

การออกแบบเครื่องมือเพื่อวางแผนและจัดตารางการขนดินภายใต้ทรัพยากรจำกัด

ฐิตียา ธีระรังสิกุล^{*1} และ วรวิทย์ หวังวัชรกุล²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Received: 25 April 2021; Revised: 11 May 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยในการวางแผนดำเนินการขนดิน โดยการจัดสรรจำนวนเที่ยวที่เหมาะสมสำหรับการขนดินไปยังแต่ละโครงการในแต่ละเดือนที่มีความแตกต่างกันของ ระยะทางในการขนส่ง ระยะเวลาดำเนินการ และปริมาณดินที่ต้องการ การขนส่งดินจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของข้อจำกัดของจำนวนทรัพยากรของบริษัท ซึ่งสามารถขนส่งดินได้เฉลี่ยจำนวน 2,100 เที่ยวต่อเดือน และหากจำนวนการขนดินรวมในแต่ละเดือนมีปริมาณเกินขีดจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ของบริษัท ทางบริษัทจะใช้บริการจากบริษัทร่วมน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ทรัพยากรของบริษัท ผู้วิจัยจึงได้นำโปรแกรมเชิงเส้นเข้ามาช่วยเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขนดิน โดยนำข้อมูลของการขนส่งดินของบริษัทในช่วงระยะเวลา 2 ปี รวมทั้งสิ้น 16 โครงการมาทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวางแผนขนดินผ่านการใช้ Excel Solver จากผลการศึกษาพบว่าหากใช้โปรแกรมเชิงเส้นเข้ามาช่วยในการวางแผนสามารถทำให้ระยะเวลาการดำเนินการขนดินรวมทั้งหมด 16 โครงการเสร็จสิ้นก่อนกำหนดประมาณ 2 เดือน และลดค่าใช้จ่ายในการขนดินรวมทุกโครงการร้อยละ 1.44 คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 3,319,517 บาท

คำสำคัญ: การจัดตารางการขนดิน, ทรัพยากรจำกัด, โปรแกรมเชิงเส้น

* Corresponding author. E-mail: thitiya.thee@ku.th

¹ โครงการปริญญาโท ภาคพิเศษ สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

Designing of a Planning and Scheduling Tool for Earth Moving Operation under Limited Resource

Thitiya Theerarangsikul^{*1} and Worawut Wangwatcharakul²

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,
Bangkok 10900, Thailand

Received: 25 April 2021; Revised: 11 May 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

The main objective of this study was to design a tool for planning an earth moving operation. The projects are difference in distance, maximum work period, and required soil volume. Due to overlapping timelines for the projects, the company might not be able to provide sufficient soil for each ongoing project. The company can only supply an average of 2,100 earth moving trips per month. In case the company reach the full capacity, they will use a more cost-consuming outsource service, leading to an increase overall operation cost. To maintain the outsource services at a minimum, a linear programming model was developed to deal with this situation. The model was implemented using company's past data consisting of 16 projects in a two-year period. Through the usage of excel solver function, mathematical model, and past data, the most efficient logistic planning strategy could be achieved. The result of the mathematical model has shown that the total project duration can be reduced by two months with the reduction of total logistics cost by 1.44 percent or 3,319,517 baht.

Keywords: earth moving plan, resource constrained, linear programming

* Corresponding author. E-mail: thitiya.thee@ku.th

1 Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

2 Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

1. บทนำ

โครงการก่อสร้างทั้งงานทางและก่อสร้างอาคารสถานที่ เริ่มต้นการดำเนินโครงการด้วยการปรับระดับของพื้นที่ โดยการปรับพื้นที่ต้องมีการขุดดินทั้งเข้าและออกจากพื้นที่โครงการเป็นจำนวนมาก โดยผู้รับเหมางานขุดดินจะอาศัยประสบการณ์จากโครงการที่ผ่านมาด้านการขุดดินเพื่อวางแผนดำเนินงาน กำหนดระยะเวลาในการดำเนินงาน และกำหนดต้นทุนที่จะใช้ในการดำเนินงาน ทางบริษัทประกอบธุรกิจประเภทกิจการรับเหมาก่อสร้างและบรรทุกดิน โดยมีบริษัทในเครือทั้งหมด 3 บริษัท ทำหน้าที่รองรับการทำงานในธุรกิจด้านต่าง ๆ เช่น ธุรกิจประเภทงานก่อสร้างและงานโยธา ธุรกิจประเภทการขายดิน และหน้าดิน และธุรกิจประเภทงานจ้างซ่อม โดยบริษัทได้เริ่มกิจการจากการเป็นผู้รับเหมารายย่อยทั่วไป คือการรับเหมาก่อสร้างในพื้นที่ขนาดเล็ก ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาโครงการบ้านจัดสรร บ้านเดี่ยว และคอนโดมิเนียมเกิดขึ้นมากมาย โครงการส่วนมากมีความต้องการใช้ดินเพื่อปรับแต่งระดับพื้นที่ก่อนเริ่มโครงการทางบริษัทเป็นหนึ่งในทางเลือกของโครงการเหล่านี้ จึงได้รับการว่าจ้างจากโครงการต่าง ๆ มากมายในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปริมาณดินที่ใช้ในแต่ละโครงการมีความแตกต่างกันตามความต้องการ พื้นที่ และระดับดินของแต่ละโครงการ เมื่อได้รับการว่าจ้าง ทางบริษัทจึงเริ่มวางแผนการดำเนินงาน โดยการจัดสรรทรัพยากรภายในของบริษัท แต่เนื่องจากการที่บริษัทมีเครื่องจักรและทรัพยากรอย่างจำกัด ชัดความสามารถในการขนส่งดินของบริษัททำได้โดยเฉลี่ย 2,100 เที่ยวต่อเดือน ซึ่งไม่สามารถรองรับปริมาณงานขุดดินของทุกโครงการได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้บริษัทต้องทำการว่าจ้างบริษัทอรรถร่วมรายอื่นเพื่อลดภาระงานของบริษัท โดยพบว่าจากข้อมูลที่ได้รับตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ.2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2563 บริษัทมีการว่าจ้างบริษัทอรรถร่วมในการขุดดินมากถึงร้อยละ 65.12 ของจำนวนเที่ยวการขุดดินทั้งหมด ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นมากกว่าการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ภายในบริษัท

