

Development of an Online Operation Span Task for Thai Speakers

Teeranoot Siriwittayakorn² and Thanasak Sirikanerat¹

Received: April 25, 2024 – Revised: September 29, 2024 – Accepted: October 3, 2024

Abstract

The Operation Span Task (Ospan) is a working memory span task frequently used in linguistic research. However, the task was originally designed for English speakers, making it potentially unsuitable for Thai speakers. This study aims to develop an automated online Ospan for Thai speakers based on the task proposed by Unsworth et al. (2005). Pytoolkit was used for development as it is a free program that facilitates the implementation of online experiments. Furthermore, this software supports experiments on both computers and smartphones. The task was refined in two key areas: reducing the complexity of mathematical problems and replacing the letters to be remembered with Thai alphabets. A total of 114 Thai native speakers, aged 18 to 78, participated in this study. The results indicate that simplifying the mathematical problems did not overly reduce the task's difficulty. The average score for the Ospan was 61.23% (SD = 19.06), comparable to the findings of Unsworth et al. (2005). Temporal stability, assessed via test-retest reliability, showed a moderate correlation between the two tests ($r = .652$). Internal consistency analysis revealed a Cronbach's alpha of .86, also consistent with the results reported by Unsworth et al. (2005). These findings suggest that the online Ospan developed in this study effectively reflects differences in participants' working memory capacity and is reliable.

Keywords: Operation Span, Working Memory, Applied Linguistics, Psycholinguistics, Experimental linguistics

¹ *Corresponding Author,*

Department of Linguistics, Faculty of Humanities, Kasetsart University, Bangkok, 10330, Thailand
thanasak.si@ku.th

² Department of English, Faculty of humanities, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand
teeranoot.s@cmu.ac.th

การพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรม ขณะคำนวณออนไลน์สำหรับผู้พูดภาษาไทย

ธีรนาถ ศิริวิทยากร² และ ธนศักดิ์ ศิริคะเนรัตน์¹

รับต้นฉบับ : 25 เมษายน 2567 – รับแก้ไข : 29 กันยายน 2567 – ตอบรับตีพิมพ์ : 3 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

แบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณ (Operation Span: Ospan) เป็นหนึ่งในแบบทดสอบความจำขณะคิดที่พบได้บ่อยในการวิจัยทางภาษาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม แบบทดสอบนี้ออกแบบมาสำหรับผู้พูดภาษาอังกฤษ ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับผู้พูดภาษาไทย การวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณสำหรับผู้พูดภาษาไทย โดยปรับปรุงจากแบบทดสอบของ Unsworth et al. (2005) ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Psytokit ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เปิดให้ใช้งานโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถเก็บข้อมูลจากอาสาสมัครได้ครั้งละหลายคนในเวลาเดียวกัน และสามารถเก็บข้อมูลในรูปแบบออนไลน์ที่ได้จากทั้งคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยพัฒนาแบบทดสอบโดยปรับปรุง 2 ประเด็น คือ 1) ลดความซับซ้อนของโจทย์คณิตศาสตร์ และ 2) ปรับตัวอักษรที่ต้องจำในแบบทดสอบจากภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทย ผู้พูดภาษาไทยจำนวน 114 คน อายุระหว่าง 18-78 ปี ได้ทำแบบทดสอบที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการปรับโจทย์คณิตศาสตร์ครั้งนี้ไม่ได้ทำให้โจทย์ง่ายจนเกินไป ผลการทดสอบพบว่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบเท่ากับ 61.23% (SD = 19.06) ไม่แตกต่างกับผลของ Unsworth et al. (2005) สำหรับผลการวิเคราะห์ความเที่ยงเชิงเวลาจากการวิเคราะห์คะแนนของการทำแบบทดสอบซ้ำ พบว่า คะแนนของแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งมีความสัมพันธ์กันในระดับกลาง ($r = .652$) ในส่วนของผลการวิเคราะห์ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในพบว่ามีความสัมพันธ์อัลฟาของครอนบาคเท่ากับ .86 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นครั้งนี้สามารถสะท้อนความแตกต่างของความจำขณะคิดของอาสาสมัครแต่ละคนได้และมีความน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ : กิจกรรมขณะคำนวณ, ความจำขณะคิด, ภาษาศาสตร์ประยุกต์, ภาษาศาสตร์เชิงจิตวิทยา, ภาษาศาสตร์เชิงการทดลอง

¹ ผู้รับผิดชอบบทความหลัก,

ภาควิชาภาษาศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
thanasak.si@ku.th

² ภาควิชาภาษาอังกฤษ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
teeranoot.s@cmu.ac.th

บทนำ

ความจำขณะคิด (Working memory) คือโมเดลความจำที่ปรับปรุงใหม่จากความจำระยะสั้น (short term memory) (Baddeley, 2003; Baddeley & Hitch, 1974) โดยมีแนวคิดสำคัญว่าความจำระยะสั้นไม่ได้มีแต่เพียงระบบการจำเท่านั้น แต่ยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ เช่น การจำข้อมูล (memory) การประมวลผลข้อมูล (processing) การมุ่งความสนใจ (attention) ความจำขณะคิดแบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบคือ 1) ส่วนบริหารกลาง (Central executive) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการมุ่งความสนใจไปยังสิ่งเร้าหรือกิจกรรม 2) ระบบเก็บจำด้านภาพและมีติสัมพันธ์ (Visuospatial sketch pad) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจำและประมวลผลข้อมูลจากการมองเห็น เช่น รูปทรง สี ตำแหน่ง 3) ระบบเก็บจำด้านภาษา (Phonological loop) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจำและประมวลผลข้อมูลด้านภาษาจากการได้ยิน และ 4) หน่วยพักข้อมูลร่วมชั่วคราว (Episodic buffer)¹ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการบูรณาการข้อมูลจากระบบเก็บจำด้านภาพและมีติสัมพันธ์กับระบบเก็บจำด้านภาษา (Baddeley, 2007)

จากการศึกษาความจำขณะคิด พบว่าความจำขณะคิดมีความสัมพันธ์กับการเรียนรู้ของมนุษย์ ระดับสติปัญญา ระดับความจำ และภาษา (Cowan, 2014) ในด้านการเรียนรู้ภาษา พบว่าความจำขณะคิดมีความสัมพันธ์กับการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ เช่น ความคล่องในการออกเสียง (fluency) (Fortkamp, 2003) การประมวลผลการเน้นเสียง (stress) และการรู้จำสัทสัมพันธ์ (phonotactic) (Darcy et al., 2015) การฟังเสียง (Aliaga-Garcia et al., 2011) การจำคำศัพท์ (Bouffier et al., 2020; Papagno & Vallar, 1995) การศึกษาความจำขณะคิดจึงเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญในทางภาษาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการรับภาษา (language acquisition) งานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดสำหรับผู้พูดภาษาไทยเพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับการเรียนรู้และการประมวลผลภาษา

การวัดความจำขณะคิดทำได้โดยใช้แบบทดสอบความจำขณะคิด (working memory span) แบบทดสอบความจำขณะคิดแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ได้แก่ แบบทดสอบประเภทไม่ซับซ้อน (simplex span task) และ แบบทดสอบประเภทซับซ้อน (complex span task) แบบทดสอบประเภทไม่ซับซ้อนเป็นแบบทดสอบที่ผู้ทำแบบทดสอบจะต้องใช้ความจำขณะคิดเพียงองค์ประกอบเดียวในการทำแบบทดสอบ เช่น การจำตัวเลข การจำตัวอักษร ส่วนแบบทดสอบประเภทซับซ้อนเป็นแบบทดสอบที่ผู้ทำแบบทดสอบจะต้องใช้ความจำขณะคิดหลายองค์ประกอบร่วมกันในการทำแบบทดสอบ เช่น การจำตัวอักษรในขณะคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Mathy et al., 2018) แบบทดสอบประเภทไม่ซับซ้อนที่พบได้บ่อยในงานวิจัยเกี่ยวกับความจำขณะคิดได้แก่ 1) กิจกรรมจำคำ (word span) และ 2) กิจกรรมจำตัวอักษร (letter span) ส่วนแบบทดสอบประเภทซับซ้อนที่พบได้บ่อยได้แก่ 1) กิจกรรมขณะอ่าน (reading span) และ 2) กิจกรรมขณะคำนวณ (operation span) (Unsworth & Engle, 2006) แบบทดสอบแต่ละประเภทมีลักษณะดังต่อไปนี้

¹ ผู้วิจัยใช้คำภาษาไทยสำหรับองค์ประกอบต่าง ๆ ของความจำขณะคิดตาม พิศ วังคุปราช และ รัชนีรัตน์ วังคุปราช (2555)

1) กิจกรรมจำคำ ในแบบทดสอบนี้ อาสาสมัครจะได้เห็นคำศัพท์จำนวนหนึ่งปรากฏขึ้นตามลำดับ จากนั้นอาสาสมัครจะต้องตอบว่าคำศัพท์ที่ปรากฏมีคำอะไรบ้างโดยเรียงลำดับการปรากฏให้ถูกต้อง งานวิจัยที่ใช้กิจกรรมจำคำ เช่น Unsworth and Engle (2006)

2) กิจกรรมจำตัวอักษร ในแบบทดสอบนี้อาสาสมัครจะได้เห็นตัวอักษรจำนวนหนึ่งปรากฏขึ้นตามลำดับ จากนั้นอาสาสมัครจะต้องตอบว่าตัวอักษรที่ปรากฏมีตัวอักษรใดบ้างโดยเรียงลำดับการปรากฏให้ถูกต้อง งานวิจัยที่ใช้กิจกรรมจำตัวอักษร เช่น Unsworth and Engle (2006)

3) กิจกรรมขณะอ่าน ในแบบทดสอบนี้ อาสาสมัครจะได้เห็นประโยคปรากฏขึ้นบนหน้าจอ จากนั้นอาสาสมัครจะต้องตอบว่าประโยคที่เห็นเป็นประโยคที่สมเหตุสมผลหรือไม่ เมื่ออาสาสมัครตอบแล้วจะมีตัวอักษรปรากฏขึ้นบนหน้าจอ อาสาสมัครจะต้องจำตัวอักษรนั้นไว้สุดท้าย อาสาสมัครจะต้องตอบว่าตัวอักษรที่ปรากฏบนหน้าจอประกอบไปด้วยตัวอักษรใดบ้างโดยเรียงลำดับการปรากฏให้ถูกต้อง งานวิจัยที่ใช้กิจกรรมขณะอ่าน เช่น Cho (2018); Fortkamp (1999); Li and Roshan (2019); Mahmoodi et al. (2022); van den Noort et al. (2006)

