของแบบทดสอบย่อยในชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน

ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน			ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน		
ลำดับที่	แบบทดสอบย่อย	ความเที่ยง	ลำดับที่	แบบทดสอบย่อย	ความเที่ยง
1	odd-even	0.939	11	sw-up-down-left-right	0.998
2	less-more than50	0.978	12	sw-Letter Number	0.996
3	switch-odd-even less-more than50	0.992	13	stroop – ไทย	0.998
4	Vowel consonant	0.991	14	Flanker- arrow	0.993
5	switch-อักษรกลาง-แม่กด	0.990	15	number updating	0.986
6	mammal	0.967	16	Thai word updating	0.989
7	คำเป็น-คำตาย	0.995	17	picture updating	0.954
8	sw-คำเป็น-คำตาย –mammal	0.997	18	pattern updating	0.972
9	left-right	0.998	19	Letter Span (Thai)	0.804
10	up-down	0.998			

4. การคัดเลือกแบบทดสอบ

ผลการทดลองใช้ชุดแบบทดสอบและการศึกษาความเที่ยงแบบวัดซ้ำ รวมทั้งข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งต้องกำหนดให้ไม่ควรเกินชุดแบบทดสอบละ 50 นาที หรือ 1 ชั่วโมง หรือใช้เวลาสอบทั้งสองชุด ไม่ควรเกิน 100 นาที ทำให้จำเป็นต้องคัดเลือกบางแบบทดสอบย่อยออก และมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน โดยให้แยกแบบทดสอบย่อย N-back Picture Updating ออกเป็น 3 แบบทดสอบย่อย คือ 0-back Picture Updating, 1-back Picture Updating, และ 2-back Picture Updating ดังนั้นผลการคัดเลือกแบบทดสอบย่อยเพื่อรวบรวมเป็นชุดแบบทดสอบความตั้งใจ และ ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน โดยใช้เกณฑ์ความครบถ้วนสมบูรณ์ของชุดแบบทดสอบกล่าวคือมีทั้งภาระงานทางเสียงและทางภาพ ทั้งที่เป็นภาษาและที่ไม่ใช่ภาษา ทั้งภาระงานทางตัวเลขและตัวอักษร ประกอบกับการพิจารณาค่าความเที่ยงของแบบทดสอบย่อยแต่ละฉบับ สรุปได้ว่าชุดแบบทดสอบความตั้งใจประกอบด้วยแบบทดสอบ 4 ชุด คือ (1) ชุดวัดความไวในการตอบสนอง(Simple Reaction Time –

STR) ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 3 ฉบับ คือ SR-Sound , SR-Letter Thai, และ SR-dot (2) ชุดวัด Focus Attention ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 2 ฉบับ คือ focus-letter และ focus-dot (3) ชุดวัด Sustained Attention ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 4 ฉบับ คือ Sustained Sound , Sustained- letter Thai, Sustained -dot และ Series Thai letter และ (4) ชุดวัด Selective Attention ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 5 ฉบับ คือ Select-ch-sound, Select-ch-letter D20, Select-ch-letter E21, D20-Select-ch- dot, และ E21-Select-ch- dot รวมแบบทดสอบย่อยทั้งหมด 14 ฉบับ ส่วนชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน ประกอบด้วยชุดแบบทดสอบ 4 ชุด เป็นแบบวัดการประมวลผลของความจำขณะทำงาน (processing หรือ Executive Function) ได้แก่ (1) ชุดแบบทดสอบวัด Basic Processing ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 4 ฉบับ คือ Odd Even , Vowel Consonant , Left Right และ Up down (2) ชุดแบบทดสอบวัด Switching ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 2 ฉบับ คือ Switch Letter-Number กับ Switch-up-down-left-right (3) ชุดแบบทดสอบวัด Inhibition ประกอบด้วยแบบทดสอบย่อยจำนวน 2 ฉบับ คือ Stroop Thai กับ Flanker arrow และ (4) ชุดแบบทดสอบวัด updating 4 ฉบับ คือ Digit updating , 0 back Picture updating , 1 back Picture updating และ 2 back Picture updating รวมแบบทดสอบย่อยทั้งหมด 12 ฉบับ

ลักษณะแบบทดสอบ สัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบวัดซ้ำ รวมทั้ง แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความตั้งใจ และชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงานที่นำไปใช้ในการศึกษาความตรงเชิงทฤษฎีหรือความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบ แสดงดังตารางที่ 3.5 และ 3.6

ตาราง 3.5 สิ่งที่มีงวัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความตั้งใจ

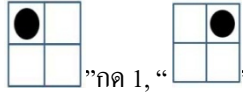
สิ่งที่มุ่งวัด /ชื่อแบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
Simple Reaction Time (SRT) 1. ความไวทางเสียง (SR sound test)	“500Hz” กด 1	a baseline speed task	Marchetta, N.D.J., Hurks, P.P.M., De Sonnevile, L.M.J., Krabbendam L. and Jolles, J.(2008).Sustained and Focused Attention Deficits in Adults ADHD. Journal of Attention Disorders , 11, 664-676
SRT 2. ความไวทางตัวอักษร (SR letter Thai test)	“ถ” กด 1		

สิ่งที่มุ่งวัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
SRT 3. ความไวทาง ภาพ(SR dot test)	 “ ” กด 1		

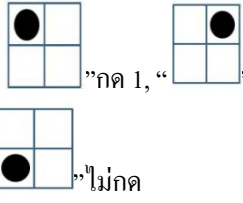
ตาราง 3.5 สิ่งทีมุ่งวัด ลักษณะแบบทดสอบ สัมประสิทธิ์ความเที่ยง และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการ

พัฒนาแบบทดสอบย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความตั้งใจ (ต่อ)

สิ่งที่มุ่งวัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
Focus Attention 4. ความตั้งใจทาง ตัวอักษร(focus- letter test)	“ถ” กด 1 , “ภ” ไม่กด	แนวคิดเรื่อง Spotlight model และ Zoom lens	https://en.wikipedia.org/ wiki/Attention
Focus Attention 5. ความตั้งใจทาง ภาพ(focus-dot test)	 “ ” กด 1, “ ” ไม่กด	model และ แนวคิดเรื่อง Bottom-Up และ Top – Down	
Selective Attention 6. ตั้งใจเลือกฟัง เสียง(Select- choice-sound test)	“500Hz” กด 1, “1000Hz” กด 2	Auditory selective attention	Majerus, S., Heiligenstein, L., Gautherot, N., Poncelet, M., and Van der Linden, M.(2009). Impact of auditory selective attention on verbal short-term memory and vocabulary development. Journal of Experimental Child Psychology . May;103(1):66-86
7. ตั้งใจเลือก อักษร 2 ตัวเลือก (Select-2choice- Letter Thai test)	“ถ” กด 1 , “ภ” กด 2	แนวคิด The oddball paradigm	https://en.wikipedia.org/wiki/ Continuous_performance_task Bennington, J.Y. and Polich, J. (1999). Comparison of P300 from passive and active tasks for auditory and visual stimuli. Journal of Psychophysiology 34 : 171-177
8. ตั้งใจเลือก อักษร 2+1 ตัวเลือก (Select- 2+1choice-Letter Thai test)	“ถ” กด 1, “ภ” กด 2 , “ก” ไม่กด	และแนวคิด เรื่อง Continuons Performance Tests (CPT)	

สิ่งที่มุ่งวัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
9. ตั้งใจเลือกภาพ 2ตัวเลือก(Select- 2choice-Dot test)	 “ ” กด 1, “ ” กด 2		

ตาราง 3.5 สิ่งทีมุ่งวัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบ
ย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความตั้งใจ (ต่อ)

สิ่งที่มุ่งวัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
10.ตั้งใจเลือกภาพ 2+1ตัวเลือก (Select- 2+1choice -Dot test)	 “ ” กด 1, “ ” กด 2, “ ” ไม่กด		
Sustained Attention 11. ตั้งใจฟังนาน (Sustained Sound test)	“500Hz” กด 1 , “1000Hz”และ “2000Hz”ไม่กด	แนวคิดเรื่อง Continuons Performance Tests (CPT)	https://en.wikipedia.org/wiki/Continuous_performance_task ที่พัฒนาครั้งแรกโดย Haldor Rosvold, Allan Mirsky, Irwin Sarason, Edwin Bransom, and Lloyd Beck ตีพิมพ์ใน Journal of Consulting Psychology ในปี 1956 และมีผู้ดัดแปลงพัฒนามันต่อมา เรื่อยๆจนถึงปัจจุบัน Conners, C.K. & MHS Staff. (Eds.) (2000) Conners’ Continuous Performance Test II: Computer Program for Windows Technical Guide and Software Manual. North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems.
2 ตั้งใจดูตัวอักษร นาน(Sustained Letter Thai test)	“ถ” กด 1, ตัวอื่นๆ ไม่กด		
4 ตั้งใจดูภาพนาน (Sustained Dot Test)	 “ ” กด 1, แบบอื่นๆ ไม่กด		
3 ตั้งใจจดยชุด ตัวอักษร(Sustained Series Letter Thai Test)	กด 0 เมื่อ ศ,น,สมาเป็นชุด ส จะตามหลัง ศ และ น ทุกครั้ง แต่ หลัง ศ,น อาจไม่ใช่ ส ก็ได้		

