แบบจำลองเพื่อหาวิธีการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะที่สุด
AN OPTIMIZATION MODEL FOR CONSTRUCTION MATERIALS DELIVERY

ทองทศ กรุณายาวงศ์[1] พลศรุต อภินันท์[2] และ รศ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามีส่วนในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก เช่นเดียวกันกับงานวิศวกรรมโยธาที่มีเทคโนโลยีเข้ามาช่วยให้ทำงานด้านวิศวกรรมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยลักษณะงานของวิศวกรรมโยธานั้นเป็นงานที่ใช้ค่าใช้จ่ายสูง ทำให้การควบคุมค่าใช้จ่ายและการหาวิธีลดต้นทุนเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมโยธา โดยส่วนหนึ่งของต้นทุนที่สามารถลดได้คือการเลือกซื้อ และขนส่งวัสดุก่อสร้างเข้าไซต์งาน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ใช้องค์ความรู้ในศาสตร์ด้านวิศวกรรมขนส่งมาช่วยแก้ปัญหา เพื่อหาการเลือกซื้อและวิธีขนส่งที่ดีที่สุดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายถูกที่สุด โดยทำการวิจัยในโครงการปรับปรุง ต่อเติม ที่อยู่อาศัยขนาดเล็ก ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผ่านกำหนดการเชิงเส้นในแบบจำลองการไหลในโครงค่าย มาแก้ปัญหาดังกล่าว ผ่านโปรแกรม MS Excel และ Gurobi Optimizer

ผลออกมาพบว่าการขนส่งแบบ Direct Shipment ให้ค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการขนส่งแบบ Milk-Run ทั้งนี้ผลที่ได้จากลุ่มตัวอย่างนี้ไม่ได้เป็นสิ่งยืนยันว่าการขนส่งแบบ Direct Shipment จะมีต้นทุนต่ำกว่าการขนส่งแบบ Milk-Run เนื่องจากในระบบการจัดหาเลือกซื้อวัสดุ และการขนส่งวัสดุประกอบด้วยหลายปัจจัย ซึ่งจะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเปลี่ยนแปลงไปได้

คำสำคัญ: การขนส่งวัสดุ, กำหนดการเชิงเส้น, แบบจำลองการไหลในโครงข่าย

Abstract

Nowadays technology takes an important role in our daily lives. Civil Engineering also one of the industries that technologies are involved to improve in efficiency and difficulty of the work. Due to civil work that needs a lot of expense. Cost Management becomes an important key to establish a success project. Another one way that could reducing project cost is manage how to source and delivering construction materials. The problem can be solved by using transportation engineering knowledge for finding the optimal solution. In this case we study in house extension by using mathematical model through linear programming in network flow model. By using MS Excel and Gurobi Optimizer as a solver program.

The result show that Direct Shipment give the best optimal solution than Milk-Run but this result from the sampling data doesn't guarantee that Direct Shipment will always dominate Milk-Run solution due to sourcing and transporting materials are so many factors included that might affect the result of model.

Keywords: Materials Delivery, Linear Programming, Network Flow Model

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีส่วนร่วมในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก เช่นเดียวกันในอุตสาหกรรมโยธา เทคโนโลยีได้เข้ามามีส่วนร่วมและช่วยให้งานทางวิศวกรรมโยธาพัฒนาอยู่เรื่อยมา ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดอย่าง BIM (Building Information Modeling) ที่เป็นการนำแบบจำลอง 3 มิติเข้ามาช่วยในการทำงานออกแบบโครงสร้าง และบริหารงานก่อสร้าง ซึ่งเหมือนการนำสองศาสตร์เข้ามาบูรณาการร่วมกัน เพื่อต่อยอดให้การทำโครงการก่อสร้างเป็นไปด้วยความลื่นไหล และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะพบได้ว่าในงานด้านวิศวกรรมโยธานั้น ในชีวิตจริงนอกจากในเรื่องความปลอดภัย และความสามารถในการใช้งานจริง ที่วิศวกรต้องคำนึงถึงแล้ว อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญคือเรื่องของต้นทุนและ