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยในการวางแผนการขุดดินของบริษัท ในสถานะที่มีทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เมื่อมีโครงการหลายโครงการ

เกิดขึ้นในระยะเวลาเดียวกัน โดยการคำนวณหาจำนวนเที่ยวการขนส่งที่เหมาะสมในแต่ละเดือน และเพื่อคัดเลือกโครงการที่จะใช้บริการจากบริษัทอรรถร่วมรายอื่นผ่านทางบริษัท เพื่อให้การดำเนินงานในแต่ละโครงการเสร็จสิ้นตามระยะเวลาที่กำหนดและมีต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการขุดดิน

กระบวนการขุดดินเป็นการขุดดินจากพื้นที่หนึ่งไปสู่อีกพื้นที่หนึ่งโดยการใช้เครื่องจักรสำหรับการก่อสร้างเช่น รถขุดตัก รถบรรทุก เป็นเครื่องมือหลักการขุดดิน ในการทำงานของเครื่องจักรสำหรับการก่อสร้างในกระบวนการขุดดินมีลำดับการทำงานดังนี้

1. เวลาที่รถบรรทุกเข้ารับดินจากรถขุดตัก เวลา นับตั้งแต่รถบรรทุกมาถึงพื้นที่ขุดดิน จนรถบรรทุกได้รับดินแล้วเสร็จ
2. เวลาที่รถบรรทุกเดินทาง เวลานั้นนับตั้งแต่รถบรรทุกออกเดินทางจากพื้นที่ขุดดินจนถึงพื้นที่ทิ้งดิน เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพผิวจราจรที่เรียบจะช่วยให้รถบรรทุกเดินทางโดยใช้ความเร็วได้ ถนนที่มีความลาดชันจะทำให้รถบรรทุกลดความเร็วลง และเส้นทางการเดินทางที่กำหนดไว้
3. เวลาที่รถบรรทุกเทดิน เวลานั้นนับตั้งแต่รถบรรทุกถึงพื้นที่โครงการ จนเทดินแล้วเสร็จ เวลาที่รถบรรทุกใช้ในการเทดินผันแปรไปกับความยากง่ายในการเข้าพื้นที่เทดิน
4. เวลาที่รถบรรทุกดินเดินทางกลับ เวลานั้นนับตั้งแต่รถบรรทุกดินเดินทางออกจากพื้นที่เทดินจนถึงพื้นที่ขุดดิน เช่นเดียวกันกับการใช้เวลาในการเดินทางไปโครงการ รถบรรทุกจะเดินทางช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น [1]

2.2 โปรแกรมเชิงเส้น

โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นวิธีการที่ใช้ในการจัดการปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยากรที่มีลักษณะของความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่ในเชิงเส้นตรงทั้งหมด โดยมีเป้าหมายเพื่อแก้ปัญหาและ

ตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด เช่น กำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และแนวทางการดำเนินงานด้านอื่น ๆ ที่เกิดผลประโยชน์มากที่สุดต่อด้านนั้น ๆ โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงมีดังนี้

1. สมการกำหนดเป้าหมาย (Objective Function) คือสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของกำไรหรือต้นทุนการดำเนินงาน เพื่อให้สามารถกำหนดเป้าหมายต่ำสุดหรือสูงสุด
2. ส่วนที่แสดงข้อจำกัด (Constraints) ซึ่งแสดงข้อจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากรทั้งหมดในรูปสมการหรืออสมการ
3. ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดในสมการต่าง ๆ ต้องมีลักษณะเชิงเส้นตรง คือตัวแปรทุกตัวในสมการเป้าหมายและสมการหรืออสมการของข้อจำกัดจะต้องมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง
4. ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขวัญรา หอมทรัพย์ [2] นำวิธีการวิเคราะห์จากทฤษฎี Activity Based Costing และโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการเครื่องมือในการบริหารจัดการวัสดุคงคลัง พบได้ว่าการใช้เครื่องมือดังกล่าว และการวิเคราะห์ที่เป็นระบบ โดยการกำหนดข้อจำกัดทางด้านการผลิต ข้อจำกัดในการดำเนินธุรกิจ สภาพแวดล้อมและบริบทในปัจจุบันของธุรกิจ เพอร์นิเจอร์ไทย สามารถเป็นเครื่องมืออย่างง่ายที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการวัตถุดิบคงคลัง หรือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานส่วนต่าง ๆ ได้โดยไม่มิต้นทุนส่วนเพิ่มสำหรับการนำเครื่องมือนี้มาใช้

