

การศึกษานำร่องผลของโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายในเด็ก
ปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์
A pilot study of the effect of a Numerical Development and Embodied
Cognition Program in Preschool Children with Dyscalculia

อารีย์ หาญสมศักดิ์กุล (Aree Hansomsakkul)*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นอนุบาล 3 ที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านการคัดกรอง จำนวน 20 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม เป็นแบบทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น และกิจกรรมทดสอบความจำขณะคิดด้านตัวเลขแบบย้อนกลับ และกิจกรรมทดสอบด้านมิติสัมพันธ์แบบย้อนกลับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ การหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสถิติทดสอบค่าที แบบไม่อิสระ และค่าขนาดอิทธิพล ผลการวิจัยพบว่า โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยดัชนีวัดความสอดคล้อง S-CVI/Ave = .97 และเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นหลังการใช้โปรแกรมสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรม อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง Cohen's d อยู่ในระดับมาก (ขนาดอิทธิพล = 2.68) มีค่าเฉลี่ยคะแนนความจำขณะคิด ด้านมิติสัมพันธ์ (Corsi) หลังการใช้โปรแกรมสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรม อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง Cohen's d อยู่ในระดับมาก (ขนาดอิทธิพล = 2.87) และมีค่าเฉลี่ยคะแนนความจำขณะคิด ด้านตัวเลข (Dspan) หลังการใช้โปรแกรมสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรม อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง Cohen's d อยู่ในระดับปานกลาง (ขนาดอิทธิพล = 0.49)

คำสำคัญ : ความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น, ความจำขณะคิด, เด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์, ปัญญาสมานกาย

* ดร., ศึกษานิเทศก์ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาจันทบุรี เขต 2

Dr., Educational supervisor, Chanthaburi Primary Educational Service Area Office

Abstract

This research has the objective To study the possibility of The program promotes numerical development together with physical and mental intelligence to increase initial mathematical ability. The sample group is preschool children with dyscalculia, have been screened. Kindergarten 3 level, 20 people, Using Purposive Sampling. The tool used in this research is a program to promote the development of numbers together with wisdom to heal the body. The instruments used to measure the dependent variable were The Test of Early Mathematics Ability, Third Edition: TEMA-3 and the memory test while thinking using The Psychology Experiment Building Language (PEBL) Version 2.1 program using Backward Digit Span Task and Backward Corsi Block Task. Mean, Standard Deviation, t-test, and Effect size were used to analyze the data.

The research results found that This program has $S-CVI/Ave = .97$ and preschool children with dyscalculia has an average initial mathematics ability score After using this program, it is higher than before using this program. Statistically significant at the .01 level, the influence size of the difference, Cohen's d , was at a high level (Effect size = 2.68). The mean memory score while thinking was The relative dimensions (Corsi) after using this program were higher than before using this program. Statistically significant at the .01 level, with the influence size of the difference, Cohen's d , being at a high level (Effect size = 2.87) and having a mean score for memory while thinking about numbers (Dspan) after using this program. higher than before using this program Statistically significant at the .05 level, with the influence size of the difference, Cohen's d , being at a moderate level (Effect size = 0.49).

Keywords: early mathematics/ working memory/ children with dyscalculia/ embodied cognition

บทนำ

คณิตศาสตร์เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวัน ทั้งการคำนวณรายรับรายจ่าย การเปรียบเทียบ และด้านที่ต้องใช้เหตุผลต้องอาศัยคณิตศาสตร์เป็นพื้นฐานทั้งสิ้น (Wiest, 2007, pp. 47-55; Schaefer, 2018, p. 105) เด็กมีปัญหาความบกพร่องในการเรียนรู้ทางการคิดคำนวณอาจจะเรียนตามเพื่อนร่วมชั้นวัยเดียวกันไม่ทันหากไม่ได้รับการฝึกฝนเพิ่มเติม (Dyson, Jordan, & Glutting, p. 166) ซึ่งการศึกษาในสหราชอาณาจักรชี้ให้เห็นว่าทักษะทางการคิดคำนวณที่ล่าช้า อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน

มากกว่าทักษะทางการอ่านการเขียน (Bynner, 1997, p. 51) อีกทั้งสภาพแวดล้อมในชั้นเรียนเรียนที่ก่อให้เกิดความวิตกกังวล อาจนำไปสู่การสร้างทัศนคติเชิงลบต่อคณิตศาสตร์ ซึ่งความวิตกกังวลนี้อาจทำให้เกิดการหลีกเลี่ยงการเรียน และท้ายที่สุดก็เลี่ยงการเลือกอาชีพที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ (Núñez-Peña, 2013, pp. 36-43) ผลการประเมินของโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Programme for International Students Assessment: PISA) PISA 2009 นักเรียนอายุ 15 ปี มากกว่าครึ่ง (51%) รู้เรื่องคณิตศาสตร์ไม่ถึงระดับพื้นฐานนานาชาติ (ระดับ 2 ตามเกณฑ์ของ PISA) คะแนนเฉลี่ยของคณิตศาสตร์ใน PISA 2015 คะแนนเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของนักเรียนไทยต่ำกว่าค่าเฉลี่ย (สสวท, 2561) นับตั้งแต่การประเมินครั้งแรกใน PISA 2000 แม้ว่าประเทศไทยมีคะแนนคณิตศาสตร์น้อยกว่าค่าเฉลี่ย OECD แต่ก็ยังเป็นคะแนนคณิตศาสตร์ที่นักเรียนไทยทำได้สูงสุดตั้งแต่ที่มีการประเมินมาหลังจากนั้นตลอดระยะเวลาเกือบ 20 ปีความรู้และทักษะด้านคณิตศาสตร์ของนักเรียนไทยไม่ได้มีการพัฒนาขึ้นซึ่งพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคะแนนตั้งแต่การประเมินรอบแรกจนถึงปัจจุบันผลการประเมินด้านคณิตศาสตร์ของไทยไม่เปลี่ยนแปลง (สสวท., 2564) ในขณะที่โลกกำลังให้ความสำคัญกับคณิตศาสตร์ และต้องการประชากรที่มีทักษะทางคณิตศาสตร์ นักเรียนไทยกลับมีผลการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ แบ่งได้เป็น 4 ประเด็นหลัก ดังนี้ 1) ปัญหาด้านการจัดการเรียนรู้ 2) ความวิตกกังวล 3) การบกพร่องทางภาษาและ 4) ความบกพร่องของกระบวนการทางปัญญาพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการคิดคำนวณ ซึ่งเด็กที่มีภาวะบกพร่องในส่วนนี้จะไม่สามารถเรียนรู้ทักษะทางคณิตศาสตร์ได้ตามวัย (Butterworth, 2005a, p. 62) แม้จะมีโอกาสเรียนรู้ตามปกติ และมีความฉลาดทางสติปัญญาในระดับปกติ ซึ่งเพียงพอที่จะปฏิบัติงานได้เหมือนบุคคลทั่วไป (Organization, 1994, p. 63) เด็กที่มีความบกพร่องทางการเรียนรู้ เป็นความบกพร่องทางกระบวนการพื้นฐานทางจิตวิทยาที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจ หรือการใช้ภาษาที่สับสนเนื่องมาจากความบกพร่องของการทำหน้าที่ของสมอง ทำให้มีผลการเรียนแตกต่างจากเด็กปกติ เกิดช่องว่างระหว่างความเฉลียวฉลาดที่แท้จริงกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบประสาทช่วยในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับต้นกำเนิดของการพัฒนาทางคณิตศาสตร์ที่ผิดปกติและ ภาวะความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ (Kaufmann, 2008, pp. 163-175) การดูแลช่วยเหลือเด็กทุกคน ควรกำหนดจุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนรู้อย่างเป็นระบบชัดเจน และเพิ่มโอกาสการเรียนรู้ที่เท่าเทียมกันด้วย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะสนับสนุนการเรียนรู้ขั้นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในระดับปฐมวัย (Krajewski & Schneider, 2006, pp. 246-262) เมื่อความผิดปกติในการเรียนรู้เกิดขึ้น อาจสามารถประเมินกลุ่มเสี่ยงได้ตั้งแต่วัยเริ่มแรก ด้วยเหตุผลดังกล่าวการคัดกรองโดยมุ่งที่การประเมินกระบวนการทางปัญญาระดับพื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ สามารถทำได้ตั้งแต่ช่วงเริ่มเรียนวิชาด้านการคำนวณเบื้องต้น อาจเป็นประโยชน์ในการวางแผนส่งต่อการวางแผนทางบำบัดรักษา การให้ความช่วยเหลือในด้านอื่น ๆ และการออกแบบการเรียนการสอนด้วยวิธีการที่เหมาะสมในเด็กกลุ่มเสี่ยงที่จะมีความบกพร่องในการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ต่อไป (พีร วงศ์อุปราช, 2560)