ค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น โดยต้นทุนหลัก ๆ ที่เป็นต้นทุนทางตรงจะประกอบไปด้วย ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าอุปกรณ์และเครื่องจักร ซึ่ง BIM ได้เข้ามาช่วยให้การออกแบบโครงสร้างนั้นมองเห็นเป็นภาพจำลองขึ้นมาก่อนสร้างจริง และทำให้วิศวกรโยธาสามารถตัดสินใจถึงความเป็นไปได้ของการก่อสร้างตัวอาคารจริงขึ้นมา โดยพิจารณาในหลากหลายมิติ รวมถึงในมิติของต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย

ทั้งนี้ทำให้เป็นที่น่าสนใจว่านอกจากในเรื่องของการออกแบบโครงสร้างของอาคารแล้ว วิศวกรสามารถที่จะหาวิธีการอื่นได้อีกหรือไม่ที่จะช่วยในการบริหารงานโครงการก่อสร้างให้มีต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ต่ำลง ซึ่งอีกศาสตร์หนึ่งที่มีความน่าสนใจในการมาช่วยให้การบริหารงานก่อสร้างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นคือ วิศวกรรมขนส่ง โดยการขนส่งนั้นอยู่กับมนุษย์มาตั้งแต่ในอดีตแล้ว และยังคงอยู่เป็นองค์ประกอบในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ณ ปัจจุบัน มิหนำซ้ำยังจะเพิ่มบทบาทขึ้นเรื่อย ๆ มากกว่าในอดีต จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่าง ๆ หรือต้นทุนในการจัดการโลจิสติกส์ นั้นเป็นหนึ่งในส่วนหลัก ๆ ที่มีผลกระทบต่อราคาสินค้าโดยตรง

การขนส่งวัสดุซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของต้นทุนในโครงการก่อสร้าง การหาวิธีการเลือกซื้อ และขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสม โดยการนำเอาศาสตร์ของ วิศวกรรมขนส่ง มาบูรณาการร่วมกับการบริหารงานก่อสร้าง เพื่อที่จะลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ ต่อการวางแผนการจัดการวัสดุก่อสร้างในโครงการก่อสร้างต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

จัดทำแบบจำลองเพื่อช่วยตัดสินใจในการเลือกซื้อวัสดุจากร้านค้าขายวัสดุก่อสร้าง และวิธีการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาในมิติของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นหลัก

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการเลือกซื้อวัสดุจากร้านค้าขายวัสดุก่อสร้าง และวิธีการขนส่งวัสดุก่อสร้าง ในโครงการปรับปรุง ต่อเติม ที่อยู่อาศัยขนาดเล็ก ในส่วนของงานต่อเติมหลังคาลานจอดรถซึ่งประกอบไปด้วย 6 หมวดงานหลัก คือ 1. งานเสาเข็ม 2. งานเสาสำเร็จรูป 3.งานโครงหลังคา 4. งานรางระบายน้ำ 5.งานหลังคา 6. งานโคมไฟ โดยกำหนดให้งานเสาเข็ม งานเสาสำเร็จรูปและงานโครงหลังคา มีร้านค้าที่ถูกเลือกไว้อยู่แล้ว ส่วนงานในหมวดอื่น ๆ มีตัวเลือกหมวดละ 10 ร้านค้า โดยกำหนดให้มีบริษัทขนส่งเพียงเจ้าเดียว มีผู้รับเหมาจำนวน 10 ทางเลือก และศึกษากับลูกค้า 5 ที่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำไปประยุกต์และช่วยในการวางแผนการเลือกซื้อวัสดุก่อสร้าง และการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดในโครงการปรับปรุงต่อเติม ที่อยู่อาศัยขนาดเล็กได้จริง

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 *กำหนดการเชิงเส้น*

กำหนดการเชิงเส้น หรือ Linear Programming (LP) เป็นแบบจำลองที่พยายามหาค่าต่ำสุดหรือ ค่าสูงสุดสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์เชิงเส้นที่กำหนด โดยอ้างอิงจากเงื่อนไขที่เป็นสมการ หรืออสมการเชิงเส้น

โดย Linear Programming Model ประกอบไปด้วย

- Decision Variables
  ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ เป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่ใช้พิจารณา
- Objective Function
  ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีไว้เพื่ออธิบายเป็นมาตรชี้วัดประสิทธิภาพที่เหมาะสม
- Constraints
  เงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ
- Objective Function Coefficients
  ค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- Constraint Matrix
  เมทริกซ์ของค่าในด้านซ้ายของฟังก์ชันเงื่อนไข
- Right-Hand-Size (RHS)
  เวกเตอร์ของค่าทางด้านขวาของฟังก์ชันเงื่อนไข
- Constraint's Sense
  เครื่องหมายระบุความเท่ากัน หรือไม่เท่ากันของเงื่อนไข ใช้ได้ 3 เครื่องหมายคือ ≤,≥,=