ทวิพร ชาเจียมเจน และ อรรถกร เก่งพล [3] ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวางแผนการผลิตเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขในการวางแผนการผลิตทั้งทางด้านปริมาณ ข้อจำกัดทางด้านการความสามารถในการผลิต และสินค้าคงคลัง โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทางด้านโปรแกรมเชิงเส้น ประกอบกับหลักการทางวางแผนการผลิตและการจัดการระบบคงคลัง ให้มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขแต่ละเงื่อนไขในการปรับปรุงการวางแผนการผลิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

นายพิระพล เก้าเอี้ยน [4] นำราคาที่ได้จากการพยากรณ์มาเป็นค่าพารามิเตอร์ด้านราคาเพื่อใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วคำนวณตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวโดยอาศัยโปรแกรม Microsoft Excel Solver Add-Ins ช่วยในการคำนวณ ทำให้ได้ผลลัพธ์ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุดในการสั่งซื้อวัตถุดิบจากประเทศผู้จัดส่งแต่ละราย

เพชรายุทธ แซ่หลี่ และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์ [5] สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายจากสินค้าขาดมือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า ค่าจ้างพนักงานผลิตและพนักงานบรรจุ ผลจากการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมจากการดำเนินการตามแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ลดลงร้อยละ 5.06 เมื่อเปรียบเทียบกับดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา

สถาภัทร สมานทรัพย์ [6] ได้ใช้โปรแกรมเชิงเส้นมาช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกแนวทางในการผลิตหัตถ์พลาสติก ส่วนประกอบหัวฉีดสเปรย์ ผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดขึ้นจากทางเลือกในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า สรุปได้ว่าทางเลือกที่มาจากจากการคำนวณด้วยโปรแกรมเชิงเส้นจะมีต้นทุนที่ต่ำ และเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อความต้องการสินค้าได้ทันเวลาที่กำหนด และตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าที่ต้องการ

สาวิตรี สารุ และ สุนาริน จันทะ [7] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยการใช้การโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาแบบการเลือกแหล่งซื้อน้ำมันสำหรับใช้ในแต่ละพื้นที่ ในแต่ละช่วงเวลา โดยปัจจัยที่

นำมาพิจารณาในการเลือกซื้อ คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางราคาราคาแต่ละที่คุณภาพน้ำมันแต่ละแห่ง เพื่อก่อให้ต้นทุนการจัดซื้อให้น้อยที่สุด

3. วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การรวบรวมข้อมูลการดำเนินการขนส่งสินค้าจากบริษัท สร้าง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สร้างสร้างสเปรดชีต (Spreadsheet) และการนำข้อมูลการมาทำการคำนวณโดยใช้ Excel Solver

3.1 การรวบรวมข้อมูลการดำเนินการขนส่งสินค้าผ่านมาจากบริษัท

จากการศึกษาข้อมูลในปัจจุบันของบริษัท พบว่าทรัพยากรของบริษัทมีอยู่อย่างจำกัด ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยทรัพยากรของบริษัทที่ใช้ในการขนดินสามารถขนดินได้เฉลี่ย 2,100 เทียบต่อเดือน

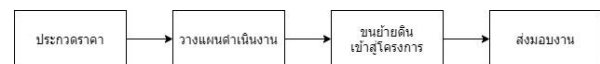
ตารางที่ 1 เครื่องจักรและทรัพยากรที่มีอยู่ของบริษัท

ลำดับ	รายการ	จำนวน(คัน)
1	รถพ่วง	30
2	รถเทลเลอร์	10
3	รถแบ็คโฮ Volvo	6
4	รถแบ็คโฮ Hitachi	4
5	รถแบ็คโฮ Komatsu	1
6	รถแบ็คโฮ Kobeko	2
7	รถแทรกเตอร์ D2	2
8	รถแทรกเตอร์ D4	2
9	รถแทรกเตอร์ D5	2

วิธีการดำเนินงานของบริษัท เริ่มจากการประกวดราคา เมื่อทางโครงการเปิดรับสมัคร จะรู้ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ ปริมาณดินที่โครงการต้องการ และระยะเวลาที่โครงการกำหนดให้มีการขนดินเข้าสู่โครงการ เมื่อชนะการประกวดราคา และได้รับการว่าจ้างเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะมีช่วงระยะเวลาการตกลงว่าจ้าง และเซ็นสัญญาเกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ทางบริษัทจะทำการวางแผนการขนส่งตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด จัดเตรียมรถบรรทุก คนงาน และจัดหาดินตามที่โครงการต้องการ จากนั้นเมื่อได้รับสัญญาการว่าจ้างแล้วทางบริษัทจะเข้าทำการจัดการพื้นที่หน้างาน เช่น การเอาเศษวัสดุ ต้นไม้หรือกิ่งไม้ออกจากพื้นที่ จากนั้นจะ

เริ่มทำการวัดระดับพื้นที่โครงการ แล้วเริ่มขนส่งดินเข้าพื้นที่โครงการ จากนั้นจะมีการบดอัดดินให้ได้ตามพื้นที่ และระดับที่ทำการตกลงไว้ วิธีการดำเนินงานโดยรวมแสดงดังรูปที่ 1

วิธีการขนดินในปัจจุบันคือจะทำการขนส่งให้กับโครงการที่เวลาเริ่มต้นโครงการก่อน และจะทำการขนส่งในเส้นทางเดิมตลอดระยะเวลาการทำงาน ค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนสำหรับการขนส่งขึ้นอยู่กับระยะทางจากบ่อดินถึงโครงการ เมื่อมีโครงการใหม่เข้ามา และมีจำนวนทรัพยากรของบริษัทเพียงพอ จะทำการขนดินไปให้โครงการใหม่เพิ่มเติม แต่ถ้าจำนวนทรัพยากรของบริษัทไม่เพียงพอจะทำการว่าจ้างบริษัทมาร่วมเข้ามารับผิดชอบการขนดิน โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 2,250 บาทต่อเที่ยว



