



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้รูปแบบการลากบนจอสัมผัสในการประเมินความสามารถ
ในการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยว

โดย

นายอาทร นกแก้ว

18 กุมภาพันธ์ 2563

สัญญาเลขที่ TRG5880196

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การใช้รูปแบบการลากบนจอสัมผัสในการประเมินความสามารถ
ในการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยว

นายอาทร นกแก้ว

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้

มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย

สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รูปแบบ Abstract (บทคัดย่อ)

Project Code : TRG5880196

Project Title : การใช้รูปแบบการลากบนจอสัมผัสในการประเมินความสามารถในการให้เหตุผล
แบบการแปรผันร่วมเกี่ยว

Investigator : นายอาทร นกแก้ว

E-mail Address : art.nokkaew@gmail.com

Project Period : 2558 - 2560

Abstract

Recent technological advances allow players' bodies or parts of the body to be immersed in a microworld of a game. It helps embody a concept that scarcely experiences outside an instructional context. In this technological environment, with appropriated design, steered actions can contribute to the development of perceptuomotor schemes, which are a resource for reasoning and formalizing mathematical notions. In this study, a HypSweeper, a tablet compatible game application, was developed as a digital self-learning environment for promoting thinking about trigonometric ratios. One-hundred and thirty-four students were recruited to participate in research and development processes, which included playing the game and completing the worksheets. The responses were analyzed qualitatively to thematize reasoning schemes in playing the game. It revealed three reasoning schemes, including fixing physical elements, fixing relative velocity, and perceiving variable rate of change of the ratios. The players changed their focus from the physical element to a conceptual construct in reasoning through playing the game. The finding gives an insight into the self-development process of the covariational reasoning of trigonometry in the digital environment. This knowledge benefits the design of technological-based learning and assessment.

บทคัดย่อ

การพัฒนาของเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้ร่างกายของเรากลายเป็นส่วนหนึ่งในโลกจำลองของเกมได้ ซึ่งเทคโนโลยีนี้ อาทิเช่น อุปกรณ์สัมผัส สามารถช่วยสร้างประสบการณ์ใหม่ ๆ ที่เราอาจจะไม่สามารถพบเจอได้ปกติในชีวิตประจำวันนอกเหนือบริบทการเรียนรู้ ด้วยความสามารถของเทคโนโลยีดังกล่าวนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างประสบการณ์จากการปฏิสัมพันธ์กับหน้าจอทางการเคลื่อนไหวที่จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาแนวคิดในเชิงนามธรรมทางคณิตศาสตร์ได้ การศึกษานี้ได้พัฒนาเกม Hyp Sweeper สำหรับอุปกรณ์สัมผัส เกมถูกออกแบบมาเพื่อส่งเสริมสภาพแวดล้อมทางการเรียนรู้การให้เหตุผลเกี่ยวกับอัตราส่วนตรีโกณมิติ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 134 คนได้เข้าร่วมการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยการเล่นเกมและการทำใบงาน คำตอบของผู้เข้าร่วมวิจัยถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์แก่นสาระเพื่อหารูปแบบการให้เหตุผล ปรากฏรูปแบบการให้เหตุผลในการเล่นเกมนี้นั้นมี 3 รูปแบบคือ การกำหนดองค์ประกอบทางกายภาพให้คงที่ การกำหนดความเร็วคงที่ และ การตระหนักถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนที่ไม่คงที่ ซึ่งเป็นไปตามลำดับการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวของ Carlson และคณะ (2002) ในการเล่นเกมนักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงจุดที่มีความสำคัญจากองค์ประกอบทางกายภาพมาเป็นแนวคิดนามธรรมทางคณิตศาสตร์ผ่านการสร้างอุปลักษณะเชิงมโนทัศน์ ข้อค้นพบครั้งนี้สนับสนุนผลการวิจัยในอดีตที่ว่าการเล่นแบบไม่เป็นทางการนั้นสามารถนำไปสู่การพัฒนาแนวคิด หรือ ทักษะทางคณิตศาสตร์ได้หากมีการออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เหมาะสม การเรียนรู้ที่เริ่มต้นจากการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวนั้นสามารถนำไปสู่การให้เหตุผลและแนวคิดทางคณิตศาสตร์ได้ ข้อค้นพบนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวแอมบอดีเมนท์ รวมถึงการประเมินการเรียนรู้แบบดิจิทัลแบบทางเลือกอีกด้วย

Keywords: เกมดิจิทัล การให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยว ตรีโกณมิติ สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัล แอมบอดีเมนท์

บทนำ

ในปัจจุบันแท็บเล็ตคอมพิวเตอร์เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยม และมีการใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในชีวิตประจำวันและในการจัดการเรียนการสอน ทั้งนี้เนื่องจากแท็บเล็ตเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพในการประมวลผลสูง ผู้ใช้สามารถปฏิสัมพันธ์กับเครื่องได้อย่างเป็นธรรมชาติด้วยเทคโนโลยีจอสัมผัส อีกทั้งยังสามารถพกพาได้สะดวกและมีราคาไม่แพง จากรายงาน Quarterly Mobile PC Shipment and Forecast Report ของ NPD Display Search ระบุว่าแท็บเล็ตยังคงจะมียอดส่งออกสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น การสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้แท็บเล็ตและรูปแบบการปฏิสัมพันธ์แบบระบบสัมผัสเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้จึงมีความสำคัญเพื่อใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีแท็บเล็ตและอุปกรณ์ระบบสัมผัสอื่น ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนสูงสุด

ระบบจอสัมผัสที่มากับแท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ส่งเสริมให้เกิดสภาพแวดล้อมของการเรียนรู้ใหม่ๆ ที่มีวงจรแบบ perception-cognition-action loop (Likova, 2014) ยกตัวอย่างในวิชาคณิตศาสตร์ Dynamic geometric environment บนจอสัมผัส ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้เกี่ยวกับเรขาคณิตโดยที่นักเรียนสามารถลองผิดลองถูกได้จากการสร้างวัตถุหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุได้โดยการปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับวัตถุนั้นบนจอสัมผัส ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาโปรแกรมที่เป็นลักษณะ dynamic Geometry environment อยู่หลายโปรแกรม เช่น Geogebra, Sketchpad, KSEG, Live Geometry, tabulae เป็นต้น