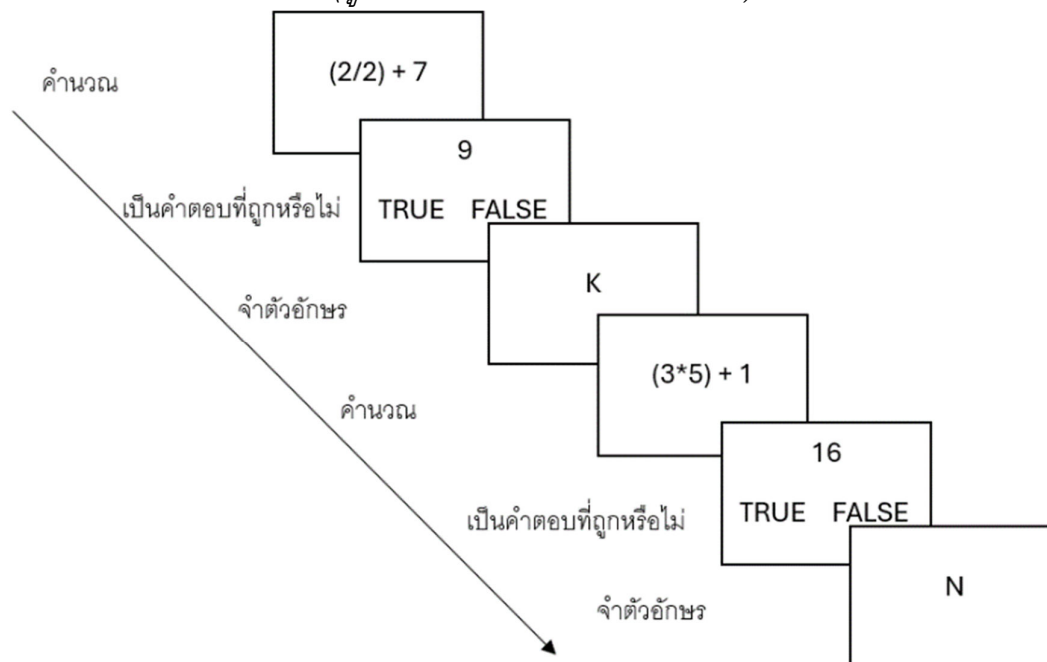
4) กิจกรรมขณะคำนวณ (operation span) ในแบบทดสอบนี้ อาสาสมัครจะได้เห็นโจทย์คณิตศาสตร์ปรากฏขึ้นบนหน้าจอ อาสาสมัครจะต้องคำนวณผลลัพธ์และจำไว้ จากนั้นจะมีผลลัพธ์ปรากฏขึ้นบนหน้าจอ อาสาสมัครจะต้องตอบว่าผลลัพธ์ที่ปรากฏเป็นผลลัพธ์ที่ถูกต้องหรือไม่ ต่อมาจะมีตัวอักษรปรากฏขึ้น อาสาสมัครจะต้องจำตัวอักษรนั้น สุดท้าย อาสาสมัครจะต้องตอบว่าตัวอักษรที่ปรากฏบนหน้าจอประกอบไปด้วยตัวอักษรใดบ้างโดยเรียงลำดับการปรากฏให้ถูกต้อง งานวิจัยที่ใช้กิจกรรมขณะคำนวณ เช่น Cho (2018); Lu (2010); Mavrou (2020); Zabihi (2018)

แม้การทดสอบความจำขณะคิดจะทำได้โดยแบบทดสอบหลากหลายแบบ แต่เมื่อ Daneman and Merikle (1996) รวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับการประมวลผลภาษา 77 ชิ้นแล้ว พบว่าแบบทดสอบประเภทซับซ้อนสามารถสะท้อนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดีกว่าแบบทดสอบประเภทไม่ซับซ้อน ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณเนื่องจากเป็นแบบทดสอบประเภทซับซ้อนเช่นเดียวกับกิจกรรมขณะอ่าน แต่ใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่ามาก

แบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณเป็นแบบทดสอบที่อาสาสมัครจะต้องคำนวณและจำในขณะเดียวกันดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ McHaney et al. (2021) อาสาสมัครจะต้องคำนวณและจำตัวอักษรที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอ การเรียงลำดับของสิ่งเร้า (stimuli) จะเรียงลำดับโดยเริ่มต้นจากโจทย์คณิตศาสตร์ก่อน จากนั้นจึงตามด้วยตัวอักษรที่ต้องจำ จำนวนตัวอักษรที่จะต้องจำมีตั้งแต่ 3 ตัวไปจนถึง 7 ตัว เมื่ออาสาสมัครได้เห็นตัวอักษรจนครบแล้วจะต้องตอบว่าตัวอักษรทั้งหมดมีตัวอักษรใดบ้าง และต้องเรียงลำดับตัวอักษรตามลำดับการปรากฏให้ถูกต้อง ภาพ 1 คือตัวอย่างของกิจกรรมขณะคำนวณกรณีมี 2 ตัวอักษรที่ต้องจำ

ภาพ 1

ตัวอย่างกิจกรรมขณะคำนวณ (ผู้วิจัยทำขึ้นเพื่อประกอบคำอธิบาย)



แม้กิจกรรมขณะคำนวณจะเป็นแบบทดสอบที่มีประสิทธิภาพแต่ในอดีตมีข้อจำกัดคือไม่สามารถเก็บข้อมูลอาสาสมัครจำนวนมากพร้อมกันในคราวเดียวได้ โดยการเก็บข้อมูลจะทำโดยผู้วิจัยกับอาสาสมัครแบบหนึ่งต่อหนึ่ง เนื่องจากผู้วิจัยต้องคอยควบคุมเวลาสำหรับการแก้ไขข้อผิดพลาดและคอยบันทึกผลทุกขั้นตอนด้วยตนเอง หากผู้วิจัยแจกกระดาษเขียนคำตอบให้กับอาสาสมัครเพื่อให้อาสาสมัครทำแบบทดสอบพร้อมกัน อาสาสมัครจะเห็นคำตอบที่ตนเองเขียนหรือรายละเอียดสำหรับข้อถัดไปได้ นอกจากนี้การให้คะแนนแบบทดสอบก็ใช้เวลามาก Unsworth et al. (2005) มองเห็นปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนากิจกรรมขณะคำนวณแบบอัตโนมัติซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ทำผ่านโปรแกรม Inquist 4.0 lab ทำให้เก็บข้อมูลอาสาสมัครหลายคนพร้อมกันในคราวเดียวกันได้

อย่างไรก็ตาม โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง (475\$ ข้อมูล ณ วันที่ 21 เม.ย. 2567) จึงอาจไม่ใช่โปรแกรมที่นักวิจัยทุกคนเข้าถึงได้ สุรเชษฐ์ พินิจกิจ, สุพิมพ์ ศรีพันธ์วรสกุล และ กนก พานทอง (2558) ได้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายดังกล่าว รวมทั้งข้อจำกัดที่ว่าแบบทดสอบของ Unsworth et al. (2005) อาจไม่เหมาะสมกับผู้พูดภาษาไทยเนื่องจากความแตกต่างด้านวัฒนธรรมและภาษา สุรเชษฐ์ พินิจกิจ, สุพิมพ์ ศรีพันธ์วรสกุล และ กนก พานทอง (2558) จึงได้พัฒนากิจกรรมขณะคำนวณแบบอัตโนมัติสำหรับผู้พูดภาษาไทยโดยเฉพาะด้วยโปรแกรม Superlab 5.0 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า (88\$ ถึง 695\$ ข้อมูล ณ วันที่ 21 เม.ย. 2567)

แม้ว่าสุรเชษฐ์ พินิจกิจ, สุพิมพ์ ศรีพันธ์วรสกุล และ กนก พานทอง (2558) จะได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับทดสอบผู้พูดภาษาไทยเป็นการเฉพาะ แต่ยังขาดการอภิปรายอย่างชัดเจนว่าความต่างด้านวัฒนธรรมและภาษาที่กล่าวไปข้างต้นส่งผลอย่างไร และได้ปรับเปลี่ยนลักษณะ

แบบทดสอบโดยคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวอย่างไรบ้าง แต่ประเด็นที่ว่าแบบทดสอบดั้งเดิมอาจไม่เหมาะสมกับประชากรบางประเทศก็เป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ยกตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของ Kobayashi and Okubo (2012) และ Otsuka and Miyatani (2012) ได้ทดลองใช้แบบทดสอบของ Unsworth et al. (2005) เก็บข้อมูลกับนักศึกษามหาวิทยาลัยชาวญี่ปุ่น ผลการวิจัยทั้ง 2 งานเป็นไปในทำนองเดียวกันคือคะแนนอยู่ในช่วง 77-100% (เฉลี่ย 81-95%) และมีค่า *SD* (standard deviation) เพียง 1.9-12 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) อยู่ที่ 73.67% และค่า *SD* อยู่ที่ 18.27 การที่ชาวญี่ปุ่นได้คะแนนเฉลี่ยสูงและค่า *SD* ต่ำทำให้แบบทดสอบไม่สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของแต่ละบุคคลได้ และไม่เหมาะสำหรับใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของความจำขณะคิดกับตัวแปรอื่นๆ (Kobayashi & Okubo, 2014) Kobayashi and Okubo (2014) จึงได้ปรับปรุงแบบทดสอบใหม่สำหรับชาวญี่ปุ่นโดยเพิ่มระดับความซับซ้อนของโจทย์คณิตศาสตร์ขึ้น

Kobayashi and Okubo (2014) ได้ชี้ให้เห็นว่าโจทย์คณิตศาสตร์แบบดั้งเดิมในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) อาจง่ายเกินไปสำหรับชาวญี่ปุ่น ทำให้การแก้โจทย์คณิตศาสตร์รบกวน (distract) การประมวลผลของอาสาสมัครไม่เพียงพอ เป็นไปได้ว่าชาวญี่ปุ่นคุ้นเคยหรือเชี่ยวชาญการคิดเลขในใจมากกว่าชาวอเมริกัน ซึ่งความถนัดทางคณิตศาสตร์ที่ต่างกันนี้แสดงออกมาให้เห็นผ่านทางผลการทดสอบของโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (PISA) ที่ชี้ให้เห็นว่าชาวญี่ปุ่นได้คะแนนวิชาคณิตศาสตร์ระดับต้นๆ ของโลก ในขณะที่ชาวอเมริกันอยู่ในอันดับกลางๆ (Kobayashi & Okubo, 2014)

กรณีของผู้พูดภาษาไทย จากผลการทดสอบของโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (PISA) พบว่านักเรียนไทยมีคะแนนวิชาคณิตศาสตร์โดยเฉลี่ยอยู่ช่วง 389-399 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรวมทุกประเทศ (ค่าเฉลี่ยรวมทุกประเทศอยู่ที่ 472 คะแนน) คะแนนของนักเรียนไทยอยู่ในลำดับที่ 54-65 จากทั้งหมด 81 ประเทศ (OECD, 2023) แม้การทดสอบของโปรแกรมดังกล่าวจะวัดผลนักเรียนช่วงอายุ 15 ปี และโจทย์วิชาคณิตศาสตร์ในการทดสอบของโปรแกรมก็ซับซ้อนกว่าโจทย์คณิตศาสตร์ที่ใช้ในแบบทดสอบความจำขณะคิด แต่ข้อมูลนี้ก็อาจแสดงให้เห็นว่าโดยภาพรวมแล้ว ผู้พูดภาษาไทยอาจคุ้นเคยกับการคำนวณน้อยกว่าหลายๆ ประเทศ การพัฒนากิจกรรมขณะคำนวณสำหรับผู้พูดภาษาไทยจึงอาจต้องลดระดับความซับซ้อนของโจทย์คณิตศาสตร์ลง

นอกจากประเด็นเรื่องโจทย์คณิตศาสตร์แล้ว ภาษาก็อาจมีผลได้เช่นกัน เนื่องจากแบบทดสอบของ Unsworth et al. (2005) ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ ผู้พูดภาษาไทยซึ่งไม่ใช่เจ้าของภาษาอังกฤษ อาจมีระดับความคุ้นเคยกับตัวอักษรภาษาอังกฤษไม่เท่ากัน หากเป็นเช่นนั้น คะแนนของอาสาสมัครที่ได้ก็อาจไม่สามารถสะท้อนความจำขณะคิดของอาสาสมัครได้อย่างแท้จริง เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องความคุ้นเคยที่มีต่อภาษาอังกฤษที่อาจแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงปรับให้ตัวอักษรที่ต้องจำเป็นอักษรไทยทั้งหมด