ตาราง 3.6 สิ่งที่มีงัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบ
ย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน

สิ่งที่มุงัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
Basic Processing 1. เลขคู่ เลขคี่ (Odd Even)	ปรากฏสิ่งเร้าซึ่งเป็นตัวเลขทีละตัว ที่ มูมจ่อ 4 มูม มูมใดมูมหนึ่ง ผู้ทำแบบทดสอบ ต้องตัดสินใจว่าตัวเลขนั้นเป็นเลข คี่หรือเลขคู่ แล้ว ตอบสนองโดย “เลข คี่” กด 1 , “เลขคู่” กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง	แนวคิดเรื่อง functional facet theory ของ Oberauer et al. (2000)	Oberauer, K., Sub, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., and Wittman, W.W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. Personality and Individual Differences , 29: 1017- 1045
Basic Processing 2. สระ พยัญชนะ (Vowel Consonant)	ปรากฏสิ่งเร้าตัวอักษรภาษาไทยทีละตัว ที่มูมจ่อ 4 มูม มูมใดมูมหนึ่งผู้ทำ แบบทดสอบต้องตัดสินใจว่า เป็นสระ หรือพยัญชนะแล้วตอบสนองโดย “สระ” กด 1, “พยัญชนะ”กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง	แนวคิดเรื่อง functional facet theory ของ Oberauer et al.(2000)	Oberauer, K., Sub, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., and Wittman, W.W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. Personality and Individual Differences , 29: 1017- 1045
Basic Processing 3. ซ้าย ขวา (Left Right)	มีสิ่งเร้าซึ่งเป็นลูกศรคู่กัน ที่มูมจ่อ มูม ใดมูมหนึ่ง โดย ลูกศรอันหนึ่งจะชี้ขึ้น หรือลง และลูกศรอีกลูกหนึ่งจะชี้ไป ทางซ้ายหรือขวา ผู้ทำแบบทดสอบต้องสังเกตเฉพาะ ลูกศรที่ชี้ไปทางซ้ายหรือขวาเท่านั้น และต้องตัดสินใจว่า ลูกศรชี้ไปทางซ้าย หรือขวาแล้วตอบสนองโดย ถ้า “ชี้ไปทางซ้าย” กด 1 , “ชี้ไปทางขวา” กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง		

ตาราง 3.6 สิ่งที่มีงวัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบ
ย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน(ต่อ)

สิ่งที่มั่งวัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
Basic Processing 4. บน ล่าง (Up Down)	มีสิ่งเร้าซึ่งเป็นลูกศรคู่กัน ที่มุมจอ มุม ใดมุมหนึ่งโดย ลูกศรอันหนึ่งจะชี้ขึ้น หรือลง และลูกศรอีกอันหนึ่งจะชี้ไป ทางซ้ายหรือขวา ผู้ทำแบบทดสอบต้องสังเกตเฉพาะ ลูกศรที่ชี้ขึ้นหรือชี้ลงเท่านั้น และต้อง ตัดสินใจว่า ลูกศรชี้ขึ้นหรือชี้ลง การตอบสนอง: “ชี้ขึ้น” กด 1 , “ชี้ลง” กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง		

Switching 5. สลับอักษร- เลข (Switch Letter – Number)	ปรากฏสิ่งเร้าซึ่งเป็นตัวอักษรไทยและ ตัวเลขไทยคู่กัน ที่มุมจอมุมใดมุมหนึ่ง หากปรากฏที่มุมด้านบนของจอ ผู้ทำ แบบทดสอบต้องพิจารณาเฉพาะตัวเลข ไทยเท่านั้นและต้องตอบสนองโดย “เลขที่” กด 1, “เลขคู่” กด 2 หากปรากฏที่มุมด้านล่างของจอ ผู้ทำ แบบทดสอบต้องพิจารณาเฉพาะตัว พยัญชนะไทยเท่านั้นและต้อง ตอบสนองโดยถ้าเป็น“สระ”กด1“ พยัญชนะ”กด2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง	แนวคิดเรื่อง Switching Zimmermann & Firm (1993) Allport, Styles & Hsieh(1994); Miyake et al. (2000)	Zimmerman P, Fimm B (1993) Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP), Handbuch. Psytest, Herzogenrath in Domahs,F., Grande, M.,Huber,W.,and Domahs U. (2014). The direction of word stress processing in German: evidence from a working memory paradigm. Front Psychol. 5: 574. Allport, A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), Conscious and nonconscious information processing: Attention and performance XV (pp. 421– 452). Cambridge, MA: MIT Press.
--	--	--	--

ตาราง 3.6 สิ่งที่มีงัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบ
ย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน(ต่อ)

สิ่งที่มีงัด / ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
			Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. Cognitive Psychology , 41(1): 49–100.

Switching 6. สลับ ขึ้น ลง ซ้าย ขวา(SW- Up-Down- Left-Right)	มีสิ่งเร้าซึ่งเป็นลูกศรที่มีทิศทางขึ้นลงคู่ กับทิศทางซ้ายขวา ที่มุมจอ มุม มุมใด มุมหนึ่ง หากปรากฏที่มุมด้านบนของจอ ผู้ทำ แบบทดสอบต้องพิจารณาเฉพาะลูกศร ที่มีทิศทางขึ้นลงเท่านั้นและต้อง ตอบสนองโดย “ขึ้น” กด 1 , “ลง” กด 2 หากปรากฏที่มุมด้านล่างของจอ ผู้ทำ แบบทดสอบต้องพิจารณาเฉพาะลูกศร ที่มีทิศทางซ้ายและขวา เท่านั้นและต้อง ตอบสนองโดย “ไปทางซ้าย” กด 1 , “ไปทางขวา ” กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง	Switching numerical ของOberauer et al.(2000)	Oberauer, K., Sub, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., and Wittman, W.W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. Personality and Individual Differences , 29: 1017-1045
Inhibition 7 Stroop ไทย	สิ่งเร้าเป็นคำชื่อสี 4 สีได้แก่ แดง เขียว น้ำเงินและเหลือง พิมพ์ด้วยหมึกสีแดง เขียว น้ำเงิน และ เหลือง ผู้ทำแบบทดสอบต้องตัดสินใจว่าคำชื่อ สีนั้นพิมพ์ด้วยหมึกสีตรงกับชื่อคำ หรือไม่ และตอบสนองโดยถ้า “ชื่อคำ กับสีหมึก ตรงกัน” กด 1, “ชื่อคำ กับ สี หมึก ไม่ตรงกัน” กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง	Stroop task ของ John Ridley Stroop	อ้างอิงใน Jaeggi, et al. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. Proc Natl Acad Sci USA . May 13;105(19):6829-33

ตาราง 3.6 สิ่งที่มีงัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบ
ย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน(ต่อ)

สิ่งที่มุงัด /ชื่อ แบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่ นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
--------------------------------	----------------	----------------------	--------------

Inhibition 7. Flanker arrow	สิ่งเร้าเป็นภาพลูกศร 5 อันจำนวน 4 ภาพ ดังนี้ 1. ภาพลูกศร 5 อัน ชี้ไปทิศทางด้านขวา ทั้งหมด 2. ภาพลูกศร 5 อัน ชี้ไปทิศทางด้านซ้าย ทั้งหมด 3. ภาพลูกศรตรงกลางชี้ไปทางซ้ายในขณะที่ลูกศร 4 อันที่อยู่ด้านข้างชี้ไปทางด้านขวา 4. ภาพลูกศรตรงกลางชี้ไปทางขวาในขณะที่ลูกศร 4 อันที่อยู่ด้านข้างชี้ไปทางด้านซ้าย ผู้ทำแบบทดสอบต้องตัดสินใจว่า ลูกศรตรงกลางชี้ไปทิศทางเดียวกับลูกศรอื่นๆ หรือไม่ การตอบสนอง : “ชี้ทิศเดียวกัน” กด 1 , “ชี้คนละทิศ” กด 2 มีการทดสอบ 50 ครั้ง	Eriksen Flanker Task ของ B.A. Eriksen & C.W. Eriksen, ในปี 1974	Eriksen, B. A., Eriksen, C. W. (1974). "Effects of noise letters upon identification of a target letter in a non- search task". <i>Perception and Psychophysics</i> 16: 143–149.
Updating 8.Digit updating	นำเสนอตัวเลข 1-9 กลางจอทีละตัว จำนวนตัวเลขที่นำเสนอในการทดสอบ แต่ละครั้งแตกต่างกัน อาจเป็น 2 ตัว 4 ตัว 5 ตัว 6 ตัว 7 ตัว หรือ 8 ตัว แต่ละครั้งมีคำสั่งให้ ผู้ทำแบบทดสอบ จำตัวเลขที่เป็นตัวสุดท้าย, ก่อนตัวสุดท้าย, ตัวที่ 2 นับจากตัวสุดท้าย, หรือ ตัวที่ 3 นับจากตัวสุดท้าย การตอบสนอง : ให้ผู้ทำแบบทดสอบ กดปุ่มตัวเลข เมื่อมีข้อความบนจอว่า "พิมพ์ตัวเลขที่คุณจำได้" มีการทดสอบ 30 ครั้ง	n-back Kirchner W. K. (1958). Yntema, D. B. (1963). McElree, B. (2001).	Kirchner W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. J. Exp. Psychol. 55 352–358 Yntema, D. B. (1963). Keeping track of several things at once. Human Factors , 5: 7–17. McElree, B. (2001). Working memory and focal attention. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition , 27, 817-835.