การเรียนรู้ใน Dynamic geometric environment บนแท็บเล็ตสามารถพัฒนาความสามารถในการโต้แย้งและการให้เหตุผล (Leung 2011) นอกจากนี้เทคโนโลยีระบบสัมผัสยังช่วยสร้างการรับรู้เกี่ยวกับวัตถุทางเรขาคณิต ซึ่งเป็นแนวคิดที่โดยปกติต้องอาศัยการมองเห็นเป็นหลักให้กับผู้ที่พิการทางสายตา (Toennies, Burgner et al. 2011) ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนไหวของมือกับการคิด มีหลักฐานทางประสาทวิทยาที่ใช้เทคนิคทาง Neuroimaging และ fMRI ที่ยืนยันสนับสนุนว่าการเคลื่อนไหวสามารถกระตุ้นสมองในส่วนของการรับรู้ด้วยการมองเห็นแม้ผู้เข้าร่วมวิจัยจะถูกปิดตาหรือเป็นผู้พิการทางสายตา (Likova 2014) ไม่เพียงแต่การเรียนการสอนเกี่ยวกับเรขาคณิตเท่านั้น แท็บเล็ตและเทคโนโลยีการจอสัมผัสยังถูกใช้เพื่อสอนเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องจำนวน (Ladel and Kortenkamp 2011, Ladel and Kortenkamp 2012, Sinclair and Heyd-Metzuyanin 2014)

ไม่เพียงแต่แท็บเล็ตและเทคโนโลยีจอสัมผัสจะสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบใหม่เท่านั้น รูปแบบการปฏิสัมพันธ์ใหม่ ๆ ที่เกิดจากเทคโนโลยีจอสัมผัสยังให้ข้อมูลใหม่ ๆ แก่นักวิจัยในการวิเคราะห์กระบวนการคิดของนักเรียนผ่านรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย (Arzarello 2001, Arzarello, Olivero et al. 2002, Arzarello, Bairral et al. 2014) การวิจัยในการพัฒนารูปแบบการเรียนรู้และการประเมินโดยใช้เทคโนโลยีจอสัมผัสยังมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พฤติกรรมการลากบนจอสัมผัสมาวิเคราะห์ความสามารถในการให้เหตุผลเชิงการแปรผันร่วมเกี่ยว ในการศึกษานี้ผู้วิจัยต้องการสร้างองค์ความรู้ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แท็บเล็ตในชั้นเรียนและเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินผลระหว่างเรียน องค์ความรู้

สามารถนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบการประเมินแบบใหม่ที่เหมาะสมกับการเรียนรู้บน Tablet ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แท็บเล็ต และยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้สร้างเป็นสื่อการเรียนรู้สำหรับ active หรือ flipped classroom การจัดการศึกษาตามอัธยาศัย หรือ สร้างแนวทางการเรียนรู้สำหรับผู้พิการทางการมองเห็นได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้วัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาโปรแกรมส่งเสริมความสามารถของการให้เหตุผลเชิงการแปรผันร่วมเกี่ยวแบบดิจิทัลตามแนวคิดเอมบอดีเมนต์

โดยสามารถแยกออกเป็นวัตถุประสงค์ย่อย ๆ ได้ดังนี้

1. พัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตัวเองแบบดิจิทัลตามแนวคิดเอมบอดีเมนต์
2. สังเคราะห์รูปแบบการให้เหตุผลเชิงการแปรผันร่วมโดยใช้พฤติกรรมการปฏิสัมพันธ์ผ่านหน้าจอสัมผัส

ทบทวนวรรณกรรม

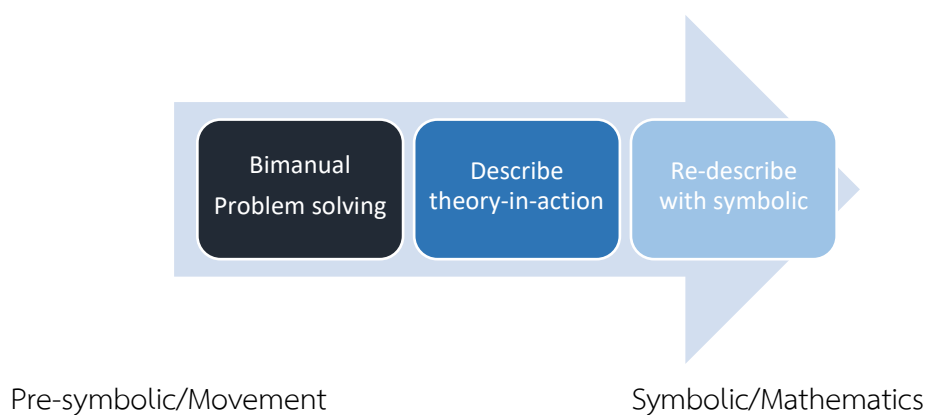
จากทฤษฎีการเรียนรู้ของ Piaget (1964) มนุษย์เริ่มพัฒนาการเรียนรู้โดยอาศัยการเคลื่อนไหวและประสาทสัมผัสเป็นอย่างแรกตั้งแต่ช่วงวัยเด็ก และรูปแบบการเรียนรู้เปลี่ยนแปลงและมีความเป็นนามธรรมมากขึ้นตามช่วงอายุ นักจิตวิทยาและนักภาษาศาสตร์หลายคนเชื่อว่า การเคลื่อนไหวไม่ได้เป็นเพียงสิ่งที่เกิดก่อนการพัฒนาแนวคิดเท่านั้น แต่การเคลื่อนไหวนั้นเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการพัฒนาแนวคิดที่เป็นนามธรรมอีกด้วย (Duijzer et al., 2017; Lakoff & Nunez, 2000). แนวคิดทางคณิตศาสตร์จึงถูกพัฒนามาจากแนวคิดที่เป็นรูปธรรมจับต้องได้ (Pirie & Kieren, 1994, Lakoff & Nunez, 2000) จากแนวคิดดังกล่าวนักวิจัยหลายคนได้พัฒนาและใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยสร้างการเรียนรู้โดยเทคโนโลยีจะเป็นตัวช่วยให้ผู้เรียนเข้ามามีส่วนร่วมและใช้การเคลื่อนไหวเพื่อแก้ปัญหา Abrahamson & Trninic (2011) พัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า Mathematical Imagery Trainer (MIT) เพื่อส่งเสริมการพัฒนาแนวคิดทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับสัดส่วน โดยให้ผู้เรียนใช้เครื่องมือที่ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาที่ต้องใช้การเคลื่อนไหว ตัวเครื่องมือถูกออกแบบโดยมีแทรกสัญลักษณ์ต่าง ๆ (Symbolic artefacts) ประกอบกับการอธิบายความเชื่อมโยงระหว่างการเคลื่อนไหวและสัญลักษณ์ (Perceptuomotor-symbolic mapping) เพื่อช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาแนวคิดทางคณิตศาสตร์ในที่สุด และมีการใช้แท็บเล็ตส่งเสริมการเชื่อมโยงกันระหว่างการเคลื่อนไหวกับการรับรู้ทางคณิตศาสตร์ที่นำไปสู่การให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ (Abrahamson et al., 2011; Duijzer et al., 2017; Howison, Mark, et al., 2011).

