รหัสบทความ SEITS 72

การจัดทำสื่อการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการ สำหรับการบรรจุวงกลมลงในสี่เหลี่ยม

Creation Active Learning Media for Packing Circle Object in Rectangle Bin

กวินธร สัยเจริญ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
saicharoen_k@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือสำหรับเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเรื่องปัญหาการบรรจุของลงกล่อง (Bin Packing) ในส่วนของการจัดเรียงสินค้าที่มีลักษณะวงกลมในกล่องสี่เหลี่ยม โดยทำการทดสอบผลการเรียนรู้ผ่านข้อสอบก่อนและหลังการทดลอง ในส่วนของสื่อการเรียนรู้ได้สร้างสื่อการเรียนรู้โดยจำลองมาจากการขนส่งยางรถยนต์ของผู้ขายส่งเจ้าหนึ่งประกอบกับเอกสารการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการจำนวน 3 หัวข้อปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่า การใช้สื่อการเรียนการสอนเชิงปฏิบัติการนี้สามารถทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเรื่องการบรรจุของลงกล่องและปัญหากระเป๋าเป้เพิ่มขึ้นร้อยละ 65.19

คำสำคัญ : สื่อการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการ, ปัญหาการบรรจุของลงกล่องแบบปิด, ปัญหาการบรรจุของลงกล่องแบบเปิด ปัญหากระเป๋าเป้, วงกลมในถังสี่เหลี่ยม

Abstract

The aim of this article is to create instructional media of Bin packing problem and Knapsack problem in part of packing circle object in rectangle bin. Students were assisted by pretest and posttest. Instructional media was created with 3 experiment laboratories. The results shown that students were increased understanding in Bin packing Problem and Knapsack problem 65.19%

Keywords: Active Learning Instructional, Close Bin Packing Problem, Open Bin Packing, Knapsack Problem, Circle in Rectangle Bin

1. บทนำ (Introduction)

การขนส่งสินค้าในภาคอุตสาหกรรมผู้ที่มีหน้าที่ในการจัดการนำสินค้าขึ้นรถจำเป็นต้องพยายามจัดสินค้าขึ้นรถให้ได้มากตามจำนวนที่ลูกค้าสั่งมาซึ่งถ้าสินค้าที่ต้องทำการจัดส่งนั้นมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณของรถบรรทุกก็จะไม่มีปัญหาในการจัดเรียงสินค้น แต่ในกรณีที่จำนวนสินค้ามีปริมาณมากเกินกว่าปริมาตรที่จะสามารถบรรทุกได้ก็จะทำให้ผ้ที่มีหน้าที่ต้องทำการจัดการแก้ปัญหาเพื่อให้สินค้าได้รับสินค้าโดยที่ต้องมีต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด แต่ในกรณีที่สินค้ามีมากแต่ผู้จัดเรียงไม่มีความเข้าใจในการจัดเรียงสินค้า หรือขาดประสบการณ์ในการจัดการสินค้าอาจจะส่งผลให้การใช้พื้นที่ในการบรรทุกไม่เกิดประสิทธิภาพทำให้ไม่สามารถนำสินค้าขึ้นรถได้หมด หรืออาจจะทำให้มีต้นทุนสูงขึ้น

ปัญหาที่เกี่ยวกับการบรรจุสินค้าจะมีด้วยกันสองลักษณะคือการบรรจุสินค้าลงกล่อง (Bin Packing Problem) ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นกล่องปิด (Close bin) และกล่องเปิด (Open bin) ปัญหา Bin Packing จะเป็นการนำกล่องที่มีขนาดเล็กกว่าหลายกล่องบรรจุลงไปไปในกล่องที่มีขนาดใหญ่กว่าโดยพยายามบรรจุให้ใช้กล่องขนาดใหญ่น้อยที่สุด โดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) หรือ อื่นๆ อีกปัญหาหนึ่งซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าคือปัญหากระเป๋าเป้ (Knapsack Problem) คือการที่เลือกหยิบสินค้าที่มีค่าที่สุดใส่กระเป๋าเป้ซึ่งมีข้อจำกัดด้านน้ำหนักในการขน จึงต้องเลือกสินค้าที่มีมูลค่ามากไปให้ได้มากที่สุด