จากประเด็นที่ได้กล่าวไปข้างต้นทั้งหมด ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณโดยที่คำนึงถึงประเด็นต่างๆ คือ 1) ด้านค่าใช้จ่ายของผู้ทำวิจัย 2) ความซับซ้อนของโจทย์คณิตศาสตร์ 3) ลักษณะอักษรไทย และ 4) ความสามารถในการเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ที่สามารถทำได้ผ่านทางคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากิจกรรมขณะคำนวณสำหรับผู้พูดภาษาไทยเพื่อใช้สำหรับการศึกษาวิจัยด้านความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะคิดกับการประมวลผลและการเรียนรู้ภาษา

การพัฒนาแบบทดสอบครั้งนี้ทำโดยโปรแกรม Psytoolkit (Stoet, 2007, 2017) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เปิดให้ผู้สนใจสร้างแบบทดสอบและใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลเชิงจิตวิทยาได้แม่นยำไม่ต่างจากโปรแกรมเชิงพาณิชย์อย่าง E-prime (Kim et al., 2019)

ในการวิจัยนี้ อาสาสมัครจะต้องแก้โจทย์คณิตศาสตร์และจำตัวอักษรสลับกันไปเรื่อย ๆ จากนั้นต้องตอบว่าตัวอักษรที่ปรากฏประกอบไปด้วยตัวอักษรใดบ้าง และปรากฏตามลำดับอย่างไรบ้าง จำนวนตัวอักษรที่อาสาสมัครตอบถูกจะใช้เป็นคะแนนความจำขณะคิดเพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบทดสอบ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบทดสอบ ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ 3 ประเด็นคือ 1) ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของคะแนนแบบทดสอบ 2) ความเที่ยงเชิงเวลา (temporal stability) และ 3) ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน (internal consistency) ผู้พูดภาษาไทยช่วงอายุ 18-78 ปี จำนวน 114 คนได้ทำแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงให้เข้ากับภาษาไทย

วิธีการวิจัย

อาสาสมัคร

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการรับรองจากจริยธรรมการทำวิจัยในคน เลขที่ COA No. COA66/004 และ COA No. 001/66 การวิจัยครั้งนี้ต้องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพของแบบทดสอบที่ใช้ได้กับผู้พูดภาษาไทยทุกช่วงอายุ การศึกษาและอาชีพ ผู้วิจัยจึงรับสมัครอาสาสมัครที่หลากหลายทั้งในแง่ของอายุ เพศ การศึกษา และสาขาอาชีพ อาสาสมัครทุกคนเป็นผู้พูดภาษาไทยเป็นภาษาแม่ จำนวน 114² คน อายุ 18-78 ปี ($M = 38.37$, $SD = 17.61$) เพศชาย 27 คน เพศหญิง 87 คน ระดับการศึกษาสูงสุดของอาสาสมัครประกอบไปด้วยระดับมัธยมศึกษาตอนต้นถึงปริญญาเอก ทุกคนสามารถอ่านและเขียนภาษาไทยได้ ไม่มีอาสาสมัครคนใดที่เคยได้รับการวินิจฉัยว่ามีปัญหาด้านความจำและภาษา การรับสมัครอาสาสมัครทำโดยการประกาศรับสมัครผ่านช่องทางออนไลน์และการแนะนำแบบปากต่อปาก (snowball sampling) ผู้วิจัยไม่กำหนดเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเพื่อหลีกเลี่ยงอคติในการคัดเลือก แต่กำหนดจำนวนอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุเอาไว้ช่วงอายุละ 20 คน อย่างไรก็ตาม บางช่วงอายุมีอาสาสมัครน้อยเกินไป ผู้วิจัยจึงรับสมัครอาสาสมัครช่วงอายุอื่นเพิ่มเติมเพื่อให้ได้จำนวนอาสาสมัครตามที่วางแผนเอาไว้ รายละเอียดของอาสาสมัครดังแสดงในตาราง 1

การปรับแบบทดสอบ

แบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณที่ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นต้นแบบสำหรับการปรับปรุงให้เข้ากับผู้พูดภาษาไทยได้แก่แบบทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่มีลักษณะเด่น 3 ประการคือ 1) เป็นแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น

² อาสาสมัคร 114 คนนี้มาจากการรวมของอาสาสมัครจาก 2 โครงการวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ต่างจากการวิจัยครั้งนี้

เพื่อให้การตรวจคำตอบและการให้คะแนนทำได้โดยอัตโนมัติ 2) เป็นแบบทดสอบที่สามารถทำได้ในระบบออนไลน์ และ 3) เป็นแบบทดสอบที่พิสูจน์แล้วว่าสามารถวัดความจำเพาะคิดได้และน่าเชื่อถือ แบบทดสอบของ Unsworth et al. (2005) มีลักษณะและขั้นตอนดังภาพ 2

ตาราง 1

รายละเอียดอาสาสมัคร

		จำนวน	สัดส่วน (%)
อายุ	เฉลี่ย 38.37 ปี		
	18-30 ปี	39	34.21
	31-40 ปี	26	22.81
	41-50 ปี	21	18.42
	51-60 ปี	5	4.39
	61-70 ปี	16	14.04
	71-80 ปี	7	6.14
เพศ			
	ชาย	27	23.68
	หญิง	87	76.32
การศึกษา			
สูงสุด			
	มัธยมศึกษาตอนต้น	3	2.63
	มัธยมศึกษาตอนปลาย	39	34.21
	ปริญญาตรี	38	33.33
	ปริญญาโท	27	23.68
	ปริญญาเอก	7	6.14

จำนวนตัวอักษรที่อาสาสมัครในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) ต้องจำมีตั้งแต่ 3 ถึง 7 ตัวอักษร หากเป็นข้อที่ต้องจำตัวอักษร 3 ตัว ก็จะมีโจทย์คณิตศาสตร์ 3 ข้อเช่นกัน รวมทั้งสิ้น อาสาสมัครจะต้องแก้โจทย์คณิตศาสตร์ 75 ข้อ และจำตัวอักษร 75 ตัวอักษร การให้คะแนนจะให้คะแนนเฉพาะข้อที่ตอบถูกทั้งโจทย์คณิตศาสตร์และตัวอักษรเท่านั้น กรณีของตัวอักษร จะให้คะแนนเฉพาะตัวอักษรที่ตอบถูกต้องตามลำดับการปรากฏ เช่น กรณีข้อที่ต้องจำ 4 ตัวอักษร หากตัวอักษรที่ปรากฏตามลำดับคือ P K N O แต่อาสาสมัครตอบว่า K P N O กรณีเช่นนี้จะถือว่าตอบถูกเฉพาะ N O เท่านั้น เนื่องจากว่า P และ K ตอบผิดลำดับ กรณีข้อดังกล่าวถือว่าได้ 2 คะแนน คะแนนเต็มสำหรับแบบทดสอบนี้คือ 75 คะแนน การให้คะแนนแบบทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยยึดวิธีการให้คะแนนตาม Unsworth et al. (2005)

ภาพ 2

ขั้นตอนการทดสอบแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณใน Unsworth et al. (2005)

สิ่งที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ของอาสาสมัคร		รายละเอียด																																					
(2 * 1) + 1 = ?		ขั้นตอนที่ 1 อาสาสมัครเห็นโจทย์คณิตศาสตร์ปรากฏบนหน้าจอ เมื่อคำนวณเสร็จแล้วให้จำคำตอบเอาไว้ จากนั้นคลิกเมาส์เพื่อไปหน้าถัดไป																																					
3 True False		ขั้นตอนที่ 2 หน้าจอถัดมาจะมีตัวเลขปรากฏ อาสาสมัครต้องตอบว่าตัวเลขที่ปรากฏบนหน้าจอเป็นคำตอบของโจทย์ในหน้าก่อนหน้านี้นี้ใช่หรือไม่																																					
P		ขั้นตอนที่ 3 หน้าจอถัดมาจะมีตัวอักษรภาษาอังกฤษปรากฏค้างบนหน้าจอ 800 ms (millisecond) อาสาสมัครจะต้องจำตัวอักษรเอาไว้ จากนั้นกระบวนการจะย้อนกลับไปในขั้นตอนที่ 1 ใหม่อีกรอบ แต่ในรอบถัดๆ ไป โจทย์คณิตศาสตร์และตัวอักษรที่ต้องจำจะเปลี่ยนไป																																					
<table><tr><td>1</td><td>F</td><td></td><td>H</td><td></td><td>J</td></tr><tr><td></td><td>K</td><td></td><td>L</td><td>3</td><td>N</td></tr><tr><td>2</td><td>P</td><td>4</td><td>Q</td><td></td><td>R</td></tr><tr><td></td><td>S</td><td></td><td>T</td><td></td><td>Y</td></tr><tr><td colspan="6">F P N Q</td></tr><tr><td colspan="3">Clear</td><td colspan="3">Exit</td></tr></table>		1	F		H		J		K		L	3	N	2	P	4	Q		R		S		T		Y	F P N Q						Clear			Exit			ขั้นตอนสุดท้าย จะปรากฏตารางตัวอักษร 12 ตัว อาสาสมัครจะต้องเลือกว่าตัวอักษรที่จำในขั้นตอนที่ 3 มีตัวอะไรบ้าง และแต่ละตัวปรากฏเป็นลำดับใด โดยเลือกด้วยการคลิกตัวอักษรตามลำดับ ตัวเลขในภาพประกอบด้านซ้ายแสดงลำดับตัวอักษรที่อาสาสมัครคลิกเลือก ตัวอักษร F P N Q แสดงตัวอักษรที่อาสาสมัครได้เลือกไปแล้ว	
1	F		H		J																																		
	K		L	3	N																																		
2	P	4	Q		R																																		
	S		T		Y																																		
F P N Q																																							
Clear			Exit																																				

ประเด็นแรกที่ผู้วิจัยปรับปรุงให้เข้ากับผู้พูดภาษาไทยคือตัวอักษรที่ต้องจำ เนื่องจากแบบทดสอบของ Unsworth et al. (2005) ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ ผู้วิจัยจึงปรับให้ตัวอักษรที่

ต้องจำเป็นอักษรไทยทั้งหมด ในการเลือกตัวอักษรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีประเด็นต่างๆ ที่คำนึงดังต่อไปนี้

1) รูปร่างตัวอักษร

อักษรไทยหลายตัวมีลักษณะคล้ายกัน เช่น “ก กับ ฅ” หรือ “ผ กับ ฝ” ความคล้ายดังกล่าวอาจส่งผลให้อาสาสมัครสับสนได้ง่ายขึ้นและทำให้แบบทดสอบสำหรับภาษาไทยซับซ้อนกว่าแบบทดสอบสำหรับภาษาอังกฤษ เมื่อพิจารณาตัวอักษรที่ใช้ในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) ก็พบว่าตัวอักษรภาษาอังกฤษทั้ง 12 ตัวที่ใช้ ไม่มีตัวอักษรใดที่รูปร่างคล้ายกันเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เฉพาะตัวอักษรที่ไม่คล้ายกับตัวอักษรอื่น กรณีที่ตัวอักษรใดมีตัวอักษรอื่นที่คล้ายกัน จะเลือกใช้เพียงตัวเดียวเท่านั้น

2) อักษร 3 หมู่

ลักษณะอีกประการหนึ่งที่อักษรไทยต่างจากภาษาอังกฤษคืออักษรไทยแยกเป็น 3 หมู่ ได้แก่ อักษรสูง กลาง และต่ำ กรณีของอักษรสูงและอักษรต่ำจะมีส่วนหนึ่งที่แสดงเสียงพยัญชนะเดียวกัน เช่น ส กับ ช ต่างก็แสดงเสียงพยัญชนะ /s/ ทั้งคู่ กรณีตัวอักษรที่แสดงเสียงพยัญชนะเดียวกัน ผู้วิจัยจะเลือกใช้เพียงอักษรต่ำเท่านั้น