Antle และ Wise (2013) นำเสนอแนวทางในการออกแบบการสอนตามแนวคิดเอบอดิเมนต์ ซึ่งประกอบด้วย

1. ออกแบบการกระทำหรือการเคลื่อนไหวที่ช่วยส่งเสริมการคิด
2. ส่งเสริม image schemas ผ่านการกระทำหรือการเคลื่อนไหวที่สามารถพัฒนาการใช้ประโยชน์และการเรียนรู้ได้
3. ใช้ conceptual metaphor ที่สอดคล้องกับ image schemas ที่สามารถสร้างการเชื่อมโยงและนำไปสู่การเรียนรู้แนวคิดที่เป็นนามธรรม

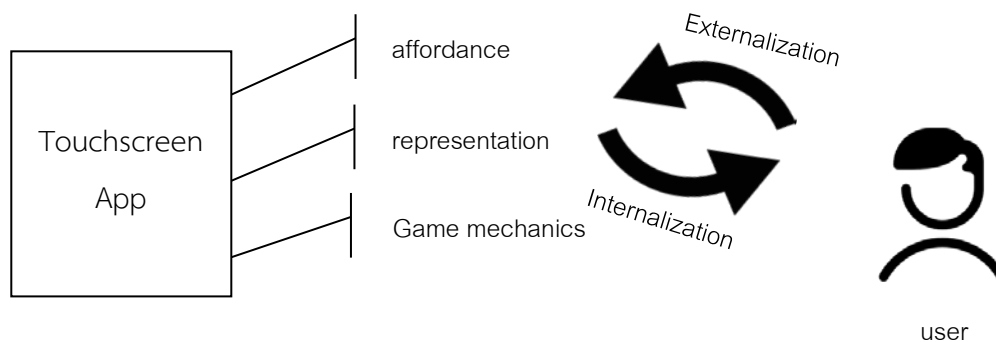
Abrahamson และ Sanchez-Garcia (2016) นำเสนอรูปแบบกิจกรรมที่ผู้เรียนจะต้องแก้ปัญหาที่ต้องอาศัยการเคลื่อนไหวก่อน ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวจะทำให้เกิด image schema ที่เหมาะสมและทำให้การแก้ปัญหาดังกล่าวสำเร็จ หลังจากนั้นระบบจะเพิ่มระบบทางสัญลักษณ์ที่จะทำให้คณิตศาสตร์ปรากฏเด่นชัดขึ้น

ในการศึกษาครั้งประยุกต์ใช้แนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบเอบอดิเมนต์ ดังรูปที่ 1 เพื่อออกแบบเกมการเรียนรู้



รูปที่ 1 การเรียนรู้ตามแนวคิดเอบอดิเมนต์

สำหรับการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่มีคือเกมดิจิทัลเป็นสื่อกลาง นักเรียนจะปฏิสัมพันธ์กับเกมดิจิทัล (subject-artifact) โดยการถ่ายทอดสิ่งที่คิด หรือ ความรู้ที่มีต่องานนั้น ๆ ผ่านสื่อ (Externalization) และแปลผลผลสะท้อนกลับหรือสิ่งที่สื่อนั้นตอบสนองต่อการปฏิสัมพันธ์ของนักเรียน (Internalization) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวคิดการเรียนรู้ตามแบบเอบบอดิเมนต์ผ่านสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัล

Carlson และ คณะ (2002) แบ่งระดับการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวออกเป็น 5 ระดับ ประกอบด้วย

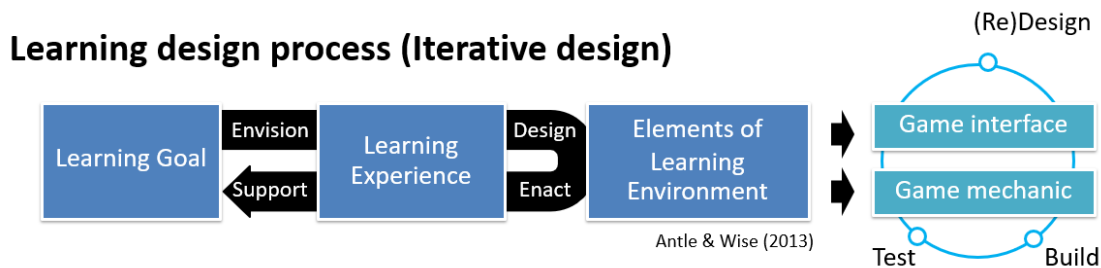
1. ตระหนักถึงปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงร่วมกัน
2. ตระหนักถึงทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงตามตัวแปรอีกตัว
3. ตระหนักถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงตามตัวแปรอีกตัว
4. ตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของฟังก์ชันเมื่อตัวแปรหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแบบคงที่
5. ตระหนักถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่งใด ๆ ทั่วทั้งโดเมนของฟังก์ชัน

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ

1. การออกแบบและพัฒนาสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยว
2. การสังเคราะห์รูปแบบการให้เหตุผลเชิงการแปรผันร่วมเกี่ยวโดยใช้ข้อมูลการปฏิสัมพันธ์ผ่านทางสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวคิดเอบบอดิเมนต์

การออกแบบกระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดเอบบอดิเมนต์ผ่านเกม เริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ จากนั้นกำหนดประสบการณ์การเรียนรู้ที่นำไปสู่การสร้าง image schema ของการแก้ปัญหาด้วยการกระทำหรือการเคลื่อนไหวที่ส่งเสริมการพัฒนาแนวคิดที่เป็นเป้าหมาย จากนั้นจึงกำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ ในเกม รวมถึงออกแบบรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ในเกมและรวมถึงกลไกของเกมที่จะสร้างประสบการณ์ดังกล่าว ซึ่งกระบวนการนี้ต้องอาศัยวงจรการออกแบบ การทดสอบและการปรับปรุง ดังวงจรแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรการพัฒนาสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยว

ในการศึกษานี้จะใช้เกมดิจิทัลเพื่อสร้างประสบการณ์ในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่อาจจะประสบได้ยากจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน (Sarama & Clements, 2009) แนวคิดเป้าหมายที่ถูกเลือกมาศึกษาคือ การให้เหตุผลเกี่ยวกับอัตราส่วนตรีโกณมิติ อัตราส่วนตรีโกณมิติเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความยาวด้านของสามเหลี่ยมมุมฉากสองด้าน กับ ขนาดของมุม ซึ่งการสังเกตความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ยากในชีวิตประจำวันนอกเหนือจากบริบทชั้นเรียน จึงทำให้ผู้เรียนอาจจะขาดประสบการณ์เดิมในการสร้างแนวคิดนี้ นอกจากนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวยังสามารถถูกสร้างขึ้นได้จากการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกระทำและการเคลื่อนไหว