ตาราง 3.6 สิ่งที่มีงัด ลักษณะแบบทดสอบ และ แนวคิดหลักที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบย่อยแต่ละรายการในชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน(ต่อ)

สิ่งที่มีงัด /ชื่อแบบทดสอบ	ลักษณะแบบทดสอบ	แนวคิดที่นำมาใช้	แหล่งอ้างอิง
----------------------------	----------------	------------------	--------------

Updating 9. Picture updating (0 back)	นำเสนอภาพตัวละครเรื่องรามเกียรติ์ (พระราม พระลักษมณ์ นางสีดา ทศกัณฐ์ หนุมาน สุคริพ มัจฉานุ นางเงือก และ นางยักษ์) ปรากฏกลางจอทีละภาพ การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏภาพเป็น จำนวนที่แตกต่างกัน อาจเป็น 2 , 4 , 5 , 6 , หรือ 8 ภาพ ผู้ทำแบบทดสอบต้องจำภาพสุดท้าย การตอบสนอง : มีภาพ 4 ภาพ และ หมายเลขประจำภาพให้ ผู้ทำ แบบทดสอบต้องกดปุ่มตัวเลขที่เป็น หมายเลขประจำภาพ ทำการทดสอบ 10 ครั้ง	Running memory: Friedman et al. (2006) Memory updating ของ Salthouse et al. (1991) แนวคิดของ Oberauer et al. (2000)	Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J.C.,& Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. Psychological Science , 17, 172–179. Salthouse, T. A., Babcock, R. L., & Shaw, R. J. (1991). Effects of adulthood on structural and operational capacities in working memory. Psychology and Aging , 6, 118-127. Oberauer, K., Sub, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., and Wittman, W.W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. Personality and Individual Differences , 29: 1017-1045
10. Picture updating (1 back)	เหมือน 0 back picture updating แต่ผู้ทำ แบบทดสอบต้องจำภาพก่อนภาพ สุดท้าย ทำการทดสอบ 10 ครั้ง		
Updating 11. Picture updating (2 back)	เหมือน 0 back picture updating แต่ผู้ทำ แบบทดสอบต้องจำภาพที่ 2 นับจาก ภาพสุดท้าย ทำการทดสอบ 10 ครั้ง		

5. การตรวจสอบความตรงเชิงสัมพันธ์กับเกณฑ์

การวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ของชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นโดยการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา ขณะทำชุดแบบทดสอบด้านความตั้งใจและด้านความจำขณะทำงานที่พัฒนาขึ้นกับชุดแบบทดสอบในโปรแกรม STIM ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในครั้งนี้ใช้เทคนิควิธีที่ถือว่าไม่มีผลอันตราย (non-invasive technique) ต่อผู้ถูกวัด เครื่องตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องตรวจวัดสัญญาณชนิดความละเอียดสูงพร้อมโปรแกรมรับชุดสัญญาณ แบบ 40 ช่องสัญญาณ (EEG/EP System with Multimodal Neuroimaging Software) ที่เรียกสั้นๆว่า Neuroscan ผลิตโดยบริษัท Compumedic Neuroscan ซึ่งมีการนำไปใช้ในงานวิจัยทางคลินิก และงานวิจัยทางสาขาพุทธิปัญญาอย่างแพร่หลาย ตัวเครื่องมือมีส่วนประกอบสำคัญ 3 หน่วย คือ หน่วยสร้างหรือแสดงสัญญาณจากภายนอก (Stimulus presentation unit) หน่วยขยายและแปลงสัญญาณ (Signal amplification and digitization) และ หน่วยรับสัญญาณและวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ (Data acquisition and analysis) ผลการวัดจาก Neuroscan จะได้ข้อมูลหลายลักษณะ ข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อสรุป

ความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาจาก (1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบทดสอบในโปรแกรม STIM และในโปรแกรม E-prime ในประเด็นของ (1.1) ความถูกต้องในการทำแบบทดสอบ (1.2) เวลาการตอบสนอง (1.3) latency ของ N100, P200, และ P300 และ (1.4) ค่า Amplitude ของ N100, P200, และ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz, Cz, และ Pz และ (2) การเปรียบเทียบความแตกต่างของ (2.1) ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการทำแบบทดสอบ (2.2) ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนอง (2.3) ค่าเฉลี่ย latency ของ N100, P200, และ P300 และ (2.4) ค่าเฉลี่ย Amplitude ของ N100, P200, และ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz, Cz, และ Pz

อาสาสมัครประกอบด้วยนักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่นรวม 48 คน เป็นนักศึกษาจาก 3 กลุ่มสาขาวิชา คือ กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ กลุ่มสาขาวิชาละ 16 คน แต่ละกลุ่มสาขามีนักศึกษาระดับปีที่ 1 - 4 ชั้นปีละ 4 คน เป็นชาย 2 คน หญิง 2 คน นักศึกษาอาสาสมัครมีอายุเฉลี่ยประมาณ 20 ปี น้ำหนักประมาณ 58 กิโลกรัม ส่วนสูงประมาณ 165 ซม. ค่า BMI เฉลี่ย เป็น 20.88 กิโลกรัม/เมตร² และอาสาสมัคร 42 คนหรือร้อยละ 87.5 ของอาสาสมัครทั้งหมดคือนักศึกษา การคัดเลือกอาสาสมัครวิจัยใช้การประกาศรับสมัครโดยมีค่าตอบแทนการวัดครั้งละ 500 บาท มีการชี้แจงรายละเอียดการวัดคลื่นสมองให้นักศึกษาอาสาสมัครรับทราบและตัดสินใจลงนามเข้าร่วมเป็นอาสาสมัคร

แบบทดสอบย่อยความตั้งใจและความจำขณะทำงานที่ใช้ตรวจสอบความตรงเชิงสัมพัทธ์กับเกณฑ์ โดยการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง แสดงดังตาราง 3.7 และ 3.8

ตาราง 3.7 ชุดแบบทดสอบความตั้งใจที่คัดเลือกมาศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

ลำดับ	แบบทดสอบย่อย / สิ่งที่มีจุด	ลักษณะแบบทดสอบ
1	SR Picture / ความไวในการตอบสนองสิ่งเร้าที่เป็นภาพ	“ภาพผีเสื้อ” กด 1
2	SR Digit / ความไวในการตอบสนองสิ่งเร้าที่เป็นตัวเลข	“1” กด 1
3	SR Thai Letter / ความไวในการตอบสนองสิ่งเร้าตัวอักษรไทย	“ถ” กด 1
4	SR Sound / ความไวในการตอบสนองสิ่งเร้าที่เป็นเสียง	“500Hz” กด 1
5	Selective Attention Picture / การเลือกตั้งใจเมื่อสิ่งเร้าเป็นภาพ	“ผีเสื้อ”กด 1, “กล้วย”กด 2
6	Selective Attention Digit / การเลือกตั้งใจเมื่อสิ่งเร้าเป็นตัวเลข	“1” กด 1 , “2” กด 2
7	Selective Attention Th Lett / การเลือกตั้งใจเมื่อสิ่งเร้าเป็นตัวอักษรไทย	“ถ” กด 1 , “ภ” กด 2
8	Selective Attention Sound / การเลือกตั้งใจเมื่อสิ่งเร้าเป็นเสียง	500Hz”กด 1, “1000Hz”กด 2

ตาราง 3.8 ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน ที่คัดเลือกมาศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

ลำดับ	แบบทดสอบย่อย/ สิ่งที่มีจุด	ลักษณะแบบทดสอบ
1	Stroop Thai /ความจำขณะทำงานเมื่อต้องทำภาระงาน	สิ่งเร้าเป็นคำชื่อสี 4 สี ได้แก่ แดง เขียว น้ำเงินและเหลือง พิมพ์ด้วยหมึกสีแดง เขียว น้ำเงิน และ เหลือง ผู้ทำ