3) การนำเสนอตัวอักษร (stimuli presentation)

ในการนำเสนอตัวอักษรให้อาสาสมัครจำ ผู้วิจัยได้หลีกเลี่ยงการเรียงของตัวอักษร 2 ลักษณะคือ 1) การเรียงตัวอักษรที่ประกอบเป็นคำหรืออ่านออกเสียงได้ เช่น ค ว บ หรือ บ ก เพื่อเสียงปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงตัดตัวอักษร ว และ อ ออกเนื่องจากว่า หาก อ และ ว ปรากฏในตำแหน่งตัวอักษรที่ 2 เป็นต้นไปจะทำให้อ่านออกเสียงได้ และ 2) การเรียงตัวอักษรที่ตรงกับคำย่อ เช่น ก ท ม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดจากการเรียงตัวอักษร ผู้วิจัยจึงเลือกนำเสนอตัวอักษรโดยการสุ่มและกำหนดลำดับเอาไว้ล่วงหน้า (ไม่ใช่วิธีการนำเสนอแบบสุ่ม) จากการพิจารณาทั้ง 3 ประเด็นข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้ตัวอักษรไทย 12 ตัวดังแสดงในภาพ 3

ภาพ 3

ตัวอย่างหน้าแสดงตัวอักษรทั้ง 12 ตัว



ประเด็นที่ 2 คือโจทย์คณิตศาสตร์ ในงานวิจัยที่ผ่านมา ไม่ได้กล่าวถึงระดับความยากของ โจทย์คณิตศาสตร์เอาไว้อย่างชัดเจนว่าควรมีโครงสร้างหรือความซับซ้อนระดับใด และลักษณะ โจทย์คณิตศาสตร์ก็แตกต่างกันขึ้นกับผู้วิจัยแต่ละคน อย่างไรก็ตาม ความยากง่ายของโจทย์ คณิตศาสตร์มีผลต่อการออกแบบแบบทดสอบและคะแนนของอาสาสมัครดังที่ Kobayashi and Okubo (2014) ได้อธิบายไว้ ผู้วิจัยเห็นว่าควรปรับระดับความยากของโจทย์เพื่อให้เหมาะสมกับ ผู้พูดภาษาไทย

ผู้วิจัยได้ทดลองเก็บข้อมูลนำร่องโดยให้อาสาสมัครที่ไม่ได้เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ 28 คน ทดสอบแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียวจำนวน 20 ข้อ เพื่อวิเคราะห์ว่าความซับซ้อน ของโจทย์อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับผู้พูดภาษาไทยหรือไม่ ผู้วิจัยแบ่งโจทย์เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ ผลลัพธ์มีค่ามาก (large problem) กับกลุ่มที่ผลลัพธ์มีค่าน้อย (small problem) ดังแสดงใน ตัวอย่างด้านล่าง การสร้างโจทย์คณิตศาสตร์ ผู้วิจัยได้กำหนดให้ส่วนของ C เป็นเลขหลักเดียว 10 ข้อ และเลข 2 หลัก 10 ข้อ โดยมีสมมติฐานว่าหาก C เป็นเลข 2 หลักน่าจะทำให้คำนวณผิดพลาด ได้ง่ายขึ้นเนื่องจากเป็นโจทย์ที่ผลลัพธ์มีค่ามากกว่า (Zbrodov, 1995)

“(A คูณ/หาร B) บวก/ลบ C = ?”

ตัวอย่างที่ 1 C เป็นเลขหลักเดียว $(12 / 2) - 4 = ?$

ตัวอย่างที่ 2 C เป็นเลข 2 หลัก $(8 * 7) - 14 = ?$

หลังทำแบบทดสอบ ผู้วิจัยได้สอบถามอาสาสมัครส่วนหนึ่งเพื่อสอบถามความคิดเห็น เกี่ยวกับแบบทดสอบ พบว่ามีอาสาสมัครแจ้งว่าตนท้อหวายจากการคิดเลขในใจเป็นเวลานาน และ รู้สึกไม่มั่นใจว่าจะสามารถคำนวณคำตอบได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของโจทย์ที่ ผลรวมในวงเล็บมีค่าเป็น 2 หลัก (เช่น 42 58) หรือตัวเลขในส่วนของ C เป็นเลข 2 หลัก ตาราง 2 แสดงผลการทดลองเก็บข้อมูลการคำนวณโจทย์คณิตศาสตร์

ตาราง 2

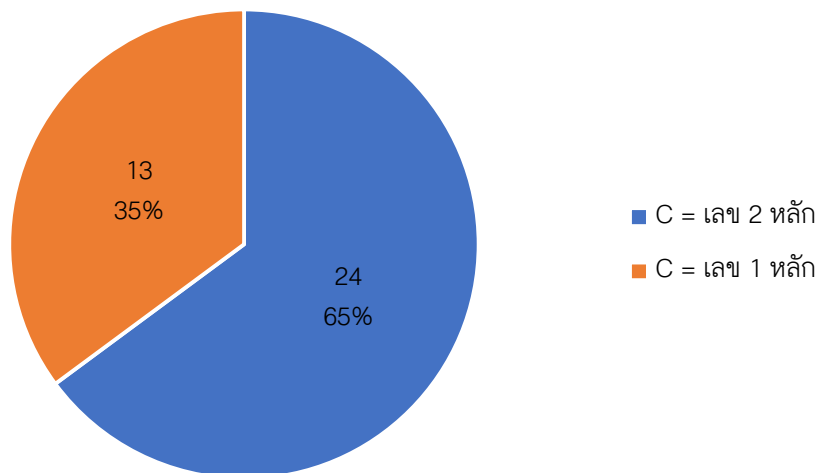
ผลแบบทดสอบคณิตศาสตร์

	ระยะเวลาตอบสนอง (ms)			คะแนน (%)		
	รวมทุกข้อ	C = เลข 2 หลัก	C = เลข 1 หลัก	รวมทุกข้อ	C = เลข 2 หลัก	C = เลข 1 หลัก
เฉลี่ย	1,375.71	1,411.11	1,322.20	93.39	91.11	95.19

จากตาราง 2 จะเห็นได้ว่าข้อที่ C เป็นเลข 2 หลักจะทำให้อาสาสมัครตอบช้าลง และมี โอกาสตอบผิดพลาดสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อที่ตอบผิดจะพบว่าจากข้อผิดทั้งหมด 37 ข้อ มี ข้อที่ C เป็นเลข 2 หลักอยู่ 24 ข้อ ในขณะที่ข้อที่ C เป็นเลข 1 หลักมีเพียง 13 ข้อดังแสดงใน 4

ภาพ 4

สัดส่วนโจทย์คณิตศาสตร์ข้อที่ตอบผิด



การวิเคราะห์ผลของกิจกรรมขณะคำนวณจะเลือกใช้เฉพาะข้อมูลของอาสาสมัครที่ได้คะแนนส่วนโจทย์คณิตศาสตร์ 85% ขึ้นไป (Unsworth et al., 2005) จากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการณ้โจทย์คณิตศาสตร์ที่ผลลัพธ์มีค่ามากจะทำให้อาสาสมัครคำนวณผิดพลาดมากขึ้น ในแบบทดสอบจริงที่มีทั้งการคำนวณและการจำตัวอักษรก็อาจยังทำให้คำนวณผิดพลาดมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้ต้องคัดข้อมูลของอาสาสมัครออกมากขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เฉพาะโจทย์ที่ผลลัพธ์มีค่าไม่มาก โดยกำหนดโครงสร้างโจทย์แบบเดิมคือ "(A คูณ/หาร B) บวก/ลบ C = ?" โดยผลลัพธ์ในวงเล็บอยู่ในช่วง 10-20 และผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายก็อยู่ในช่วง 10-20 เช่นเดียวกัน เพื่อควบคุมผลลัพธ์ของโจทย์ให้ใกล้เคียงกันทุกข้อ เช่น $(3 * 3) - 4$ หรือ $(8 / 2) - 3$

ประเด็นที่ 3 คือระยะเวลาสำหรับการแก้โจทย์คณิตศาสตร์ ในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) ได้เริ่มจากการให้อาสาสมัครแก้โจทย์คณิตศาสตร์ 10 ข้อเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับแบบทดสอบ และเพื่อจับเวลาการคำนวณของแต่ละคน เมื่อได้ค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการคำนวณแล้ว โปรแกรมจะนำค่าเฉลี่ยนั้นมาบวกกับ 2.5 SD เพื่อใช้เป็นกำหนดเวลาสำหรับอาสาสมัครแต่ละคน Unsworth et al. (2005) ได้อธิบายไว้ว่าการให้เวลากับอาสาสมัครนานเกินไปหรือการไม่จับเวลาในส่วนของการคำนวณอาจทำให้อาสาสมัครตั้งใจรออยู่ที่หน้าจอโจทย์คณิตศาสตร์นานขึ้นเพื่อให้มีเวลาในการทวนตัวอักษรที่ต้องจำมากขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการพัฒนาแบบทดสอบที่สามารถทำได้แบบออนไลน์และทำได้โดยใช้คอมพิวเตอร์หรือสมาร์ตโฟน ทำให้อาสาสมัครจำเป็นต้องใช้อินเตอร์เน็ตในระหว่างการทำแบบทดสอบ ในระหว่างแก้โจทย์คณิตศาสตร์ของช่วงแบบฝึกหัด หากเกิดปัญหาจากความเสถียรของอินเตอร์เน็ตในบางช่วงเวลาอาจทำให้ระยะเวลาตอบสนองของบางข้อยาวขึ้นเป็นพิเศษ และข้อที่ยาวขึ้นนั้นจะถูกนำไปคำนวณเวลาด้วย ส่งผลให้อาสาสมัครบางคนมีเวลาในการคำนวณมากขึ้นในแบบทดสอบจริง ผู้วิจัยจึงใช้วิธีกำหนดเวลาเท่ากันสำหรับอาสาสมัครทุกคน

จากระยะเวลาตอบสนองของโจทย์ 20 ข้อในการเก็บข้อมูลนำร่อง พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,375.71 ms และ *SD* เท่ากับ 958.88 เมื่อนำค่าเฉลี่ยบวก 2.5 *SD* จะเท่ากับ 3,790.91 ms ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะเวลาสำหรับโจทย์คณิตศาสตร์เป็น 4 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาเท่ากับที่ใช้ในงานวิจัยของ Chen et al. (2021)

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ประกาศหาอาสาสมัครผ่านทางโซเชียลเน็ตเวิร์กโดยระบุคุณสมบัติของอาสาสมัครว่าเป็นผู้พูดภาษาไทย อายุระหว่าง 18-80 ปี ภายหลังอาสาสมัครได้สมัครเข้าร่วมการทดลอง ผู้วิจัยได้นัดหมายวันเวลากับอาสาสมัครรวมทั้งแจ้งอาสาสมัครว่าอาสาสมัครสามารถเลือกที่จะทำแบบทดสอบได้ทั้งแบบออนไลน์และแบบออนไลน์ กรณีทำแบบออนไลน์ อาสาสมัครสามารถเลือกได้ว่าจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน กรณีทำแบบออนไลน์อาสาสมัครจะได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น