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานของบริษัท

ข้อมูลโครงการที่ผ่านมาของบริษัทได้มีการเข้าไปสอบถามข้อมูลจากผู้บริหาร รวมทั้งสืบค้นจากเอกสารของบริษัทที่ได้เก็บรวบรวมไว้ โดยทำการเก็บข้อมูลของโครงการย้อนหลังตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 เก็บข้อมูลในส่วนของรายชื่อโครงการ ระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการ และจำนวนเที่ยวที่ต้องขนดินในแต่ละโครงการ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลวันที่เริ่มต้นโครงการ วันที่ส่งงาน และจำนวนเที่ยวที่ต้องขนส่งในช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563

โครงการ	วันที่เริ่มต้นโครงการ	วันที่ส่งงาน	จำนวนที่ขนส่ง (เที่ยว)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว (บาท)
1	01/09/2561	28/02/2562	10,553	1,699
2	01/11/2561	31/01/2562	9,628	1,841
3	01/03/2562	31/05/2562	2,574	1,822
4	01/03/2562	31/05/2562	4,419	1,822
5	01/03/2562	30/06/2562	6,742	1,737

ตารางที่ 2 ข้อมูลวันที่เริ่มต้นโครงการ วันที่ส่งงาน และจำนวนเที่ยวที่ต้องขนส่งในช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 (ต่อ)

โครงการ	วันที่เริ่มต้นโครงการ	วันที่ส่งงาน	จำนวนที่ขนส่ง (เที่ยว)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว (บาท)
6	01/03/2562	31/05/2562	9,610	2,115
7	01/03/2562	31/05/2562	10,598	1,680
8	01/03/2562	31/05/2562	2,311	1,680
9	01/04/2562	31/05/2562	660	1,822
10	01/06/2562	31/07/2562	6,222	1,737
11	01/06/2562	30/06/2563	2,568	1,680
12	01/06/2562	30/06/2563	2,568	1,680
13	01/10/2562	31/12/2562	15,915	2,181
14	01/11/2562	28/02/2563	6,213	2,096
15	01/11/2562	31/12/2562	6,784	2,096
16	01/03/2563	30/04/2563	11,346	2,181

จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาเริ่มต้น เวลาส่งงาน จำนวนเที่ยวรถที่ต้องขนส่งไปยังแต่ละโครงการ มีความแตกต่างกัน บางช่วงระยะเวลา มีจำนวนโครงการที่บริษัทรับผิดชอบเพียงโครงการเดียว และบางช่วงระยะเวลามีโครงการเข้ามาพร้อมกันจำนวนมาก

3.2 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะทำการวางแผนการขนส่งตลอดโครงการ โดยทำการวางแผนใหม่ทุก ๆ เดือน เพื่อหาจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโครงการในแต่ละเดือน ภายใต้เงื่อนไขด้านทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และต้องขนส่งให้ได้จำนวนเที่ยวตามที่โครงการต้องการ และสามารถวางแผนจัดการปริมาณเที่ยวรถของบริษัทให้รวมเมื่อจำนวนที่ต้องขนส่งเกินขีดจำกัดของบริษัท

3.2.1 ดัชนี

i คือ โครงการที่ 1, 2, 3, ..., m

j คือ เดือนที่ 1, 2, 3, ..., n

3.2.2 ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} คือ จำนวนเที่ยวการขนส่งของบริษัท

กรณีศึกษาของโครงการ i ใน เดือน j

Y_i คือ จำนวนเที่ยวการขนส่งทั้งหมดของบริษัท

รถร่วมของโครงการ i

3.2.3 พารามิเตอร์

C_0 คือ ราคาการขนส่งต่อเที่ยวของรถร่วม

C_{ij} คือ ราคาการขนส่งของโครงการ i เดือน j ซึ่งแตกต่างกันตามระยะทางจากบ่อดินจนถึงพื้นที่โครงการ

D_i คือ จำนวนเที่ยวที่ต้องขนส่งของโครงการ i

3.2.4 สมการเป้าหมาย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีเป้าหมายเพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด โดยหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมของบริษัท รวมกับค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้บริการจากบริษัทรถร่วม ตามสมการที่ (1)

$$\text{Min Cost } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^m C_0 Y_i \quad (1)$$

3.2.5 ส่วนของข้อจำกัด

1. ผลรวมของจำนวนเที่ยวที่ต้องขนส่งไปยังโครงการ i ในแต่ละเดือน แสดงในสมการที่ (2) โดยที่จำนวนเที่ยวรวมของบริษัทและบริษัทรถร่วมมากกว่าจำนวนเที่ยวที่ต้องขนส่งไปยังโครงการ

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} + Y_i \geq D_i \quad ; \quad \forall i \quad (2)$$

2. ผลรวมของจำนวนเที่ยวของทุกโครงการในแต่ละเดือน j บริษัทจะสามารถขนส่งได้เฉลี่ยไม่เกินเดือนละ 2,100 เที่ยว แสดงในสมการที่ (3)

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq 2,100 \quad ; \quad \forall j \quad (3)$$