การบรรทุกสินค้าส่วนมาจะเป็นการนำสินค้าในกล่องซึ่งมีขนาดหลายขนาดแล้วนำมาบรรจุใส่ท้ายรถบรรทุกซึ่งผู้ที่จัดเรียงจำเป็นต้องมีหลักการในการจัดเรียงเช่น Eliiyi (2009) ได้ศึกษารูปแบบ bin packing แบบต่างๆ วิธีการแก้ปัญหาและการประยุกต์ใช้งานผ่านขั้นตอนต่างๆของห่วงโซ่อุปทาน Gonçalvesa et.al. (2013) ได้นำเสนออัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบสุ่ม (BRKGA) สำหรับปัญหาการบรรจุแบบ 2D และ 3D วิธีการใช้แทนพื้นที่สูงสุด แต่สินค้าบางชนิดไม่สามารถจัดใส่กล่องสี่เหลี่ยมก่อนจัดขึ้นรถบรรทุกได้ เช่น ม้วนสายไฟฟ้าขนาดใหญ่ ยางรถยนต์ ยางรถบรรทุก การออกแบบการตัดโลหะรูปวงกลม การเรียงขนมรูปร่างวงกลมในถาด ในโรงงานอาหาร เป็นต้น

ความพยายามในการแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าวงกลมในกล่องสี่เหลี่ยมนั้นมีความพยายามในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้การบรรจุให้ได้มากที่สุด โดย Zeng et.al. (2018) ได้เสนอการนำโดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมกับวงกลมหลายขนาด He et.al. (2015) เสนอขั้นตอนวิธีการเพื่อการบรรจุวงกลมหลายขนาดลงในสี่เหลี่ยมจัตุรัส นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอสูตรการประมาณการจำนวนของวงกลมที่จะบรรจุลงในสี่เหลี่ยม (Litvinchev and Ozuna, 2014)

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ ได้มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงสินค้าในรถขนส่งสินค้า(Bin Packing) ซึ่งการเรียนการสอนจะเป็นการเรียนทฤษฎีและวิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำให้ผู้ศึกษาไม่เข้าใจในรูปแบบการจัดเรียง การจัดให้มีการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการจึงมีความจำเป็นในการทำความเข้าใจในทฤษฎี และการประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งการบรรจุสินค้าที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลงในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าการบรรจุสินค้าที่มีลักษณะเป็นวงกลมลงในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยม ผู้เรียนส่วนใหญ่มักจะประมาณวงกลมให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสแต่ในความเป็นจริงส่วนโค้งมนอาจจะทำให้เกิดความ

ดังนั้นในบทความนี้นี้จึงได้มีการเสนอการสร้างแบบจำลองการแก้ปัญหาการจัดเรียงสินค้าที่มีลักษณะเป็นวงกลมในกล่องสี่เหลี่ยม สำหรับการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการร่วมกับการเรียนการสอน โดยอาศัยการจำลองข้อมูลของร้านขายส่งยางรถยนต์ขนาดใหญ่ในกรุงเทพฯ

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

วิธีดำเนินการวิจัยของการจัดทำสื่อการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการ สำหรับการบรรจุวงกลมลงในสี่เหลี่ยม มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 5 ขั้นตอนประกอบด้วย การออกแบบผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง ออกแบบสื่อการเรียนรู้ออกแบบการปฏิบัติการเรียนรู้ร่วมกับสื่อ ดำเนินการสร้างสื่อการเรียนรู้ ทดลองนำสื่อไปใช้ในการเรียนรู้ วัดผลการเรียนรู้และสรุปผล

การออกแบบผลการเรียนรู้ที่คาดหวังโดยทั่วไปแล้วปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Bin Packing Problem) จะเป็นการหาวิธีในการบรรจุสิ่งของลงกล่องโดยให้ใช้กล่องน้อยที่สุดเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นภาพการนำไปประยุกต์ใช้งานมากที่สุดจึงทำการนำข้อมูลของปัญหาการขนส่งยางรถยนต์ของบริษัทขายส่งยางรถยนต์มาเป็นต้นแบบในการทำสื่อการสอนโดยข้อมูลในการขนส่งจะประกอบไปด้วยขนาดของยางรถยนต์ที่ใช้ในการขนส่ง และขนาดของตู้บรรทุกที่ใช้ขนส่ง