และมีสมมติฐานของ Linear Programming Model ดังนี้

Certainty การที่ค่าของทุกพารามิเตอร์มีความแน่นอนและชัดเจน

Proportionality แต่ละค่าในฟังก์ชันมีสัดส่วนที่ชัดเจนซึ่งกันและกัน

Additivity ทุกฟังก์ชันใน LP Model เป็นผลรวม

Divisibility ตัวแปรสามารถแบ่งย่อยได้ซึ่งแสดงถึงความตอเนื่องกันของข้อมูล

2.1.2 แบบจำลองการไหลในโครงข่าย

แบบจำลองการไหลในโครงข่าย (Network Flow Model) ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีการสร้างแบบจำลองอย่างมีประสิทธิภาพ การไหลในโครงข่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลองได้ในหลากหลายปัญหา เช่น ปัญหาการส่งของ ปัญหาการขนส่ง ปัญหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ปัญหาการมอบหมายงาน หรือ ปัญหาการหาปริมาณการไหลสูงสุด เป็นต้น

a. องค์ประกอบของ Network Flow Model
   - Nodes จุดแสดงถึง Demand หรือ Supply
   - Arcs เส้นเชื่อมระหว่างสองโหนดที่ติดกัน ประกอบไปด้วย
     - Unit Cost ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการที่หน่วยใด ๆ ไหลผ่านเส้นเชื่อมนั้น ๆ
     - Flow ปริมาณที่ไหลผ่านเส้นเชื่อมนั้น ๆ

- Capacity ปริมาณสูงสุดที่สามารถไหลผ่านเส้นเชื่อมนั้น ๆ ได้

b. การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้แก้ปัญหาการไหลในโครงข่าย
   - ตัวแปร
     - การไหลในเส้นเชื่อม AB แสดงถึงตัวแปรตัดสินใจ X_{AB}
     - ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการไหลผ่านเส้นเชื่อม เท่ากับผลคูณของปริมาณการไหลกับราคาต่อหน่วย
   - ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

     โดยทั่วไปฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองการไหลของโครงข่ายคือ การหาค่าใช้จ่ายของการไหลในโคคงข่ายให้ได้ ต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครือข่ายคือการรวมค่าใช้จ่ายของเส้นเชื่อมทุกเส้นในโครงข่าย
   - เงื่อนไข

     เงื่อนไขที่สำคัญที่สุดและส่วนมากเป็นเพียงข้อจำกัดเดียวในแบบจำลองการไหลในโครงข่ายส่วนใหญ่คือ เงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล (Conservation of Flow) มีหลักการคือการไหลรวมในโครงค่ายต้องไม่ลดไม่เพิ่ม
     - ในกรณีที่ไม่มีอุปสงค์ หรือ อุปทาน หลักการคือ การไหลจะต้องถูกอนุรักษ์ในทุก ๆ โหนด “ปริมาณไหลเข้า = ปริมาณไหลออก”
     - ในกรณีที่มีอุปสงค์ หรือ อุปทาน พิจารณาแล้วจะได้ว่าที่โหนดนั้น ๆ ปริมาณไหลเข้า + อุปทาน = ปริมาณไหลออก + อุปสงค์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนั้นพบว่าแผนการขนส่งสินต้านั้นขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่น อุปสงค์ของสินค้า ปริมาณสินค้า น้ำหนักของสินต้า ระยะเวลในการขนส่ง เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยได้ระบุว่างานที่มีอุปสงค์มาก ๆ เหมาะดับการทำ Cross-Dock หรือ Consolidation Center มากว่า แต่หากเป็นสินค้าที่มีน้ำหนักบรรทุกเยอะการขนส่งแบบทางตรงจะคุ้มค่ากว่า