จากสภาพปัญหาของเด็กที่มีความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเด็กที่มีความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ พบว่าวิธีสอนที่เน้นสติปัญญา เป็นหนึ่งในวิธีการที่ช่วยในการเรียนรู้ (Newcombe, Levine, & Mix, 2015) ซึ่งวิธีสอนที่เน้นสติปัญญาอาจฝึกให้เด็ก ๆ เคลื่อนไหวร่างกายในรูปแบบที่กำหนด ที่ส่งผลถึงการส่งเสริมสมรรถนะเชิงตัวเลขขั้นพื้นฐาน เช่น ความเข้าใจเกี่ยวกับขนาด (Dackermann, Fischer, Nuerk, Cress, & Moeller, 2017, pp. 545-557) ความคิดนี้สะท้อนให้เห็นในแนวคิดของปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition) ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญญาสมานกายทำให้สามารถคาดการณ์เฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับความรู้ที่จะได้รับ และแสดงออกในสมองของมนุษย์ (Barsalou, 2010, pp. 716-724; Glenberg, 2010, pp. 586-596) การฝึกปัญญาสมานกายเป็นวิธีการที่เป็นนวัตกรรมที่คิดค้นขึ้นบนพื้นฐานทฤษฎีที่เกี่ยวข้องด้านปัญญาทางคณิตศาสตร์มีคุณค่าสำหรับการฝึกสมรรถนะเชิงจำนวนขั้นพื้นฐานในเด็กที่มีระดับความถนัดทางการเรียนรู้ที่แตกต่างกันตามความสามารถของตนเอง (Dackermann et al., 2017, pp. 545-557)

วิธีการศึกษา

การศึกษานำร่องผลของโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายในเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research Design) มุ่งเน้นการเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นและความจำระยะคิดสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ บนพื้นฐานการศึกษาทฤษฎีปัญญาทางคณิตศาสตร์ (Numerical Cognition) โมเดลระบบสัญลักษณ์ทั้งสาม (Triple Code Model) และทฤษฎีปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition) พัฒนาเป็นโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย ซึ่งความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์เป็นความบกพร่องทางการเรียนรู้เฉพาะทางที่ส่งผลต่อทักษะทางการคิดคำนวณของเด็กที่มีสติปัญญาปกติที่ตามวัย แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการที่ไม่สมบูรณ์ของระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับจำนวน (Kucian et al., 2010, p. 228) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ ซึ่งทฤษฎีปัญญาทางคณิตศาสตร์ (Numerical Cognition) เป็นการศึกษาการประมวลผลเชิงตัวเลข ซึ่งระบบประสาทที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบแกนที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ ส่วน IPS (Intraparietal Sulcus: IPS) เป็นที่รู้จักกันในการตอบสนองเป็นตัวกระตุ้นตัวเลขที่เป็นสัญลักษณ์ เช่น หมายเลขอารบิก ในช่วงวัยเด็กตอนต้นระบบแกนส่วน IPS จะทำหน้าที่ควบคุมการประมวลผลด้านตัวเลขที่เป็นสัญลักษณ์แทนการนับจำนวน ซึ่งกระบวนการทำงานด้านตัวเลขที่เกิดขึ้นในระบบแกนส่วน IPS นี้ อาจเป็นต้นกำเนิดทางพัฒนาการทางความรู้ด้านคณิตศาสตร์ในวัยผู้ใหญ่ (Cantlon, Brannon, Carter, & Pelphrey, 2006, p. 125) ซึ่งระบบแกนส่วน IPS นั้นสอดคล้องกับรูปแบบ

โมเดลระบบสัญลักษณ์ทั้งสามสำหรับกระบวนการทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับตัวเลข หรือ Triple Code Model (TCM) ถูกนำมาใช้ศึกษาพฤติกรรมการดำเนินการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการถ่ายภาพทางประสาทด้านการประมวลผลเชิงตัวเลขไปจนถึงการศึกษาเชิงพัฒนาการที่เกี่ยวข้องกับการได้มาทางคณิตศาสตร์โดยเน้นการพัฒนาเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ (Siemann & Petermann, 2018, pp. 106-117) เป็นโมเดลหลากหลายรูปแบบทางการประมวลผลเชิงตัวเลขโดยระบบสัญลักษณ์ทางตัวเลขทำหน้าที่แตกต่างกัน แต่มีความสัมพันธ์กัน มี 3 ด้าน คือ (1) ด้านการแทนตัวเลขด้วยขนาดเชิงเปรียบเทียบ (Magnitude Representation) (2) ด้านการแทนตัวเลขด้วยภาษา (Verbal Number Words) และ (3) ด้านการใช้สัญลักษณ์แทนตัวเลข (Visual Arabic Number Form) (Kaufmann et al., 2013, pp. 106-113) และ 2) ระบบสนับสนุนทั่วไปที่ทำให้เกิดความบกพร่องทางการเรียนรู้ ได้แก่ ความจำระยะยาว ความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล ส่วนบริหารจัดการสมอง ความจำขณะคิด ทักษะด้านภาพและมิติสัมพันธ์ ความใส่ใจ หรือการประมวลผลด้านรับสัมผัส) ซึ่งเป็นระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลเชิงตัวเลขอีกระบบหนึ่ง ข้อมูลเกี่ยวกับหน่วยความจำขณะคิด (Working Memory) มีบทบาทสำคัญในการรับรู้ระดับสูง ซึ่งรูปแบบความสำคัญกับหน่วยความจำขณะคิดและการนับจำนวนเป็นตัวตั้งต้นโดยตรงในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในช่วงต้น

ปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition) มีระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมทางปัญญา ความสนใจ และการเคลื่อนไหว เครือข่ายสมองที่เกี่ยวข้อง คือ The Fronto - Parietal Control Network (FPCN) เป็นระบบเครือข่ายส่วนของสมองกลีบหน้า (Frontal lobe) และระบบเครือข่ายส่วนของสมองกลีบข้าง (Parietal lobe) ซึ่ง FPCN ประกอบด้วย The Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC) เป็นเปลือกสมองบริเวณส่วนบนของสมองกลีบหน้า ทำหน้าที่เกี่ยวกับความคิด มีบทบาทสำคัญในการควบคุมความรู้ความเข้าใจ ซึ่งสัมพันธ์กับการจดจำขณะคิด (Working Memory) เช่น การทดเลขในใจ การวางแผน การตัดสินใจต่าง ๆ รวมไปถึงความยืดหยุ่นทางปัญญา Anterior Cingulate Cortex (ACC) เป็นสมองส่วนที่อยู่ลึกลงไปในส่วนสมองกลีบหน้าผาก ส่วนนี้สัมพันธ์กับการควบคุมอารมณ์ และแรงผลักดันต่าง ๆ ช่วยในการตัดสินใจ Inferior Frontal Gyrus (IFG) รอยนูนสมองกลีบหน้าด้านล่าง มีหน้าที่เกี่ยวกับการคำนวณโดยแม่นยำ Superior Parietal Lobule (สมองกลีบข้างย้อยด้านบน) ทำหน้าที่สำคัญในการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลความรู้สึกทั้งหลาย และหน้าที่ในการควบคุมวัตถุ ส่วนของสมองกลีบข้างนี้ยังเกี่ยวข้องกับการประมวลภาพและมิติสัมพันธ์ (Visuospatial Processing) สมองกลีบอินซูลา (Insular Lobe) เป็นส่วนของเปลือกสมองที่อยู่ระหว่างสมองกลีบข้างถูกปกคลุมด้วยสมองกลีบขมับ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรู้รสเล็ก ๆ น้อย ๆ แต่หน้าที่หลักยังไม่ชัดเจน (Schott, 2019) การประยุกต์ใช้ปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition) เป็นทฤษฎีที่ทำการฝึกฝนการเคลื่อนไหวร่างกายที่เป็นรูปแบบชัดเจน เพื่อให้เด็กได้รับการส่งเสริมให้เกิดสมรรถนะเชิงตัวเลขขั้นพื้นฐาน (เช่น ความเข้าใจขนาด และการเพิ่มประสิทธิภาพ) (Dackermann et al., 2017, pp. 545-557) การ

กำหนดการฝึกปัญญาสมานกายจึงเป็นการฝึกที่มีประสบการณ์แนวคิดเชิงตัวเลขพื้นฐานที่เฉพาะเจาะจง (เช่น ขนาดของตัวเลข) ที่สำคัญที่สุดคือ การวางตำแหน่งการเคลื่อนไหวของร่างกายควรตรงกับเนื้อหาที่ได้รับการฝึก โดยลำดับโครงสร้างทางความรู้ทางคณิตศาสตร์พิจารณาสร้างขึ้นจากสมรรถนะเชิงตัวเลขขั้นพื้นฐานและการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน (Butterworth, 2005a, pp. 3-18; Jordan, Kaplan, Ramineni, & Locuniak, 2009, p. 850) การออกแบบโปรแกรมปัญญาสมานกายจึงเป็นไปตามการกำหนดเป้าหมายการเคลื่อนที่โดยการฝึกปฏิบัติตามทิศทางการเคลื่อนไหวที่สัมพันธ์กับจิตใจ เพื่อมุ่งเป้าไปที่การฝึกตัวเลขพื้นฐานสำหรับเด็กผสมผสานสมรรถนะการเคลื่อนไหวทั้งร่างกาย (Dackermann et al., 2017, pp. 545-557) การศึกษาทักษะทางด้านความจำขณะคิด (Working Memory) ในเด็กที่เสี่ยงต่อความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ พบว่าเด็กที่มีทักษะทางด้านความจำขณะคิดดี จะมีประสิทธิภาพทางการคิดคำนวณสูงกว่าเด็กที่มีทักษะทางด้านความจำขณะคิดต่ำ (Swanson, 2006, p. 265) ดังนั้นจึงเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการความเข้าใจทางภาษา การคิด การอ่าน การเรียน การใช้เหตุผล และการการคิดคำนวณต้องใช้ความจำขณะคิด เพราะช่วยในแก้ปัญหา เพื่อนำมาแปลผลและปฏิบัติการต่อ ใช้ประมวลผลกิจกรรมที่ต้องใช้ทักษะซับซ้อน เชื่อมโยงแนวคิดใหม่เข้ากับแนวคิดเดิม (Montoya et al., 2019, pp. 187-200) รูปแบบการทดสอบในปัจจุบันได้รับอิทธิพลมาจากวิธีดำเนินการวิจัย การทดลองทางจิตวิทยาที่เน้นความแม่นยำในการตอบสนอง และเวลาตอบสนองจึงได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ (Maris & van der Maas, 2012, p. 615) เพราะนอกเหนือจากผลคะแนนความถูกต้อง (Response Accuracy) จากการทดสอบจะมีส่วนสำคัญในการทดสอบแล้ว เวลาตอบสนอง (Response Time) ที่ใช้ในการทดสอบยังเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญที่สามารถบอกถึงข้อมูลทางพัฒนาการตามรายการที่กำหนดของผู้เข้ารับการทดสอบ ข้อมูลของส่วนนี้อาจมีส่วนช่วยในการปรับปรุงกิจกรรมการทดลอง ซึ่งลักษณะสำคัญของกระบวนการมีดังนี้ (1) การใช้แบบทดสอบที่เป็นมาตรฐาน (2) การเปรียบเทียบความเร็วของอาสาสมัครในการทดสอบด้วยเวลาตอบสนอง และ (3) จัดการทดลองโดยกำหนดเงื่อนไขเพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับกระบวนการทางจิตวิทยาพื้นฐาน ซึ่งการสังเกตสมมติฐานแต่ละข้อ ควรมีการผสมผสานระหว่างความเร็วและความแม่นยำที่สังเกตได้ว่าความเร็วมักถูกนำเสนอเป็นตัวแปรอิสระ (Van der Linden, 2007, p. 287) วิธีการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย

1.1 สังเคราะห์ประเด็นสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ออกแบบพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้เพิ่มความเข้าใจในการเรียนรู้คณิตศาสตร์สำหรับเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยทฤษฎีหลักดังนี้ แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ของเด็กปฐมวัย ความบกพร่องในการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์

ทฤษฎีทางปัญญาด้านคณิตศาสตร์ (Numerical Cognition) โมเดลระบบสัญลักษณ์ทั้งสาม (Triple Code Model) และทฤษฎีปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition)

1.2 ออกแบบโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย

หลังจากสังเคราะห์ประเด็นสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ออกแบบพัฒนาโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายเพื่อใช้เพิ่มความเข้าใจในการเรียนรู้คณิตศาสตร์สำหรับเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์โดยกำหนด ท้าทาง เวลาของรูปแบบกิจกรรมตามโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย ตามพัฒนาการทางการเรียนรู้ของเด็กปฐมวัยและสอดคล้องกับกระบวนการทางปัญญาพื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ จำนวน 4 กิจกรรม

1.3 ตรวจสอบคุณภาพของโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ

นำโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย ที่พัฒนาขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบจำนวน 5 คน โดยเป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์การสอน 10 ปี ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านกระบวนการทางปัญญา การศึกษาพิเศษ และการศึกษาปฐมวัย เพื่อประเมินความเหมาะสมในประเด็นหลัก ได้แก่ ความเหมาะสมของเนื้อหา รูปแบบกิจกรรม และความชัดเจนของคู่มือคำนวณค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) เพื่อพิจารณาความเหมาะสมจากจำนวนผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ความเหมาะสมแต่ละข้อของกิจกรรมที่ผ่านเกณฑ์ต้องมีค่า I-CVI เท่ากับ 1.00 (Lynn, 1986, pp. 382-385) จากนั้นจึงปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และค่า S-CVI/Ave ได้ควรมีค่าตั้งแต่ 0.9 ขึ้นไป (Polit & Beck, 2006, pp. 489-497)

