# การพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคดสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

# The Development of an Arithmetic Training Program Based on the Triple Code Model for Improving Working Memory among Grade One Students

**บุราณี ระเบียบ [1*] สุชาดา กรเพชรปาณี [2]**

Buranee Rabiab [1*], Suchada Kornpetpanee [2]

[1] *Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chantaburi Campus, Thailand*

[2] *College of Research Methedology and Cognitive Science, Burapha University, Thailand*

## บทคัดย่อ

ความจำขณะทำงานเป็นทักษะทางปัญญาที่สำคัญสำหรับนักเรียน ซึ่งสัมพันธ์กับทักษะการเรียนรู้ สติปัญญา และกระบวนการคิดวิเคราะห์ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปใช้ โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิต ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถด้านเลขคณิต กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 60 คน ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนบ้านมะขาม (สาครมะขามราษฎร์) จังหวัดจันทบุรี จัดนักเรียนเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละเท่า ๆ กัน โดยการสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือวิจัยเป็นแบบประเมินความจำขณะทำงานอย่างอัตโนมัติ (Automated Working Memory Assessment, AWMA) และแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ *t* - test

ผลการวิจัยปรากฏว่า

1) โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด มีความเหมาะสมที่จะใช้ฝึกการคิดเลขคณิตสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

2) ความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองหลังฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่าก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3) ความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

4) ความจำขณะทำงานกับความสามารถด้านเลขคณิตหลังฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตมีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($r = .94$, $p < .01$)

**คำสำคัญ:** ความจำขณะทำงาน, โมเดลทริปเพิลโคด, โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต

**Corresponding author. E-mail: r.buranee@gmail.com*

## ABSTRACT

Working memory is an important cognitive skill for students that related to learning skills, intelligence, and thinking process. The objectives of this research were to develop an arithmetic training program based on Triple Code Model for enhancing the grade one students' working memory to consider the results of the developed program by comparing the average working memory scores and the average arithmetic ability scores between the experimental and control groups to analyze the correlation between working memory and arithmetic ability of the experimental after training with the developed program. The participants were sixty grade one students who were studying in the first semester of the academic year 2015, Makham School (Sakorn Makhamrat) Chanthaburi Province. They were randomly and equally assigned to experimental and control groups. The research instruments were Automated Working Memory Assessment (AWMA) and the arithmetic ability test. T - test was used to analyze the data.

The results were as follows:

1) An arithmetic training program based on Triple Code Model is suitable for training the grade one students.

2) The average scores of working memory and arithmetic ability of the experimental group after training with the developed program were significantly higher than before training ($p <$. 01).

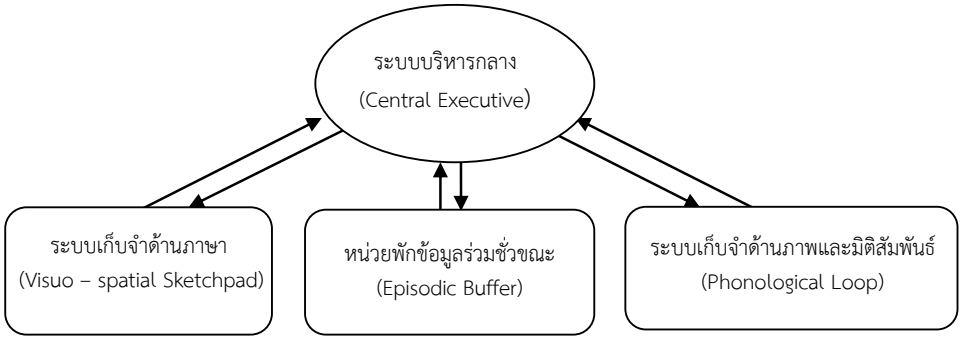
3) The average scores of working memory and arithmetic ability in the experimental group were significantly higher than the control group ($p <$. 01).

4) Working memory and arithmetic ability in the experimental group after training with the developed program had a positive and significant relationship ($r$ = .94, $p$ < .01).


**Keywords:** Working memory, Triple code model, Arithmetic training program

## ความนำ

ความจำขณะทำงาน (Working memory) มีความสำคัญต่อการทำกิจกรรมของสมองขั้นสูง (Higher order cognition) ที่เกี่ยวเนื่องกับกระบวนการทางปัญญา (Cognitive process) ได้แก่ การแก้ปัญหา การให้เหตุผล การเข้าใจภาษา การวางแผนและการดำเนินการเกี่ยวกับมิติสัมพันธ์และความคิดสร้างสรรค์ (Baddeley, 2002) โดยความจำขณะทำงานมีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลชั่วคราว (Temporary storage) ประมวลผลข้อมูล (Processing of information) และจัดกระทำข้อมูล (Manipulation of information) ของกิจกรรมในชีวิตประจำวันพร้อมกับดำเนินการจัดกระทำข้อมูลอย่างต่อเนื่องในขณะที่สมองทำกิจกรรม เช่น การจำเบอร์โทรศัพท์ เส้นทางที่เดินทาง ส่วนผสมอาหาร และการอ่านหนังสือ (Bayliss, Jarrold, Baddeley, and Leigh, 2005) องค์ประกอบความจำขณะทำงาน แสดงดังภาพที่ 1