ตารางที่ 2.1 สรุปวัตถุประสงค์ของแต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้วิจัย	วัตถุประสงค์
Buffa (1987)	วิเคราะห์ตัวแปรเวลาและค่าใช้จ่ายว่าควรจะใช้ Consolidation Center sหรือไม่
Berman and Wang (2005)	เปรียบเทียบการขนส่งแบบทางตรงและ Cross-Dock โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
Song, Chen, and Lei (2017)	ลดความล่าช้าและเตรียมตัวรับมืออุปสงค์ผันผวนใน Supply Chain
Fink and Benz (2018)	หาตัวแปรของความยืดหยุ่นและผลกระทบของความยืดหยุ่นใน Supply Chain
Guerlain et al (2019)	การวางแผนการตั้ง Consolidation Center

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 โปรแกรทมี่ใช้ในโครงงาน

การสร้างแบบจำลองเพื่อหาวิธีในการเลือกร้านขายวัสดุ และหาวิธีการขนส่งที่ดีที่สุดนั้น คณะผู้จัดทำโครงงานได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประมวลผลวิเคราะห์ โดยประเภทโปรแกรมที่ใช้เรียกว่า Solver เป็นโปรแกรมที่มาพร้อมอัลกอริทึมขั้นสูงเพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเรียกว่า Simplex Algorithm

โปรแกรมที่ใช้เป็นหลักในโครงงานนี้คือ Gurobi Optimizer เป็นโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น นิยมใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยตัวโปรแกรมนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง สามารถรองรับตัวแปรได้ในจำนวนมาก

ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ภาษา Python ในการสร้างแบบจำลองใน Gurobi Optimizer ขึ้นมา เนื่องจากเป็นภาษาที่มีโครงสร้างเข้าใจได้ง่ายและเป็นหนึ่งในภาษาที่ Gurobi Optimizer รองรับ นอกจากตัวของโปรแกรม Gurobi Optimizer แล้ว คณะผู้จัดทำยังได้ใช้ MS Excel ด้วยเช่นกัน โดยใช้ MS Excel ในการขึ้นแบบจำลองอย่างง่ายในกรณีที่มีตัวแปรไม่มากนักในการวิเคราะห์ และใช้เป็น Format ในการจัดเก็บบันทึกชุดข้อมูล รวมทั้งแสดงผลจากการประมวลผลที่ได้จากโปรแกรม Gurobi Optimizer ซึ่งทำให้สามารถเข้าถึง และเข้าใจได้ง่ายเมื่อนำไปใช้งานจริง

3.2 การกำหนดโจทย์ปัญหา

เนื่องจากในโครงงานนี้มีจุดประสงค์เกี่ยวกับการหาวิธีในการเลือกซื้อและการขนส่งของวัสดุก่อสร้างเข้าในไซต์งานก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด ทางคณะผู้จัดทำได้มีการร่วมมือกับบริษัทABC (ไม่ประสงค์ออกนาม) เพื่อนำข้อมูลในส่วนของการต่อเติมโรงจอดรถ มาเป็นกรณีศึกษา โดยข้อมูลจะประกอบไปด้วย รายการวัสดุ, ราคาของวัสดุ, วิธีในการเลือกร้านค้า, ตำแหน่งที่ตั้งของร้านค้า, วิธีในการจัดส่งวัสดุเข้าไซต์งานในปัจจุบัน และแผนการจัดส่งที่คาดไว้ในอนาคต เป็นต้น

ด้วยความที่โครงการก่อสร้าง เป็นโครงการขนาดเล็ก อุปสงค์และปริมาณการขนส่งวัสดุต่อรอบจำนวนไม่มากนัก ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบให้เปรียบเทียบการขนส่งอยู่ 2 วิธี 1. Direct Shipment และ 2. Milk-Run สาเหตุที่เลือก 2 รูปแบบข้างต้นเนื่องจากเป็นวิธีการขนส่งที่เหมาะกับโครงการขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับการทำ Consolidation Center หรือ Cross-Dock ซึ่งเหมาะสมกับงานที่มีขนาดใหญ่ โดยเปรียบเทียบทั้งสองแบบด้วยชุดข้อมูลเดียวกัน สถานการณ์เดียวกัน ลูกค้าคนเดียวกัน และตัวเลือกร้านค้าวัสดุเหมือนกัน เพื่อหาวิธีที่ให้ผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายสุทธิออกมาน้อยที่สุด โดยเงื่อนไขมีอยู่ว่าต้องส่งสินค้าให้ครบทุกหมวดงานประกอบไปด้วย งานเสาเข็ม, งานเสาสำเร็จรูป, งานโครงหลังคา, งานรางระบายน้ำ, งานหลังคา, งานโคมไฟ ซึ่งในส่วนของงานเสาเข็ม งานเสาสำเร็จรูป กับงานโครงหลังคา มีอยู่ประเภทละหนึ่งร้านเท่านั้น