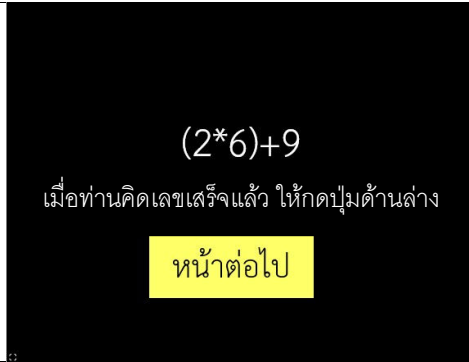
เมื่อถึงวันนัดหมาย กรณีอาสาสมัครที่ทำแบบออนไลน์ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Zoom ในการสื่อสารกับอาสาสมัครเพื่ออธิบายภาพรวมเกี่ยวกับการทดสอบ ระยะเวลาของการทำแบบทดสอบและแจ้งสิทธิของอาสาสมัคร จากนั้นผู้วิจัยจึงส่งลิงก์สำหรับทำแบบทดสอบให้อาสาสมัคร คำอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนจะปรากฏที่หน้าจอโทรศัพท์หรือคอมพิวเตอร์ของอาสาสมัคร ผู้วิจัยกำหนดให้อาสาสมัครทุกคนจะต้องเปิดกล้องตลอดเวลาที่ทำแบบทดสอบเพื่อยืนยันว่าอาสาสมัครเป็นผู้ทำแบบทดสอบเองทั้งหมด กรณีทำแบบทดสอบออนไลน์ อาสาสมัครจะต้องเดินทางไปพบผู้วิจัยที่มหาวิทยาลัย จากนั้นผู้วิจัยจึงเปิดโปรแกรมสำหรับเข้าทำแบบทดสอบให้กับอาสาสมัครด้วยคอมพิวเตอร์

แบบทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ 1) แบบฝึกหัดเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับแบบทดสอบ และ 2) แบบทดสอบจริง ช่วงแบบฝึกหัดประกอบไปด้วย 3 แบบฝึกหัดย่อย 1) แบบฝึกหัดโจทย์คณิตศาสตร์ 10 ข้อ 2) แบบฝึกหัดจำตัวอักษร 10 ข้อ และ 3) แบบฝึกหัดโจทย์คณิตศาสตร์และจำตัวอักษร 5 ข้อ การแบ่งแบบฝึกหัดเป็น 3 ส่วนนี้ผู้วิจัยอ้างอิงจากวิธีการของ Unsworth et al. (2005)

1) แบบฝึกหัดโจทย์คณิตศาสตร์ อาสาสมัครได้รับแจ้งล่วงหน้าว่าอาสาสมัครจะมีเวลาเพียง 4 วินาทีในการคำนวณโจทย์คณิตศาสตร์แต่ละข้อ อาสาสมัครจะได้เห็นโจทย์ปรากฏขึ้นบนหน้าจอ จากนั้นให้คำนวณผลและจำไว้ก่อน เมื่อคำนวณเสร็จแล้วอาสาสมัครจะต้องคลิกปุ่ม “หน้าต่อไป” เมื่อคลิกแล้วหน้าถัดไปจะปรากฏตัวเลขขึ้นบนจอ อาสาสมัครจะต้องตอบว่าตัวเลขที่เห็นเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ โดยคลิกปุ่ม “ถูก” หรือ “ผิด” เมื่ออาสาสมัครคลิกแล้ว บนหน้าจอจะปรากฏข้อความแจ้งว่าอาสาสมัครตอบถูกหรือผิด ดังแสดงในภาพ 5

ภาพ 5

ภาพหน้าจอแบบฝึกหัดโจทย์คณิตศาสตร์

ภาพหน้าจอ	รายละเอียด	ระยะเวลาที่แสดง (ms)
	คำนวณผลและจำผลไว้	4,000
	ตอบว่าตัวเลขที่ปรากฏบนหน้าจอเป็นคำตอบของโจทย์ในหน้าก่อนหน้าใช่หรือไม่	5,000
	โปรแกรมแจ้งผลว่าอาสาสมัครตอบถูกหรือไม่	2,000

2) แบบฝึกหัดจำตัวอักษร ในแบบฝึกหัดนี้อาสาสมัครจะเห็นตัวอักษร 3 ตัวปรากฏขึ้นทีละตัว อาสาสมัครจะต้องจำตัวอักษรที่ปรากฏทั้งหมดรวมทั้งลำดับการปรากฏด้วย เมื่อตัวอักษรปรากฏครบทั้ง 3 ตัวแล้วบนหน้าจอจะปรากฏปุ่มตัวอักษร 12 ตัว อาสาสมัครจะต้องคลิกเลือกตัวอักษรที่ปรากฏให้ถูกต้องตามลำดับ หากตำแหน่งใดที่อาสาสมัครจำไม่ได้ อาสาสมัครสามารถคลิกปุ่ม “เว้นว่าง” เพื่อข้ามตำแหน่งนั้นได้ เมื่ออาสาสมัครเลือกตัวอักษรครบแล้ว บนหน้าจอจะปรากฏเฉลยตัวอักษรทั้ง 3 ตัวดังแสดงในภาพ 6

ภาพ 6

แบบฝึกหัดจำตัวอักษร

ภาพหน้าจอ	รายละเอียด	ระยะเวลาที่แสดง (ms)
เตรียมพร้อม	หน้าจอเตรียมพร้อม เพื่อให้อาสาสมัครเตรียม ตัวจำตัวอักษร	500
ล	จำตัวอักษรที่ปรากฏบน หน้าจอ	800
	เมื่อตัวอักษรปรากฏครบ 3 ตัวแล้ว อาสาสมัครจะต้อง คลิกเลือกตัวอักษรให้ ถูกต้องตามลำดับ	ไม่กำหนดเวลา
	เมื่อคลิกตัวอักษรแล้ว ตัวอักษรที่อาสาสมัคร เลือกไปจะปรากฏขึ้นบน หน้าจอตามลำดับการคลิก	
ล ม บ	เมื่อเลือกตัวอักษรครบทั้ง 3 ตัวแล้ว จะปรากฏเฉลย	800

3) แบบฝึกหัดโจทย์คณิตศาสตร์และจำตัวอักษร แบบฝึกหัดนี้เป็นการรวมแบบฝึกหัดที่ 1 กับแบบฝึกหัดที่ 2 เข้าด้วยกัน มีลักษณะเหมือนแบบทดสอบจริง แบบฝึกหัดนี้มีทั้งสิ้น 5 ข้อ ในส่วนของแบบฝึกหัดนี้ จำนวนตัวอักษรที่ต้องจำจะมี 3 ตัวทุกข้อ

ในแบบทดสอบจริง อาสาสมัครได้รับแจ้งว่าแบบทดสอบจะมีลักษณะเหมือนแบบฝึกหัดสุดท้ายเพียงแต่จำนวนตัวอักษรที่ต้องจำจะมีจำนวนไม่เท่ากันในแต่ละข้อ อาสาสมัครจะรู้ล่วงหน้าว่าในแต่ละข้อจะต้องจำตัวอักษรกี่ตัว

กิจกรรมขณะคำนวณที่พัฒนาในงานวิจัยครั้งนี้มีทั้งสิ้น 15 ข้อ ประกอบไปด้วยข้อที่ต้องจำตัวอักษร 3 ตัว 3 ข้อ 4 ตัวอักษร 3 ข้อ 5 ตัวอักษร 3 ข้อ 6 ตัวอักษร 3 ข้อ และ 7 ตัวอักษร 3 ข้อ ตัวอักษรที่ต้องจำในทุกข้อรวมกันเท่ากับ 75 ตัวอักษร จำนวนโจทย์คณิตศาสตร์ที่อาสาสมัครต้องคำนวณจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนตัวอักษรที่ต้องจำ เช่น หากเป็นข้อที่ต้องจำตัวอักษร 5 ตัว อาสาสมัครก็จะต้องคำนวณโจทย์คณิตศาสตร์ 5 ข้อเช่นเดียวกัน รวมจำนวนโจทย์คณิตศาสตร์ที่ต้องคำนวณจึงเท่ากับ 75 ข้อ ระยะเวลาในการทำแบบทดสอบนี้อยู่ระหว่าง 15-30 นาที

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบทดสอบ ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ 3 ประเด็นคือ 1) ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของคะแนนแบบทดสอบ 2) ความเที่ยงเชิงเวลา และ 3) ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน การวิเคราะห์แต่ละประเด็นมีแนวคิดและวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของคะแนนแบบทดสอบ

หลักคิดของการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยและการกระจายตัวคือ อาสาสมัครแต่ละคนมีพื้นที่ความจำขณะคิดไม่เท่ากัน แบบทดสอบที่สามารถวัดความจำขณะคิดได้จะต้องสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละบุคคลได้ หากคะแนนแบบทดสอบของอาสาสมัครส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน อาจหมายความว่าแบบทดสอบยากหรือง่ายเกินไปดังที่ Kobayashi and Okubo (2012) และ Otsuka and Miyatani (2012) ได้อธิบายไว้ อย่างไรก็ตาม ไม่มีงานวิจัยใดที่ระบุไว้อย่างชัดเจนว่าคะแนนเฉลี่ยและการกระจายตัวควรอยู่ในระดับใด ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยและค่า SD ที่รายงานในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ เนื่องจากกิจกรรมขณะคิดที่พัฒนาโดย Unsworth et al. (2005) เป็นแบบทดสอบที่เป็นที่ยอมรับและใช้ในงานวิจัยจำนวนมาก งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีแนวคิดว่าจะคะแนนเฉลี่ยและค่า SD ควรอยู่ในระดับใกล้เคียงกับในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005)

2) ความเที่ยงเชิงเวลา

ความเที่ยงเชิงเวลาเป็นการวัดคุณสมบัติการวัดเชิงจิตวิทยา (psychometric properties) ทำโดยการให้อาสาสมัครทำแบบทดสอบซ้ำโดยเว้นช่วงระยะเวลาระหว่างการทำแบบทดสอบครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 การวิเคราะห์ความเที่ยงเชิงเวลาจะวิเคราะห์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของคะแนนแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้ง (Lodder et al., 2022) โดยมีหลักคิดว่า หากแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถวัดความจำขณะคิดได้ เมื่ออาสาสมัครทำแบบทดสอบเดิมอีกครั้งหนึ่ง คะแนนของทั้ง 2 ครั้งควรจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน

หลักคิดของการวิเคราะห์ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในคือ แบบทดสอบที่มีประสิทธิภาพควรมีค่าความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับ Unsworth et al. (2005) ในงานวิจัยนี้ยึดแนวทางการวิเคราะห์ความเที่ยงแบบสอดคล้องภายในที่รายงานใน Unsworth et al. (2005) โดยมีรายละเอียดดังนี้ ในแบบทดสอบประกอบไปด้วยข้อที่ต้องจำตัวอักษร 3 ตัวไปจนถึง 7 ตัว อย่างละ 3 ข้อ กล่าวอีกนัยหนึ่งคืออาสาสมัครได้ทำแบบทดสอบที่ต้องจำตัวอักษร 3 ถึง 7 ตัวทั้งสิ้น 3 ชุด ผู้วิจัยได้แบ่งคะแนนออกเป็น 3 ชุดย่อย แล้ววิเคราะห์ความเที่ยงระหว่างแบบทดสอบทั้ง 3 ชุดด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha)