ในการหาขนาดของยางรถยนต์จะดูได้จากข้อมูลที่ปรากฏที่ยาง เช่น 205/60 R18 หมายถึงยางที่เส้นนี้มีขนาดหน้ากว้างของยาง (w) 205 มิลลิเมตร แก้มยางหนา (s) 60 เปอร์เซ็นต์ของหน้ายาง และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) 18 นิ้ว ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของยาง (D) ได้ ตามสมการที่ 1 และได้นำข้อมูลยางรถยนต์ที่มียอดขนส่งมากที่สุด 10 อันดับมาใช้ในการทำสื่อการสอนโดยมีข้อมูลตามตารางที่ 1 ในส่วนของขนาดตู้ที่ใช้ในการบรรทุกยางรถยนต์จะใช้ตู้ทึบที่ติดตั้งบนรถบรรทุกขนาด 1 ตัน ซึ่ง

ขนาดของตู้ที่ใช้บรรทุกจะมีขนาดความกว้าง 1570 มิลลิเมตร ยาว 2300 มิลลิเมตร และสูง 2200 มิลลิเมตร ในพื้นที่คลังสินค้าจะมีโครงเหล็ก (Rack) เพื่อใช้ในการจัดเก็บ และขนย้ายยางรถยนต์ภายในอาคารคลังสินค้า โดยขนาดของโครงเหล็กจะมีความกว้าง 1550 มิลลิเมตร ยาง 1850 มิลลิเมตร และสูง 1660 มิลลิเมตร และมีลักษณะโปร่งด้านบนจะเปิดโล่ง

$$D = (w \times s \times 2) + (d \times 2.54) \quad (1)$$

$$D = (205 \times 0.6 \times 2) + (18 \times 2.54)$$

$$D = 291.72$$

จากข้อมูลข้างต้นผลการเรียนรู้ที่คาดหวังให้ผู้เรียนควรต้องทราบหลังจากได้เรียนรู้แล้วคิ ผู้เรียนจะอธิบายได้ว่าความแตกต่างระหว่างการบรรจุวงกลมในสี่เหลี่ยม และการบรรจุสี่เหลี่ยมในสี่เหลี่ยม ผู้เรียนอธิบายวิธีการบรรจุวงกลมในสี่เหลี่ยมให้ได้มากที่สุดในกรณีที่กล่องเป็นแบบกล่องทึบ ผู้เรียนอธิบายวิธีการบรรจุวงกลมในสี่เหลี่ยมกรณีกล่องเปิด การบรรจุวงกลมในสี่เหลี่ยมโดยคำนึงถึงมูลค่าสูงสุดที่ขนได้ และแสดงวิธีคิดในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 1 ตารางแสดงข้อมูลขนาดยางรถยนต์ที่มียอดขนส่งสูงที่สุด 10 อันดับ

รุ่นยาง	ขนาดของยาง (mm.)		
	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	ความกว้างหน้ายาง
215/70 R15	682	381	215
185/60 R15	603	381	185
265/65 R17	776	432	265
195/65 R15	634	381	195
205/55 R16	632	406	205
195/60 R15	615	381	195
185/55 R16	610	406	185
195/70 R14	629	356	195
265/70 R16	777	406	265
205/70 R15	668	381	205

การนำข้อมูลที่ได้จากบริษัทขนส่งยางรถยนต์จะนำขนาดของยาง ตู้ทึบ และโครงเหล็กมาย่อส่วนลงโดยกำหนดอัตราส่วนที่ 1 : 15 ดังนั้นจะทำการสร้างวัตถุวงกลมที่มีขนาดต่างๆ ตามขนาดของยาง และมีจำนวนตามตารางที่ 2 ขนาดของตู้ทึบจะมีขนาด กว้าง 105 มิลลิเมตร ยาว 153 มิลลิเมตร สูง 147 มิลลิเมตร โครงเหล็กมีขนาด กว้าง 105 มิลลิเมตร ยาว 123 มิลลิเมตร และสูง 111 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 ตารางแสดงรายละเอียดของสื่อการสอนที่จำลองมาจากยางรถยนต์