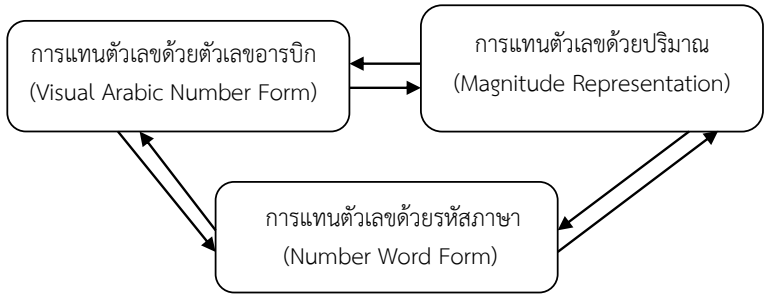



**ภาพที่ 1** Baddeley's (2000) Working Memory Model (Dehn, 2008)

จากภาพที่ 1 ความจำขณะทำงานของ Baddeley (Baddeley's Working Memory Model) ประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ คือ 1) ระบบบริหารกลาง (Central executive function) 2) ระบบเก็บจำด้านภาษา (Phonological loop) 3) ระบบเก็บจำด้านภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuo-spatial sketch pad) และ 4) หน่วยพักข้อมูลร่วมชั่วขณะ (Episodic buffer) (Baddeley, 2000; Baddeley, 2002)

วิธีเพิ่มความจำขณะทำงานมีหลากหลายวิธี เช่น Alloway, Bibile, and Lau (2013) ได้ใช้โปรแกรมการฝึกความจำขณะทำงานที่ชื่อว่า Jungle Memory™ ฝึกเด็กอายุระหว่าง 7-16 ปี เรียกโปรแกรมการฝึกว่า Jungle Memory™ เป็นเกมคอมพิวเตอร์ที่แบ่งระดับความยากของการฝึกความจำขณะทำงาน จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า ความจำขณะทำงาน ด้านภาษาและมิติสัมพันธ์ หลังการฝึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีการทำงานมากขึ้นและคงระยะเวลายาวนานถึง 8 เดือน เช่นเดียวกับ Lee, Lu and Ko (2007) ได้ศึกษาผลของการฝึกความจำขณะทำงาน โดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มทดลองฝึกใช้ลูกคิดคิดเลขในใจ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการทดลองปรากฏว่าเด็กที่ได้รับการฝึกใช้ลูกคิดคิดเลขในใจมีความสามารถในการเก็บข้อมูลด้านภาพและมิติสัมพันธ์ดีกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนการทดลองที่ 2 เป็นการให้เด็กและผู้ใหญ่ฝึกด้วยดนตรีเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า เด็กและผู้ใหญ่ที่ฝึกด้วยดนตรี มีความสามารถในการเก็บข้อมูลด้านเสียงดีกว่ากลุ่มควบคุม

การคำนวณโจทย์เลขคณิตแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ 1) การเปลี่ยนโจทย์เลขคณิตเป็นรหัส (Encoding the arithmetic problem) 2) การดึงกลับข้อมูลหรือคำนวณคำตอบ (Retrieving or calculating the answer) และ 3) การรายงานคำตอบ (Reporting the answer) (Campbell, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับโมเดลทริปเพิลโคดของ Dehaene (Dehaene's Triple Code Model) องค์ประกอบโมเดลทริปเพิลโคด แสดงดังภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** Triple Code Model Dehaene and Cohen's (1995) (Campbell, 2005)

จากภาพที่ 2 โมเดลทริปเพิลโคด ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) การแทนตัวเลขด้วยปริมาณ (An analogue magnitude representation) ใช้ในการประมาณค่าการคำนวณ เปรียบเทียบขนาดตัวเลข และการประมาณค่าที่เป็นไปได้ 2) การแทนตัวเลขด้วยตัวเลขฮินดูอารบิก (A visual arabic number form) ใช้ในการป้อนตัวเลขฮินดูอารบิก เพื่อส่งผ่านข้อมูลเข้า (Input) และดึงข้อมูลตัวเลขฮินดูอารบิกออก (Output) รวมถึงการจัดกระทำกับตัวเลขหลายหลัก (Multi digit operations) และ 3) การแทนตัวเลขด้วยรหัสภาษา (An auditory-verbal code) ใช้เป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวกับการเขียนและการพูด เมื่อมีการนำข้อมูลเข้าสมองก็เปลี่ยนข้อมูลเป็นรหัสที่เหมาะกับการทำงานของความจำ รหัสพิเศษนี้ถูกนำเข้าในระบบการเรียกคำตอบจากความจำหรือการคำนวณ หลังจากได้คำตอบก็จะรายงานคำตอบออกมา (Zhou, 2011)