ลำดับ	แบบทดสอบย่อย/ สิ่งที่มีจุด	ลักษณะแบบทดสอบ
	แบบ Inhibition	แบบทดสอบต้องตัดสินใจว่าคำชื่อนั้นพิมพ์ด้วยหมึกสีตรงกับชื่อคำหรือไม่ ถ้า “ชื่อคำ กับ สีหมึก ตรงกัน” กค 1 , “ชื่อคำ กับ สีหมึก ไม่ตรงกัน” กค 2
2	Odd Even / การประมวลผลความจำขณะทำงานเมื่อสิ่งเร้าเป็นตัวเลข	ปรากฏสิ่งเร้าซึ่งเป็นตัวเลขทีละตัว ที่มุมจอ 4 มุม มุมใดมุมหนึ่ง ผู้ทำแบบทดสอบต้องตัดสินใจว่าตัวเลขนั้นเป็นเลขคี่หรือเลขคู่ ถ้า “เลขคี่” กค 1 , “เลขคู่” กค 2
3	Vowel Consonant / การประมวลผลความจำขณะทำงานเมื่อสิ่งเร้าเป็นตัวอักษรไทย	ปรากฏสิ่งเร้าตัวอักษรภาษาไทยทีละตัว ที่มุมจอ 4 มุม มุมใดมุมหนึ่ง ผู้ทำแบบทดสอบต้องตัดสินใจว่า เป็นสระหรือพยัญชนะ ถ้า “สระ” กค 1 , “พยัญชนะ” กค 2
4	Switch Letter-Number / ความจำขณะทำงานเมื่อต้องทำการงานแบบ Shifting	ปรากฏสิ่งเร้าซึ่งเป็นตัวอักษรไทยและตัวเลขไทยคู่กัน ที่มุมจอ 4 มุม มุมใดมุมหนึ่ง หากปรากฏที่มุมด้านบนของจอ ผู้ทำแบบทดสอบต้องพิจารณาเฉพาะตัวเลขไทยเท่านั้นและต้องตัดสินใจว่าเป็นเลขคี่หรือเลขคู่ แล้วตอบสนองโดยถ้าเป็น “เลขคี่” กค 1 , “เลขคู่” กค 2 หากปรากฏที่มุมด้านล่างของจอ ผู้ทำแบบทดสอบต้องพิจารณาเฉพาะตัวพยัญชนะไทยเท่านั้นและต้องตัดสินใจว่าเป็น สระ หรือ พยัญชนะแล้วตอบสนองโดยถ้าเป็น “สระ” กค 1 , “พยัญชนะ” กค 2
5	Oback /ความจำขณะทำงานเมื่อ ต้อง ทำ การ งาน updating แบบ 0 back	นำเสนอภาพตัวละครเรื่องรามเกียรติ์ (พระราม พระลักษมณ์ นางสีดา ทศกัณฐ์ หนุมาน สุกริพ มัจฉานุ นางเงือก และนางยักษิ์) ปรากฏกลางจอทีละภาพ การทดสอบแต่ละครั้ง ปรากฏภาพเป็นจำนวนที่แตกต่างกัน อาจเป็น 2 , 4 , 5 , 6 , หรือ 8 ภาพ ผู้ทำแบบทดสอบต้องจำภาพสุดท้าย

ตาราง 3.8 ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงาน ที่คัดเลือกมาศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง (ต่อ)

ลำดับ	แบบทดสอบย่อย/ สิ่งที่มีจุด	ลักษณะแบบทดสอบ
-------	----------------------------	----------------

ลำดับ	แบบทดสอบย่อย/ สิ่งที่มี วัด	ลักษณะแบบทดสอบ
		การตอบสนอง : มีภาพ 4 ภาพ และหมายเลขประจำภาพ ผู้ทำแบบทดสอบต้องกดปุ่มตัวเลขที่เป็นหมายเลขประจำ ภาพ
6	1back / ความจำขณะ ทำงานเมื่อต้องทำการระงาน updating แบบ 1 back	เหมือน 0 back picture updating แต่ผู้ทำแบบทดสอบต้องจำ ภาพก่อนภาพสุดท้าย การตอบสนอง : มีภาพ 4 ภาพ และหมายเลขประจำภาพ ผู้ทำแบบทดสอบต้องกดปุ่มตัวเลขที่เป็นหมายเลขประจำ ภาพ
7	2back / ความจำขณะ ทำงานเมื่อต้องทำการระงาน updating แบบ 2 back	เหมือน 0 back picture updating แต่ผู้ทำแบบทดสอบต้องจำ ภาพที่ 2 นับจากภาพสุดท้าย การตอบสนอง : มีภาพ 4 ภาพ และหมายเลขประจำภาพ ผู้ทำแบบทดสอบต้องกดปุ่มตัวเลขที่เป็นหมายเลขประจำ ภาพ

ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบทดสอบในโปรแกรม STIM และในโปรแกรม E-prime ในประเด็นของ (1) ความถูกต้องในการทำแบบทดสอบ (2) เวลาการตอบสนอง (3) ช่วงเวลานับจากนำเสนอสิ่งเร้าจนคลื่นไฟฟ้าสมองมีแอมพลิจูดสูงสุด (latency) ของ N100, P200, และ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz, Cz, และ Pz (4) Amplitude ของ N100, P200, และ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz, Cz, และ Pz ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เหล่านี้ บ่งชี้ถึงขนาดของความตรงเชิงสัมพันธ์กับเกณฑ์ พบว่า แบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีความตรงเชิงสัมพันธ์กับเกณฑ์ในทุกประเด็นที่พิจารณา ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงได้ดังตาราง 3.9

ตาราง 3.9 ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่บ่งชี้ถึงขนาดของความตรงเชิงสัมพันธ์กับเกณฑ์

ประเด็น	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
ความถูกต้อง **	0.415 - 0.861
เวลาการตอบสนอง **	0.488 - 1.000
latency ของ N100 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz **	0.369 - 0.895
latency ของ P200 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz **	0.447 - 0.964
latency ของ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz **	0.209 - 0.821
latency ของ N100 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Cz **	0.522 - 0.928
latency ของ P200 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Cz ¹	0.350 - 0.919
latency ของ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Cz **	0.413 - 0.931
latency ของ N100 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Pz ¹	0.361 - 0.943
latency ของ P200 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Pz **	0.559 - 0.906
latency ของ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Pz ¹	0.336 - 0.860
แอมพลิจูดของ N100 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz **	0.415 - 0.948
แอมพลิจูดของ P200 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz ¹	0.331 - 0.745
แอมพลิจูดของ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz **	0.455 - 0.829
แอมพลิจูดของ N100 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Cz **	0.426 - 0.976
แอมพลิจูดของ P200 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Cz **	0.548 - 0.995
แอมพลิจูดของ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Cz ¹	0.295 - 0.835
แอมพลิจูดของ N100 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Pz **	0.401 - 1.000
แอมพลิจูดของ P200 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Pz **	0.588 - 0.974
แอมพลิจูดของ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Pz ¹	0.705 - 0.967

** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทุกคู่มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

¹ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางคู่มีนัยสำคัญที่ระดับ .01 และ บางคู่มีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความถูกต้อง ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองในการทำแบบทดสอบแต่ละแบบทดสอบย่อย ค่าเฉลี่ย latency และค่าเฉลี่ยแอมพลิจูด ของ N100, P200, และ P300 ที่ตำแหน่งขั้วอิเล็กโทรด Fz, Cz, และ Pz ของแบบทดสอบย่อยแต่ละแบบทดสอบ ระหว่างชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น กับชุดแบบทดสอบในโปรแกรม STIM ที่ใช้เป็นเกณฑ์ ปรากฏว่า ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนจากแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม E-prime และแบบทดสอบในโปรแกรม STIM คู่ใดเลย แสดงว่า แบบทดสอบย่อยแต่ละแบบทดสอบที่เขียนบนโปรแกรม E prime และ โปรแกรม STIM2 ให้ผลการวัดตัวแปรทุกตัวไม่

แตกต่างกัน ส่วนภาพเปรียบเทียบเส้นกราฟค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าสมอง และภาพ 2 มิติ แสดงบริเวณสมองส่วนที่มีการทำงาน (Topographical maps of the voltage amplitudes) ขณะทำแบบทดสอบย่อยแต่ละแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม E-prime กับแบบทดสอบย่อยจากโปรแกรม STIM แสดงดังภาคผนวก ก

6. การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างหรือเชิงทฤษฎี

การตรวจสอบความตรงของชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น ดำเนินการ 2 ลักษณะ คือ 1) การตรวจสอบความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์ของแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น โดย การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาขณะทำภาระงานทางพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจ และ ด้านความจำขณะทำงานจากแบบทดสอบในโปรแกรม STIM2 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้เป็นเกณฑ์ และ โปรแกรมแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น และ 2) การตรวจสอบความตรงเชิงทฤษฎีหรือความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบสมรรถนะสมองที่พัฒนาขึ้น โดยการวิเคราะห์ห่อองค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis) โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักเรียนระดับมัธยมศึกษาและนักศึกษาระดับอุดมศึกษา