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทางคณะผู้จัดทำได้คิดขึ้นเป็นตรรกะทางคณิตศาสตร์ที่จะนำไปแปลงเป็นภาษา Python แล้วนำไปใช้คำนวณใน Gurobi Optimizer ซึ่งการขนส่งประเภท Direct Shipment นั้นค่อนข้างตรงไปตรงมาคือการนำค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละร้านค้าที่ถูกที่สุดในแต่ละหมวดงานมารวมกันทางผู้จัดทำจึงขอละไว้มา ณ ที่นี้ ส่วนแบบจำลองที่แสดงในด้านล่างเป็นฟังก์ชันของการขนส่งประเภท Milk- Run ที่ต้องให้โปรแกรมช่วยคำนวณ

3.3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$min\, z = \sum_i \sum_j MRC_{ij} \times x_{ij} \quad (1)$$

3.3.2 เงื่อนไข

$$\sum_h x_{hi} - \sum_j x_{ij} = \begin{cases} 1\ if\ i = c\ (Customer) \\ 0\ otherwise \\ -1\ if\ i = o\ (Outsource) \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1\ if\ arc(i,j)\ is\ selected \\ 0\ otherwise \end{cases} \quad \forall (i,j) \epsilon A_{abc}; \quad \forall (a,b,c) \epsilon SEQ \quad (3)$$

3.3.3 ตัวแปรและพารามิเตอร์

MRC_{ij}	ค่าใช้จ่ายของวัสดุ i รวมกับค่าขนส่งจาก i ไป j
x_{ij}	ตัวเลขแสดงว่าเส้นเชื่อม ij ถูกเลือหรือไม่
A_{abc}	เซตของเส้นเชื่อมทั้งหมดในลำดับ abc ใช้ ij เป็นตัวบ่งชี้
SEQ	เซตของลำดับการขนส่งทุกลำดับที่สามารถเกิดขึ้นได้แบ่งตามหมวดงาน ใช้ abc เป็นตัวบ่งชี้

3.4 วิธีการทดลอง

นำชุดข้อมูลมาวิเคราะห์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำขึ้นมาด้วย Gurobi Optimizer ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น 2 ชุดหลักๆ คือ 1. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดแบบ Direct Shipment 2. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดแบบ Milk-Run ซึ่งจะออกมาเป็นผลลัพธ์ในการเลือกร้านค้าที่ถูกที่สุดของทุกลำดับการขนส่งแบ่งตามหมวดงาน โดยนำผลลัพธ์ทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าวิธีไหนเหมาะสมกว่า หลังจากนั้นคำนวณย้อนกลับพร้อมสุ่มคำนวณค่าใช้จ่ายกับทางเลือกแบบอื่น ๆ เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่ทำขึ้นมานั้นสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องจริง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการนำตัวอย่างข้อมูลร้านค้า 42 ร้านค้า 1 บริษัทขนส่ง และ ลูกค้า 5 รายไปวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 2 แบบ แล้วทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1.) ผลการเลือกร้านค้าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ Direct run 2.) ผลการเลือกร้านค้าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ Milk run ผลลัพธ์จากทั้งสองนี้ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบว่าสำหรับโครงการปรับปรุง ต่อเติม ที่อยู่อาศัยขนาดเล็กแล้ว การเลือกร้านค้าไหน และ วิธีการขนส่งแบบใดถึงจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า โดยเป็นการพิจารณเป็นรายลูกค้า แต่การเลือกร้านค้าในหมวดงานที่ 1,2,3 และ 8 สามารถทำการขนส่งได้เพียง Direct run เท่านั้น

4.1 ผลการเลือกร้านค้าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ Direct Run

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนที่ต่ำที่สุดสำหรับการขนส่งแบบ **Direct run**

Customer	Material Cost	Transport Cost	Total Cost
C1	118743.14	2833.22	121576.36
C2	118743.14	2944.70	121687.84
C3	119099.90	3449.29	122549.19
C4	119201.91	2529.00	121730.91
C5	119201.91	3776.94	122978.85