ตอนที่ 2 การศึกษานำร่องโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย

ผู้วิจัยนำโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายและคู่มือการใช้งานโปรแกรมที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ไปทำการศึกษานำร่องทดลองใช้กับเด็กที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง

2.1 กลุ่มตัวอย่าง คือ เด็กที่กำลังศึกษาในระดับชั้นอนุบาล 3 มีอายุระหว่าง 5-6 ปี จากโรงเรียนในอำเภอสอยดาว สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาจันทบุรี เขต 2 ที่เป็นกลุ่มเสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ มีระดับเซาว์ปัญญาอยู่ในระดับ 90-110 (ปานกลาง หรือระดับปกติ) การได้ยินและการมองเห็นไม่ส่งผลกระทบต่อการทดลอง มีร่างกายเป็นปกติไม่มีความพิการที่ส่งผลกระทบต่อการทดลอง และผู้ปกครองยินดีให้เข้าร่วมการวิจัย จำนวน 20 คน

2.2 ระยะเวลาในการศึกษานำร่อง ศึกษานำร่องใช้เวลา จำนวน 10 วัน โดยทดลองใช้โปรแกรมจำนวน 5 วัน พัก 2 วัน และทดลองใช้โปรแกรมอีก 5 วัน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงของโปรแกรม

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.3.1 เครื่องมือที่ใช้คัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ประกอบด้วย 1) แบบประเมินความเสี่ยงความบกพร่องในการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ The Number Sets Test (NST) 2) แบบประเมินการตรวจระดับการเห็นในเด็กนักเรียนอนุบาล (Lea Chart) ของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) 3) แบบวัดตาบอดสี (H-R-R Test) 4) แบบคัดกรองเน้นกระบวนการทางปัญญาในเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ แบ่งเป็น 6 ฉบับ คือ โดยแบ่งออกเป็น แบบคัดกรองระบบตัวเลขโดยตรง ประกอบด้วยแบบคัดกรองที่ 1-3 และ แบบคัดกรองประเมินระบบช่วยเหลือ ประกอบด้วย แบบคัดกรองที่ 4-6 5) แบบประเมินพัฒนาการเด็กปฐมวัยตามหลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 6) แบบทดสอบระดับเชาว์ปัญญาชนิดไม่ใช้ภาษา (PTONI) 7) แบบสอบถามเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม **2.3.2**

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นกิจกรรมโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์ โดยแบ่งออกเป็นกิจกรรมเสริมในกลุ่มกิจกรรมเกมการศึกษา จากกิจกรรมหลัก 4 กิจกรรมที่ใช้จัดการเรียนรู้ในแผนการจัดประสบการณ์ ประกอบด้วย กิจกรรมที่ 1 เลขบรรทัดวัดทักษะคณิต (Jump the Number Line: A number Recognition Activity) เป็นกิจกรรมที่ใช้เพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ โดยสอดคล้องกับระดับกระบวนการทางปัญญา ด้านโมเดลความบกพร่องแกนด้านจำนวน (Numerical Core Deficit Model) กิจกรรมที่ 2 เดินคิดคณิตศาสตร์ (Take a Walk to be Better at Math) เป็นกิจกรรมที่ใช้เพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ โดยสอดคล้องกับระดับกระบวนการทางปัญญา ด้านโมเดลความบกพร่องแบบเฉพาะเจาะจงด้านจำนวน (Numerical Domain-Specific Deficit Model) กิจกรรมที่ 3 คณิตคิดจำแนก (Classify of Geometric Shapes) และกิจกรรมที่ 4 แตกต่างหรือเหมือนกัน (How is It Different or Identical?) เพื่อใช้เพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ โดยสอดคล้องกับระดับกระบวนการทางปัญญา ด้านโมเดลความบกพร่องแบบทั่วไป (Domain General Deficit Model)

2.3.3 เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปรตาม

2.3.3.1 แบบทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น (The Test of Early Mathematics Ability, Third Edition: TEMA-3) เป็นแบบทดสอบมาตรฐานรายบุคคลสำหรับการปฏิบัติงานทางคณิตศาสตร์ โดยมีบรรทัดฐานสำหรับเด็กที่มีปัญหาการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ อายุระหว่าง 3 - 8 ปี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเที่ยง (Reliability Coefficient) เท่ากับ 0.94 (Ginsburg & Baroody, 2003)

2.3.3.2 ชุดทดสอบความจำขณะคิดด้วยโปรแกรม The Psychology Experiment Building Language (PEBL) Version 2.1 โดยใช้แบบทดสอบย่อยทดสอบด้านตัวเลขแบบย้อนกลับ

(Backward Digit Span Task) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเที่ยง (Reliability Coefficient) เท่ากับ 0.91 (Mueller, 2014) และทดสอบด้านมิติสัมพันธ์แบบย้อนกลับ (Backward Corsi Block Task)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ ดังนี้ การหาค่าเฉลี่ย(Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) สถิติทดสอบค่า t-test แบบไม่อิสระ(Dependent Samples t-test) เป็นสถิติทดสอบค่า t-test แบบ Paired Samples t-test กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขนาดอิทธิพล (Effect Size) คำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษา

ตอนที่ 1 ผลการประเมินโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย

ผลการประเมินโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายหลังจากได้ทำการปรับปรุงแล้ว ได้นำเสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบจำนวน 5 คน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของโปรแกรมในประเด็นหลัก ได้แก่ ความเหมาะสมของเนื้อหา รูปแบบกิจกรรม และความสอดคล้องด้านกระบวนการทางปัญญา โดยการคำนวณดัชนีความตรงตาม (Content Validity Index: CVI) เพื่อพิจารณาความเหมาะสม จากนั้นปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ผลการตรวจสอบ พบว่า ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือ ดังนี้ กิจกรรมที่ 1 กิจกรรมเลขบรรทัดวัดทักษะคณิต มีค่าเฉลี่ย I-CVI = .96 กิจกรรมที่ 2 กิจกรรมเดินคิดคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ย I-CVI = .97 กิจกรรมที่ 3 กิจกรรมคณิตคิดจำแนก มีค่าเฉลี่ย I-CVI = .98 กิจกรรมที่ 4 กิจกรรมแตกต่างหรือเหมือนกัน มีค่าเฉลี่ย I-CVI = .98 และค่าเฉลี่ยของดัชนีวัดความสอดคล้อง S-CVI/Ave = .97 จากนั้นได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขรายการที่ได้ค่า I-CVI น้อยกว่าเกณฑ์ ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ และส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอีกครั้ง

ตอนที่ 2 ผลการศึกษานำร่องโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย

การศึกษานำร่อง (Pilot Study) โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย นำมาทดสอบทางสถิติเพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้โปรแกรมเพื่อเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น ดังตารางที่ 1 การใช้โปรแกรมเพื่อเพิ่มความจำขณะคิด ดังตารางที่ 2 และ ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนทั้งหมด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการศึกษานำร่องโปรแกรมเพื่อเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น ($n=20$)