3. ข้อจำกัดด้านตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ และเป็นจำนวนเต็ม แสดงในสมการที่ 4

$$X_{ij}, Y_i \geq 0 \quad ; \quad X_{ij}, Y_i \in I \quad (4)$$

3.3 สร้างสเปรดชีต (Spreadsheet)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในข้อที่ 3.2 จะทำการสร้างสเปรดชีตในลงใน Microsoft Excel Worksheet ดังรูปที่ 2 โดยการสร้างสเปรดชีตมีส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของ

โครงการ เช่น จำนวนเที่ยวที่บริษัทต้องทำการขนดินให้แต่ละโครงการ ราคาต่อเที่ยวสำหรับการขนดินไปยังโครงการ และระยะเวลาดำเนินการของแต่ละโครงการ และมีส่วนที่จะได้คำตอบออกมา คือจำนวนเที่ยวที่แต่ละโครงการต้องขนดินแต่ละเดือน รวมถึงจำนวนเที่ยวการขนดินที่ต้องใช้บริการจากบริษัทรวม เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนดินที่ต่ำที่สุด

รูปที่ 2 ภาพรวมของสเปรดชีตที่สร้างขึ้น

1. เป็นส่วนที่ต้องกรอกข้อมูลของจำนวนเที่ยวที่ขนดิน ราคาการขนดินต่อเที่ยวสำหรับแต่ละโครงการ และราคาขนดินของบริษัทรวมโดยคิดเฉลี่ยเที่ยวละ 2,250 บาท เท่ากันทุกโครงการ
2. เป็นส่วนของตัวแปรตัดสินใจ ในการขนดินของบริษัทไปยังแต่ละโครงการในแต่ละเดือนจำนวนกี่เที่ยว และโครงการใช้บริการจากบริษัทรวมจำนวนกี่เที่ยว
3. เป็นส่วนของระยะเวลาในการขนดินของแต่ละโครงการ ทำการกรอกเลข 1 หากเป็นเดือนที่มีการขนดิน เช่นโครงการที่ 1 มีเวลาในการขนดิน 6 เดือน จะกรอกเลข 1 ลงในทุกช่องสำหรับโครงการที่ 1

4. เป็นส่วนของสมการเงื่อนไขด้านทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดของบริษัท ซึ่งแต่ละเดือนผลรวมของจำนวนเที่ยวขนดินของทุกโครงการต้องไม่เกินเดือนละ 2,100 เที่ยว โดยสูตรในสเปรดชีตของส่วนนี้แสดงในรูปที่ 3

Cell	Formula
L19	SUMPRODUCT(D7:J7,D19:J19)
L20	SUMPRODUCT(D8:J8,D20:J20)
L21	SUMPRODUCT(D9:J9,D21:J21)
L22	SUMPRODUCT(D10:J10,D22:J22)
L24	SUMPRODUCT(D12:J12,D24:J24)
L25	SUMPRODUCT(D13:J13,D25:J25)

รูปที่ 3 สูตรในส่วนเงื่อนไขด้านทรัพยากรในสเปรดชีต

5. เป็นส่วนของเงื่อนไขในเรื่องของจำนวนเที่ยวที่ทางบริษัทต้องทำการขนดินให้แต่ละโครงการ และจำนวนเที่ยวรถที่ทางบริษัทต้องทำการจ้างให้ทางบริษัทรวมทำการขนส่ง โดยสูตรในสเปรดชีตส่วนนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 4

Cell	Formula
D28	SUMPRODUCT(D7:D13,D19:D25)
E28	SUMPRODUCT(E7:E13,E19:E25)
F28	SUMPRODUCT(F7:F13,F19:F25)
G28	SUMPRODUCT(G7:G13,G19:G25)
H28	SUMPRODUCT(H7:H13,H19:H25)
I28	SUMPRODUCT(I7:I13,I19:I25)
J28	SUMPRODUCT(J7:J13,J19:J25)
D30	D4
E30	E4
F30	F4
G30	G4
H30	H4
I30	I4
J30	J4

รูปที่ 4 สูตรส่วนเงื่อนไขด้านจำนวนเที่ยวที่ต้องขนดินในแต่ละโครงการในสเปรดชีต

6. เป็นส่วนสมการเป้าหมาย คือการหาค่าใช้จ่ายในการขนดินที่ต่ำที่สุด โดยการหาผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนดินทุกโครงการ และค่าใช้จ่ายจากการใช้บริการจากบริษัทรวม สูตรที่ใช้สำหรับ สเปรดชีตส่วนนี้แสดงในรูปที่ 5

Cell	Formula
M2	SUMPRODUCT(D5:J6,D15:J16)

รูปที่ 5 สูตรในส่วนของสมการเป้าหมายในสเปรดชีต

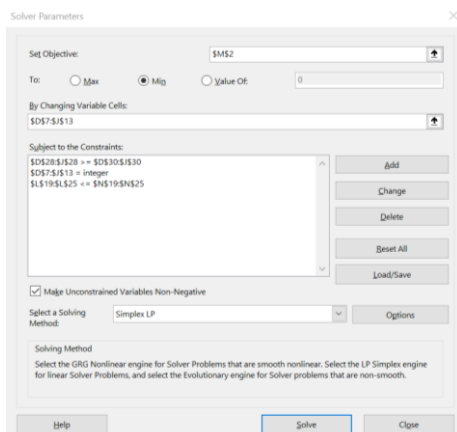
7. เป็นส่วนของราคาที่ดินรายเดือนและราคารวมของการขุดดินโดยบริษัทรวม โดยการหาผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขุดดินทุกโครงการ สูตรที่ใช้สำหรับสเปรดชีตส่วนนี้แสดงในดังรูปที่ 6