ผู้วิจัยจึงได้กำหนดคำถามวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย คือ รูปแบบการให้เหตุผลที่ถูกสร้างผ่านสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวทางเอมบอดีเมนเป็นอย่างไร

เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย

1. เกม HypSweeper
2. ใบงาน

การเก็บข้อมูล

ผู้เข้าร่วมการวิจัยประกอบด้วยนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 5 จำนวน 134 คน โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้อง

1. เล่นเกม HypSweeper ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
2. ทำใบงาน
3. ทำแบบประเมิน

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

ในการวิเคราะห์รูปแบบการให้เหตุผลที่ถูกสร้างผ่านสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองดิจิทัลตามแนวทางเอบอดิเมน์ ผู้วิจัยใช้กระบวนการวิเคราะห์แก่นสาระ (Thematic analysis) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการ 6 ขั้นตอน (Braun & Clarke. 2006) ดังนี้

- (1) การทำความเข้าใจกับข้อมูล
- (2) การทำให้เกิดข้อมูลเบื้องต้น
- (3) การค้นหาแก่นสาระ
- (4) การตรวจสอบซ้ำแก่นสาระ
- (5) การระบุและตั้งชื่อแก่นสาระ
- (6) การจัดทำรายงาน

ผลการวิจัย

แอปพลิเคชัน เกม HypSweeper

HypSweeper เป็นเกมเพื่อการศึกษาที่ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่มีหน้าจอแบบสัมผัส (touch screen) เกมถูกออกแบบมาเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบ embodied-interaction ที่ส่งเสริมการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยว โดยเกมสร้างสถานการณ์ให้ผู้เล่นแก้ปัญหาโดยอาศัยการเคลื่อนไหว (EI problem-solving activities) เพื่อให้ผู้เล่นได้รูปแบบการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมกับสถานการณ์ นอกจากนั้นเกมายังสร้างสภาพแวดล้อมที่กระตุ้นให้เกิดการสะท้อนคิดและพัฒนาแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ โดยมีโครงสร้างเกมนี้อย่างแสดงในรูปที่ 4

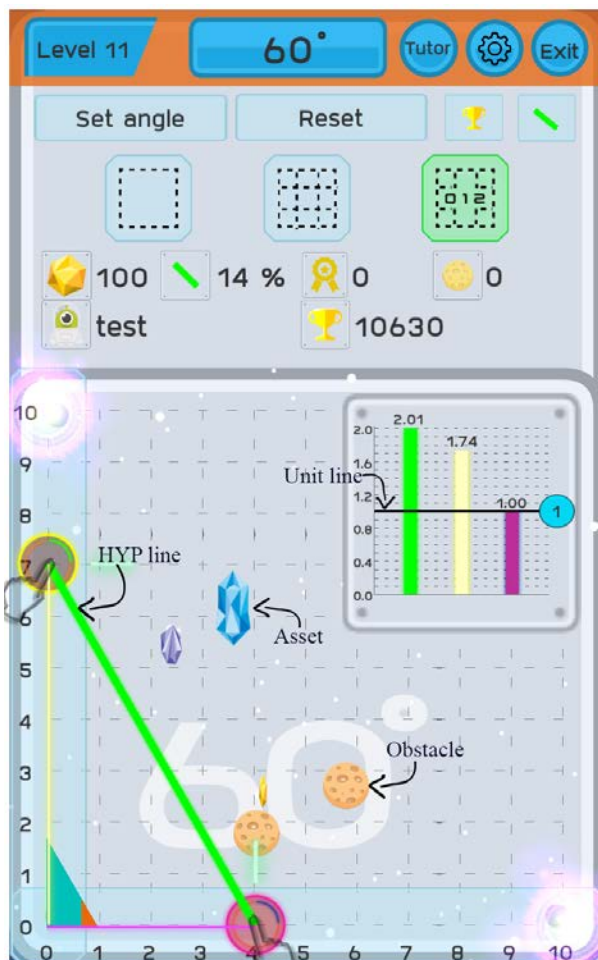
HypSweeper Game
<i>Mathematical attributes</i> - Angle of right triangle - coordination
<i>Technological attributes</i> - two-point Drag along axes
<i>Structural Attributes</i> - game mechanic ○ Feedback (Color , Reward) ○ Level (Obstacle) - Scaffolding (Grid, Numeric, Ratios)

รูปที่ 4 โครงสร้างเกม HypSweeper

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองดิจิทัลตามแนวทางเอมบอดีเมนเพื่อส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวกับอุปกรณ์จอสัมผัส (Tablet) โดยได้ทำการออกแบบและทดลองใช้ระบบกับกลุ่มทดลอง (pilot) หลายครั้ง รวมทั้งขอคำชี้แนะจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงตัวระบบ ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 5

เป้าหมายของเกมคือต้องเก็บ asset (เพชร) ให้ได้มากที่สุด โดยมีกฎกติกา ดังนี้

1. ผู้เล่นจะต้องลากวงกลมสีเหลือง หรือ วงกลมสีม่วงให้สุดปลายด้านใดด้านหนึ่งเพื่อผ่านด่าน
2. ผู้เล่นจะต้องเก็บเพชรให้ได้มากที่สุด โดยที่จะเก็บเพชรได้ก็ต่อเมื่อเส้นที่เชื่อมระหว่างวงกลมสีเหลืองและวงกลมที่ม่วง (เรียกว่า the Hype) เป็นสีเขียวเท่านั้น
3. หากลากเส้น the Hype ไปชนอุกบาตรจะเสียคะแนน และตาย ต้องเริ่มเล่นใหม่



(a)

ส่วนแสดงข้อมูล
และ ปรับแต่งหน้าจอ

พื้นที่เล่นเกม



(b)

รูปที่ 5. (a) แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้แอปพลิเคชัน เกม HypSweeper; (b) การใช้งานแอปพลิเคชัน HypSweeper