ระยะ	ความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น				
	คะแนน ดิบ	เปอร์เซ็นต์ ไทล์	คะแนน ความสามารถ ทางคณิตศาสตร์	เวลา รวม (วินาที)	เวลา/ข้อ (วินาที)
ก่อนใช้โปรแกรม	15.60	3	73	380	24
หลังใช้โปรแกรม	18.85	9	80	412	22
ผลต่าง	3.25	6	7	32	-2

จากตารางที่ 1 พบว่า หลังการใช้โปรแกรม มีผลคะแนนการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นถูกต้อง เพิ่มขึ้น 3.25 คะแนน มีความสามารถทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น 7 คะแนน และใช้เวลาเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบรายข้อลดลง 2 วินาที

จากผลการศึกษานำร่อง สรุปได้ว่า หลังการใช้โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นและความจำขณะคิดของเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ ค่าคะแนนความถูกต้องและเวลาตอบสนองของการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ หลังการทดลองใช้โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง มีค่าคะแนนความถูกต้องมากกว่าก่อนการใช้โปรแกรม และใช้เวลาตอบสนองการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์น้อยกว่าก่อนการใช้โปรแกรม

ตารางที่ 2 ผลการศึกษานำร่องโปรแกรมเพื่อเพิ่มความจำขณะคิด ($n=20$)

ระยะ	ความจำขณะคิด					
	ด้านมิติสัมพันธ์ (Corsi)			ด้านตัวเลข (Dspan)		
	คะแนน ความถูกต้อง	เวลา ตอบสนอง (วินาที)	เวลาตอบ สนอง/ข้อ (วินาที)	คะแนน ความถูกต้อง	เวลา ตอบ สนอง (วินาที)	เวลาตอบ สนอง/ข้อ (วินาที)
ก่อนใช้โปรแกรม	4.90	50.78	10.16	0.20	138.96	39.59
หลังใช้โปรแกรม	7.20	68.95	9.85	0.40	98.97	27.79
ผลต่าง	2.30	18.17	-0.31	0.20	-39.99	-11.80

จากตารางที่ 2 พบว่าหลังการใช้โปรแกรม มีผลการทดสอบความจำขณะคิด ด้านมิติสัมพันธ์ (Corsi) คะแนนความถูกต้อง เพิ่มขึ้น 2.30 คะแนน และใช้เวลาเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบรายข้อลดลง 0.31 วินาที ด้านตัวเลข (Dspan) คะแนนความถูกต้อง เพิ่มขึ้น 0.20 คะแนน และใช้เวลาเฉลี่ยในการทำแบบทดสอบรายข้อลดลง 11.80 วินาที

จากผลการศึกษานำร่อง สรุปได้ว่า หลังการใช้โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นและความจำขณะคิดของเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ ค่าคะแนนความถูกต้องและเวลาตอบสนองของการทดสอบความจำขณะคิด หลังการทดลองใช้โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง มีค่าคะแนนความถูกต้องมากกว่าก่อนการใช้โปรแกรม และใช้เวลาตอบสนองการทดสอบความจำขณะคติน้อยกว่าก่อนการใช้โปรแกรม

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนจากการศึกษานำร่องความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นและความจำขณะคิด ($n=20$)

การทดสอบ		ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยง เบนมาตรฐาน (SD)	ความคลาด เคลื่อน (SE)	t	p	ขนาด อิทธิพล (Effect Size)
ความสามารถทาง คณิตศาสตร์ขั้นต้น	ก่อน	15.60	1.67	.37	12.03**	<.01	2.68
	หลัง	18.85	2.64	.59			
ความจำขณะคิด ด้านมิติสัมพันธ์ (Corsi)	ก่อน	4.90	1.62	.36	12.84**	<.01	2.87
	หลัง	7.20	1.20	.27			
ความจำขณะคิด ด้านตัวเลข (Dspan)	ก่อน	0.20	0.41	.09	2.18*	<.05	0.49
	หลัง	0.40	0.68	.15			

หมายเหตุ * $p < .05$; ** $p < .01$

จากตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นและความจำขณะคิดของเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ พบว่า เด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นหลังการใช้

โปรแกรมสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรม อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง Cohen's d อยู่ในระดับมาก (ขนาดอิทธิพล = 2.68)

เด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนความจำขณะคิด ด้านมิติสัมพันธ์ (Corsi) หลังการใช้โปรแกรมสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรม อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง Cohen's d อยู่ในระดับมาก (ขนาดอิทธิพล = 2.87)

เด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนความจำขณะคิด ด้านตัวเลข (Dspan) หลังการใช้โปรแกรมสูงกว่าก่อนการใช้โปรแกรม อย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีขนาดอิทธิพลของความแตกต่าง Cohen's d อยู่ในระดับปานกลาง (ขนาดอิทธิพล = 0.49)

จากผลของการพัฒนาโปรแกรม พบว่า โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น และความจำขณะคิด สำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ได้

อภิปรายผล

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ ส่งผลต่อเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น และความจำขณะคิดของเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ส่งผลต่อเพิ่มความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้นและความจำขณะคิดของเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ มีวิจัยระบุถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบจำนวนเชิงประมาณการ เป็นระบบที่สนับสนุนการประมาณค่าขนาดของวัตถุเป็นกลุ่มและคณิตศาสตร์ ดังนั้นแนวทางการวิจัยที่ทดสอบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างกันจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเหตุนี้การศึกษาก่อนหน้านี้ได้แสดงให้เห็นว่าการฝึกฝนซ้ำ ๆ เกี่ยวกับการคำนวณโดยประมาณซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการรับรู้จำนวนช่วยเพิ่มทักษะการคิดเลขในใจในผู้ใหญ่ (Park & Brannon, 2014, p. 188) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการฝึกฝนซ้ำ ๆ ในการจัดการกับสัญลักษณ์จำนวนที่ไม่ใช่ภาษาทำให้เด็กมีความสามารถทางคณิตศาสตร์ในเด็กก่อนวัยเรียนเพิ่มขึ้น ด้วยการวัดความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น (TEMA-3) และการวัดแบบไม่เป็นทางการของเด็กเล็กรวมถึงการเรียนรู้เกี่ยวกับจำนวน การแจกแจงนับและการนับ การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าผลของการฝึกเลขคณิตโดยการประมาณ สามารถเพิ่มทางความรู้ความเข้าใจระหว่างการจัดการปริมาณแบบอวัจนภาษากับการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยทั่วไป (Park, Bermudez, Roberts, & Brannon, 2016, p. 290) มีการใช้ TEMA-3 เป็นแบบทดสอบก่อนและหลังการทดลองในเด็กปกติ โดย McCarthy, Tiu, & Li (2018, pp.) ได้ศึกษาการใช้สื่อมัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้ในห้องเรียน ที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนด้านการเรียนรู้คณิตศาสตร์ขั้นต้น การศึกษาได้รับการออกแบบการเรียนรู้โดยใช้สื่อมัลติมีเดียในเด็กปฐมวัย ใช้เวลา 4 สัปดาห์ โดยที่นักเรียน