ผลการวิจัย

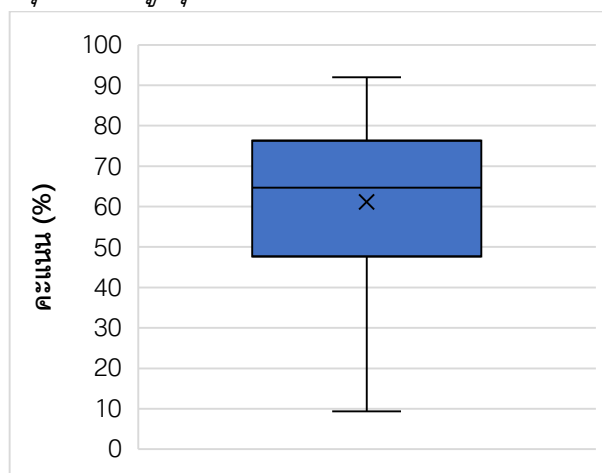
ในการรายงานผลการวิเคราะห์ ผู้วิจัยจะแบ่งเป็น 3 ประเด็น คือ 1) คะแนนเฉลี่ยและการกระจายตัวของข้อมูล 2) ความเที่ยงเชิงเวลา และ 3) ความเที่ยงแบบสอดคล้องภายใน เกณฑ์การคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คืออาสาสมัครจะต้องได้คะแนนส่วนของโจทย์คณิตศาสตร์ไม่ต่ำกว่า 85% ข้อมูลของอาสาสมัครคนใดที่ได้น้อยกว่าเกณฑ์จะถูกคัดออกจากการวิเคราะห์ (Unsworth et al., 2005) จากอาสาสมัคร 114 คน มีอาสาสมัคร 33 คน (28.95%) ที่ได้คะแนนโจทย์คณิตศาสตร์น้อยกว่า 85% นอกจากนี้ มีอาสาสมัคร 3 คน (2.63%) ที่ในช่วงของการตอบตัวอักษรเลือกตอบเพียงตัวอักษรเดียวตลอดทุกข้อทำให้ได้คะแนนแบบทดสอบ 0 คะแนน ซึ่งอาจหมายความว่าอาสาสมัครไม่เข้าใจขั้นตอนการทำแบบทดสอบเพียงพอจึงคัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย คงเหลือข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไป 78 คน (68.42%)

คะแนนเฉลี่ยและการกระจายตัวของแบบทดสอบ

คะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบครั้งนี้เท่ากับ 61.23% ค่ากลาง (median) เท่ากับ 48.5% คะแนนสูงสุด 92.00% คะแนนต่ำสุด 9.33% ดังแสดงในภาพ 7

ภาพ 7

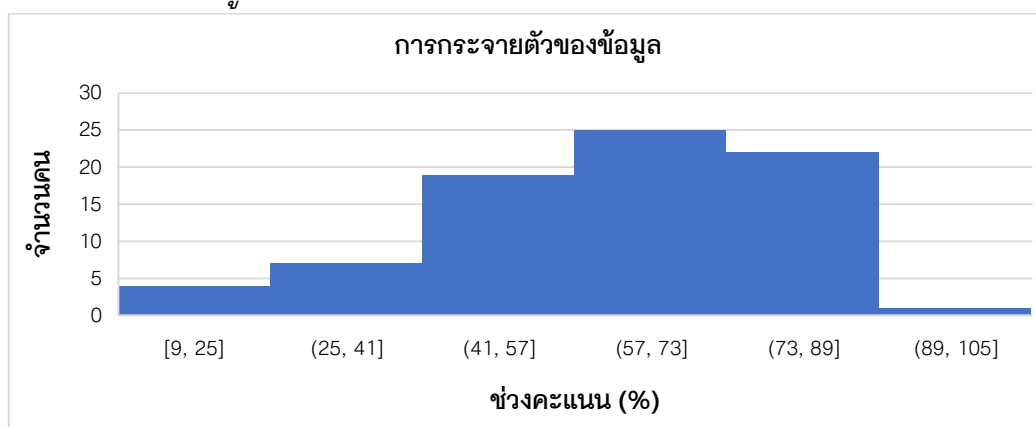
ค่าเฉลี่ย ค่ากลาง ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแบบทดสอบ



เมื่อเทียบกับคะแนนเฉลี่ยในงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 73.67% จะเห็นได้ว่าผลของแบบทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ต่ำกว่าเล็กน้อย แม้ผู้วิจัยจะได้ปรับ โจทย์คณิตศาสตร์ให้มีซับซ้อนน้อยลงแล้วก็ตาม อย่างไรก็ตาม ผลครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นไม่ได้ง่ายจนทำให้เกิดคะแนนสูงเกินไปจนทำให้ไม่สามารถแสดงความแตกต่างของอาสาสมัครแต่ละคนดังปัญหาที่พบในการวิจัยของ Kobayashi and Okubo (2012) และ Otsuka and Miyatani (2012) อีกทั้งยังมีการกระจายตัวในระดับสูงใกล้เคียงกับผลของ Unsworth et al. (2005) เห็นได้จากค่า SD ซึ่งอยู่ที่ 19.06 ดังแสดงในภาพ 8 การที่คะแนนไม่ได้สูงเกินไปและคะแนนมีการกระจายตัวทำให้ผลของแบบทดสอบนี้สะท้อนความจำเพาะคิดที่แตกต่างของแต่ละบุคคลได้ และสามารถใช้แบบทดสอบนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความจำเพาะคิดกับตัวแปรอื่นๆ เช่น อายุ การประมวลผลภาษา ฯลฯ ได้

ภาพ 8

การกระจายตัวของข้อมูล



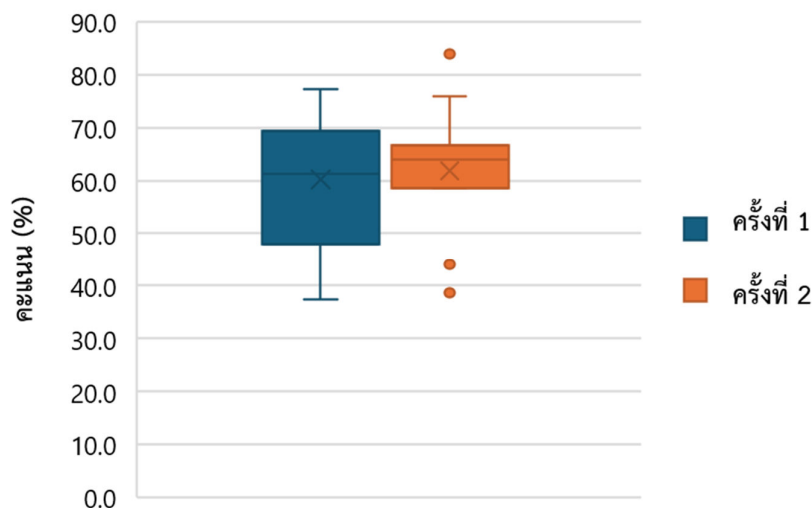
ความเที่ยงเชิงเวลา

การวิเคราะห์ต่อมาคือความเที่ยงเชิงเวลา มีอาสาสมัคร 11 คนที่ได้ทำแบบทดสอบซ้ำอีก รอบ (เป็นการเก็บข้อมูลสำหรับโครงการวิจัยอื่นด้วย) รอบที่ 1 กับรอบที่ 2 ห่างกันอย่างน้อย 2 สัปดาห์ โจทย์คณิตศาสตร์และลำดับตัวอักษรที่ต้องจำในแบบทดสอบครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 ต่างกันทั้งหมด แบบทดสอบครั้งแรกคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 60.2% ครั้งที่ 2 เท่ากับ 61.8% ค่า SD ครั้งแรกเท่ากับ 11.8% ครั้งที่ 2 เท่ากับ 12.1% คะแนนสูงสุดของแบบทดสอบครั้งที่ 1 เท่ากับ 77.3% ครั้งที่ 2 เท่ากับ 84% คะแนนต่ำสุดของแบบทดสอบครั้งที่ 1 เท่ากับ 37.3% ครั้งที่ 2 เท่ากับ 38.7% ดังแสดงในภาพ 9

จากภาพ 9 จะเห็นได้ว่าแบบทดสอบครั้งที่ 2 มีช่วงควอไทล์ที่ 1 และ 3 แคบกว่าแบบทดสอบครั้งที่ 1 และมีข้อมูลผิดปกติอยู่ (outlier) 3 ค่า ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่มีอาสาสมัครเพียง 11 คนที่ได้ทำแบบทดสอบซ้ำ หากมีข้อมูลอาสาสมัครมากขึ้นอาจทำให้ลักษณะของข้อมูลทั้ง 2 ครั้งใกล้เคียงกันมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยและค่า SD จะเห็นได้ว่าข้อมูลของแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก

ภาพ 9

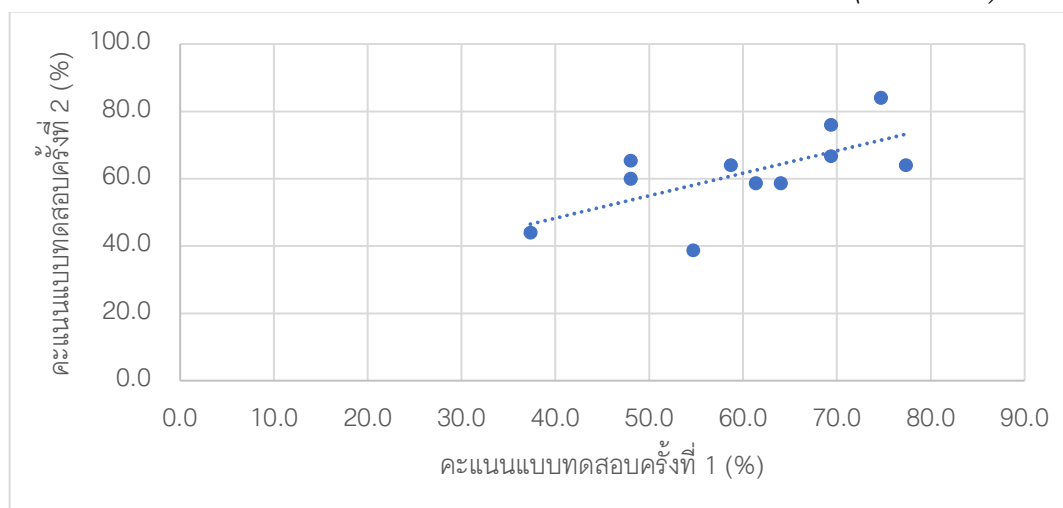
ค่าเฉลี่ย ค่ากลาง ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดของแบบทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จุดในภาพแสดงข้อมูลผิดปกติ



ผลการวิเคราะห์ด้วยโมเดลเชิงเส้นผสม (mixed linear model) พบว่าการประมาณการค่าพารามิเตอร์ความแตกต่างของคะแนนแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งเท่ากับ 1.182 ความแตกต่างของผลคะแนนทั้ง 2 ครั้งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(10) = 0.50, p = .629$) แสดงให้เห็นว่าการทำแบบทดสอบซ้ำไม่ได้ส่งผลให้อาสาสมัครคุ้นเคยจนทำให้ได้คะแนนมากขึ้นในการทำครั้งที่ 2 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่าคะแนนของแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับกลาง ($r = .652, p = .030$) (Mukaka, 2012) ความสัมพันธ์ของคะแนนทั้ง 2 ครั้งแสดงในภาพ 10 จากผลของแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งที่ไม่ต่างกัน และคะแนนของทั้ง 2 ครั้งสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นครั้งนี้มีความเที่ยงตรง (reliable)

ภาพ 10

ความสัมพันธ์ของคะแนนแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้ง เส้นประแสดงเส้นแนวโน้ม (trend line)



ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน

การวิเคราะห์ในประเด็นสุดท้ายคือการวิเคราะห์ความเที่ยงแบบสอดคล้องภายใน ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha) เท่ากับ .86 ใกล้เคียงกับผลของ Unsworth et al. (2005) ที่คำนวณได้ .78 แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นครั้งนี้มีความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในและน่าเชื่อถือเพียงพอ