The Hype จะเป็นสีเขียวก็ต่อเมื่ออัตราส่วนของแขนที่ประกอบมุมฉากมีอัตราส่วนตรงตามที่กำหนด (รูปตั้งต้น) ดังรูปที่ 6(a) แต่หากอัตราส่วนของแขนที่ประกอบมุมฉากไม่เหมือนกันรูปตั้งต้นด้าน ดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นสีแดง ดังรูปที่ 6(b) แต่หากอัตราส่วนมีความใกล้เคียงกับอัตราส่วนตั้งต้น ด้าน ดังกล่าวจะแสดงเป็นสีส้ม ดังรูปที่ 6(c) แต่หากผู้เล่นสามารถสร้างให้อัตราส่วนของแขนประกอบมุม ฉากเท่ากับรูปตั้งต้นเส้นที่เชื่อมระหว่างวงกลมสีเหลืองและวงกลมสีแดงจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และจะ สามารถเก็บเพชรเพื่อเก็บคะแนนได้ ดังรูปที่ 6(d)



Initial model

Feedback color: Red

Feedback color: Orange

Feedback color: Green

(a)

(b)

(c)

(d)

รูปที่ 6 แสดงการให้ผลสะท้อนกลับของ (Interaction schematics) Hyp Sweeper

นอกจากนี้เกมยังถูกออกแบบให้ผู้เล่นสามารถปรับแต่งหน้าต่างการแสดงผลโดยผู้เล่นสามารถ ปรับแต่งพื้นที่เล่นเกมได้ 3 รูปแบบ

1. Scaleless
2. Cartesian grid
3. Cartesian with numerals

ในส่วนนี้จะเป็นการเพิ่มสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่จะเป็นตัวเชื่อมประสบการณ์การแก้ปัญหาด้วย การเคลื่อนไหวให้ก่อร่างเป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์



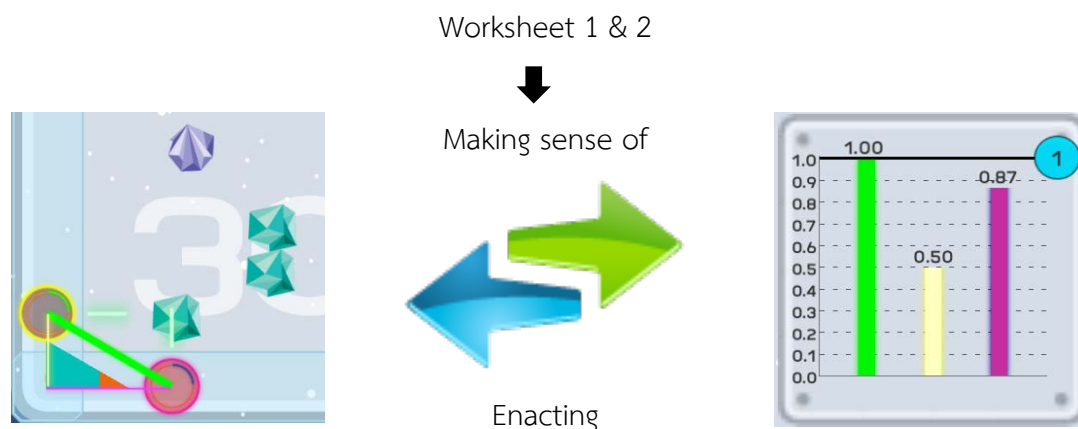
(a)

(b)

(c)

รูปที่ 7 รูปแบบการปรับแต่งหน้าต่างแบบต่าง ๆ (a) Scaleless; (b) Cartesian grid; (c) Cartesian with numerals.

นอกจากการสร้างประสบการณ์จากการเล่นเกม ยังมีใบงานที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างประสบการณ์จากการแก้ปัญหาด้วยการเคลื่อนไหวกับสัญลักษณ์ต่าง ๆ บนหน้าจอเกม เพื่อสร้างความหมายกับการกระทำหรือการเคลื่อนไหว ซึ่งจะนำไปสู่การก่อร่างแนวคิดทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 8 การสังเคราะห์รูปแบบการให้เหตุผลเชิงการแปรผันร่วมเกี่ยวโดยใช้ข้อมูลการปฏิสัมพันธ์ผ่านทางสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวคิดเอบอดิเมนท์

เมื่อปรับปรุงระบบแล้วผู้วิจัย ได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นไปเก็บข้อมูลกับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 134 คน และผู้วิจัยวิเคราะห์พฤติกรรมของเล่น และทำการลงรหัส พบว่า สามารถจัดกลุ่มพฤติกรรมของผู้เล่นเกม ได้ออกเป็น 7 กลุ่ม คือ

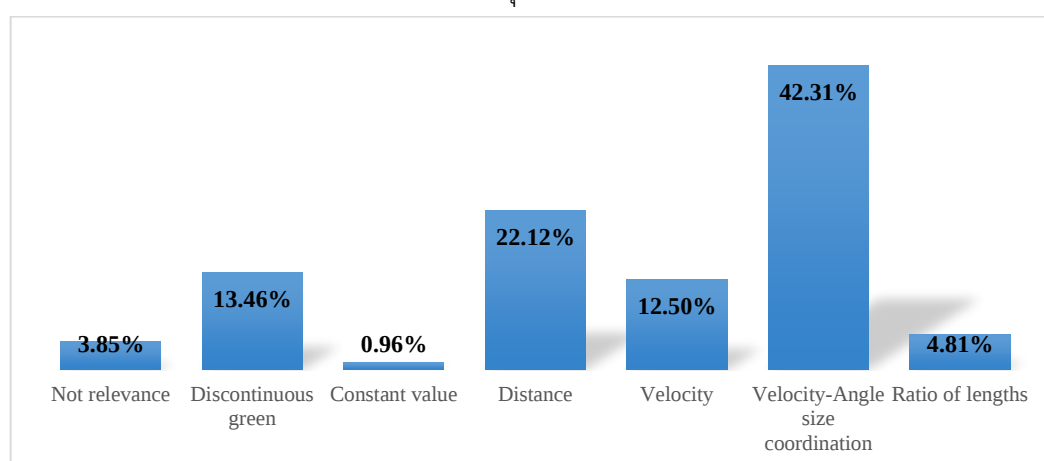
1. Not relevance – การกระทำหรือการแสดงออกไม่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในเกมนั้น
2. Discontinuous green – ผู้เล่นปรับแกนที่ละแกนแบบสุ่ม (arbitrary) เพื่อหาตำแหน่งที่ทำให้แกนเป็นสีเขียว ผลที่เกิดขึ้นผู้เล่นจะไม่สามารถทำให้แกนเป็นสีเขียวที่มีความต่อเนื่องได้
3. Constant value – ผู้เล่นสังเกตตัวเลขที่ระบุอยู่ในเกมและใช้เพื่อสร้างเส้นสีเขียว ซึ่งทำให้ผู้เล่นสามารถสร้างเส้นสีเขียวได้ ณ จุดที่ตรงกับตัวเลขเท่านั้น ซึ่งแสดงว่า ผู้เล่นมองตัวเลขและใช้เป็นดัชนี มากกว่าตีความตัวเลขเป็นอัตราส่วน
4. Distance – ผู้เล่นสร้างเส้นสีเขียวที่มีความต่อเนื่อง โดยพิจารณาความยาวสัมพัทธ์ของแกนที่ประกอบมุมฉาก