โต้ตอบกับเกมการเรียนรู้ดิจิทัล 16 เกมที่มีตัวละครแอนิเมชันยอดนิยม โดยผลการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ขั้นต้น พบว่า ความรู้คณิตศาสตร์ของเด็กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยวัดจากรายการ TEMA-3 ผลคะแนนการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ ก่อนการทดลอง 21.04 คะแนน และผลคะแนนการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์หลังการทดลอง เท่ากับ 23.75 Bernabini, Bonifacci and de Jong (2021) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของความสามารถในการอ่านกับทักษะความรู้ความเข้าใจพื้นฐานของคณิตศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างได้รับการทดสอบการอ่านและคณิตศาสตร์ ทดสอบระดับเชาว์ปัญญาแบบไม่ใช้ภาษา และทดสอบความสามารถทางปัญญาพื้นฐานต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ (การนับ การรับรู้ตัวเลข และความรู้เกี่ยวกับระบบตัวเลข) นอกจากนี้ยังทดสอบความจำขณะคิด (Working Memory) การศึกษานี้ความสามารถทางปัญญา (Cognitive Abilities) ถูกนำมาใช้ในการทำนายความสามารถทางคณิตศาสตร์และการอ่าน ผลแสดงให้เห็นบทบาทหลักขององค์ประกอบความจำขณะคิด ด้านมิติสัมพันธ์ (Visuo-Spatial) ซึ่งความจำขณะคิดเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน เช่น การแก้ปัญห และการคำนวณ ซึ่งในเรื่องความสัมพันธ์ของคะแนนเชาว์ปัญญา (Intelligence) ที่เกี่ยวกับทฤษฎีปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition) และความจำขณะคิด (Working Memory) นั้น Klupp, Möhring, Lemola and Grob (2021, pp.1-9) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก (Fine Motor Skills) ซึ่งเป็นทักษะการใช้มือ นิ้ว และข้อมือในการทำกิจกรรมต่าง ๆ กับคะแนนเชาว์ปัญญา (Intelligence) ในเด็กปกติและเด็กสมาธิสั้น (ADHD) โดยตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับทฤษฎีปัญญาสมานกาย (Embodied Cognition) ที่เชื่อมโยงระหว่างพัฒนาการทางการเคลื่อนไหวและการเรียนรู้ โดยตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก และคะแนนเชาว์ปัญญา ในเด็กที่มีพัฒนาการปกติ จำนวน 139 คน อายุระหว่าง 7-13 ปี กับเด็กในวัยเดียวกันที่มีภาวะสมาธิสั้น จำนวน 46 คน มีวิธีการ ดังนี้ ประเมินทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก ด้วยแบบทดสอบประเมินการเคลื่อนไหวมาตรฐานสำหรับเด็ก ประเมินคะแนนเชาว์ปัญญา ด้วยแบบทดสอบคะแนนเชาว์ปัญญาตามมาตรฐานสำหรับเด็ก (Wechsler Intelligence) ข้อสรุปของผลการวิจัย พบว่า กล้ามเนื้อมัดเล็ก คะแนนเชาว์ปัญญา กับการให้เหตุผลทางการเรียนรู้ (Perceptual Reasoning) และความเข้าใจภาษาในเด็กที่มีภาวะสมาธิสั้น มีความสัมพันธ์กันสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเด็กที่มีพัฒนาการปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการให้เหตุผลในการเรียนรู้ (Perceptual Reasoning) ความเร็วในการประมวลผล (Processing Speed) และความจำขณะคิด (Working Memory) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในขณะที่ทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก และความเข้าใจทางภาษา (Verbal Comprehension) ไม่สัมพันธ์กัน สรุปได้ว่าทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก ยังคงเป็นตัวบ่งชี้ทักษะการเรียนรู้ ตั้งแต่วัยเด็กจนถึงวัยรุ่นตอนต้น นอกจากนี้ การศึกษาในปัจจุบันยังเน้นให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กและความฉลาดในเด็กที่มีภาวะสมาธิสั้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับมุมมองของทฤษฎีปัญญา

สมานกาย ช่วยสนับสนุนเรื่องการนำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีปัญญาสมานกายไปใช้ในการรักษาเด็กที่มีภาวะสมาธิสั้น

จากการศึกษาการเชื่อมโยงทางปัญญาระหว่างการเคลื่อนที่กับสภาพแวดล้อม การพัฒนาส่วนนี้เป็นเรื่องที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันมากกว่าที่จะเป็นปัจจัยกำหนดทางเดียว ด้วยเหตุนี้ปัญญาสมานกายจึงเป็นเรื่องของสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางปัญญาที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ได้ทำการปรับปรุงแล้ว หลังจากนำเสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ จำนวน 5 คน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของโปรแกรมในประเด็นหลัก ได้แก่ ความเหมาะสมของเนื้อหา รูปแบบกิจกรรม และความสอดคล้องด้านกระบวนการทางปัญญา โดยการคำนวณดัชนีความตรงตาม (CVI-Content Validity Index) เพื่อพิจารณาความเหมาะสม จากนั้นจึงปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และนำโปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกาย และคู่มือการใช้งานโปรแกรมที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไข ไปทำการศึกษานำร่องทดลองใช้กับเด็ก ที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง ได้การดำเนินการแก้ไขหลังการใช้โปรแกรม โดยค่าคะแนนความถูกต้องและเวลาตอบสนองของการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์ หลังการทดลองใช้โปรแกรมส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายสำหรับเด็กปฐมวัยที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ของกลุ่มทดลอง มีค่าคะแนนความถูกต้องมากกว่าก่อนการใช้โปรแกรม และใช้เวลาตอบสนองการทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์น้อยกว่าก่อนการใช้โปรแกรม โดยกิจกรรมที่ใช้จัดการเรียนรู้กิจกรรมที่ 1 เลขบรรทัดวัดทักษะคณิต (Jump the Number Line: A Number Recognition Activity) เป็นเรื่องของเส้นจำนวนเป็นการฝึกเรื่องของการประมาณตามระบบจำนวนเชิงประมาณการ (Approximate Number System) เพื่อพิสูจน์ว่าการเคลื่อนไหวร่างกายจะเพิ่มผลของการฝึกเรื่องของการประมาณ สอดคล้องกับการศึกษาของ Link (2013) ศึกษาเรื่องของเส้นจำนวน ได้ช่วยยืนยันประสิทธิภาพของการฝึกระบบจำนวนเชิงประมาณการโดยเพิ่มการกระตุ้นด้วยเส้นจำนวนในใจ เห็นได้ชัดว่าประโยชน์ของการเคลื่อนไหวทางร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าจำนวนอย่างต่อเนื่องเชื่อมโยงกับการคิดเลขในใจ เช่น การเดินในระยะทางที่น้อยหรือมากตามเส้นจำนวนขึ้นอยู่กับกลุ่มขนาดจำนวน นอกจากนี้ จำเป็นต้องมีวิธีการเสริมเรื่องของจำนวนในรูปแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการส่วนบุคคลของเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีปัญหาเรื่องของจำนวนหรือเลขคณิตพื้นฐานโดยเฉพาะ ถือว่าการส่งเสริมพัฒนาการทางตัวเลขร่วมกับปัญญาสมานกายเป็นความเป็นไปได้รูปแบบใหม่ในการฝึกเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางคณิตศาสตร์ องค์ประกอบ การฝึกด้านปัญญาสมานกาย สามารถใช้ได้กับเด็กที่มีความสามารถเรียนรู้ช้า (ซึ่งวัดจากความสามารถทั่วไปและความจำขณะคิด) และการฝึกด้านปัญญาสมานกายอาจเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับเด็กที่มีความสามารถด้าน