สรุปผลและอภิปราย

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณ ผลการทดสอบพบว่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบเท่ากับ 61.23% และค่า *SD* เท่ากับ 19.06 เป็นช่วงคะแนนที่ไม่สูงจนเกินไปและมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมากเทียบเคียงได้กับผลของ Unsworth et al. (2005) เมื่อวิเคราะห์ความเที่ยงเชิงเวลาพบว่าคะแนนของแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งมีความสัมพันธ์กันในระดับกลาง และความแตกต่างของคะแนนแบบทดสอบทั้ง 2 ครั้งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสุดท้าย ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายในพบว่าค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาคเท่ากับ .86 ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นครั้งนี้สามารถสะท้อนความแตกต่างของความจำขณะคิดของอาสาสมัครแต่ละคนได้และมีความน่าเชื่อถือ

ในการพัฒนา ผู้วิจัยได้คำนึงถึงประเด็นต่างๆ ได้แก่ 1) ค่าใช้จ่ายในการใช้โปรแกรมของผู้ที่สนใจทำวิจัย 2) การเก็บข้อมูลออนไลน์ที่ทำได้ทั้งทางคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน 3) ความซับซ้อนของโจทย์คณิตศาสตร์ และ 4) ลักษณะของอักษรไทย

ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Psyt toolkit (Stoet, 2007, 2017) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นสำหรับการเก็บข้อมูลเชิงจิตวิทยาโดยเฉพาะเพื่อพัฒนากิจกรรมขณะคำนวณ ลักษณะเด่นของโปรแกรมหดงกล่าวคือ 1) สามารถวัดระยะเวลาตอบสนองได้ 2) สามารถสร้างแบบทดสอบที่ทำผ่านระบบออนไลน์ได้ 3) สามารถสร้างแบบทดสอบที่ทำผ่านสมาร์ทโฟนได้ และ 4) เป็นโปรแกรมที่เปิดให้ใช้งานโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ทำให้นักวิจัยไม่จำเป็นต้องกังวลเกี่ยวกับเรื่องค่าใช้จ่าย แม้โปรแกรมหดงกล่าวจะมีข้อดีมากมายแต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือการสร้างแบบทดสอบใดๆ ก็ตามจำเป็นต้องสร้างด้วยภาษาสคริปต์ (scripting language) ที่ใช้ในโปรแกรม Psyt toolkit โดยเฉพาะทำให้ผู้สนใจที่ไม่มีพื้นฐานการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ จากการเลือกใช้โปรแกรม Psyt toolkit ทำให้สามารถแก้ปัญหาในประเด็นที่ 1) เรื่องค่าใช้จ่าย และประเด็นที่ 2) การเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ที่ทำได้ทั้งทางคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟนได้

ประเด็นที่ 3) ความซับซ้อนของโจทย์คณิตศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ปรับโจทย์คณิตศาสตร์ให้ซับซ้อนน้อยลงโดยกำหนดให้โจทย์ทุกข้อมีผลลัพธ์อยู่ระหว่าง 10-20 และผลลัพธ์ในวงเล็บมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 เช่นเดียวกันเพื่อควบคุมความซับซ้อนของโจทย์แต่ละข้อให้ใกล้เคียงกัน ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการปรับโจทย์คณิตศาสตร์ครั้งนี้ไม่ได้ทำให้โจทย์ง่ายขึ้นเกินไปเพราะว่ามีอาสาสมัคร 33 คนที่ได้คะแนนส่วนของโจทย์คณิตศาสตร์ไม่ถึง 85% ทำให้ต้องคัดออกจากการวิเคราะห์

Unsworth et al. (2005) เลือกใช้เฉพาะข้อมูลของอาสาสมัครที่ได้คะแนนส่วนของโจทย์คณิตศาสตร์เกิน 85% เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาสาสมัครมีสมาธิและตั้งใจทำแบบทดสอบมากพอ หาก

นำผลแบบทดสอบของอาสาสมัครที่มีสมาธิในการทำแบบทดสอบไม่มากพอมาวิเคราะห์ร่วมด้วย จะทำให้ผลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ เมื่อเทียบจำนวนข้อมูลของอาสาสมัครที่คัดออกพบว่างานวิจัยครั้งนี้ ต้องคัดออกมากกว่างานวิจัยของ Unsworth et al. (2005) เกือบ 2 เท่า (Unsworth et al. (2005) คัดออก 15%) ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดจากความสามารถทางคณิตศาสตร์ของอาสาสมัคร และการทำแบบทดสอบผ่านทางออนไลน์

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โครงสร้างโจทย์คณิตศาสตร์โดยอ้างอิงจาก Unsworth et al. (2005) และปรับโจทย์ให้มีความซับซ้อนน้อยลง อย่างไรก็ดีตาม เป็นไปได้ว่าโจทย์ที่ผู้วิจัย ปรับครั้งนี้อาจยังไม่เหมาะกับอาสาสมัครบางคน การศึกษาลักษณะของโครงสร้างโจทย์ คณิตศาสตร์และขนาดของโจทย์ (problem size) ที่เหมาะสมต่อไปในอนาคตจะช่วยให้การ พัฒนากิจกรรมขณะคำนวณมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

แม้ในการวิจัยครั้งนี้อาสาสมัครสามารถเลือกได้ว่าจะทำแบบทดสอบทางออนไลน์หรือออนไลน์ ไซด์ที่มหาวิทยาลัย แต่มีอาสาสมัครเพียง 2 คนเท่านั้นที่เลือกทำที่มหาวิทยาลัย นอกจากนี้ อาสาสมัครกว่าครึ่งหนึ่งเลือกทำแบบทดสอบผ่านทางสมาร์ทโฟน ซึ่งการทำแบบทดสอบผ่านทาง ออนไลน์มีโอกาสที่อาสาสมัครจะมีสมาธิในการทำน้อยกว่า และอาจเข้าใจคำสั่งในแบบทดสอบ น้อยกว่า นอกจากนี้การใช้สมาร์ทโฟนยังอาจมีการแจ้งเตือนต่างๆ เกิดขึ้นในระหว่างทำ แบบทดสอบ ทำให้อาสาสมัครเสียสมาธิได้ง่าย

Finley and Penningroth (2015) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการทำแบบทดสอบทาง ออนไลน์และออนไลน์ และพบว่าอาสาสมัครมีโอกาสเข้าใจคำสั่งและขั้นตอนการทำแบบทดสอบ ผิดมากขึ้นเมื่อทำแบบทดสอบทางออนไลน์ โดยผลการทดสอบพบว่าหากเป็นแบบทดสอบที่ ซับซ้อนและต้องใช้สมาธิมาก อาสาสมัครจะได้คะแนนแบบทดสอบน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ และมีข้อมูลอาสาสมัครที่ต้องคัดออกจากการวิเคราะห์สูงถึง 47.1% สาเหตุที่ต้องคัดออก เช่น การทำแบบทดสอบไม่ครบทุกข้อ ไม่สามารถจำได้ว่าต้องกดปุ่มใดบ้างในการทำแบบทดสอบ เลือกกดปุ่มบนคีย์บอร์ดนอกเหนือจากที่ระบุเอาไว้ในคำชี้แจง Finley and Penningroth (2015) ได้เสนอแนะว่า หากทำแบบทดสอบออนไลน์ จำนวนข้อมูลที่ต้องคัดออกอาจอยู่ระหว่าง 20-50% ดังนั้นการทำแบบทดสอบออนไลน์จึงต้องรับสมัครอาสาสมัครเพื่อเพิ่มขึ้น

สาเหตุที่ทำให้ต้องคัดข้อมูลอาสาสมัครออกจำนวนมากเป็นไปได้ว่าเกิดจากการที่ไม่มี ผู้วิจัยคอยกำกับการทำแบบทดสอบอย่างใกล้ชิด หากไม่มีผู้ควบคุมการทำแบบทดสอบอาจทำให้อาสาสมัครไม่อ่านคำชี้แจงโดยละเอียด หรืออาสาสมัครรู้สึกไม่สะดวกหากต้องการถามคำถาม เพิ่มเติม ทั้งนี้ Crump et al. (2013) ได้เสนอแนะว่าในการทำแบบทดสอบออนไลน์ ผู้วิจัยจะต้อง เตรียมคำถามหรือการทดสอบที่ไม่เกี่ยวกับแบบทดสอบโดยตรงสำหรับการตรวจสอบความเข้าใจ คำชี้แจงของอาสาสมัคร เมื่ออาสาสมัครทำแบบทดสอบความเข้าใจผ่านจึงจะเริ่มทำแบบทดสอบ จริงได้

ประเด็นสุดท้ายคือลักษณะของอักษรไทย ผู้วิจัยได้คำนึงถึงลักษณะอักษรไทยในด้าน ต่างๆ คือ 1) รูปร่างตัวอักษรบางตัวที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ก ฅ กรณีของตัวอักษรหลายตัวที่มี ลักษณะคล้ายกันผู้วิจัยจะเลือกเพียงตัวเดียว 2) อักษร 3 หมู่ กรณีของอักษรที่แสดงเสียง พยัญชนะเดียวกันแต่อยู่ในอักษรคนละหมู่ เช่น ส ช ผู้วิจัยได้เลือกใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่งเพื่อลด ความสับสน และ 3) การเรียงของตัวอักษร ตัวอักษรที่อาสาสมัครต้องจำในทุกข้อจะไม่มีข้อใดที่

อักษรที่ต้องจำสามารถเรียงเป็นคำได้ เช่น บ อ ก นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้หลีกเลี่ยงการเรียงลำดับที่อาจเป็นคำย่อได้อีกด้วย เช่น ก ท ม

อย่างไรก็ตามงานวิจัยครั้งนี้ก็ยังคงมีข้อจำกัดบางประการอยู่คือ 1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคะแนนแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทอื่น 2) มีอาสาสมัครเพียง 11 คนที่ได้ทำแบบทดสอบซ้ำ 3) ความตรงของผลการวิจัยที่อาจสัมพันธ์กับช่องทางในการทำแบบทดสอบ 4) ความหลากหลายของอาสาสมัคร และ 5) การตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity)

ประการแรก ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเก็บข้อมูลในโครงการวิจัยอื่น ซึ่งอาสาสมัครจะต้องทำแบบทดสอบอื่นๆ รวมใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 90 นาที การเพิ่มแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทอื่น จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับอาสาสมัครมากเกินไป ผู้วิจัยจึงไม่สามารถเพิ่มแบบทดสอบอื่นเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทอื่น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อพิสูจน์ว่าคะแนนแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นครั้งนี้สัมพันธ์กับแบบทดสอบความจำขณะคิดอื่นหรือไม่จะช่วยเติมเต็มการพัฒนาแบบทดสอบเป็นอย่างดี

ประการที่ 2 ดังที่ได้กล่าวไปว่ามีอาสาสมัครเพียง 11 คนที่ได้ทำแบบทดสอบซ้ำ ซึ่งอาจเป็นจำนวนที่น้อยเกินไป อย่างไรก็ตาม อาสาสมัคร 11 คนนี้ได้ทำแบบทดสอบซ้ำเนื่องจากเป็นการทำแบบทดสอบเพื่อวัตถุประสงค์ของอีกโครงการวิจัยหนึ่ง ผู้วิจัยจึงไม่สามารถเพิ่มจำนวนอาสาสมัครที่จะทำแบบทดสอบซ้ำได้ หากในอนาคตมีโครงการวิจัยที่ออกแบบโดยมุ่งพัฒนาแบบทดสอบความจำขณะคิดประเภทกิจกรรมขณะคำนวณโดยเฉพาะก็น่าจะเพิ่มจำนวนอาสาสมัครที่ทำแบบทดสอบซ้ำได้