Cell	Formula
L7	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D7:J7)
L8	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D8:J8)
L9	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D9:J9)
L10	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D10:J10)
L11	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D11:J11)
L12	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D12:J12)
L13	SUMPRODUCT(SD\$5:\$JS5,D13:J13)

รูปที่ 6 สูตรของราคาที่ดินรายเดือนและราคารวมของการขุดดินโดยบริษัทรวม ในสเปรดชีต

3.4 คำวนโดยใช้ Excel Solver

เมื่อทำการกรอกข้อมูลของจำนวนเที่ยว ต้นทุนการขนส่งต่อเที่ยว และระยะเวลาของโครงการลงในสเปรดชีต จากนั้นกำหนดสมการวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไขทั้งหมดลงในโปรแกรม Excel Solver ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หน้าต่างโปรแกรม Excel Solver

4. ผลการวิจัย

เมื่อนำข้อมูลของบริษัทที่ได้รับรวบรวมมาจำนวน 16 โครงการตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ.2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2563 รวมระยะเวลาดำเนินงานทั้งสิ้น 22 เดือน มาทำการวางแผนการขุดดิน โดยการกรอกข้อมูลจำนวนเที่ยวที่

ต้องการ และค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว ลงใน สเปรดชีต และหาคำตอบจากการใช้ Excel Solver ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาว่าในแต่ละเดือน ต้องทำการขุดดินให้แต่ละโครงการจำนวนกี่เที่ยว ต้องใช้บริการจากบริษัทรวมจำนวนกี่เที่ยว โดยการหาจำนวนเที่ยวในการขุดดินนี้จะทำใหม่ทุก ๆ เดือน เพื่อตรวจสอบว่าโครงการที่ยังไม่แล้วเสร็จมีการปรับเปลี่ยนจำนวนเที่ยวการขุดดินจากเดิมหรือไม่ หากมีโครงการใหม่เข้ามา หรือมีโครงการเดิมแล้วเสร็จจะได้มีการปรับเปลี่ยนจำนวนเที่ยวในการขุดดินสำหรับโครงการที่ต้องดำเนินการในปัจจุบัน ในรูปที่ 8 เป็นผลที่ได้จาก Excel Solver ซึ่งเป็นจำนวนเที่ยวการขุดดินในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 ซึ่งตามข้อมูลโครงการนี้มีระยะเวลาดำเนินการ 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

		โครงการ 1					
		1					
จำนวนเที่ยวขุดดินต่อเที่ยว (เที่ยว)	10,553						
ราคาขุดดินต่อเที่ยว (บาท)	1,699						
ราคาขุดดินรวมต่อเที่ยว (บาท)	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
เดือน	กันยายน	2,100	-	-	-	-	-
	ตุลาคม	2,100	-	-	-	-	-
	พฤศจิกายน	2,100	-	-	-	-	-
	ธันวาคม	2,100	-	-	-	-	-
	มกราคม	2,100	-	-	-	-	-
กุมภาพันธ์	53	-	-	-	-	-	-
จำนวนเที่ยวขุดดินรวม (เที่ยว)	-	-	-	-	-	-	-
จำนวนเที่ยวขุดดินรวม (เที่ยว)	10,553	-	-	-	-	-	-

รูปที่ 8 แผนการขุดดินที่คิดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 เมื่อใช้ Excel Solver

ในรูปที่ 9 เป็นผลที่ได้จาก Excel Solver โดยทำการวางแผนใหม่ในเดือนต่อมาซึ่งคือเดือนตุลาคม เพื่อดูว่าจำนวนเที่ยวที่ต้องขุดดินมีการปรับเปลี่ยนหรือไม่ แต่เนื่องจากไม่มีโครงการใหม่เข้ามาเพิ่มเติมในช่วงเวลานี้ จึงทำให้จำนวนเที่ยวที่ต้องขุดดินยังเป็นไปตามแผนการเดิม

		โครงการที่ 1						
		1						
จำนวนที่จองขนส่งรถเหล็ก (เที่ยว)		8,453						
ราคาขนส่งต่อเที่ยว (บาท)		1,699						
ราคาขนส่งขบวนรวมต่อเที่ยว (บาท)		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
เดือน	ตุลาคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	พฤศจิกายน	2,100	-	-	-	-	-	-
	ธันวาคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	มกราคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	กุมภาพันธ์	53	-	-	-	-	-	-
	มีนาคม	-	-	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งโดยรวม (เที่ยว)		-	-	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งรวม (เที่ยว)		8,453	-	-	-	-	-	-

รูปที่ 9 แผนการขนดินในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 เมื่อใช้ Excel Solver

เมื่อถึงเดือนพฤศจิกายนพบว่าไม่มีโครงการที่ 2 เข้ามาเพิ่มเติม เมื่อทำการกรอกข้อมูลลงในสเปรดชีตแล้วใช้ Excel Solver หาคำตอบพบว่า มีการปรับเปลี่ยนจำนวนเที่ยวการขนดินของโครงการที่ 1 ในเดือนพฤศจิกายนจาก 2,100 เที่ยวเหลือ 53 เที่ยว ดังรูปที่ 10