ตารางที่ 4.2 ผลการเลือกร้านค้าโดยวิธี **Direct run**

Customer	Type of work						
	1	2	3	4	5	7	8
C1	K	C	C	G2	R10	L8	S6
C2	K	C	C	G2	R10	L8	S6
C3	K	C	C	G5	R10	L3	S4
C4	K	C	C	G7	R10	L9	S7
C5	K	C	C	G7	R10	L9	S7

4.2 ผลการเลือกร้านค้าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ Milk-Run

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนต่ำทีสุดสำหรับการขนส่งแบบ **Milk-Run**

Customer	Material Cost	Transport Cost	Total Cost
C1	121390.12	3356.74	124746.86
C2	121396.45	3135.16	124531.61
C3	122757.73	5110.40	127868.13
C4	121651.45	4650.24	126301.69
C5	122660.56	5571.80	128232.36

ตารางที่ 4.4 ผลการเลือกร้านค้าโดยวิธี **Milk-Run**

Customer	Type of work						
	1	2	3	4	5	7	8
C1	K	C	C	G2	R10	L8	S6
C2	K	C	C	G2	R10	L8	S6
C3	K	C	C	G5	R10	L3	S4
C4	K	C	C	G7	R10	L9	S7
C5	K	C	C	G7	R10	L9	S7

4.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Direct Run และ Milk-Run

ผลลัพธ์จากทั้งสองวิธีจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดในรูปแบบของตนเอง ซึ่งสังเกตได้ว่าทั้งสองผลลัพธ์มีค่าไม่เท่ากัน ค่าที่ต่างกันนั้นเกิดการเลือกซื้อร้านค้าที่มีราคาวัสดุต่างกัน, วิธีการขนส่งที่ต่างกัน และ เส้นทางการขนส่งต่างกัน

ตารางที่ 4.5 เปรียบต้นทุนรวมทั้งหมดระหว่าง **Direct** และ **Milk run**

Customer	Total Cost		ต้นทุนต่ำกว่า	
	Direct Run	Milk run	Direct run	Milk run
C1	121576.36	124746.86	X	
C2	121687.84	124531.61	X	
C3	122549.19	127868.13	X	
C4	121730.91	126301.69	X	
C5	122978.85	128232.36	X	

จากตารางที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าสำหรับชุดตัวอย่างข้อมูลนี้ การขนส่งแบบ Direct run มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการขนส่งแบบ Milk run ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้มีสามารถในการวิเคราะห์ต้นทุนวัสดุ และ ต้นทุนค่าขนส่ง เพื่อเลือกร้านค้าและวิธีการขนส่งที่ต่ำที่สุด เพื่อเป็นช่วยในการตัดสินใจ

5. สรุปผลการวิจัย

การตัดสินใจเลือกซื้อวัสดุจากร้านค้าวัสดุก่อสร้าง และเลือกวิธีขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดนั้นต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย มีปัจจัยมากมายที่ส่งผลต่อการเลือกร้านค้า ทำให้เมื่อมีตัวเลือกร้านค้าจำนวนมากย่อมทำให้การเลือกร้านค้า ให้มีต้นทุนต่ำที่สุดนั้นทำได้ยากและใช้เวลานาน ทางผู้ศึกษาจึงได้จัดทำแบบจำลองเพื่อช่วยตัดสินใจในการเลือกซื้อวัสดุจากร้านค้าขายวัสดุก่อสร้าง และวิธีการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด

5.1 วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากผลการทดสอบแบบจำลองด้วยร้ารค้าตัวอย่าง พบว่าการจัดหาวัสดุและการขนส่ง แบบ Direct run ให้ต้นทุนที่ต่ำกว่า Milk run แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลร้านค้าตัวอย่างนี้ไม่ได้เป็นเครื่องยืนยันว่าการขนส่งแบบ Direct run จะเป็นตัวเลือกที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุดตลอดเวลาทั้งต้นทุนในแบบของ Direct run และ Milk run มีหลายปัจจัย

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนค่าวัสดุและค่าขนส่ง

เมื่อวิเคราะห์จากตารางที่ 2 และ 4 แล้วจะสังเกตได้ว่าการเลือกร้านค้าของทั้งสองวิธีนั้นเลือกแตกต่างกันออกไปซึ่งแต่ละร้านค้านั้นจะมีลายระเอียด ค่าวัสดุ, ค่าขนส่ง, ระยะทางที่ไม่คิดค่าส่ง, ตำแหน่งที่ตั้งที่แตกต่างกันไป และบริษัทขนส่ง สำหรับวิธี Milk run ที่คิดค่าขนส่งเป็นบาทต่อกิโลเมตร