5.Velocity – ผู้เล่นสร้างเส้นสีเขียวที่มีความต่อเนื่อง และบรรยายวิธีการสร้างโดยเปรียบเทียบกับความเร็วในการเลื่อนแขนหนึ่งเมื่อเทียบกับอีกแขนหนึ่ง

6.Velocity-angle size coordination – ผู้เล่นสร้างเส้นสีเขียวที่มีความต่อเนื่องและบรรยายวิธีการสร้างโดยเปรียบเทียบกับความเร็วในการเลื่อนแขนหนึ่งเมื่อเทียบกับอีกแขนหนึ่ง นอกจากนี้ยังระบุขนาดของการเปลี่ยนของความเร็วเมื่อขนาดของมุมเปลี่ยนแปลง

7.Ratio of lengths – ผู้เล่นสร้างเส้นสีเขียวที่มีความต่อเนื่องและบรรยายวิธีการสร้างโดยเปรียบเทียบกับความเร็วในการเลื่อนแขนหนึ่งเมื่อเทียบกับอีกแขนหนึ่ง นอกจากนี้ยังระบุขนาดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนเมื่อขนาดของมุมเปลี่ยนแปลง

กราฟแสดงร้อยละของนักเรียนแต่ละกลุ่ม (N = 134)



รูปที่ 9 ร้อยละของรูปแบบการให้เหตุผลที่นักเรียนใช้ในเกม HypSweeper

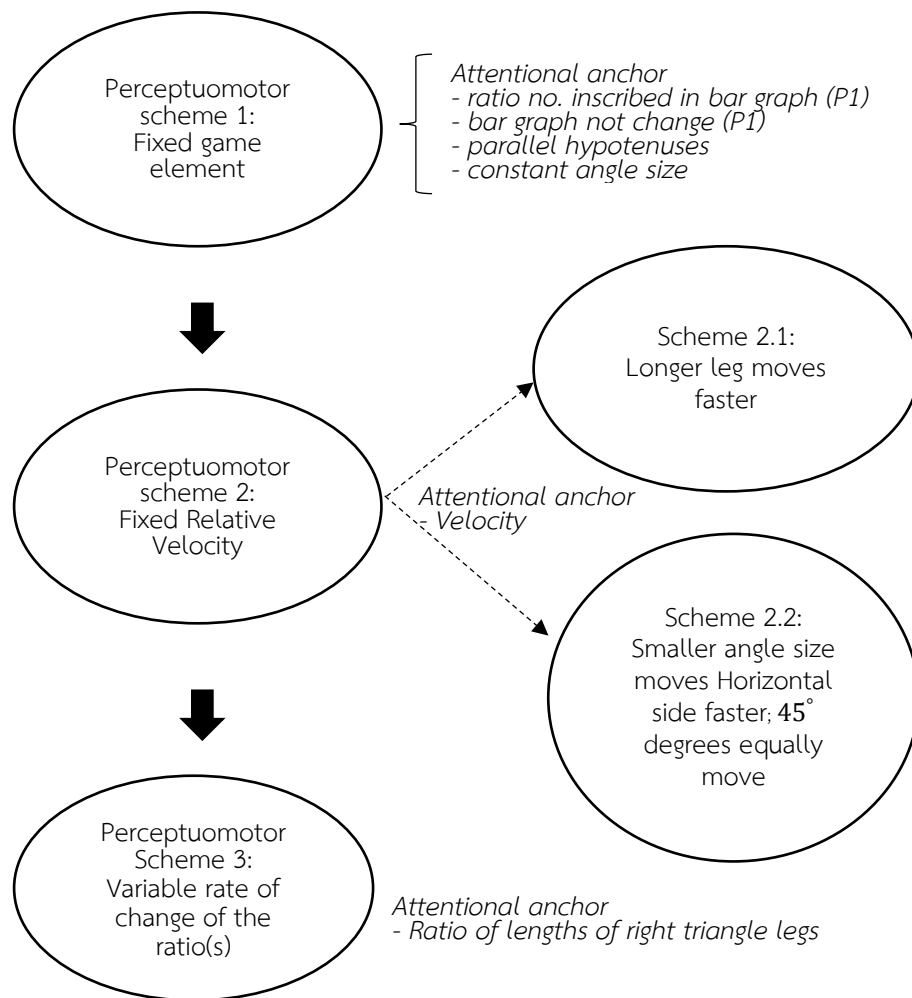
จากกราฟในรูปที่ 9 พบว่า คำตอบของผู้เล่นแสดงให้เห็นว่าในการปฏิสัมพันธ์กับระบบผ่านการลากบนหน้าจอสัมผัสมีความแตกต่างหลากหลาย อย่างไรก็ตามผู้เล่นส่วนใหญ่แสดงออกการกระทำที่สอดคล้องกับแนวคิดที่เป็นเป้าหมายในการเรียนรู้ กล่าวคือ ในรูปแบบที่ 4 ถึง 7 ผู้เล่นมีการพิจารณาถึงอัตราส่วนที่เป็นปริมาณสัมพันธ์ของความยาวแขนประกอบมุมฉาก และ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนดังกล่าวกับขนาดของมุม ดังนั้นจึงสรุปว่า เกมสามารถกระตุ้นให้ผู้เล่นคิดแก้ปัญหาในเกมที่เกี่ยวข้องกับการลากวัตถุในเกม

ผู้วิจัยสังเคราะห์รูปแบบการให้เหตุผลจากข้อมูลปฏิสัมพันธ์ของผู้เล่นกับสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวเอบบอดิเมอร์ พบรูปแบบการให้เหตุผล 3 รูปแบบหลัก คือ