ในส่วนของการวิจัยเพื่อตรวจสอบความตรงเชิงทฤษฎีหรือความตรงเชิงโครงสร้างของชุดแบบทดสอบสมรรถนะสมองที่พัฒนาขึ้น ใช้กลุ่มตัวอย่างรวม 1343 คน เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 จากโรงเรียน 5 โรงเรียนในจังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ และ กาฬสินธุ์ รวม 1099 คน และนักศึกษาระดับอุดมศึกษาชั้นปีที่ 1 – 4 ในจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดลำปาง รวม 244 คน การได้กลุ่มตัวอย่างนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ใช้วิธีเลือกโรงเรียนที่อยู่ในเขตอำเภอเมือง และนอกเขตอำเภอเมืองของแต่ละจังหวัด แล้วใช้เกณฑ์โรงเรียนที่มีห้องคอมพิวเตอร์อย่างน้อย 20 เครื่อง และผู้บริหารโรงเรียนยินดีให้ความร่วมมือ สักส่วนนักเรียนจากโรงเรียนในเมืองสูงกว่านักเรียนจากโรงเรียนนอกเมืองเล็กน้อย (ร้อยละของนักเรียนในเมือง: นอกเมือง = 59.14: 40.86) เนื่องจากจำนวนนักเรียนต่อห้องเรียนของโรงเรียนในเมืองสูงกว่าโรงเรียนนอกเมือง นักเรียนชายและหญิงมีจำนวนใกล้เคียงกัน (ร้อยละของนักเรียนชาย: หญิง = 50.50 : 49.50) การได้กลุ่มตัวอย่างนักศึกษา ใช้การขอความร่วมมือจากผู้สอนในสถาบันอุดมศึกษา 2 แห่งในจังหวัดขอนแก่น และสถาบัน อุดมศึกษาในจังหวัดลำปาง 1 แห่ง ที่ยินดีให้ความร่วมมือ โดยภาพรวมนักศึกษากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 และ ปีที่ 1 นักศึกษาชายและหญิงมีจำนวนเท่ากัน ใช้เวลาทดสอบ 3 ชั่วโมง เก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปร 2 ด้านได้แก่ (1) คะแนนความถูกต้องในการทำแบบทดสอบ และ (2) เวลาการตอบสนอง จำนวนกลุ่มตัวอย่างนักเรียนระดับมัธยมศึกษาจำแนกตามที่ตั้งโรงเรียน เพศ และระดับชั้นแสดงได้ดังตาราง 3.10 ส่วนจำนวนกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจำแนกตามเพศและชั้นปี แสดงได้ดังตาราง 3.11

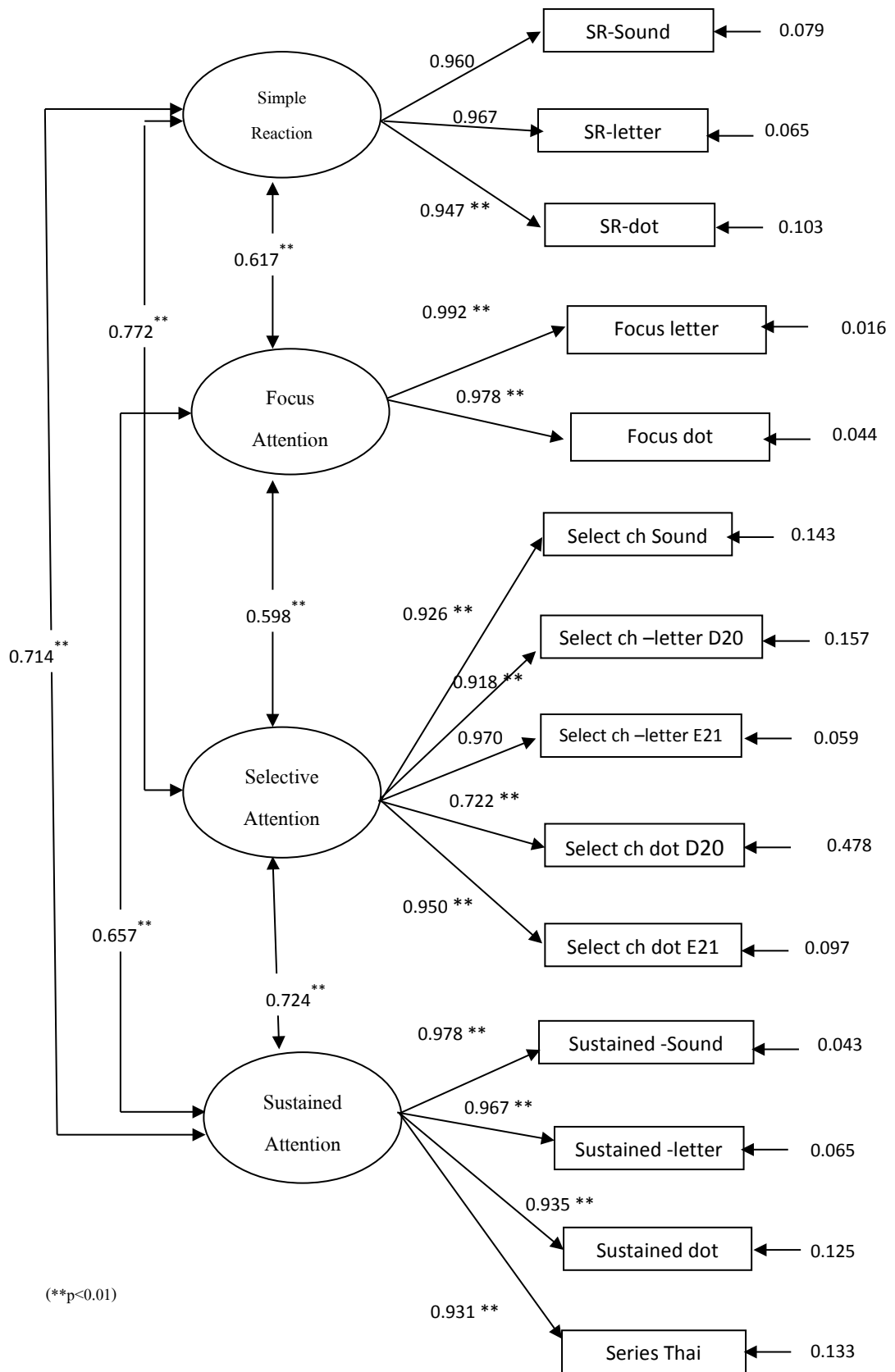
ตาราง 3.10 จำนวนกลุ่มตัวอย่างนักเรียนจำแนกตามที่ตั้งโรงเรียน เพศ และระดับชั้น

ระดับชั้น	โรงเรียนในเมือง(คน)			โรงเรียนนอกเมือง(คน)			รวม(คน)
	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	รวม	
มัธยมศึกษาปีที่ 1	32	33	65	17	19	36	101
มัธยมศึกษาปีที่ 2	34	44	78	33	42	75	153
มัธยมศึกษาปีที่ 3	47	60	107	48	40	88	195
มัธยมศึกษาปีที่ 4	66	56	122	50	41	91	213
มัธยมศึกษาปีที่ 5	62	47	109	42	40	82	191
มัธยมศึกษาปีที่ 6	87	82	169	37	40	77	246
รวม	328	322	650	227	222	449	1099

ตาราง 3.11 จำนวนกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาในจังหวัดขอนแก่นและลำปางจำแนกตามเพศและชั้นปี

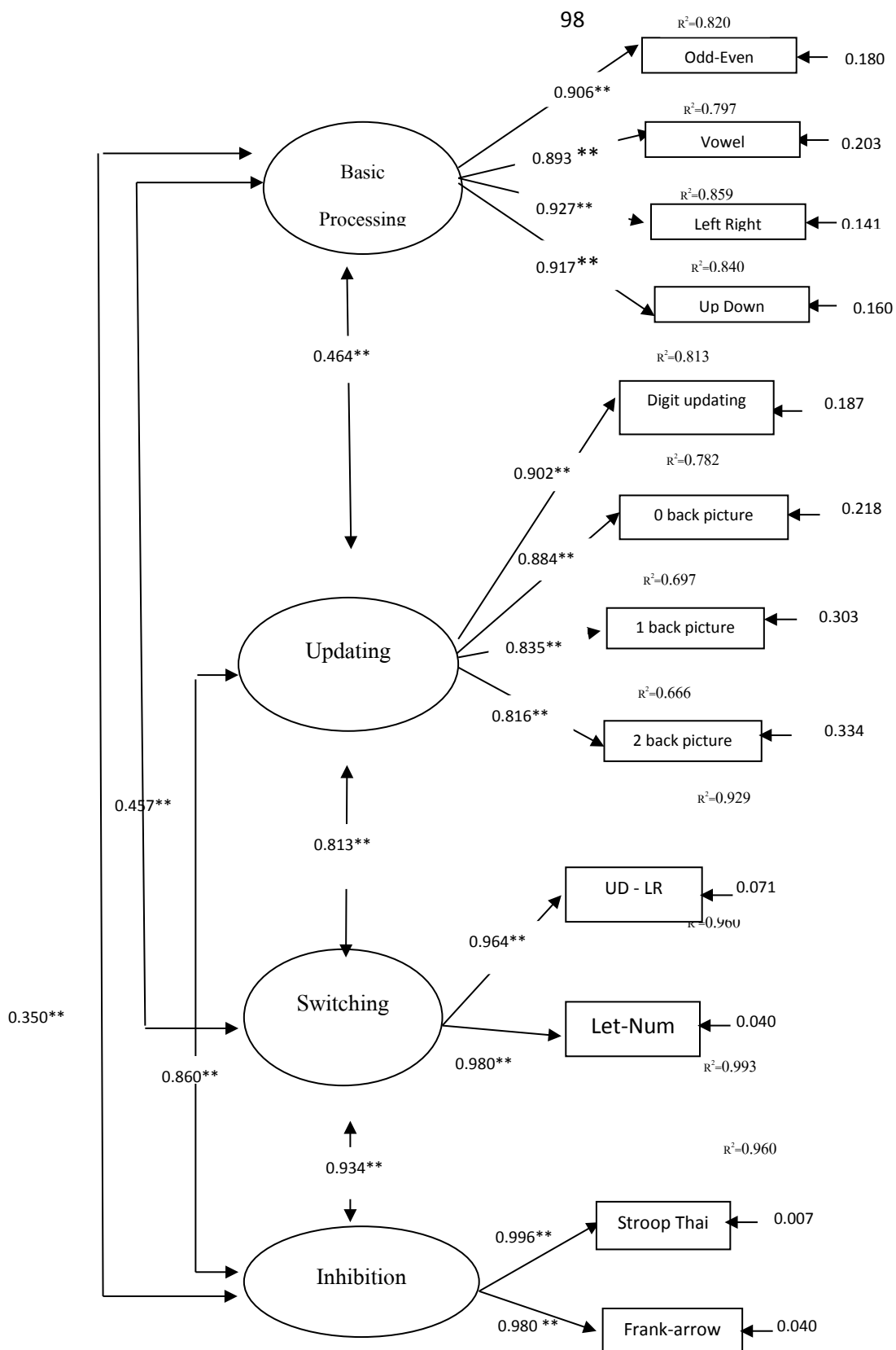
ชั้นปีที่	จังหวัดขอนแก่น			จังหวัดลำปาง			รวมทั้งหมด(คน)		
	เพศ (คน)		รวม (คน)	เพศ(คน)		รวม (คน)	เพศ(คน)		รวม (คน)
	ชาย	หญิง		ชาย	หญิง		ชาย	หญิง	
ชั้นปีที่ 1	23	16	39	14	14	28	37	30	67
ชั้นปีที่ 2	18	13	31	9	8	17	27	21	48
ชั้นปีที่ 3	14	9	23	5	3	8	19	12	31
ชั้นปีที่ 4	21	29	50	18	30	48	39	59	98
รวม	76	67	143	46	55	101	122	122	244