เนื่องจากการคำนวณด้วยลูกคิด การฝึกด้วยดนตรี และโปรแกรม Jungle Memory™ ดังกล่าวข้างต้นไม่เหมาะกับนักเรียนระดับประถมศึกษาในประเทศไทยบางกลุ่ม โปรแกรม Jungle Memory™ ใช้ภาษาอังกฤษและ มีค่าใช้จ่ายที่สูง ทำให้นักเรียนบางกลุ่มยากที่จะเข้าถึงได้ ส่วนการฝึกด้วยดนตรีและการฝึกด้วยลูกคิด เป็นเรื่องยุ่งยากทำให้นักเรียนบางกลุ่มไม่อยากฝึก ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต โดยประยุกต์

โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ขึ้น เพื่อให้ผู้ฝึกได้พัฒนาความสามารถและกระบวนการคิดเลขคณิตที่เป็นของตนเองซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความจำขณะทำงาน เป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการคิด การแก้ปัญหา การให้เหตุผล การเข้าใจภาษา การวางแผน การดำเนินการเกี่ยวกับมิติสัมพันธ์และความคิดสร้างสรรค์ของมนุษย์เพื่อนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต โดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคดสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

2. เพื่อนำโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต โดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคดสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยพิจารณาจาก

2.1 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นระหว่างก่อนกับหลังฝึก

2.2 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตระหว่างกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึก

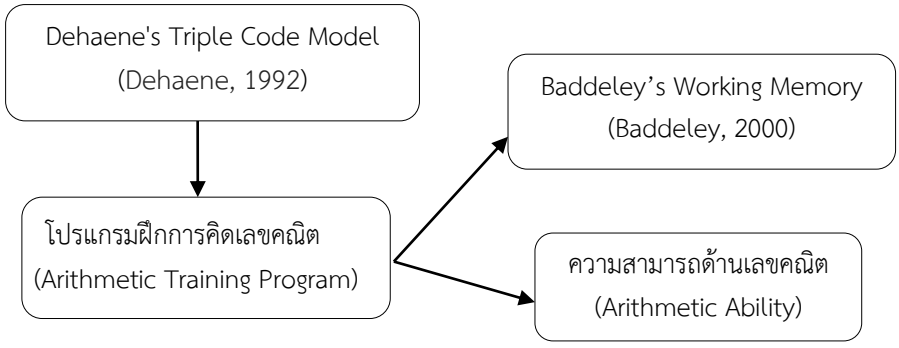
2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น

## กรอบความคิดการวิจัย

ความรู้ทางคณิตศาสตร์มีหลายระดับ เริ่มจากความรู้พื้นฐานเลขคณิต ได้แก่ การบวก การลบ การคูณ และการหารตัวเลข เป็นทักษะที่ทุกคนใช้เป็นประจำ เช่น การคำนวณการใช้จ่ายเงิน ในแต่ละวัน การคิดระยะทางเมื่อต้องโดยสารรถประจำทางว่า เส้นทางใดจะทำให้ไม่เสียเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย และได้เส้นทางที่สั้นที่สุด การคาดคะเนเวลาที่ใช้ในการทำธุระส่วนตัวก่อนไปทำงานหรือไปเรียนหนังสือ และการแลกเปลี่ยนเงินสกุลต่าง ๆ เวลาไปต่างประเทศ จากตัวอย่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าตัวเลข การนับจำนวน การใช้จ่ายด้วยเงิน การซื้อขาย และแลกเปลี่ยน เป็นเรื่องของคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตมนุษย์ทั้งสิ้น เป็นเครื่องมือสำคัญของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ และการคิดเลขคณิตพื้นฐานทำให้มีทักษะด้านสติปัญญาซึ่งเป็นจุดหมายสำคัญของการพัฒนากระบวนการทางปัญญา (Imbo & Lefevre, 2010)

ทฤษฎีความจำขณะทำงานเกี่ยวข้องกับโมเดลกระบวนการคิดทางตัวเลข (Model of numerical cognition) ประกอบด้วย 1) Abstract modular model (McCloskey's model) 2) Encoding-complex model