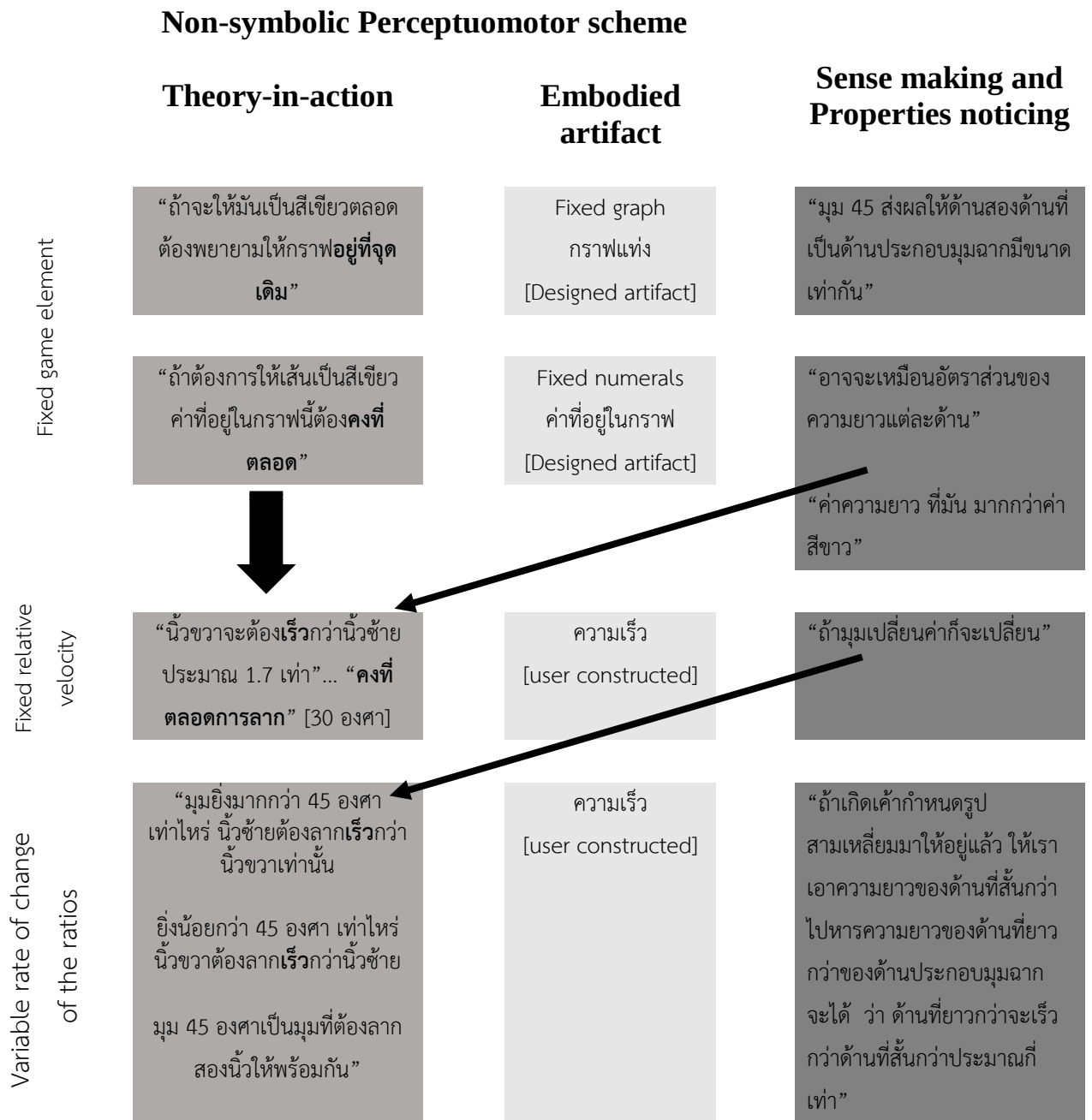
1. การกำหนดองค์ประกอบทางกายภาพให้คงที่ (Fixed physical element) เป็นรูปแบบการให้เหตุผลที่กำกับการแสดงออกที่มีการกำหนดคุณลักษณะบางอย่างให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น ตัวเลข(อัตราส่วน) กราฟ ความขนาน ขนาดของมุม เป็นต้น

2. การกำหนดความเร็วคงที่ (Fixed relative velocity) เป็นรูปแบบการให้เหตุผลที่กำกับการแสดงออกที่พิจารณาความเร็วสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของแขนประกอบมุมฉาก
3. อัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนที่ไม่คงที่ (Variable rate of change of the ratios) เป็นรูปแบบการให้เหตุผลที่กำกับการแสดงออกที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของด้านประกอบมุมฉากเมื่อมุมเปลี่ยนแปลง

รูปแบบการให้เหตุผลของผู้ร่วมวิจัย ผู้เล่นเริ่มจากการแก้ปัญหาในเกมที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว จากนั้นผู้เล่นสร้าง theory-in-action ที่ทำให้งานสำเร็จ และ เชื่อมโยงกับสัญลักษณ์ที่อยู่ในเกมเพื่อสร้างความหมายของสัญลักษณ์นั้นที่สอดคล้องกับการปฏิสัมพันธ์ในเกม กระบวนการนี้ดำเนินไปเป็นวงจรทำให้เกิดการพัฒนา theory-in-action รวมถึงความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในเกมจนใกล้เคียงกับความหมายทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในกระบวนการนี้จะเห็นได้ว่าผู้เล่นได้มีการเปลี่ยนแปลง artifact จากวัตถุกายภาพให้มีความนามธรรมมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างพัฒนาการการให้เหตุผลของผู้เข้าร่วมวิจัยซึ่งแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์การเคลื่อนไหวกับการพัฒนาแนวคิดที่ส่งผลต่อกันและกัน แนวคิดที่สร้างขึ้นมาจากประสบการณ์ในการเล่น นอกจากนี้ยังเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประสบการณ์หรือวิธีการเล่นเกมใหม่ ๆ จนเข้าใจการพัฒนาแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเป้าหมาย



รูปที่ 10 รูปแบบการให้เหตุผลที่สังเคราะห์จากข้อมูลปฏิสัมพันธ์ของผู้เล่นกับสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวเอมบอดิเมนต์



รูปที่ 11 ตัวอย่างพัฒนาการการให้เหตุผลของผู้เข้าร่วมวิจัยซึ่งแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์การเคลื่อนไหวกับการพัฒนาแนวคิด

พัฒนาการที่แสดงในรูปที่ 11 แสดงถึงพัฒนาการที่มีความสอดคล้องกับระดับการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวของของ Carlson และ คณะ (2002) กล่าวคือ ภายหลังจากที่ผู้เล่นสร้างความหมายให้กับสัญลักษณ์ที่แสดงในเกม ผู้เล่นปรับเปลี่ยนรูปแบบการให้เหตุผลโดยให้ความสำคัญกับองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์ คือ ด้านประกอบมุมฉาก และใช้เพื่อให้เหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับขั้นแรก

ของระดับการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวข้องที่มีการระบุตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงร่วมกัน การใช้ความเร็ว มาใช้ในการแสดงเหตุผลแสดงถึงระดับของการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวข้องที่ตระหนักถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงร่วมกันแบบคงที่ มากไปกว่านั้นผู้เล่นยังแสดงให้เห็นถึงการตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของด้านเมื่อมุมมีการเปลี่ยนแปลง

ข้อสรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวข้องตามแนวคิดเอมบอดิเมนต์ ซึ่งพบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนาพฤติกรรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวหรือการกระทำที่มีสอดคล้องกับการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวข้องที่เป็นเป้าหมาย โดยมีรูปแบบในการพัฒนาคือ ในช่วงเริ่มต้นผู้เรียนจะให้ความสำคัญกับสัญลักษณ์ทางกายภาพที่ปรากฏอยู่บนหน้าจอเพื่อใช้เป็นตัวควบคุมพฤติกรรม และผู้เรียนจะมีการตีความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ โดยอาจจะมีการเชื่อมโยง metaphor ในชีวิตจริง เช่น ความเร็วเข้ามาเพื่อสร้างความหมาย และเป็นตัวช่วยให้ผู้เรียนสามารถเปลี่ยนการให้ความสำคัญกับสัญลักษณ์ทางกายภาพไปเป็นการสร้างสัญลักษณ์เชิงนามธรรมที่มีความสอดคล้องเป้าหมายการเรียนรู้ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ใบงานเป็นตัวช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงการเคลื่อนไหว การกระทำไปสู่การสร้างความหมายเชิงนามธรรม การเปลี่ยนแปลงนี้มีความสอดคล้องกับระดับการให้เหตุผลแบบการแปรผันร่วมเกี่ยวข้องด้วย ผลลัพธ์จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ตัวแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวเอมบอดิเมนต์ที่ให้ผู้เรียนสร้างประสบการณ์ผ่านการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว แล้วจึงสร้างการเชื่อมโยงไปสู่การสร้างความหมายทางคณิตศาสตร์ผ่านสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบไว้ในระบบ ข้อค้นพบครั้งนี้สนับสนุนผลการวิจัยในอดีตที่การเรียนรู้แบบไม่เป็นทางการก็สามารถนำไปสู่การพัฒนาแนวคิด หรือ ทักษะทางคณิตศาสตร์ได้หากมีการออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เหมาะสม นอกจากนี้ข้อค้นพบนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบดิจิทัลตามแนวเอมบอดิเมนต์ รวมถึงการประเมินการเรียนรู้ตามแนวทางนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abrahamson, D., & Trninic, D. (2011, June). Toward an embodied-interaction design framework for mathematical concepts. In Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children (pp. 1-10).
- Abrahamson, D., & Sánchez-García, R. (2016). Learning is moving in new ways: The ecological dynamics of mathematics education. *Journal of the Learning Sciences*, 25(2), 203-239.

- Antle, A. N., & Wise, A. F. (2013). Getting down to details: Using theories of cognition and learning to inform tangible user interface design. *Interacting with Computers*, 25(1), 1-20.
- Arzarello, F. (2001). Dragging, perceiving and measuring: Physical practices and theoretical exactness in Cabri-environments. In *Proc. Cabriworld* (Vol. 2).
- Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D., & Robutti, O. (2002). A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 34(3), 66-72.
- Arzarello, F., Bairral, M. A., & Danè, C. (2014). Moving from dragging to touchscreen: geometrical learning with geometric dynamic software. *Teaching Mathematics and Its Applications: International Journal of the IMA*, 33(1), 39-51.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101.
- Carlson, M., Jacobs, S., Coe, E., Larsen, S., & Hsu, E. (2002). Applying covariational reasoning while modeling dynamic events: A framework and a study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 352-378.
- Duijzer, C. A., Shayan, S., Bakker, A., Van der Schaaf, M. F., & Abrahamson, D. (2017). Touchscreen Tablets: Coordinating Action and Perception for Mathematical Cognition. *Frontiers in Psychology*, 8.
- Howison, M., Trninic, D., Reinholz, D., & Abrahamson, D. (2011). The mathematical imagery trainer. *Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '11*. doi:10.1145/1978942.1979230
- Ladel, S., & Kortenkamp, U. (2011). Finger-symbol-sets and multi-touch for a better understanding of numbers and operations. In *Proceedings of CERME* (Vol. 7).
- Ladel, S., & Kortenkamp, U. (2012). Early maths with multi-touch.
- Leung, A. (2011). An epistemic model of task design in dynamic geometry environment. *ZDM*, vol. 43, pp. 325-336.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. New York, NY: Basic Books.
- Likova, L. T. (2014). Learning-based cross-modal plasticity in the human brain: insights from visual deprivation fMRI. *Advanced Brain Neuroimaging Topics in Health and Disease-Methods and Applications*, 2014, 327-58.

Piaget, J. (1964). Part I: Cognitive development in children: Piaget development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176-186.

Pirie, S., & Kieren, T. (1994). Growth in Mathematical Understanding: How Can We Characterise It and How Can We Represent It? *Learning Mathematics*, 61-86.
doi:10.1007/978-94-017-2057-1_3

Sarama, J., & Clements, D. H. (2009). Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children. Routledge.

Toennies, J. L., Burgner, J., Withrow, T. J., & Webster, R. J. (2011). Toward haptic/aural touchscreen display of graphical mathematics for the education of blind students. In 2011 IEEE World Haptics Conference (pp. 373-378). IEEE.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) ที่ประยุกต์องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้

ระบุชื่อผู้แต่ง : Cherdsak, P., Artorn, N., & Wararat, W.

ชื่อเรื่อง : Capturing Conceptual Development through the Embodied-Based Experience in Infinite Sets Comparison.

ชื่อวารสาร : *International Journal of Instruction*

ปี : 2019

เล่มที่ เลขที่ : 12(3)

หน้า : 795-814

ระบุชื่อผู้แต่ง : Chuechote, S., Nokkaew, A., Phongsasithorn, A., & Laosinchai, P.

ชื่อเรื่อง : A Neo-Piagetian Analysis of Algorithmic Thinking Development through the "Sorted" Digital Game

ชื่อวารสาร : *Contemporary Educational Technology*

ปี : 2020

เล่มที่ เลขที่ : 12(1)

หน้า : -

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เชิงพาณิชย์ : ไม่มี

เชิงนโยบาย : ไม่มี

เชิงสาธารณะ : ไม่มี

เชิงวิชาการ : ไม่มี

3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

นำเสนอใน Research seminar topic: *Designing games for the learning of mathematics through the lenses of cognitive embodied learning theory* organized by the Depart of Didactics of Mathematics and Experimental

Sciences of Autonomous University of Barcelona, Barcelona, Spain, 15-19 July 2019.