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของโมเดลการวัดความตั้งใจและโมเดลการวัดความจำเพาะทำงาน พบว่า โมเดลทฤษฎีมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และค่าดัชนีความกลมกลืนและความคลาดเคลื่อนทุกตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โมเดลการวัดความตั้งใจแสดงดังภาพ 3.9 ส่วนโมเดลการวัดความจำเพาะทำงานแสดงดังภาพ 3.10



($\chi^2 = 31.671$ (df = 23, p = 0.107); χ^2 /df = 1.377; RMSEA = 0.017; CFI = 1.000; TLI = 0.999; SRMR = 0.005)

ภาพ 3.9 โมเดลการวัดความตั้งใจ



(**p<0.01)

($\chi^2 = 33.301$ (df = 22, p = 0.0578); $\chi^2 / df = 1.514$; RMSEA = 0.020; CFI = 1.000; TL = 0.999 ; SRMR = 0.012)

ภาพ 3.10 โมเดลการวัดความจำขณะทำงาน

จากภาพ 3.9 χ^2 มีค่า = 31.671 (df = 23, p = 0.107) ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีความกลมกลืนและค่าความคลาดเคลื่อนทุกค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($\chi^2 / df = 1.377$; CFI = 1.000; TLI = 0.999; RMSEA = 0.017; SRMR = 0.005) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอยู่ระหว่าง 0.598- 0.772 โดยทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานมากที่สุดในองค์ประกอบ Simple Reaction Time, Focus Attention, Selective Attention, และ Sustained Attention คือตัวแปร SR-letter, Focus letter, Select ch -letter E21, และ Sustained -Sound ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเท่ากับ 0.967, 0.992, 0.970, และ 0.978 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรอยู่ระหว่าง 0.016 - 0.478 โดยค่า R^2 สูงสุดเป็น 0.094

จากภาพ 3.10 χ^2 มีค่า = 33.301 (df = 22, p = 0.058) ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยมีค่าดัชนีความกลมกลืนและค่าความคลาดเคลื่อนทุกค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($\chi^2 / df = 1.514$; CFI = 1.000; TL = 0.999 ; RMSEA = 0.020; SRMR = 0.012) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอยู่ระหว่าง 0.350-0.934 องค์ประกอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดคือ Updating กับ Inhibition ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานของตัวแปรในแต่ละองค์ประกอบ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.893-0.927, 0.816-0.902, 0.980-0.996, และ 0.964-0.980 ในองค์ประกอบ Basic Processing , Basic Processing , Inhibition และ Switching ตามลำดับ โดยตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงสุดในแต่ละองค์ประกอบดังกล่าว คือ ตัวแปร Left Right, Digit updating, Stroop Thai, และ SW Number-Letter ตามลำดับ , และมีความผันแปรรวมเกี่ยวกับองค์ประกอบทั้ง 4 ดังกล่าว คิดเป็น ร้อยละ 84.00, 81.30, 99.30, และ 96.00 ตามลำดับ

7. การจัดอบรมให้ความรู้แก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และผู้สนใจ

โครงการวิจัยนี้ได้จัดอบรมให้ความรู้แก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่นในลักษณะของการประชุมเชิงปฏิบัติการระหว่างวันที่ 23-24 พฤศจิกายน 2556 และวันที่ 30 พฤศจิกายน - 1 ธันวาคม 2556 โดยเฉพาะส่วนของการปฏิบัติการใช้ซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น ดำเนินการในวันที่ 1 ธันวาคม 2556 (มีการสลับรายการระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน และ 1 ธันวาคม เนื่องจากห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ของคณะศึกษาศาสตร์ไม่ว่างในวันที่ 30 พฤศจิกายน จึงย้ายมาเป็นวันที่ 1 ธันวาคม แทน) มีผู้เข้าอบรม 140 คน รายละเอียดดังตาราง 3.12

ตาราง 3.12 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการอบรม

สาขาวิชา	จำนวน (คน)	เพศ	
		ชาย	หญิง
จิตวิทยาและการให้คำปรึกษา	10	1	9
การพัฒนาหลักสูตร	13	2	11
วิทยาศาสตร์ศึกษา	76	15	61
เทคโนโลยีการศึกษา	15	1	14
วัดและประเมินผลการศึกษา	23	5	18
บุคคลภายนอก	3	2	1
รวม	140	26	114

ผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นนักศึกษสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มีบุคคลภายนอก ซึ่งเป็นครูโรงเรียนต่างๆ ในจังหวัดขอนแก่นขอเข้าร่วมประชุมด้วยจำนวน 3 คน ผู้เข้าประชุมมีความสนใจเรื่องของความตั้งใจและความจำเพาะทำงาน เป็นอย่างมาก และหลายคนสนใจที่จะขอนำซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบไปใช้ในงานวิจัยของตน ผลการประเมินโครงการพบว่า ผู้เข้าประชุมมีความรู้ความเข้าใจเรื่องของสมองและประสาทวิทยาศาสตร์ รวมทั้งเรื่องการวัดตัวแปรทางด้านพุทธิปัญญาเพิ่มมากขึ้น ผู้เข้าประชุมคาดว่าจะสามารถนำความรู้จากการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งนี้ไปใช้ในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนของตนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นของการส่งเสริมสมรรถนะสมองและการวัดผลการเรียนรู้ รวมทั้งมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการประชุม เนื่องจากจำนวนผู้สนใจมีมากเกินไปจนที่นั่งในห้องประชุม รายละเอียดกำหนดการประชุมเชิงปฏิบัติการ และภาพผู้เข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ แสดงดังภาพ 3.11-3.13

ขอเชิญผู้สนใจเข้าประชุมเชิงปฏิบัติการ

“การวิจัยทางประสาทวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21”

ณ ห้อง ED1212 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วันที่ 23-24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 และ
วันที่ 30 พฤศจิกายน – วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2556

เวลา 09.00 – 16.00 น.