(McCloskey's model) และ 3) Triple code model (Dehaene's model) ชี้ให้เห็นว่าการคำนวณโจทย์เลขคณิตสอดคล้องกับโมเดลทริปเพิลโคดของ Dehaene (Dehaene's Triple Code Model) และเกี่ยวข้องกับทฤษฎีความจำขณะทำงาน ดังนั้นการฝึกคิดเลขคณิตย่อมส่งผลต่อสมองมนุษย์ (Aydin et al., 2007) เนื่องจากการคำนวณโจทย์เลขคณิต เริ่มจากการเปลี่ยนโจทย์เลขคณิตเป็นรหัส แล้วดึงข้อมูลไปมาเพื่อคำนวณคำตอบ และรายงานคำตอบ (Campbell, 2005) ในขณะที่มีการคิดคำนวณเลขคณิต สมองในโครงข่ายประสาทของความจำจะทำงาน โดยเฉพาะความจำขณะทำงาน ที่เชื่อมโยงข้อมูลในกระบวนการคำนวณคณิตศาสตร์จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ซึ่งมีหลายขั้นตอน บางครั้งต้องเก็บคำตอบที่ได้ไว้ใช้ ในขั้นตอนต่อไป หรืออีกหลายขั้นตอนกว่าจะเรียกใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อให้ได้คำตอบที่สมบูรณ์ ดังนั้นถ้ามีทักษะในการคิดเลขคณิตที่ดีตามโมเดลทริปเพิลโคดย่อมส่งผลทำให้ความจำขณะทำงานดีขึ้นด้วย เช่นเดียวกันถ้าความจำขณะทำงานมีการทำงานที่ดีตามแบบจำลองความจำขณะทำงานของ Baddeley ย่อมส่งผลให้การคำนวณเลขคณิตถูกต้องและรวดเร็วขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต โดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ขึ้น เพื่อให้ผู้ฝึกได้พัฒนาความสามารถและกระบวนการคิดเลขคณิตที่เป็นของตนเอง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความจำขณะทำงานเป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการคิด การแก้ปัญหา การให้เหตุผล การเข้าใจภาษา การวางแผน การดำเนินการเกี่ยวกับมิติสัมพันธ์และความคิดสร้างสรรค์ของมนุษย์เพื่อนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน โดยสรุปเป็นกรอบแนวคิดการวิจัยดังภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** กรอบความคิดการวิจัยการพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

## สมมติฐานการวิจัย

1. โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด มีความเหมาะสมระดับมากสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

2. นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้ใช้โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต โดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด มีความจำขณะทำงานเพิ่มขึ้น พิจารณาจาก

2.1 คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองหลังฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่าก่อนฝึก

2.2 คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึก

2.3 คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิต

## วิธีดำเนินการวิจัย

**กลุ่มตัวอย่าง**

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 60 คน ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนบ้านมะขาม (สาครมะขามราษฎร์) จังหวัดจันทบุรี จัดนักเรียนเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละเท่า ๆ กัน จำนวนกลุ่มละ 30 คน โดยการสุ่มอย่างง่าย

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

1. โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 เนื้อหาที่ใช้ครอบคลุมเรื่องการเขียน และอ่านตัวเลขฮินดูอารบิก และแสดงปริมาณของสิ่งของหรือจำนวนนับที่ไม่เกินหนึ่งร้อยและศูนย์ การเปรียบเทียบและเรียงลำดับจำนวนนับไม่เกินหนึ่งร้อยและศูนย์ การบวก และลบของจำนวนนับไม่เกินหนึ่งร้อยและศูนย์ โดยกำหนดกิจกรรมฝึกการคิดเลขคณิต 15 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรมที่ 1 จำนวน ตัวเลขฮินดูอารบิกและชื่อเรียกตัวเลขไม่เกินเลข 9 กิจกรรมที่ 2 บวกเลขด้วยจำนวนไม่เกินเลข 9 กิจกรรมที่ 3 ลบเลขด้วยจำนวนไม่เกินเลข 9 กิจกรรมที่ 4 บวกลบเลขด้วยจำนวนไม่เกินเลข 9 กิจกรรมที่ 5 บวกและลบตัวเลขไม่เกินเลข 9 ให้คล่อง กิจกรรมที่ 6 จำนวน ตัวเลขฮินดูอารบิกและชื่อเรียกตัวเลขไม่เกินเลข 19 กิจกรรมที่ 7 บวกเลขด้วยจำนวนไม่เกินเลข 19 กิจกรรมที่ 8 ลบเลขด้วยจำนวนไม่เกินเลข 19 กิจกรรมที่ 9 บวกลบเลขด้วยจำนวนไม่เกินเลข 19 กิจกรรมที่ 10 บวกและลบตัวเลขไม่เกินเลข 19 ให้คล่อง กิจกรรมที่ 11 จำนวน ตัวเลขฮินดูอารบิกและชื่อเรียกตัวเลขไม่เกินเลข 99 กิจกรรมที่ 12 บวกเลขด้วยตัวเลขไม่เกินเลข 99 กิจกรรมที่ 13 ลบเลขด้วยตัวเลขไม่เกินเลข 99 กิจกรรมที่ 14 บวกลบเลขด้วยตัวเลขไม่เกินเลข 99 และกิจกรรมที่ 15 บวกและลบตัวเลขไม่เกินเลข 99 ให้คล่องตามลำดับ

2. แบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติ (Automated Working Memory Assessment: AWMA) เป็นแบบประเมินที่เป็นมาตรฐาน ทดสอบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ของ Dr.Tracy Packiam Alloway (Alloway, 2007)

3. แบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต จำนวน 30 ข้อ ที่สร้างขึ้นเป็นแบบเติมคำตอบ ใช้ทดสอบกลุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความเท่าเทียมกันของกลุ่ม และวัดความสามารถด้านเลขคณิต วิเคราะห์ความยากง่ายของข้อสอบ ได้ค่าความยากง่ายของข้อสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.53-0.77 วิเคราะห์อำนาจจำแนกของข้อสอบเป็นรายข้อ คัดเลือกข้อสอบเป็นรายข้อที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-0.93 และหาค่าความเที่ยงของแบบทดสอบทั้งฉบับ ได้ค่าความเที่ยงทั้งฉบับ เท่ากับ 0.93

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ผู้วิจัยลงพื้นที่เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน ถึง 3 กรกฎาคม 2558 โดยทดสอบกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนใช้โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต ด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต และแบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติ เพื่อตรวจทดสอบความเท่าเทียมของคะแนนแบบทดสอบความสามารถทางด้านเลขคณิต และความจำขณะทำงานระหว่างนักเรียนทั้งสองกลุ่ม ดำเนินการฝึกทั้งสองกลุ่ม โดยจำแนกเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองใช้โปรแกรมการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น เป็นเวลา 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 10 ชั่วโมง ส่วนกลุ่มควบคุม เรียนวิชาคณิตศาสตร์ในช่วงเวลาเดียวกัน หลังการฝึก ทดสอบด้วยแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต และแบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติกับนักเรียนทั้งสองกลุ่ม จากนั้นตรวจสอบความถูกต้อง ครบถ้วน ของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการทางสถิติ ดังนี้

1. ข้อมูลลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อให้ทราบลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง ใช้การแจกแจงความถี่ ร้อยละ คะแนนสูงสุด คะแนนต่ำสุด ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความจำขณะทำงานและคะแนนความสามารถด้านเลขคณิต

2. เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นระหว่างก่อนกับหลังฝึก โดยใช้สถิติ *t*-test

3. เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตระหว่างกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึก โดยใช้สถิติ *t*-test

4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองหลังฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

## ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 60 คน เป็นกลุ่มทดลอง 30 คน และกลุ่มควบคุม 30 คน รายละเอียดทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ลักษณะของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ

| เพศ | กลุ่มทดลอง (n=30) | | กลุ่มควบคุม (n=30) | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวน | ร้อยละ | จำนวน | ร้อยละ |
| ชาย | 14 | 46.67 | 13 | 43.33 |
| หญิง | 16 | 53.33 | 17 | 56.67 |

จากตารางที่ 1 ปรากฏว่า กลุ่มทดลองเป็นเพศหญิง 16 คน และเพศชายร้อยละ 14 คน ส่วนกลุ่มควบคุมเป็นเพศหญิงร้อยละ 17 คน และเพศชายร้อยละ 13 คน เมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีเพศหญิงมากกว่าเพศชาย

ผลของคะแนนสูงสุด คะแนนต่ำสุด ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามเงื่อนไขการทดสอบ ดังดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** คะแนนสูงสุด คะแนนต่ำสุด ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำแนกตามเงื่อนไขการทดสอบ

| เงื่อนไขการทดสอบ | กลุ่มทดลอง | | | | กลุ่มควบคุม | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max | Min | Mean | *SD* | Max | Min | Mean | *SD* |
| ความจำขณะทำงาน | | | | | | | | |
| ก่อนการทดลอง | 98.17 | 92.50 | 95.69 | 1.47 | 95.98 | 84.62 | 88.79 | 3.04 |
| หลังการทดลอง | 107.92 | 102.42 | 105.20 | 1.68 | 98 | 92.83 | 95.46 | 1.06 |
| ความสามารถด้านเลขคณิต | | | | | | | | |
| ก่อนการทดลอง | 10 | 6 | 7.37 | 1.10 | 14 | 5 | 10.20 | 2.38 |
| หลังการทดลอง | 30 | 27 | 28.87 | 1.00 | 17 | 13 | 15.03 | 1.09 |

จากตารางที่ 2 สามารถแยกพิจารณา ความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิต หลังการทดลองของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ดังนี้

ความจำขณะทำงานของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วย

โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น เมื่อทำแบบประเมินความจำขณะทำงาน ได้คะแนนมากที่สุด 107.92 คะแนน และได้คะแนนน้อยที่สุด 102.58 คะแนน โดยเฉลี่ยแล้วกลุ่มทดลองสามารถทำแบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติ ได้คะแนน 105.08 คะแนน และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต ทำแบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติ ได้คะแนนมากที่สุด 98.17 คะแนน และได้คะแนนน้อยที่สุด 92.50 คะแนน โดยเฉลี่ยแล้วกลุ่มควบคุมสามารถทำแบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติ ได้คะแนน 95.69 คะแนน