		โครงการที่ 1						
		1	2					
จำนวนที่จองขนส่งรถเหล็ก (เที่ยว)		6,353	9,628					
ราคาขนส่งต่อเที่ยว (บาท)		1,699	1,841					
ราคาขนส่งขบวนรวมต่อเที่ยว (บาท)		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
เดือน	พฤศจิกายน	53	2,047	-	-	-	-	-
	ธันวาคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	มกราคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	กุมภาพันธ์	2,100	-	-	-	-	-	-
	มีนาคม	-	-	-	-	-	-	-
	เมษายน	-	-	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งโดยรวม (เที่ยว)		-	7,581	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งรวม (เที่ยว)		6,353	2,047	-	-	-	-	-

รูปที่ 10 แผนการขนดินในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 เมื่อใช้ Excel Solver

ในเดือนธันวาคมไม่มีโครงการใหม่เข้ามาเพิ่มเติม จึงพบว่าแผนการขนดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 11

		โครงการที่ 1						
		1	2					
จำนวนที่จองขนส่งรถเหล็ก (เที่ยว)		6,300	7,581					
ราคาขนส่งต่อเที่ยว (บาท)		1,699	1,841					
ราคาขนส่งขบวนรวมต่อเที่ยว (บาท)		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
เดือน	ธันวาคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	มกราคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	กุมภาพันธ์	2,100	-	-	-	-	-	-
	มีนาคม	-	-	-	-	-	-	-
	เมษายน	-	-	-	-	-	-	-
	พฤษภาคม	-	-	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งโดยรวม (เที่ยว)		-	7,581	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งรวม (เที่ยว)		6,300	-	-	-	-	-	-

รูปที่ 11 แผนการขนดินในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 เมื่อใช้ Excel Solver

ในเดือนมกราคมไม่มีโครงการใหม่เข้ามาเพิ่มเติมเช่นกัน เมื่อหาคำตอบโดยใช้ Excel Solver จึงพบว่าแผนการขนดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่โครงการที่ 2 ต้องส่งงานภายในเดือนนี้ จึงต้องมีการใช้บริการจากบริษัทร่วม ดังรูปที่ 12

		โครงการที่ 1						
		1	2					
จำนวนที่จองขนส่งรถเหล็ก (เที่ยว)		4,200	7,581					
ราคาขนส่งต่อเที่ยว (บาท)		1,699	1,841					
ราคาขนส่งขบวนรวมต่อเที่ยว (บาท)		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
เดือน	มกราคม	2,100	-	-	-	-	-	-
	กุมภาพันธ์	2,100	-	-	-	-	-	-
	มีนาคม	-	-	-	-	-	-	-
	เมษายน	-	-	-	-	-	-	-
	พฤษภาคม	-	-	-	-	-	-	-
	มิถุนายน	-	-	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งโดยรวม (เที่ยว)		-	7,581	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งรวม (เที่ยว)		4,200	-	-	-	-	-	-

รูปที่ 12 แผนการขนดินในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 เมื่อใช้ Excel Solver

เมื่อถึงเดือนกุมภาพันธ์พบว่าไม่มีโครงการที่ 3 และ 4 เข้ามาเพิ่มเติม เมื่อทำการกรอกข้อมูลลงในสเปรดชีตแล้วใช้ Excel Solver หาคำตอบพบว่า แผนการขนดินสำหรับโครงการที่ 1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 13

		โครงการที่ 1						
		1	3	4				
จำนวนที่จองขนส่งรถเหล็ก (เที่ยว)		2,100	2,574	4,419				
ราคาขนส่งต่อเที่ยว (บาท)		1,699	1,822	1,822				
ราคาขนส่งขบวนรวมต่อเที่ยว (บาท)		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
เดือน	กุมภาพันธ์	2,100	-	-	-	-	-	-
	มีนาคม	-	-	2,100	-	-	-	-
	เมษายน	-	-	2,100	-	-	-	-
	พฤษภาคม	-	1,881	219	-	-	-	-
	มิถุนายน	-	-	-	-	-	-	-
	กรกฎาคม	-	-	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งโดยรวม (เที่ยว)		-	693	-	-	-	-	-
จำนวนที่จองขนส่งรวม (เที่ยว)		2,100	1,881	4,419	-	-	-	-

รูปที่ 13 แผนการขนดินในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 เมื่อใช้ Excel Solver

จากผลการวางแผนข้างต้นเป็นการแสดงวิธีการวางแผนโดยละเอียดสำหรับโครงการที่ 1 เมื่อนำข้อมูลทุกโครงการมาทำการหาจำนวนเที่ยวที่ต้องขนดินโดยใช้ Excel Solver แล้วนำมาสรุปผล ดังรูปที่ 14

โครงการ	ราคาต่อเที่ยว (บาท)	จำนวนรวม (เที่ยว)	จำนวนเที่ยวที่ขนส่งเดือนที่						จำนวนเที่ยวรวม	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาท)
			1	2	3	4	5	6		
1	1,699	-	2,100	2,100	53	2,100	2,100	2,100	10,553	17,929,547
2	1,841	7,581	2,047	-	-	-	-	-	9,628	20,825,777
3	1,822	2,574	-	-	-	-	-	-	2,574	5,791,500
4	1,822	4,419	-	-	-	-	-	-	4,419	9,942,750
5	1,737	4,642	-	-	-	2,100	-	-	6,742	14,092,200
6	2,115	9,610	-	-	-	-	-	-	9,610	21,622,500
7	1,680	4,298	2,100	2,100	-	-	-	-	10,598	20,254,500
8	1,680	2,311	-	-	-	-	-	-	2,311	5,199,750
9	1,822	660	-	-	-	-	-	-	660	1,485,000
10	1,737	4,122	-	2,100	-	-	-	-	6,222	12,922,200
11	1,680	-	-	-	-	1,632	936	-	2,568	4,314,240
12	1,680	-	-	-	2,100	468	-	-	2,568	4,314,240
13	2,181	14,751	1,164	-	-	-	-	-	15,915	35,728,434
14	2,096	-	-	2,013	2,100	2,100	-	-	6,213	13,022,448
15	2,096	4,597	2,100	87	-	-	-	-	6,784	14,927,202
16	2,181	7,146	2,100	2,100	-	-	-	-	11,346	25,238,700