รุ่นยาง	∅ นอก (mm.)	∅ ใน (mm.)	ความหนา (mm.)	จำนวน (ชิ้น)	สี
215/70 R15	46	26	15	70	ดำ
185/60 R15	41	26	13	20	น้ำเงินอ่อน
265/65 R17	52	29	18	15	แดง
195/65 R15	43	26	13	10	ม่วง
205/55 R16	43	28	14	10	ส้ม
195/60 R15	41	26	13	10	เหลือง
185/55 R16	41	28	13	10	เขียวอ่อน
195/70 R14	42	24	13	10	ชมพู
265/70 R16	52	28	18	15	เขียวเข้ม
205/70 R15	45	26	14	10	น้ำเงินเข้ม

การออกแบบการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการร่วมกับสื่อจะทำการออกแบบการทดลองออกมา 3 รูปแบบคือการบรรจุวงกลมในตู้ทึบ ซึ่งเป็นการสื่อให้เข้าใจถึงการแก้ปัญหา Bin Packing แบบกล่องปิด การบรรจุวงกลมตะกร้าสี่เหลี่ยมที่ด้านบนเปิดโล่ง และการแก้ปัญหากระเป๋าเป้ (Knapsack Problem)

การออกแบบการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการสพหรับการแก้ปัญหา Bin Packing แบบกล่องปิดจะออกแบบโจทย์ให้มีการขนยางในตู้ทึบโดยกำหนดจำนวนที่ต้องทำการขนโดยในการทดลองนี้จะไม่คำนึงถึงน้ำหนักหรือการซ้อนทับของยาง โดยจำนวนยางที่ต้องทำการขนนั้นจะนำข้อมูลยางที่ขนจริงมาทำการถ่วงน้ำหนักแล้วคำนวณให้มีปริมาตรไม่เกินร้อยละ 80 ของปริมาตรของกล่องเพื่อให้ผู้เรียนสามารถที่จะบรรจุจำนวนยางตามโจทย์ลงในตู้ทึบได้

การบรรจุวงกลมตะกร้าสี่เหลี่ยมที่ด้านบนเปิดโล่งจะให้ทำการบรรจุยางจำลองขนาด 215/70 R15 ลงในโครงเหล็กจำลองซึ่งมีจำนวนจำลองนั้นมีด้วยกันทั้งสิน 40 เส้นให้บรรจุลงไปในโครงเหล็กโดยไม่ต้องคำนึงถึงนำหนักบรรทุก และความสามารถในการวางซ้อนทับซึ่งโครงเหล็กจำลองนี้จะแทนปัญหาของการจัดของลงในกล่องที่มีลักษณะฝาเปิดด้านบนแล้วประเมินประสิทธิภาพการใช้ปริมาตรในการบรรจุ

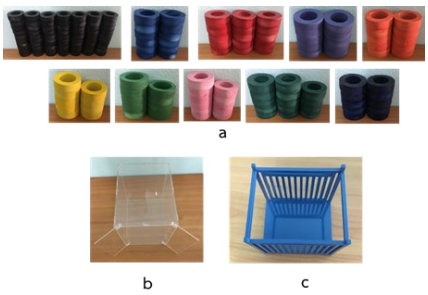
การแก้ปัญหากระเป๋าเป้จะให้ผู้เรียนทำการทดลองนำยางมาบรรจุลงในกล่องทึบโดยจะทำการกำหนดน้ำหนัก และมูลค่าของยางแต่ละรุ่น ในการทดลองจะกำหนดให้กล่องสามารถรับน้ำหนักได้ที่ 80 กิโลกรัม 120 กิโลกรัม และ 140 กิโลกรัมจากนั้นผู้เรียนต้องทำการตัดสินใจเลือกยางมาบรรจุจากนั้นให้ทำการคำนวณมูลค่าของยางที่ขนได้ และคำนวณ

น้ำหนักที่บรรจุลงไปว่าขาดไปจากที่กำหนดเท่าใด โดยข้อมูลของยางจะเป็นไปตามตารางที่3

ตารางที่3 ตารางแสดงน้ำหนัก และมูลค่าของยางแต่ละรุ่น

รุ่นยาง	จำนวนที่มี (เส้น)	น้ำหนักต่อเส้น (ก.ก.)	มูลค่าต่อเส้น
215/70R15	1	23	2700
185/60R15	3	20	2300
265/70R16	3	25	5500
265/65R17	2	30	4600
195/65R15	2	21	2000