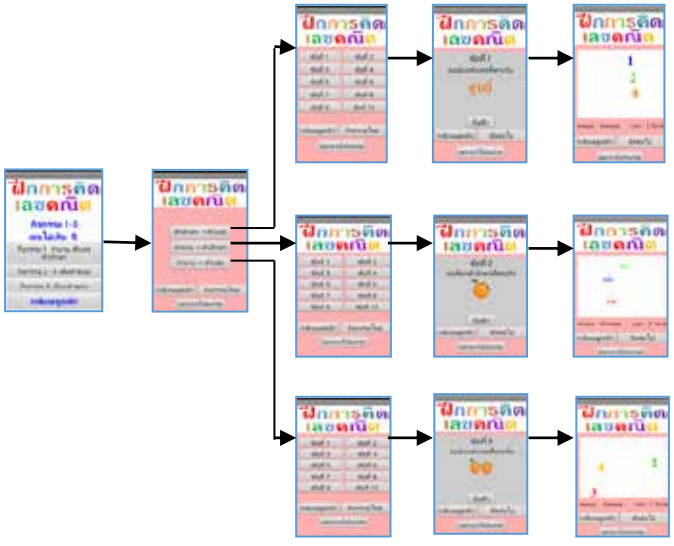
ความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น เมื่อทำแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต ได้คะแนนมากที่สุด 30 คะแนน และได้คะแนนน้อยที่สุด 27 คะแนน โดยเฉลี่ยแล้วกลุ่มทดลองสามารถทำแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิตได้คะแนน 28.87 คะแนน และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต ทำแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต ได้คะแนนมากที่สุด 17 คะแนน และได้คะแนนน้อยที่สุด 13 คะแนน โดยเฉลี่ยแล้วกลุ่มควบคุมสามารถทำทำแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต ได้คะแนน 15.03 คะแนน

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความจำขณะทำงานและค่าเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิต ปรากฏว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น ทำแบบประเมินความจำขณะทำงานอัตโนมัติและแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิต ได้คะแนนมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก

2. ผลการพัฒนาโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสร้างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MIT App Inventor เป็นเครื่องมือในการสร้างแอปพลิเคชั่น ที่พัฒนาโดยบริษัท Google และ MIT ทำการฝึกผ่านกระดานชนวนอิเล็กทรอนิกส์ ที่รองรับระบบปฏิบัติการ Android 4.2 โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น แยกออกเป็น 15 กิจกรรม สอดคล้องกัน มีการเรียงลำดับความยากเพื่อให้ผู้ฝึกได้พัฒนาความสามารถด้านเลขคณิต มีรูปแบบดังนี้

1) หน้าจอต้อนรับและหน้าจอหลักของโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นดังภาพที่ 4

**ภาพที่ 4** หน้าจอต้อนรับและหน้าจอหลักของโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น



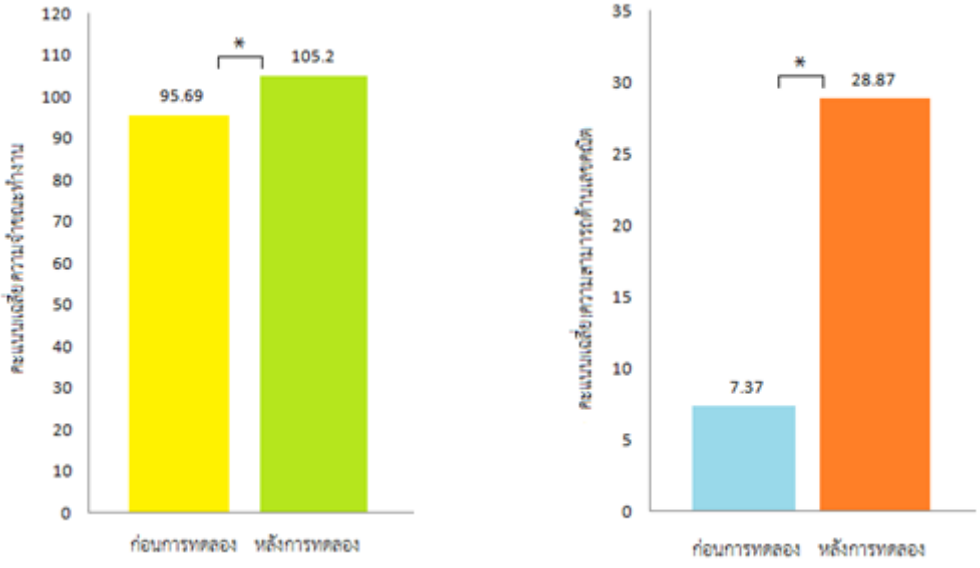
**ภาพที่ 5** ตัวอย่างหน้าจอของกิจกรรมในโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น

2) รายละเอียดของโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น แสดงตัวอย่างหน้าจอของกิจกรรมที่ 1 ในโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 5

ผลการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิต โดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยผู้เชี่ยวชาญ ปรากฏว่า โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 อยู่ในระดับมาก (M = 4.37) ส่วนผู้ใช้งาน ปรากฏว่า โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก (M = 4.21) แสดงว่า โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด สำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มความจำขณะทำงานและความสามารถด้านเลขคณิตในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ได้

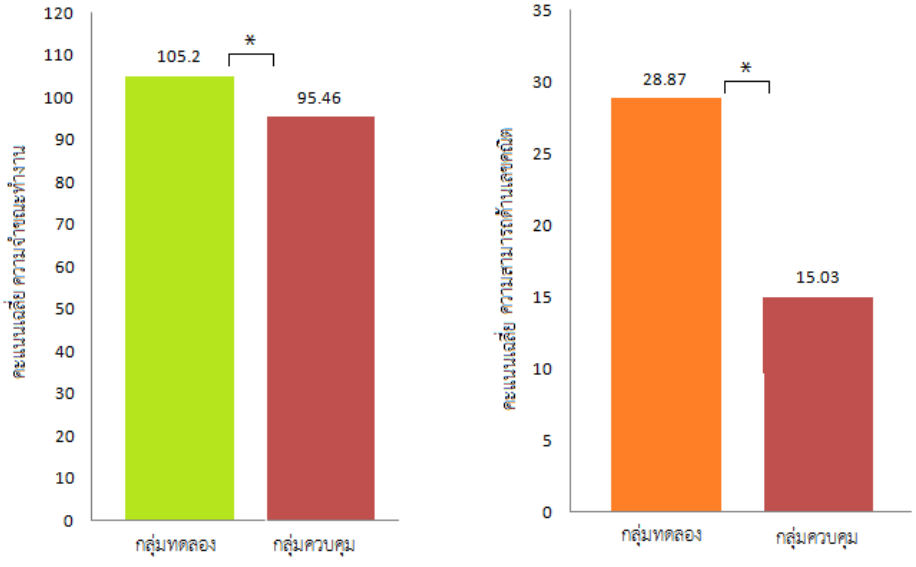
3. ผลของการนำโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิต ของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น ระหว่างก่อนกับหลังฝึก ปรากฏว่า คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานของกลุ่มทดลองที่รับการฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นหลังฝึกสูงกว่าก่อนฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่รับการฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นหลังฝึกสูงกว่าก่อนฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งสอดคล้องสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.1 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึก ปรากฏว่า คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 คะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่รับการฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งสอดคล้องสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.2 แสดงดังภาพที่ 6 และ 7 ส่วนผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองหลังฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน มีค่าเท่ากับ .94 แสดงว่าความจำขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับความสามารถด้านเลขคณิตในทิศทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งสอดคล้องสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2.3




*$p < .01$

**ภาพที่ 6** คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลอง




*$p < .01$

**ภาพที่ 7** คะแนนเฉลี่ยความจำขณะทำงานและคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

## อภิปรายผลการวิจัย

โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยภาพรวมมีความเหมาะสมระดับมาก เนื่องจากมีการกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ความยากง่ายของกิจกรรมที่ทำมีการเรียงจากง่ายไปยาก และระยะเวลาที่ทำกิจกรรมก็มีความเหมาะสม

ไม่น้อยหรือมากจนเกินไป ในส่วนของการออกแบบโปรแกรม มีการใช้สี ขนาด และชนิดของตัวอักษร ที่มีความสวยงาม เห็นได้ชัด และสามารถดึงดูดให้นักเรียนมีความสนใจฝึกโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ขั้นตอนวิธีการใช้งานของโปรแกรมได้ระบุอย่างชัดเจนและมีลำดับขั้นตอนในการฝึก ซึ่งส่งผลให้โปรแกรมฝึกเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นนี้มีความเหมาะสมที่นำไปฝึกการคิดเลขคณิตสำหรับเพิ่มความจำขณะทำงานในนักเรียนได้

คะแนนเฉลี่ยการทำแบบประเมินความจำขณะทำงานและแบบทดสอบความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองที่ฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงว่าโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น ส่งผลให้กลุ่มทดลองที่ได้รับการฝึกมีความจำขณะทำงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้กลุ่มทดลองมีความสามารถด้านเลขคณิตสูงขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Dahlin, Nyberg, Backman, and Neely (2008) ได้ศึกษาความจำขณะทำงานในผู้ใหญ่ตอนต้นและผู้ใหญ่ตอนปลาย โดยการฝึกด้วยคอมพิวเตอร์ฝึกความจำขณะทำงาน เป็นการจำตัวอักษร ที่มีการเปลี่ยนแปลงสี จำนวน การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและเส้นทางของตัวอักษร ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าผู้ใหญ่ตอนต้นและผู้ใหญ่ตอนปลายในกลุ่มทดลองมีความจำขณะทำงานสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยระดับการทำงานของกิจกรรมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของความจำขณะทำงาน ตามค่าความยากง่ายของกิจกรรมที่ฝึก