รับจำนวนจำกัด สำรองที่นั่งด่วน ที่ นายสันติย์ ศรีคุณ

TEL: 085-753-0896 E-MAIL: sanitsrikoon@gmail.com

ภายในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556

ฟรี

วันที่	เรื่อง	วิทยากร
23 พฤศจิกายน 2556	การพัฒนาเครื่องมือวัดความรู้ทางพุทธิปัญญา : ทักษะการและทฤษฎี	ดร.จุลลุมิ เพ็ญรัตน์ และคณะ
24 พฤศจิกายน 2556	การพัฒนาเครื่องมือวัดความจำขณะทำงานและความตั้งใจ	รศ.ดร.รัตนาธิ์ บุญเดิม และ คณะ
30 พฤศจิกายน 2556	ปฏิบัติการใช้เครื่องมือวัดความจำขณะทำงานและความตั้งใจ	ผศ.สุวิทย์ อุปสัย และ คณะ
1 ธันวาคม 2556	ประสาทวิทยาศาสตร์กับการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้อยู่ในศตวรรษที่ 21	รศ.ดร.รัตนาธิ์ บุญเดิม และ คณะ

ภาพ 3.11 กำหนดการประชุมเชิงปฏิบัติการ



ภาพ 3.12 ผู้เข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ
การวิจัยทางประสาทวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21



ภาพ 3.13 ปฏิบัติการทดลองใช้ซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงานและความตั้งใจ

กล่าวโดยสรุป ซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ ผลการประเมินในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของตัวซอฟต์แวร์แสดงว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ตรงตามความต้องการ ให้ผลการวัดที่ละเอียดและถูกต้องแม่นยำ กลุ่มผู้ใช้เห็นว่าใช้งานง่าย และเห็นประโยชน์ของชุดซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยของตนต่อไปได้ ซึ่งขณะนี้มนักศึกษาระดับปริญญาเอก นำซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบนี้ไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลในวิทยานิพนธ์ของตน 5 คน ผลการประเมินในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของชุดแบบทดสอบพบว่า ชุดแบบทดสอบมีความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์สูง มีความตรงเชิงทฤษฎีหรือมีความตรงเชิงโครงสร้าง และค่าความเที่ยงของแบบทดสอบย่อยแต่ละฉบับที่ศึกษาโดยวิธีวัดซ้ำ มีค่าสูง

อภิปรายและวิจารณ์ผล

1. ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากผู้วิจัยประกอบด้วยนักวิชาการจากหลากหลายสาขาวิชาร่วมมือกันทำงาน แม้จะมีอุปสรรคเรื่องระยะทางบ้าง แต่เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารทางไกลก็ทำให้สามารถดำเนินงานได้
2. กลุ่มตัวอย่างที่ได้ทดลองใช้ซอฟต์แวร์มีความพึงพอใจในระดับมาก และสนใจที่จะนำไปใช้ในงานวิจัยของตนต่อไป เนื่องจากมองเห็นว่าสามารถนำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้เป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ในประเด็นการวิจัยที่ใหม่ น่าสนใจ ที่กำลังเป็นที่สนใจในวงวิชาการทางศึกษาศาสตร์ปัจจุบัน ซึ่งในอดีต ยังไม่มีเครื่องมือลักษณะนี้ที่เป็นภาษาไทย

3. การพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบ โดยใช้โปรแกรม E prime ในการช่วยพัฒนาทำให้สามารถออกแบบแบบทดสอบได้หลากหลายลักษณะในเวลารวดเร็วขึ้น และสามารถทดสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม หากผู้วิจัยไม่เคยใช้โปรแกรม E prime มาก่อน อาจต้องใช้เวลาในการศึกษาบ้าง

4. ผลการศึกษาความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์ของแบบทดสอบโดยการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง ผลการวิจัยพบว่า ชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์สูง ดังนั้นสามารถนำชุดแบบทดสอบนี้ไปใช้งานนอกห้องปฏิบัติการได้ เป็นการขยายขอบเขตการศึกษาวิจัยออกไปสู่ชั้นเรียนจริงได้ การดำเนินงานในส่วนนี้นับว่าเป็นเรื่องใหม่ของการพัฒนาเครื่องมือวัดทางศึกษาศาสตร์ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือของนักวิชาการจากสาขาวิชาต่างๆ เป็นการเชื่อมโยงศาสตร์ด้านศึกษาศาสตร์เข้ากับศาสตร์ด้านประสาทวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของความร่วมมือนี้ในประเทศไทย

5. ผลการศึกษาความตรงเชิงทฤษฎีหรือความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบ พบว่า ชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น มีความตรงเชิงทฤษฎี สามารถนำชุดแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปใช้วัดความตั้งใจ และ/หรือ ความจำขณะทำงานของนักเรียนและนักศึกษาที่มีสุขภาพดีได้อย่างมั่นใจ เนื่องจากกระบวนการในการพัฒนาชุดแบบทดสอบเป็นไปตามหลักวิชาการของการพัฒนาเครื่องมือวัดตัวแปร มีการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเล็ก กลุ่มใหญ่ มีการทดลองใช้แบบทดสอบ (try out) อย่างเป็นระบบ การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการอย่างถูกต้องเคร่งครัดตามหลักวิชาโดยได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากโรงเรียนที่เข้าร่วมโครงการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า ชุดแบบทดสอบความตั้งใจที่พัฒนาขึ้น โดยจัดกลุ่มความตั้งใจเป็นความไวในการตอบสนอง(Simple Reaction Time) ความตั้งใจแบบ Focus Attention ความตั้งใจแบบ Selective Attention และความตั้งใจแบบ Sustained Attention มีความตรงตามทฤษฎี สอดคล้องกับที่ Luck & Vecera (2002: 235-240) นำเสนอความหมายของ attention เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ (1) Task-Defined Attention ซึ่งนิยาม attention ในลักษณะของกระบวนการทางจิตวิทยา (2) Maintaining Attention ซึ่งนิยาม attention ในลักษณะของการคงความสามารถในการทำภาระงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา และ (3) Process-Oriented Attention ซึ่งนิยาม attention ในลักษณะของกระบวนการเชิงรุกที่เน้นที่การเพ่งความตั้งใจไปที่หนึ่งในปัจจัยนำเข้าเชิงผัสสะที่หลากหลายแล้วเพิ่มคุณภาพของการเลือก การทำภาระงาน หรือ การคิด โดยชุดแบบทดสอบ Sustained Attention มีความหมายเดียวกับ Maintaining Attention ส่วนชุดแบบทดสอบ Focus Attention และ Selective Attention เป็นกรณีของ Process-Oriented Attention ส่วน ชุดแบบทดสอบ Simple Reaction Time เป็นกรณีที่ใช้วัด เส้นฐาน (Baseline)ของความตั้งใจด้านต่างๆใน Process-Oriented Attention นั้น และสอดคล้องกับที่ Sarter et al.(2003) สรุปว่า ความตั้งใจ เป็นชุดของกระบวนการทางด้านพุทธิปัญญา ซึ่งทำให้บุคคลสามารถ รับ

จำแนก และ ดำเนินการ ต่อสิ่งเร้าได้อย่างเหมาะสม โดยไปทำให้ระบบรับรู้สื่อกของร่างกายไวต่อการค้นหาหรือรับสิ่งเร้าที่เลือกตาม ตำแหน่ง รูปแบบ โดยการปรับการทำงานของเซลล์ประสาทในบริเวณเปลือกสมอง (cortex) และอธิบายว่าเราสามารถจำแนกความตั้งใจออกได้เป็นหลายประเภท เช่น Sustained attention ([vigilance](#)) เป็นภาวะที่บุคคลพร้อมที่จะค้นหาหรือรับการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์สิ่งเร้าที่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเกิดขึ้นในเวลาต่อมา Selective attention เป็นภาวะที่บุคคลนำข้อมูลหรือรายละเอียดที่เป็นเป้าหมาย (target information) เพื่อนำมามุ่งสู่ความมีสติสัมปชัญญะ (consciousness) และกีดการรับรู้หรือค้นหาข้อมูลหรือรายละเอียดที่ไม่ใช่เป้าหมาย (non-target information) เป็นต้น และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องในการทำแบบทดสอบความตั้งใจแต่ละแบบทดสอบย่อย พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 66-73 ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองแต่ละครั้งในแต่ละแบบทดสอบย่อยอยู่ประมาณ 554 - 736 มิลลิวินาที ซึ่งนับว่าเหมาะสมสำหรับนักเรียนปกติ เนื่องจากแบบทดสอบไม่ยากหรือง่ายจนเกินไป สามารถใช้ศึกษาในคนปกติได้ เนื่องจากแบบทดสอบที่ใช้ในประเทศไทยปัจจุบันเป็นแบบทดสอบที่ใช้สำหรับผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุ ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับนักเรียนปกติพบว่าง่ายเกินไปกล่าวคือนักเรียนปกติส่วนใหญ่ได้คะแนนร้อยละ 100.00 (กัญญา ราชหุ่น, 2554; เจริญขวัญ รัตนวงษา, 2554; เพ็ญพร วัฏภูมิใหญ่, 2554) ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ต้องพัฒนาแบบทดสอบขึ้นใหม่สำหรับนักเรียนปกติ