การสร้างสื้อในส่วนของยางเพื่อให้ได้วัสดุวงกลมที่มีรูข้างในที่มีความแข็งแรงทนทานจึงเลือกวัสดุที่เป็นไม้เพื่อง่ายในการขึ้นรูปและสามารถย้อมสีได้ตามความต้องการ การแบบกล่องทึบนั้นกล่องควรเป็นโปร่งแสงเนื่องจากในการจัดเรียงผู้เรียนสามารถมองเห็นรูปแบบภายในได้จึงเลือกใช้พลาสติกใสเป็นวัสดุในการทำและได้ทำฝาปิดที่เป็นบานประตูแบบเปิดสองฝังเพื่อเลียนแบบตู้ทึบบนรถบรรทุก ในส่วนของโครงเหล็กได้ออกแบบเป็นโครงที่เหมือนตะกร้าและมีส่วนเปิดโล่งด้านบนซึ่งพยายามทำเลียนแบบของจริงให้ได้มากที่สุด วัสดุที่ใช้ทำมาจากไม้เพื่อง่ายในการขึ้นรูป และสวยงาม ซึ่งสื่อการสอนจะเป็นไปตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 a) ภาพแสดงสื่อการสอนที่เป็นแบบจำลองของยาง
b) ภาพแบบจำลองตู้ทึบ และ
c) ภาพแบบจำลองโครงเหล็ก

การนำสื่อการสอนไปใช้จะเลือกทดลองกับกลุ่มนักศึกษาที่ได้ผ่านการเรียนวิชาการวิจัยการดำเนินงาน (Operation Research) เพื่อจะได้มีพื้นฐานความเข้าใจในการเขียนรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ (Math Model) จึงเลือกทดลองกับนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ ชั้นปีที่ 3 ที่กำลังเรียนรายวิชาการจัดการการขนส่ง และกระจายสินค้า (Transportation and Distribution Management) โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมีจำนวน 50 คน จะได้ใช้แบบจำลองในการเรียนรู้ และได้แบ่งนักศึกษาในกลุ่มนี้ออกเป็น 10 กลุ่มย่อย แล้วเวียนกันทำการทดลอง ดังนั้นผลการทดลองทั้งหมด 10 ตัวอย่าง นักศึกษากลุ่มที่ 2 จะมีจำนวน 62 คน กลุ่มนี้จะมีการเรียนรู้จากการบรรยายเท่านั้น และทั้งสองกลุ่มตัวอย่างต้องทำข้อสอบก่อน และหลังเรียน โดยของสอบนี้จะออกแบบมาจากผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง โดยข้อสอบมีทั้งหมด 9 ข้อ

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการให้นักศึกษาจำนวน 50 คน แบ่งออกเป็น 10 กลุ่มทำการทดลองด้วยสื่อการสอนแบบจำลองการบรรจุยางรถยนต์ในกล่องสี่เหลี่ยมด้วยการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเรื่องแรก การบรรจุวงกลมลงในกล่องปิด พบว่าทั้ง 10 กลุ่มสามารถบรรจุวงกลมลงในกล่องปิด 1 กล่องได้สำเร็จ การเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเรื่องที่สอง การบรรจุวงกลมลงในกล่องเปิด พบว่าทั้ง 10 กลุ่มสามารถนำวงกลมทั้ง 40 อันบรรจุลงในโครงเหล็กจำลองได้สำเร็จ ในการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการเรื่องที่สาม ปัญหากระเป๋าเป้โดยกำหนดน้ำหนักที่รับได้ 80 กิโลกรัม 120 กิโลกรัม และ150 กิโลกรัม กลุ่มที่ทำได้ดีที่สุดสามารถทำได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่4 ตารางแสดงผลของกลุ่มที่ดีที่สุดในเรื่องปัญหากระเป๋าเป้

ขนาดน้ำหนักที่กำหนด	มูลค่าสูงสุด	น้ำหนักบรรจุ	ประสิทธิภาพ
80	16500	75	94%
120	21500	118	98%
150	26100	148	99%