จำนวนต่ำกว่า (รวมถึงความผิดปกติของพัฒนาการ) (Link, 2013, pp. 82-83) กิจกรรมที่ใช้จัดการเรียนรู้ กิจกรรมที่ 2 เดินคิดคณิตศาสตร์ (Take a Walk to be Better at Math) เกี่ยวข้องกับอิทธิพลระหว่างแนวคิด และรูปแบบการเคลื่อนไหวที่มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหว ทางซ้ายกับตัวเลขที่น้อยกว่า และการเคลื่อนไหวทางด้านขวาด้วยตัวเลขที่มากกว่า สอดคล้องกับการศึกษา ของ Dackermann (2017) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับปัญญาสมานกาย: การฝึกที่เป็นประโยชน์ ทั้งพื้นฐานทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ โดยการออกแบบการฝึกอบรมปัญญาสมานกาย เป็นไปตามวิธีการการ คำนวณในใจ (เช่นการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายสำหรับตัวเลขที่ลดลง การเคลื่อนที่ไปทางขวาจะได้ตัวเลขที่เพิ่มขึ้น) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อฝึกความสามารถพื้นฐานทางด้านการคำนวณของเด็กผสมการเคลื่อนไหวทางกายซึ่งปรับ ให้เข้ากับวัยของเด็กและพัฒนาจากรูปแบบง่าย ๆ เช่นการเปรียบเทียบ และการประมาณเส้นจำนวน ไปสู่ รูปแบบโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น และระยะห่างของจำนวนที่เท่ากัน ผลการศึกษาการฝึกใช้เป็นตัววัดผลใน การศึกษาครั้งนี้ คือ การประมาณเส้นจำนวน การศึกษาที่ 1 การเคลื่อนไหวตามหมวดหมู่บนแผ่นดัชนี เราได้ พัฒนาและประเมินการฝึกปัญญาสมานกายโดยการเปรียบเทียบขนาดของตัวเลขกับการตอบสนองของร่างกาย ทั้งหมดบนแผ่นดัชนีรายดิจิทัล ผลการศึกษาแสดงประโยชน์ของการฝึกที่เด็กมีพัฒนาการด้านการประมาณเส้น จำนวนได้ดีขึ้นหลังจากการฝึกโดยรวมเมื่อเทียบกับการฝึกควบคุม การศึกษาที่ 2 การเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง ตามเส้นจำนวน ซึ่งเด็กได้รับการฝึกเกี่ยวกับการประมาณเส้นจำนวนที่ต้องมีการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องตาม เส้นจำนวน การฝึกนำไปสู่ผลพัฒนาการการประมาณเส้นจำนวน และยังมีประสิทธิภาพการเพิ่มตัวเลขหลัก เดียว การศึกษาที่ 3: การเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องตามเส้นจำนวนโดยใช้สื่อในห้องเรียน ฝึกโดยใช้สื่อที่สามารถ พบได้ในห้องเรียน เช่น กระดานไวท์บอร์ด โดยฝึกการประมาณเส้นจำนวนด้วยเส้นจำนวนที่สั้นกว่า เดินไป ตามกระดานเพื่อหาค่าประมาณบนเส้นหมายเลข 0-100 โดยให้เนื้อหาที่เป็นตัวเลขเดียวกันบนแท็บเล็ตพีซี ซึ่ง เมื่อเปรียบเทียบเด็กสามกลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วยเงื่อนไขทั้งสาม แล้วพบว่าการประมาณเส้นจำนวนที่ดีขึ้นอย่าง เห็นได้ชัดที่สุดหลังจากการฝึกอบรมเป็นตัวเป็นตน เด็กที่ได้รับการฝึกบนกระดานไวท์บอร์ดมีสมาธิในการ แก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน กิจกรรมที่ใช้จัดการเรียนรู้กิจกรรมที่ 3 คณิตคิดจำแนก (Classify of Geometric Shapes) และกิจกรรมที่ 4 แตกต่างหรือเหมือนกัน (How is It Different or Identical?) เกี่ยวข้องกับการตอบสนองตัวเลขที่เป็นสัญลักษณ์ ข้อมูลเกี่ยวกับหน่วย ความจำขณะคิด (Working Memory) รูปแบบสิ่งประดิษฐ์ที่นักเรียนสามารถโต้ตอบเพื่อการเรียนรู้ ซึ่งวัตถุเหล่านี้อาจเป็นรูปธรรมหรือดิจิทัลก็ได้ ทราบว่าที่นักเรียนสามารถเลื่อนพลิกและเปลี่ยนรูปแบบได้ราวกับว่าเป็นวัตถุสามมิติจริง งานวิจัยล่าสุด เกี่ยวกับปัญญาสมานกายได้พิสูจน์ข้อสันนิษฐานของความเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างรูปแบบการเคลื่อนไหวที่ ส่งผลโดยตรงต่อการรับรู้และการควบคุม (Barsalou, 2008) สมมติฐานเชิงทฤษฎีหลายประการให้ข้อมูลเชิง ลึกกว่าการจัดการเรียนรู้สนับสนุนการพัฒนาความคิดเชิงเหตุผลของเด็กที่อายุน้อย ซึ่งต้องพึ่งพาการมี ปฏิสัมพันธ์ทางร่างกายกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถด้านการให้เหตุผล กระบวนการระหว่าง

การสร้างความรู้เมื่อเทียบกับการได้รับความรู้นั้นสอดคล้องกับวิธีที่ใช้ทดสอบสมมติฐานในระหว่างการทดสอบมากขึ้น และการติดตามวิธีการคิดคำนวณจากการสังเกตระหว่างกระบวนการปฏิบัติยังช่วยให้สามารถตอบคำถามการประเมินรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินการเรียนรู้ (Tran, Smith, & Buschkuehl, 2017) การเคลื่อนไหวทางกายสามารถเพิ่มการเรียนรู้และความจำขณะคิด ซึ่งการศึกษาในปัจจุบันศึกษาว่าผลกระทบนี้ลดลงตามช่วงวัยหรือไม่ ในการศึกษาที่ 1 ช่วง อายุ 7-9 ปีทำภารกิจ 2 ด้าน ตามเงื่อนไขรูปแบบของทฤษฎีปัญญาสมานกาย เด็กอายุเจ็ดขวบมีความจำขณะคิดเพิ่มมากกว่าเด็กอายุ 9 ขวบ และส่งผลต่อเด็กผู้ชายมากกว่าเด็กผู้หญิง การศึกษา 2 ไม่พบว่าสิ่งนี้บ่งชี้ว่าช่วยเพิ่มการเรียนรู้และความจำขณะคิดในวัยผู้ใหญ่ ซึ่งการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการเคลื่อนไหวทางกายช่วยเพิ่มความจำขณะคิดอย่างมีประสิทธิภาพในกลุ่มที่อายุน้อยที่สุด (อายุ 7 ปี) แต่ไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยความจำขณะคิดในเด็กโตหรือผู้ใหญ่ (Schaefer, 2019, pp. 233-244)

เอกสารอ้างอิง

- Barsalou, L. W. (2008). *Grounded cognition*. *Annu Rev Psychol*, 59, 617-645. DOI: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Barsalou, L. W. (2010). *Grounded Cognition: Past, Present, and Future*. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 716-724. doi:10.1111/j.1756-8765.2010.01115.x
- Bernabini, L., Bonifacci, P., & de Jong, P. F. (2021). *The Relationship of Reading Abilities With the Underlying Cognitive Skills of Math: A Dimensional Approach*. *Frontiers in Psychology*, 12(287), 1-12. DOI:10.3389/fpsyg.2021.577488
- Butterworth, B. (2005a). *The development of arithmetical abilities*. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18.
- Bynner, J., & Parsons, S. (1997). *Does Numeracy Matter? Evidence from the National Child Development Study on the Impact of Poor Numeracy on Adult Life*: ERIC.
- Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., & Pelphrey, K. A. (2006). *Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children*. *PLoS biology*, 4(5), e125.