รูปที่ 14 ผลการหาจำนวนเที่ยวการขนส่งในแต่ละเดือนของทุกโครงการจากการใช้ Excel solver

ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมเชิงเส้น และ Excel Solver จะเห็นได้ว่าแผนการขนดินสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อมีโครงการใหม่เข้ามา และจากโครงการที่มีอยู่ทั้งหมดในช่วงระยะเวลานั้น ๆ โครงการที่มีค่าใช้จ่ายในการขนดินต่อเที่ยววน้อยที่สุดจะเป็นโครงการที่ถูกเลือกให้ขนส่งด้วยทรัพยากรของบริษัท อีกทั้งการขนดินยังถูกให้จัดส่งแบบเต็มประสิทธิภาพของทรัพยากรของบริษัทที่มีอยู่อย่างเต็มที่เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับโครงการที่เข้ามาในอนาคต โดยเมื่อทำการหาคำตอบจากการใช้ Excel Solver ของทั้ง 16 โครงการแล้วนั้น พบว่าสามารถทำให้การดำเนินงานขนดินทั้งหมดเสร็จสิ้นในเดือนเมษายน พ.ศ.2563 ซึ่งแล้วเสร็จก่อนระยะเวลาที่กำหนด 2 เดือน อีกทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมทุกโครงการในการดำเนินการขนดินลงจากวิธีการขนดินแบบเดิมจำนวน 3,319,517 บาท คิดเป็นร้อยละ 1.44 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยในการวางแผนดำเนินการขนดิน เพื่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งโปรแกรมเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์เป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการจัดตารางและวางแผนการขนดินสำหรับบริษัทได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการแก้ปัญหาพบว่าหากบริษัทปรับมาใช้แผนการขนดินด้วยโปรแกรมเชิงเส้น และหาคำตอบด้วยการใช้ Excel Solver บริษัทจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการขนดิน และระยะเวลาในการขนดินของโครงการที่มีอยู่ทั้งหมดอีกด้วย โดยการวางแผนขนดินทุกเดือนผ่านการใช้ Excel Solver จากผลการศึกษาพบว่าหากใช้โปรแกรมเชิงเส้นเข้ามาช่วยในการวางแผนสามารถทำให้ระยะเวลาการดำเนินการขนดินรวมทั้งหมด 16 โครงการเสร็จสิ้นก่อนกำหนดประมาณ 2 เดือน และลดค่าใช้จ่ายในการขนดินรวมทุกโครงการร้อยละ 1.44 คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 3,319,517 บาท

สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรพิจารณาในส่วนของการเพิ่มของข้อจำกัดในด้านอื่น ๆ เช่นการจัดการบริเวณพื้นที่โครงการหากมีการขนดินแบบเต็มประสิทธิภาพ และพิจารณาในส่วนของการเพิ่มจำนวนทรัพยากรการดำเนินงานของบริษัท เช่น การจัดซื้อรถเพื่อนำมาขนดินเพิ่มเติม

พิจารณาถึงความคุ้มค่า และจุดคุ้มทุนหากต้องการที่จะเพิ่มทรัพยากรของบริษัทเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการขนดินโดยรวม เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษณะ ชอบเรียบร้อย, “การประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยเพื่อหาต้นทุนของการขนดิน,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมศาสตร์และการจัดการเชิงธุรกิจ), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 2559.
- [2] ขวัญวรา หอมทรัพย์, “การประยุกต์ใช้ Linear Programming สำหรับการวางแผนจัดการวัตถุดิบสำหรับธุรกิจเฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก,” สารนิพนธ์ บธ.ม. (บริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 2560.
- [3] ทวีพร ขาเจียมเจน และ อรรถกร เก่งพล, “การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมโดยการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาการวางแผนการผลิตบริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, หน้า 57-65, กันยายน-ธันวาคม, 2550
- [4] นายพีระพล แก้วเย็น, “การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบโดยการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา: การจัดซื้อวัตถุดิบจากต่างประเทศในอุตสาหกรรมกระดาษ,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (อุตสาหกรรม), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2549.
- [5] เพชรายุทธ แซ่หลี และ อภิชัย ฤทธิวิรุฬห์, “แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 37, ฉบับที่ 3, หน้า 347-360, กรกฎาคม-กันยายน, 2557
- [6] ลภภัทร สมานทรัพย์, “การวิเคราะห์ปริมาณการผลิตและสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุดเพื่อต้นทุนที่ต่ำที่สุด กรณีศึกษา หัวกดพลาสติก ส่วนประกอบหัวฉีดสเปรย์,” วิทยานิพนธ์ วท.ม. (โลจิสติกส์), มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, 2559.

- [7] สาวิตรี สารุ และ สุนาริน จันทะ, “การหารูปแบบการเลือกแหล่งซื้อน้ำมันสำปะหลังโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปมันเส้นสะอาด จ. ฉะเชิงเทรา,” ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, ชะอำ เพชรบุรี, 2555.