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Product - Moment Correlation Coefficient) ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถด้านเลขคณิตของกลุ่มทดลองหลังฝึกด้วยโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้น มีค่าเท่ากับ .94 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงว่าความจำขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับความสามารถด้านเลขคณิตในทิศทางบวก ซึ่งสอดคล้องการวิจัยของ Swanson et al. (2004) ที่ศึกษาความจำขณะทำงานและการประมวลผลเกี่ยวกับเสียง เป็นตัวทำนายการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ในเด็กที่มีอายุแตกต่างกันพบว่าความจำขณะทำงานช่วยในการแก้ปัญหา การแทนปัญหามีผลต่อสติปัญญา การอ่านและทักษะคณิตศาสตร์ ความจำขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับการแก้ปัญหา เป็นตัวทำนายที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงในช่วงอายุในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์และทักษะการอ่าน ทำให้สนับสนุนผลการวิจัยความจำขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับความสามารถด้านเลขคณิตในทิศทางบวก ซึ่งส่งผลให้โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นนี้ มีความเหมาะสมที่ใช้เพิ่มความจำขณะทำงานในนักเรียนได้

## ข้อเสนอแนะ

**ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้**

ครูและบุคลากรทางการศึกษา อาจนำโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด ไปติดตั้งบนกระดานชนวนอิเล็กทรอนิกส์ของโรงเรียนหรือของนักเรียนสำหรับใช้เป็นทางเลือกในการจัดกิจกรรม “ลดเวลาเรียน เพิ่มเวลารู้” ส่วนผู้ปกครองสามารถนำโปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตโดยประยุกต์โมเดลทริปเพิลโคด ไปฝึกให้กับลูกที่บ้าน สำหรับเพิ่มความสามารถด้านเลขคณิตและความจำขณะทำงาน ซึ่งเป็นพื้นฐานที่ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนในการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ดีขึ้น

**ข้อเสนอแนะการวิจัยต่อไป**

โปรแกรมฝึกการคิดเลขคณิตที่พัฒนาขึ้นได้กำหนดโจทย์ที่ตายตัว อาจพัฒนาให้มีการสุ่มตัวเลข เพื่อทำให้โจทย์เลขคณิตมีความหลากหลาย ผู้ฝึกจะได้เกิดความท้าทาย สามารถฝึกได้หลาย ๆ รอบ ไม่เกิดความจำเจ สนุกสนานกับกิจกรรมมากขึ้น อาจพัฒนาเนื้อหาเลขคณิตเป็นระดับช่วงชั้น เพิ่มการคูณและการหาร เพื่อให้ผู้ฝึกใช้โปรแกรมได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้ผู้ฝึกได้พัฒนาความสามารถด้านเลขคณิตและความจำขณะทำงานอย่างต่อเนื่อง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2559 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

## References


Alloway, T. P. (2007). *Automated working memory assessment*. London, England: Pearson Assessment.

Alloway, T. P. (2007). Working memory, reading and mathematical skills in children with evelopmental coordination disorder. *Journal of Experimental Child Psychology*, *96*, 20–36.

Alloway, T.P., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computrized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skill in student?. *Computers in Human Behavior*, *29*, 632–638.

Aydin, K., Ucar, A., Oguz, K.K., Okur, O.O., Agayev, A., Unal, Z., Yilmaz, S., & Ozturk, C., (2007). Increased gray matter density in the parietal cortex of mathematicians: a voxel-based morphometry study. *Journal of Neuroradiol*, *28*, 1859–1864.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory?. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417–423.

Baddeley, A. (2002). Is Working Memory Still Working?. *European Psychologist*, *7*(8), 5-97.

Baddeley, A., Eysenck, M.W. & Anderson, M. (2009). *Memory.* New York: Psychology Press.

Bayliss, D. M., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Leigh, E. (2005). Differential constraints on the working memory and reading abilities of individuals with learning difficulties and typically developing children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *92*, 76–99.

Campbell, J. I. D. (2005). *Handbook of mathematical cognition*. New York: Psychology Press.

Dahlin, E., Nyberg, L., Backman, L., & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging, 23*(4), 720-730. doi:10.1037/a0014296

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, *44*(1-2), 1-42.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical cognition*, *1*(1), 83-120.

Dehn, M.J. (2008). *Working memory and academic learning assessment and intervention.* U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.

Imbo, I. & Lefevre, J.A. (2010).The role of phonological and visual working memory in complex arithmetic for Chinese-and Canadian-educated adults. *Memory & Cognition*, *38*(2), 176-185.

Lee, Y. S., Lu, M. J., & Ko, H. P. (2007). Effects of skill training on working memory capacity. *Learning and Instruction*, *17*(3), 336-344.

Swanson, H. L. (2004). Working memory and phonological processing as predictors of children's mathematical problem solving at different ages. *Memory & cognition*, *32*(4), 648-661.

Zhou, X. (2011). Operation-specific encoding in single-digit arithmetic. *Brain and Cognition*, *76(3)*, 400–406.