ผลของการให้นักศึกษาทั้งสองกลุ่มทำข้อสอบก่อน และหลังเรียนโดยนักศึกษากลุ่มที่ได้ใช้สื่อการสอน และกลุ่มที่ไม่ได้ใช้สื่อการสอนมีจำนวนไม่เท่ากันจึงได้ใช้การวัดผู้ที่ผ่านผลการเรียนรู้คิดเป็นร้อยละทั้งการสอบก่อนเรียน และหลังเรียนโดยข้อสอบมี 9 ข้อ วัดผลการเรียนรู้ 5 เรื่อง ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยมีรายละเอียดของคะแนนสอบตามตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ตารางแสดงผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	ใช้สื่อการสอน			ไม่ใช้สื่อการสอน		
	Pre test	Post test	ความแตกต่าง	Pre test	Post test	ความแตกต่าง
1	20%	96%	76%	31%	31%	0%
2	14%	74%	60%	2%	48%	47%
3	14%	74%	60%	2%	48%	47%
4	0%	26%	26%	0%	27%	27%
5	12%	72%	60%	19%	31%	11%

ตารางที่ 6 ตารางแสดงข้อมูลผลการสอบ ก่อน และหลังเรียน

	ใช้แบบจำลอง	ไม่ได้ใช้แบบจำลอง
จำนวนตัวอย่าง (คน)	50	62
คะแนน Pre-test	2.2	2.31
คะแนน Post-test	6.34	4.56
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.33	1.44

จากตารางที่ 6 นำข้อมูลไปเปรียบเทียบกันโดยการทดสอบว่าค่าความแปรปรวนของสองกลุ่มข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ตามตารางที่ 7 หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบสมมุติฐานว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยการกำหนดสมมุติฐานหลัก (H0) ให้ค่าเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มเท่ากันที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งผลแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่ใช้สื่อการสอนมีคะแนนแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ตารางแสดงผลการทดสอบสมมุติฐานความแปรปรวน

F-Test Two-Sample for Variances

	Variable 1	*Variable 2*
Mean	6.34	4.564516129
Variance	1.78	2.085933369
Observations	50	62
df	49	61
F	0.853335023	
P(F<=f) one-tail	0.284310909	
F Critical one-tail	0.633428398	

ตารางที่ 8 ตารางแสดงการทดสอบสมมุติฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่ม

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Variable 1	*Variable 2*
Mean	6.34	4.564516129
Variance	1.78	2.085933369
Observations	50	62
Hypothesized Mean Difference	0	
df	108	
t Stat	6.747228001	
P(T<=t) one-tail	3.88543E-10	
t Critical one-tail	1.659085144	
P(T<=t) two-tail	7.77086E-10	
t Critical two-tail	1.982173483	

4. สรุปผล (Conclusion)

จากการทดลองกับผู้ทดลองทั้ง 2 กลุ่มคือ กลุ่มผู้ทดลองใช้แบบจำลองและกลุ่มผู้ทดลองที่ไม่ได้ใช้แบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบทดสอบของผู้ทดลองที่ใช้แบบจำลองและไม่ใช้แบบจำลองพบว่า ผู้ทดลองที่ใช้แบบจำลอง มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงวงกลมในสี่เหลี่ยมแบบสามมิติ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 65.19 และผู้ทดลองที่ไม่ได้ใช้แบบจำลอง มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงวงกลมในสี่เหลี่ยมแบบสามมิติเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 50.23 หรือการใช้แบบจำลองสามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหาเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 15

5. อภิปลายผล (Discussion)

จากผลการสอบก่อนและหลังเรียนพบว่า ในกลุ่มผู้ที่เรียนด้วยการบรรยาย ความเข้าใจในการจำแนกความแตกต่างระหว่างการบรรจุสี่เหลี่ยมลงในสี่เหลี่ยม และบรรจุวงกลมลงในสี่เหลี่ยมไม่ได้เพิ่มขึ้นเลย แต่ในกลุ่มที่ใช้แบบจำลองพบว่ามีความเข้าใจเพิ่มขึ้นถึง 76% แสดงให้เห็นว่าการที่ได้เห็นภาพ และลงมือทำส่งผลต่อการเรียนรู้อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งในการอธิบายวิธีการที่จะทำการบรรจุวงกลมลงในสี่เหลี่ยมผู้เตรียนที่ใช้แบบจำลองก็สามารถทำได้ดีกว่า และการนำไปประยุกต์ใช้ชีวิตประจำวัน เมื่อผู้เรียนได้ทำการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการผ่านสื่อการสอนที่เป็นแบบจำลองแล้วพบว่าผู้เรียนยังมีจินตนาการไปถึงเรื่องใกล้ตัว หรือแม้แต่การบรรจุรูปทรงอื่นๆด้วย โดยเห็นได้จากการทำโจทย์ของปัญหารกระเป๋าเป้