5.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกร้านค้าในวิธี Direct run

การขนส่งแบบวิธี Direct run นั้นมีความตรงไปตรงมาโดยที่ร้านค้าจะเป็นผู้รับชอบการขนวัสดุไปสู่ตำแหน่งของลูกค้า โดยที่ปัจจัยในการเลือกร้านค้าประกอบไปด้วย:

1. ค่าวัสดุของแต่ละร้านค้า
2. ค่าขนส่งของแต่ละร้านค้า
3. ระยะทางที่ไม่คิดค่าส่งของแต่ละร้านค้า
4. ตำแหน่งของร้านค้า
5. ตำแหน่งของลูกค้า

5.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกร้านค้าในวิธี Milk run

การขนส่งแบบวิธี Milk run จะเป็นการขนส่งที่คิดค่าขนส่งตามระยะทางที่ขนส่ง ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้ใช้อัตราค่าขนส่งแบบคงที่ โดยเริ่มนับระยะทางตั้งแต่ออกจากอู่รถแล้วจึงขับไปรับวัสดุตามร้านค้าให้ครบตามที่กำหนดแล้วจึงมาส่งลูกค้า โดยปัจจัยที่ใช้เลือกร้านค้าประกอบไปด้วย

1. ค่าวัสดุของแต่ละร้านค้า
2. ค่าขนส่งของบริษัทขนส่ง
3. ตำแหน่งของอู่รถ
4. ตำแหน่งของร้านค้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองในงานวิจัยนี้ ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยด้านเวลาในการจัดเตรียมวัสดุของร้านค้าหรือโรงงาน เนื่องจากในการก่อสร้างนั้นวัสดุทุกอย่างไม่จำเป็นต้องมาถึงพร้อมกัน
2. แบบจำลองในงานวิจัยนี้ ในส่วนของการขนส่งแบบ Milk run นั้นยังเป็นการวิเคราะห์แบบ 1 รอบ 1 จุดหมาย หากเพิ่มจุดหมายให้การวิ่งรถ 1 รอบ สามารถตอบสนองได้หลายลูกค้า มีความเป็นได้ที่จะสามารถลดต้นทุนได้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง แบบจำลองเพื่อหาวิธีการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำโครงงานนี้ อีกทั้งนำเสนอมุมมองในการช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้มอบความรู้ และสั่งสมประสบการณ์ของผู้จัดทำทั้งในด้านความรู้

ทางด้านทฤษฎี และความรู้ทางด้านปฏิบัติ เพื่อให้ผู้จัดทำสามารถนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงงานฉบับนี้ อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสังคมในวงกว้างมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณบริษัทABC (ไม่ประสงค์ออกนาม) ที่ได้ให้ข้อมูล และตัวอย่างการทำงานในโครงการต่อเติมที่พักอาศัยขนาดเล็ก มาเป็นกรณีศึกษาในการทำโครงงานนี้ พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบ และเสนอแนะแนวทางสำหรับการออกแบบแบบจำลองที่คำนึงถึง พร้อมทั้งสามารถนำไปใช้ได้ในการทำงานจริง

ท้ายที่สุดทางผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาในประเด็นดังกล่าว สำหรับข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น ทางคณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ และยินดีพร้อมที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงงานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Buffa, F. P. (1987). Transit Time and Cost Factors: Their Effects on Inbound Consolidation. Texas: American Society of Transport & Logistics.

[2] Berman, O., and Wang, Q. (2006). Inbound Logistic Planning: Minimizing Transportation and Inventory Cost. Catonsville: Informs.

[3] Song, J. M., Chen, W., and Lei, L. (2018). Supply chain flexibility and operations optimization under demand uncertainty: a case in disaster relief. New Brunswick: Taylor & Francis.

[4] Fink, S., and Benz, F. (2018). Flexibility planning in global inbound logistics. Dortmund: Elsevier.

[5] Guerlain, C., Renault, S., Ferrero, F., and Faye, S. (2019). Decision Support Systems for Smarter and Sustainable Logistics of Construction Sites. Luxembourg: MDPI.

[6] Lohatepanont, M., (2018). 2101558 Transportation and Logistics Optimization. Bangkok: (np.)