ในส่วนของความจำขณะทำงาน ผลการวิจัยพบว่า ชุดแบบทดสอบความจำขณะทำงานที่พัฒนาขึ้นมีความตรงตามทฤษฎี การวิจัยนี้อาศัยแนวทาง facet model ของ Oberauer et al.(2000, 2003) ที่แบ่งความจำขณะทำงานเป็น 2 มิติใหญ่ๆ มิติแรกเป็นด้านเนื้อหาสาระซึ่งมี 2 องค์ประกอบคือ (1) คำพูดภาษาและตัวเลข(verbal and numerical) และ (2) รูปภาพและปริภูมิ(figural and spatial) และอีกมิติหนึ่งเป็นมิติด้านการทำหน้าที่ (function) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พัฒนา ชุดแบบทดสอบฉบับภาษาไทยเพื่อวัดความจำขณะทำงานทั้งด้านภาษาและตัวเลขและด้านรูปภาพและปริภูมิ โดยเน้นการทำหน้าที่ประมวลผลพื้นฐาน (basic processing) และ การทำหน้าที่เชิงบริหาร(executive function) ทั้งในลักษณะของ switching, inhibition, และ updating โดยพยายามจัดทำแบบทดสอบฉบับภาษาไทยที่ใช้ภาพที่จัดทำขึ้นเอง รวมทั้งใช้ตัวเลขและอักษรภาษาไทย ซึ่งพบว่าแบบทดสอบมีความตรงตามทฤษฎี เนื่องจากในขั้นตอนการเขียนโปรแกรมได้มีการพัฒนาตามขั้นตอนตามหลักวิชา และมีการตรวจสอบเป็นระยะๆทำให้สามารถวัดความสามารถด้านความจำขณะทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องในการทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานแต่ละแบบทดสอบย่อย พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 55.06 - 73.16 ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองแต่ละครั้งในแต่ละแบบทดสอบย่อยอยู่ประมาณ 670-840 มิลลิวินาที ซึ่งนับว่าเหมาะสมสำหรับนักเรียนปกติ เนื่องจากแบบทดสอบไม่ยากหรือง่ายจนเกินไป สามารถใช้ศึกษาในคนปกติได้

6. ผลการศึกษาความเที่ยงของแบบทดสอบพบว่า แบบทดสอบทุกฉบับมีค่าความเที่ยงสูง ผู้สนใจสามารถคัดเลือกเฉพาะบางแบบทดสอบไปใช้ตามความต้องการของตนได้โดยง่าย

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยพบว่า สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดแบบทดสอบสำหรับวัดตัวแปรด้านประสาทวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา ที่มีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจทั้งในเชิงของศาสตร์ด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ คอมพิวเตอร์ ในด้านการใช้งานได้ตามต้องการอย่างถูกต้อง และด้านการยอมรับจากผู้ใช้งาน และในเชิงของศาสตร์ด้านการวัดผลการศึกษาเกี่ยวกับความตรงและความเที่ยงของแบบทดสอบ โดยอาศัยเทคนิควิธีการวัดทั้งในเชิงของศึกษาศาสตร์และประสาทวิทยาศาสตร์ ผลการทดสอบการยอมรับจากผู้ใช้งาน 4 กลุ่ม คือ กลุ่มครูคอมพิวเตอร์ จำนวน 13 คน กลุ่มครูและบุคลากรทางการศึกษา จำนวน 77 คน กลุ่มนักศึกษาระดับอุดมศึกษา จำนวน 48 คน และ กลุ่มนักเรียนมัธยมศึกษา จำนวน 107 คน พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับการยอมรับในระดับสูงทุกกลุ่ม โดยค่าเฉลี่ยแต่ละประเด็นอยู่ในระดับค่อนข้างง่ายหรือเหมาะสมไปจนถึงง่ายหรือเหมาะสมอย่างยิ่ง ผลการศึกษาความตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์โดยการศึกษาค้นสมองพบว่า แบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีความตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์สูง กล่าวคือ การทำงานของสมองขณะทำแบบที่พัฒนาขึ้นและขณะทำแบบทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์ไม่แตกต่างกัน โดยค่า latency และ amplitude ที่ตำแหน่งต่างๆ จากผลการตรวจวัดค้นสมองของกลุ่มตัวอย่างที่ทำแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นและแบบทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์ มีค่าไม่แตกต่างกัน และผลการตรวจสอบความตรงเชิงทฤษฎีโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบยืนยัน (CFA) จากกลุ่มตัวอย่างนักเรียนมัธยมศึกษาและนักศึกษาระดับอุดมศึกษารวม 1343 คน พบว่าชุดแบบทดสอบทั้งสองชุดมีความตรงเชิงทฤษฎี ข้อมูลเชิงประจักษ์มีความสอดคล้องกลมกลืนกับโมเดลการวัดเป็นอย่างดี ผลการศึกษาความเที่ยงแบบวัดซ้ำพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงแบบวัดซ้ำมีค่าสูง กล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของแบบทดสอบย่อยความตั้งใจและความจำขณะทำงานอยู่ระหว่าง 0.822-0.997 และ 0.938-0.998 ตามลำดับ อนึ่งค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องและเวลาการตอบสนองในการทำแบบทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง 1343 คน ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบยืนยัน พบว่า สำหรับชุดแบบทดสอบความตั้งใจ ค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของเยาวชนไทยที่มีสุขภาพดีอยู่ที่ประมาณร้อยละ 66-73 ของคะแนนเต็ม ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองแต่ละครั้งในแต่ละแบบทดสอบย่อยอยู่ประมาณ 554 - 736 มิลลิวินาที ส่วนค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องและเวลาการตอบสนองในการทำแบบทดสอบความจำขณะทำงานแต่ละแบบทดสอบย่อย พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 55 - 73

ของคะแนนเต็ม และค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองแต่ละครั้งในแต่ละแบบทดสอบย่อยอยู่ประมาณ 670-840 มิลลิวินาที

ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะจากการวิจัย ดังนี้

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ซอฟต์แวร์วัดสมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาฉบับภาษาไทยด้านความตั้งใจ และความจำขณะทำงาน ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้ของเยาวชนไทยได้ ทั้งนี้ ผู้ที่จะนำซอฟต์แวร์นี้ไปใช้ ควรศึกษาคู่มือการใช้งานอย่างละเอียด และทดลองทำด้วยตนเองก่อน เพื่อให้เข้าใจกระบวนการทั้งการติดตั้งโปรแกรมและการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเฉพาะผู้ที่ใช้โปรแกรม E prime จากการ download โปรแกรมฉบับทดลองใช้ โดยไม่ซื้อโปรแกรมลิขสิทธิ์มาใช้ จำเป็นต้องตรวจสอบระบบคอมพิวเตอร์และระบบ internet หรือควรขอคำแนะนำจากผู้รู้ด้านคอมพิวเตอร์ด้วย

ทั้งนี้ ผู้สนใจสามารถคัดเลือกใช้งานเพียงบางแบบทดสอบที่เหมาะสมกับงานของตนได้ตามต้องการ รวมทั้งอาจสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดทำแบบฝึกสมรรถนะสมองด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงานโดยใช้เนื้อหาสาระในรายวิชาที่สนใจได้ ผู้สนใจสามารถศึกษาตัวอย่างสื่อการสอนเพื่อส่งเสริมความจำขณะทำงานได้จากงานของกิตติศักดิ์ วรรณทอง(2556) และสุวิทย์ อุปสัย (2558)

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

1. ควรมีการหาค่าเกณฑ์ปกติของแบบทดสอบย่อยแต่ละฉบับที่พัฒนาขึ้นนี้สำหรับเด็กไทยแต่ละระดับชั้นหรือแต่ละระดับอายุเพื่อให้สามารถใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบในงานวิจัยต่อไปได้
2. เนื่องจากมีงานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่า ความตั้งใจและความจำขณะทำงานมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนั้นควรมีการวิจัยเพื่อตรวจสอบว่า การฝึกความตั้งใจและความจำขณะทำงานในเด็กไทยจะส่งผลต่อความสามารถทางปัญญาอื่นๆของเด็กไทยหรือไม่ ทั้งนี้ลักษณะของแบบทดสอบย่อยหลายๆแบบทดสอบ น่าจะสามารถใช้เป็นตัวแบบสำหรับฝึกความตั้งใจและความจำขณะทำงานของเด็กไทยได้
3. ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองขณะทำแบบทดสอบย่อยแต่ละแบบทดสอบสามารถศึกษาวิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไปอีกได้ โดยต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างนักประสาทวิทยาศาสตร์ที่สนใจเรื่องของพุทธิปัญญาร่วมกับนักจิตวิทยาพุทธิปัญญาและนักวิชาการทางศึกษาศาสตร์

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. ควรจัดตั้งศูนย์วิจัยด้านประสาทวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย เพื่อระดมผู้มีความรู้ความสามารถร่วมกันพัฒนาองค์ความรู้และจัดทำฐานข้อมูลพื้นฐาน (base line) ของเด็กไทยเพื่อใช้ในการเทียบเคียงความสามารถของเด็กทั้งทางด้านพุทธิปัญญา ด้านอารมณ์สังคมและด้านอื่นๆ
2. ควรจัดทำหลักสูตรความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับบุคคลแต่ละระดับ เช่น นักเรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ่อแม่ผู้ปกครอง และผู้สูงวัย เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญของสมองและระบบประสาทตลอดจนรู้จักระวังและสามารถดูแลส่งเสริมพัฒนาการของระบบประสาทของตนเองได้
3. ควรจัดทำหลักสูตรประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับ ครู พ่อแม่ ผู้ปกครอง และ บุคลากรทางการศึกษา เพื่อให้สามารถเลือกองค์ความรู้ทางด้านประสาทวิทยาศาสตร์มาปรับใช้เพื่อการพัฒนาเยาวชนของชาติได้อย่างถูกต้องเหมาะสมสอดคล้องกับธรรมชาติของสมองโดยไม่ตกเป็นเครื่องมือทางธุรกิจการศึกษาที่อาศัยความสนใจเรื่องสมองเป็นจุดขาย