- Dackermann, T., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U., & Moeller, K. (2017). *Applying embodied cognition: from useful interventions and their theoretical underpinnings to practical applications*. *Zdm*, 49(4), 545-557. doi:10.1007/s11858-017-0850-z
- Dyson, N. I., Jordan, N. C., & Glutting, J. (2013). *A Number Sense Intervention for Low-Income Kindergartners at Risk for Mathematics Difficulties*. *Journal of Learning Disabilities*, 46(2), 166–181. DOI:10.1177/0022219411410233
- Glenberg, A. M. (2010). *Embodiment as a unifying perspective for psychology*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(4), 586-596.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). *Early math matters: Kindergarten number competence and later mathematics outcomes*. *Developmental psychology*, 45(3), 850.
- Kaufmann, L. (2008). *Dyscalculia: neuroscience and education*. *Educational research; a review for teachers and all concerned with progress in education*, 50(2), 163-175. DOI:10.1080/00131880802082658
- Kaufmann, L., Mazzocco, M. M., Dowker, A., von Aster, M., Gobel, S. M., Grabner, R. H., Nuerk, H. C. (2013). *Dyscalculia from a developmental and differential perspective*. *Frontiers in Psychology*, 4, 516. DOI:10.3389/fpsyg.2013.00516.
- Klupp, S., Möhring, W., Lemola, S., & Grob, A. (2021). **Relations between fine motor skills and intelligence in typically developing children and children with attention deficit hyperactivity disorder**. *Research in Developmental Disabilities*, 110, 1-10. DOI:10.1016/j.ridd.2021.103855
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2006). *Mathematische Vorläuferfertigkeiten im Vorschulalter und ihre Vorhersagekraft für die Mathematikleistungen bis zum Ende der Grundschulzeit*. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 53(4), 246-262.
- Kucian, K., Grond, U., Schönmann, C., Henzi, B., Rotzer, S., Gälli, M., & Aster, M. v. (2010). *Training in children with developmental dyscalculia*. *International Journal of Psychophysiology*, 77(3), p. 228.

- Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., & Nuerk, H.-C. (2013). *Walk the number line – An embodied training of numerical concepts*. **Trends in Neuroscience and Education**, 2(2), 74-84. DOI:[10.1016/j.tine.2013.06.005](https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.005)
- Maris, G., van der Maas, H. (2012). **Speed-Accuracy Response Models: Scoring Rules based on Response Time and Accuracy**. *Psychometrika*, 77, 615–633. DOI:[10.1007/s11336-012-9288-y](https://doi.org/10.1007/s11336-012-9288-y)
- McCarthy, E., Tiu, M., & Li, L. (2018). *Learning Math with Curious George and the Odd Squad: Transmedia in the Classroom*. **Technology, Knowledge and Learning**, 23(2), 223-246. DOI:[10.1007/s10758-018-9361-4](https://doi.org/10.1007/s10758-018-9361-4)
- Montoya, M. F., Susperreguy, M. I., Dinarte, L., Morrison, F. J., San Martín, E., Rojas-Barahona, C. A., & Förster, C. E. (2019). *Executive function in Chilean preschool children: Do short-term memory, working memory, and response inhibition contribute differentially to early academic skills?* **Early Childhood Research Quarterly**, 46, 187-200. DOI:[10.1016/j.ecresq.2018.02.009](https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.02.009)
- Mueller, S. L. , & Piper. B.J. (2014). *The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery*. **Journal of neuroscience methods**, 222, 250-259.
- Newcombe, N. S., Levine, S. C., & Mix, K. S. (2015). *Thinking about quantity: The intertwined development of spatial and numerical cognition*. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Cognitive Science**, 6(6), 491-505.
- Núñez-Peña, M. I., Suárez-Pellicioni, M., & Bono, R. (2013). *Effects of math anxiety on student success in higher education*. **International Journal of Educational Research**, 58, 36-43.
- Organization, W. H. (1994). **Application of the international classification of diseases to dentistry and stomatology**: World Health Organization.
- Park, J., & Brannon, E. M. (2014). *Improving arithmetic performance with number sense training: An investigation of underlying mechanism*. **Cognition**, 133(1), 188-200. DOI:[10.1016/j.cognition.2014.06.011](https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.06.011)
- Park, J., Bermudez, V., Roberts, R. C., & Brannon, E. M. (2016). *Non-symbolic approximate arithmetic training improves math performance in preschoolers*.

Journal of experimental child psychology, 152, 278-293.

DOI:[10.1016/j.jecp.2016.07.011](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.07.011)

Schaefer, S. (2019). *Embodiment Helps Children Solve a Spatial Working Memory Task: Interactions with Age and Gender*. **Journal of Cognitive Enhancement**, 3(2), 233-244. doi:10.1007/s41465-018-0081-4

Schott, N. (2019). *Dual-Task Performance in Developmental Coordination Disorder (DCD): Understanding Trade-offs and Their Implications for Training*. **Current Developmental Disorders Reports**, 6(2), 87-101. DOI:10.1007/s40474-019-00163-z

Siemann, J., & Petermann, F. (2018). *Evaluation of the Triple Code Model of numerical processing-Reviewing past neuroimaging and clinical findings*. **Research in Developmental Disabilities**, 72, 106-117. DOI:10.1016/j.ridd.2017.11.001

Swanson, H. L. (2006). *Cross-sectional and incremental changes in working memory and mathematical problem solving*. **Journal of Educational Psychology**, 98(2), 265.

Tran, C., Smith, B., & Buschkuehl, M. (2017). *Support of mathematical thinking through embodied cognition: Nondigital and digital approaches*. **Cognitive research: principles and implications**, 2(1), 16. DOI:10.1186/s41235-017-0053-8

Van der Linden, W.J. (2007). **A hierarchical framework for modeling speed and accuracy on test items**. *Psychometrika*, 72, 287–308.

Wiest, L. R., Higgins, H. J., & Frost, J. H. (2007). *Quantitative Literacy for Social Justice*. **Equity & Excellence in Education**, 40(1), 47-55.
DOI:10.1080/10665680601079894

Wongupparaj .P. (2017). **A neuropsychological study project and the development of a screening test focusing on cognitive processes in children at risk for learning disabilities in mathematics**. Burapha University. [in Thai]

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2018). **Results of the PISA 2015 assessment of reading science. and mathematics, excellence, and educational equality**. Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), Ministry of Education. [in Thai]

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2021). **Results of the PISA 2018 assessment of reading science. and mathematics, excellence, and educational equality.** Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), Ministry of Education. [in Thai]

พีร วงศ์อุปราช. (2560). รายงานการวิจัยโครงการการศึกษาเชิงจิตประสาทวิทยาและการพัฒนาแบบคัดกรองเน้นกระบวนการทางปัญญาในเด็กที่เสี่ยงต่อภาวะความบกพร่องทางการเรียนรู้ด้านคณิตศาสตร์. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2561). ผลการประเมิน PISA 2015 วิทยาศาสตร์การอ่าน และคณิตศาสตร์ ความเป็นเลิศ และความเท่าเทียมทางการศึกษา. กรุงเทพฯ :สสวท.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2564). ผลการประเมิน PISA 2018 วิทยาศาสตร์การอ่าน และคณิตศาสตร์ ความเป็นเลิศ และความเท่าเทียมทางการศึกษา. กรุงเทพฯ : สสวท.