ประการที่ 3 ในการวิจัยครั้งนี้ อาสาสมัครสามารถเลือกได้ว่าจะทำแบบทดสอบทางออนไลน์หรือออนไลน์ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกได้ว่าจะทำแบบทดสอบผ่านทางคอมพิวเตอร์หรือทางสมาร์ทโฟน เป็นไปได้ว่าช่องทางและอุปกรณ์ที่ใช้ทำแบบทดสอบอาจส่งผลต่อความตรงของผลการวิจัย อย่างไรก็ตามงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ออกแบบเพื่อประเมินความแตกต่างดังกล่าวโดยตรง ทำให้ไม่สามารถอภิปรายประเด็นดังกล่าวได้ ทั้งนี้ ประเด็นดังกล่าวเป็นประเด็นที่น่าศึกษาต่อไปว่าการทำแบบทดสอบทางออนไลน์และออนไลน์ส่งผลต่อผลการวิจัยอย่างไรบ้าง ดังเช่นที่ Crump et al. (2013) หรือ Finley and Penningroth (2015) ศึกษา การออกแบบการวิจัยที่มุ่งศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของช่องทางและอุปกรณ์ในการทำแบบทดสอบจะช่วยให้ผู้สนใจทำวิจัยสามารถเลือกออกแบบการวิจัยรวมทั้งวางแผนการแก้ปัญหาต่อไปในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

ประการที่ 4 ความหลากหลายของอาสาสมัคร เนื่องจากอาสาสมัครที่เข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้มาจากอาสาสมัครในโครงการวิจัยอื่นที่ต้องการอาสาสมัครที่หลากหลายทำให้ไม่มีการควบคุมช่วงอายุของอาสาสมัครให้อยู่ในช่วงอายุเดียวกันทั้งหมดได้ จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) พบว่าอายุเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อคะแนนกิจกรรมขณะคำนวณอย่างมีนัยสำคัญ ($F(1, 76) = 23.426, p < .001$) แสดงให้เห็นว่าคะแนนกิจกรรมขณะคำนวณแปรไปตามอายุ การออกแบบการวิจัยในอนาคตที่กำหนดช่วงอายุที่แคบลงจะทำให้ผลคะแนนกิจกรรมขณะคำนวณสะท้อนความจำขณะคิดได้อย่างเที่ยงตรงมากขึ้น

ประการสุดท้าย การตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา การออกแบบการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยยึดการออกแบบของ Unsworth et al. (2005) ทั้งหมดและปรับปรุงบางประการเท่านั้น โดยมีสมมติฐานว่าแบบทดสอบที่พัฒนาโดย Unsworth et al. (2005) มีโครงสร้างและเนื้อหาที่สามารถวัดความจำขณะคิดได้ ทำให้ไม่มีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา อย่างไรก็ตามหากมีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเพื่อยืนยันว่าแบบทดสอบนี้เกี่ยวข้องกับทั้งการประมวลผลและการจำตามทฤษฎีของความจำขณะคิดจริง จะทำให้แบบทดสอบมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

แม้ผลการวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้จะบ่งชี้ว่าแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นให้ผลสอดคล้องกับ Unsworth et al. (2005) ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ใช้อ้างอิงการอย่างแพร่หลาย แต่แบบทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ก็ยังมีข้อจำกัดดังที่ได้อภิปรายไป การนำแบบทดสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นไปใช้ทดสอบความจำขณะคิดจึงอาจต้องวางแผนสำหรับการตรวจสอบการวัดคุณสมบัติการวัดเชิงจิตวิทยาเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของแบบทดสอบอีกครั้งหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาซึ่งไม่ได้ตรวจสอบในการวิจัยครั้งนี้

นอกจากนี้ การใช้โปรแกรม Pytoolkit เองก็อาจมีข้อที่ต้องพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือ ความเสถียรของโปรแกรม ในระหว่างการเก็บข้อมูล พบว่าโปรแกรมค้างและหยุดการตอบสนองซึ่งผู้วิจัยพบปัญหานี้ในการเก็บข้อมูลอาสาสมัคร 5 คน ทำให้อาสาสมัครต้องทำแบบทดสอบใหม่ ปัญหานี้อาจเกิดจากลักษณะการเขียนโปรแกรมของผู้วิจัยเอง หากปัญหาที่โปรแกรมค้างเกิดจากปัญหาการเขียนโปรแกรมก็อาจแก้ไขได้ด้วยวิธีการเขียนโปรแกรมที่ดีขึ้น เช่น ปรับการเขียนให้เป็นรูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (object-oriented programming: OOP) อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถระบุได้ว่าปัญหาการค้างเกิดขึ้นจากปัญหาใดแน่

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากแผนงานการยกระดับคุณภาพและสมรรถภาพของทุนมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 ด้วยมนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์โปรแกรมที่ 5 ส่งเสริมการวิจัยขั้นแนวหน้าและการวิจัยพื้นฐานที่ประเทศไทยมีศักยภาพ หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ประจำปีงบประมาณ 2564 และทุนสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2564

รายการอ้างอิง

- พีร วงศ์อุปราช และ รังสิริศม์ วงศ์อุปราช. (2555). 39 ปีของแบบจำลองความจำขณะปฏิบัติการ: งานวิจัยและการประยุกต์. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 10(2), 1-16
- Aliaga-Garcia, C., Mora, J. C., & Cerviño-Povedano, E. (2011). L2 speech learning in adulthood and phonological short-term memory. *Poznań Studies in Contemporary Linguistics*, 47(1), 1-14. <https://doi.org/10.2478/psicl-2011-0002>

- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189–208. [https://doi.org/10.1016/s0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-59. [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bouffier, M., Barbu, C., & Majerus, S. (2020). Verbal working memory but not attention is related to language proficiency: Evidence from multilingual speakers. *Psychologica Belgica*, 60(1), 270–293. <https://doi.org/https://doi.org/10.5334/pb.525>
- Chen, T., Zhao, C., Pan, X., Qu, J., Wei, J., Li, C., Liang, Y., & Zhang, X. (2021). Decoding different working memory states during an operation span task from prefrontal fNIRS signals. *Biomedical optics express*, 12(6), 3495–3511. <https://doi.org/10.1364/BOE.426731>
- Cho, M. (2018). Task complexity, modality, and working memory in L2 task performance. *System*, 72, 85–98. <http://www.jstor.org/stable/44980981>
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, 26, 197-223. <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9246-y>
- Crump, M. J. C., McDonnell, J. V., & Gureckis, T. M. (2013). Evaluating Amazon's Mechanical Turk as a tool for experimental behavioral research. *PLoS ONE*, 8(3), e57410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057410>
- Daneman, M., & Merikle, P., M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422-433. <https://doi.org/https://doi.org/10.3758/BF03214546>
- Darcy, I., Park, H., & Yang, C.-L. (2015). Individual differences in L2 acquisition of English phonology: The relation between cognitive abilities and phonological processing. *Learning and Individual Differences*, 40, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.04.005>
- Finley, A. J., & Penningroth, S. L. (2015). Online versus in-lab: Pros and cons of an online prospective memory experiment. In A. M. Columbus (Ed.), *Advances in Psychology Research* (pp. 135-162). Nova Science.
- Fortkamp, M. B. M. (1999). Working memory capacity and aspects of L2 speech production. *Communication & Cognition*, 32(3-4), 259–295.
- Fortkamp, M. B. M. (2003). Working memory capacity and fluency, accuracy, complexity and lexical density in L2 speech production. *Fragmentos*, 24(1), 69–104. <https://doi.org/10.5007/fragmentos.v24i0.7659>
- Kim, J., Gabriel, U., & Gyax, P. (2019). Testing the effectiveness of the Internet-based instrument PsyToolkit: A comparison between web-based (PsyToolkit) and lab-based (E-Prime 3.0) measurements of response choice and response time in a complex psycholinguistic task. *PLoS ONE*, 14(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221802>

- Kobayashi, A., & Okubo, M. (2012). The measurement of working memory capacity in Japanese participants using the Operation Span Test. *Bulletin of Senshu University School of Human Science: Psychology*, 2, 24-34.
- Kobayashi, A., & Okubo, M. (2014). Assessment of working memory capacity with a Japanese version of the Operation Span Test. *The Japanese Journal of Psychology*, 85(1), 60-68. <https://doi.org/10.4992/jjpsy.85.60>
- Li, S., & Roshan, S. (2019). The associations between working memory and the effects of four different types of written corrective feedback. *Journal of Second Language Writing*, 45, 1-15. <https://doi.org/10.1515/jral-2021-0130>
- Lodder, P., Kupper, N., Mols, F., Emons, W. H. M., & Wicherts, J. M. (2022). Assessing the temporal stability of psychological constructs: An illustration of Type D personality, anxiety and depression. *Journal of Research in Personality*, 101, 104299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrp.2022.104299>
- Lu, Y. (2010). *Cognitive factors contributing to Chinese EFL learners' L2 writing performance in timed essay writing* [Georgia State University, Doctoral dissertation]. <https://doi.org/10.57709/1396514>
- Mahmoodi, M. H., Sheykhholmoluki, H., Zoghipaydar, M. R., & Shahsavari, S. (2022). Working memory capacity and relative clause attachment preference of Persian EFL learners: Does segmentation play any role? *Journal of Psycholinguistic Research*, 51(4), 683–706. <https://doi.org/10.1007/s10936-021-09825-9>
- Mathy, F., Chekaf, M., & Cowan, N. (2018). Simple and complex working memory tasks allow similar benefits of information compression. *Journal of cognition*, 1(1), 31. <https://doi.org/10.5334/joc.31>
- Mavrou, I. (2020). Working memory, executive functions, and emotional intelligence in second language writing. *Journal of Second Language Writing*, 50, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jslw.2020.100758>
- McHaney, J. R., Tessmer, R., Roark, C. L., & Chandrasekaran, B. (2021). Working memory relates to individual differences in speech category learning: Insights from computational modeling and pupillometry. *Brain and Language*, 222, 2-15. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2021.105010>
- Mukaka, M., M. (2012). Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal: the journal of Medical Association of Malawi*, 24(3), 69-71. <https://doi.org/10.4314/MMJ.V24I3>
- OECD. (2023). *Foreword in PISA 2022 results (volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5968908e-en>

- Otsuka, K., & Miyatani, M. (2012). The effects of the range of storage item sizes in complex working memory span tasks. *Proceedings of the Japanese Society for Cognitive Psychology, 2012*, 101. https://doi.org/10.14875/cogpsy.2012.0_101
- Papagno, C., & Vallar, G. (1995). Verbal short-term memory and vocabulary learning in polyglots. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology of Learning and Motivation, 48A*(1), 98-107. <https://doi.org/10.1080/14640749508401378>
- Stoet, G. (2007). PsyToolkit - A software package for programming psychological experiments using Linux. *Behavior Research Methods, 42*, 1096-1104. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.4.1096>
- Stoet, G. (2017). PsyToolkit: A novel web-based method for running online questionnaires and reaction-time experiments. *Teaching of Psychology, 44*(1), 24-31. <https://doi.org/10.1177/0098628316677643>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2006). Simple and complex memory spans and their relation to fluid abilities: Evidence from list-length effects. *Journal of Memory and Language, 54*(1), 68-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.06.003>
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods, 37*(3), 498-505. <https://doi.org/10.3758/BF03192720>
- van den Noort, M. W. M. L., Bosch, P., & Hugdahl, K. (2006). Foreign language proficiency and working memory capacity. *European Psychologist, 11*(4), 289-296. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.11.4.289>
- Zabihi, R. (2018). The role of cognitive and affective factors in measures of L2 writing. *Written Communication, 35*, 32-57.
- ZbrodoV, N. J. (1995). Why is 9 + 7 harder than 2 + 3? Strength and interference as explanations of the problem-size effect. *Memory & Cognition, 23*, 689-700. <https://doi.org/10.1177/0741088317735836>

Translated Thai Reference

- Wongupparaj, P., & Wongupparaj, R. (2012). 39 Years of Working Memory Model: Research and Its Applications. *Research Methodology & Cognitive Science, 10*(2), 1-16.