สำหรับการเรียนรู้เรื่องของการปัญหากระเป๋าเป้ผู้เรียนสามารถอธิบายได้ว่าลักษณะปัญหาเป็นอย่างไร การแก้ปัญหาโดยใช้หลักการฮิวลีสติกส์นั้นสามารถทำได้แต่ผู้เรียนไม่สามารถแสดงการแก้โจทย์ปัญหาในรูปแบบของการทำให้อยู่ในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ได้ ทั้งนี้การใช้สื่อการสอนนี้สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจเรื่องของการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ได้เพียง 26% ซึ่งไม่แตกต่างจากการที่ไม่ได้ใช้สื่อการสอนซึ่งผู้เรียนสามารถเพิ่มความเข้าใจได้ 27%

6. ข้อเสนอแนะการวิจัย (Suggestion)

แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาสามารถใช้ได้กับกลุ่มของนักเรียน นักศึกษาเพื่อให้เข้าใจภาพเบื่องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้เท่านั้นเนื่องจากการนำไปให้พนักงานในบริษัทขนส่งยางรถยนต์ทดลองใช้ได้ผลว่า แบบจำลองนี้ยังแตกต่างจากของจริงเนื่องการยางรถยนต์นั้น สามารถให้ตัวได้ในระดับหนางและเวลาบรรจุยางเข้าตู้ทุบนั้นจะเรียงยางเป็นรูปแบบฟันปลา และด้วยความที่ยางสามารถยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงสามารถอัดเข้ากับผนังตู้ได้ จึงสามารถใช้ประสิทธิภาพของตู้ได้มากกว่าแบบจำลอง

ดังนั้นในการสร้างสื่อครั้งต่อไปเพื่อใช้ในการเรียนรู้จะเลือกวัสดุที่ทนทานมีความยืดหยุ่นสูงสามารถเพื่อใช้ในการฝึกหัดพนักงานที่ต้องขนส่งยางรถยนต์ให้มีทักษะการบรรจุก่อนทำงานจริง และเป็นการให้พนักงานมีแนวคิดใหม่ๆ ในออกแบบการบรรจุยางขึ้นรถบรรทุกซึ่งจะส่งผลถึงกำไรของผู้ประกอบการขนส่ง

7. กิติกรรมประกาศ

(Acknowledgements)บทความนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากเงินกองทุนวิจัยและสร้างสรรค์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2554). **วิธีการเมตาฮิวริสติก เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์** กรุงเทพ : ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[2] Wikipedia (2563), **Bin packing problem**เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Bin_ packing _problem

[3] วิกิพีเดีย (2561), **ปัญหาถุงกระสอบ** เข้าถึงได้จาก: https://th.wikipedia.org/wiki/ เข้าถึงเมื่อ 2563

[4] I.Litvinchev and E. L.Ozuna (2014**),** **Approximate Packing Circles in a Rectangular Container: Valid Inequalities and Nesting**, Journal of Applied Research and Technology 12:716-723

[5] José Fernando Gonçalvesa *et al*. (2018), **Adaptive biased random-key genetic algorithm with local search for the capacitated centered clustering problem**, Computers & Industrial Engineering 124:331-346

[6] Kun He *et al.* (2015), **An action-space-based global optimization algorithm for packing circles into a square container**, Computers & Operations Research 58:67–74

[7] Pushpa S .K *et al.* (2016), **A Study of Performance Analysis on Knapsack Problem, International** Journal of Computer Applications (0975 – 8887)

[8] Ugur ELIIYI and Deniz Tursel ELIIYI (2009), **Applications of bin packing models through the supply chain**, Intertional journal of business and management 1: 1309-8047

[9] Zhi-Zhong Zeng et al. (2018), **A memetic algorithm to pack unequal circles into a square**, Computers & Operations Research 92:47-55