

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยเพื่อหาต้นทุนการขนย้ายดิน

Application of Queuing Theory for Determining the Cost of Earth Moving

กฤษณะ ชอบเรียบบร้อย^{1*}, ดนัย วันทนากร²

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์และการจัดการเชิงธุรกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

²สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

*E-mail: Kritsana.sbcon@gmail.com

บทคัดย่อ

การขนย้ายดินเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอันหนึ่งต่อการกำหนดต้นทุนค่าก่อสร้างงานทาง แต่จะเห็นได้ว่าผู้รับเหมานักกลางและเล็กมักคิดต้นทุนจากประสบการณ์การทำงานของแต่ละรายโดยที่ไม่ทราบต้นทุนอันแท้จริงของมัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วยในกระบวนการขนย้ายดิน ด้วยการรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายอันประกอบด้วย ค่าครอบครองเครื่องจักรก่อสร้าง (Ownership Cost) และค่าใช้จ่ายเครื่องจักรทำงาน (Operating Cost) ส่วนการหาอัตราผลผลิตจะประกอบด้วยข้อมูลด้าน ปริมาตรบรรทุกของกระบะรถ และข้อมูลด้านรอบเวลาในการขนย้ายดินของเครื่องจักรก่อสร้าง โดยกำหนดระยะทางที่ใช้ศึกษาระหว่างพื้นที่ขุดตักดินกับพื้นที่ทิ้งดินเป็น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตรตามลำดับ สำหรับเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยรถขุดตักจำนวน 1 คัน และรถบรรทุกจำนวน 5 คัน ทฤษฎีแถวคอยได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์หาผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้าง ผลการศึกษาพบว่า การขนย้ายดินในระยะทางสั้นๆไม่เกิน 1 กิโลเมตร จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 คัน โดยมี สมการต้นทุนคือ $y = -0.146x^2 + 1.543x + 8.928$ บาท/ม.³ และถ้าหากการขนย้ายดินมีระยะทางผันแปรตั้งแต่ 1 กิโลเมตรขึ้นไปจนถึง 4 กิโลเมตร จะได้ว่าจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมและประหยัดต้นทุนที่สุดคือ 5 คัน โดยสมการต้นทุนในการขนย้ายดินคือ $y = -0.054x^2 + 0.944x + 9.352$ บาท/ม.³

คำสำคัญ: การขนย้ายดิน, ทฤษฎีแถวคอย, ต้นทุนการขนย้ายดิน, ผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้าง

Abstract

Earth moving is one of important processes in cost estimating of the construction work. Commonly, it can be seen that small to medium-scaled contractors estimate the unit cost of work from their experience without knowing its real cost. Therefore, this research aims to evaluate the unit cost of earth moving. Collected data pertaining to cost include the ownership and operating costs. A production rate of equipment involves volume of the truck bowl and its cycle time in moving the earth. For this study, the haul distance between the excavating area and the dump site is set at 0.5, 1, 2, 3, and 4 kilometers, respectively. Also, the equipment used for conducting an experiment constitutes one excavator and five trucks. Queuing theory is also applied in analyzing

the productivity of the trucks. The results from the study reveal that 4 trucks are the optimum numbers for a short haul distance of no greater than 1 kilometer with an equation of unit cost $y = -0.146x^2 + 1.543x + 8.928$ baht/m³. Where a haul distance is varied from 1 kilometer up to 4 kilometers, 5 trucks are the most appropriate choice with an equation of unit cost $y = -0.054x^2 + 0.944x + 9.352$ baht/m³.

Keywords: Earth moving, Queuing theory, Cost of Earth Moving, Productivity of Construction equipment

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศไทยมีการขยายตัวและเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้มีโครงการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชน ความต้องการใช้ทรัพยากรในงานโครงการก่อสร้างจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ทรัพยากรต้องปรับราคาเพิ่มขึ้นตามปริมาณความต้องการ ดังนั้นผู้รับเหมาจึงจำเป็นต้องปรับแผนการใช้ทรัพยากรเพื่อลดต้นทุนการก่อสร้างเนื่องจากกระบวนการผลิตในงานก่อสร้างมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม นั่นคืองานก่อสร้างมีลักษณะงานที่แตกต่างกันในแต่ละรอบการผลิตและมีกระบวนการทำงานที่แบ่งให้ผู้รับเหมาช่วง ทำให้เกิดปัญหาหน้างานได้ตลอดเวลา เป็นเหตุให้การจัดการโครงการและการควบคุมต้นทุนมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น (กฤษฎา และคณะ, 2554)

แบบจำลองเชิงปริมาณของทฤษฎีแถวคอยมีรูปแบบที่มีความแตกต่างกันตามรูปแบบ ลักษณะของผู้รับบริการและผู้รับบริการลักษณะของแถวคอย ตลอดจนปัจจัยอื่นที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น พฤติกรรมของผู้เข้ารับบริการขณะอยู่ในแถวคอย เป็นต้น (ปิยพร, 2555) การใช้ทฤษฎีแถวคอยเพื่อหาต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดิน จะช่วยให้ผู้รับเหมางานขนย้ายดินทราบผลผลิตภาพและต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงานขนย้ายดิน เพื่อการจัดเตรียมเอกสารสำหรับการเสนอราคา และแผนการดำเนินงานให้สอดคล้องกับต้นทุนที่แท้จริง

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ทฤษฎีแถวคอยศึกษาต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินที่มีรายละเอียดและขั้นตอนของที่มาของต้นทุนในการขนย้ายดินซับซ้อน จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยศึกษาค่าใช้จ่ายในโครงการปริมาตรของกระเบบบรรทุก และเวลาในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้าง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์โดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์และสถิติหาต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดิน เป็นราคาบาทต่อลูกบาศก์เมตร

3. ทฤษฎี

3.1 ทฤษฎีแถวคอย

แถวคอยเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเข้ามารับบริการแต่ยังไม่ได้รับการบริการในทันที จึงต้องเข้าแถวรอจนกว่าผู้ให้บริการกับผู้รับบริการคนก่อนหน้าแล้วเสร็จ จึงจะสามารถเข้ารับบริการได้ ในช่วงการรอจะเกิดการสูญเสียเวลาของผู้เข้ารับบริการ ถ้าผู้เข้ารับบริการที่ไม่สามารถรอได้ก็จะออกจากระบบไป ส่วนผู้รับบริการที่รอได้

หรือผู้เข้ารับบริการที่ไม่ต้องรอก็จะเข้าสู่กระบวนการให้บริการของผู้ให้บริการ และเมื่อมีการรับบริการแล้วเสร็จ ผู้รับบริการจะออกจากระบบไป

3.2 ผลผลิตภาพ

ผลผลิตภาพ(Productivity) ที่เกิดขึ้นในงานเป็นตัววัดศักยภาพและประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในการทำงาน ทั้งของเครื่องจักรและแรงงานมนุษย์ทั้งยังสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้เปรียบเทียบความสามารถในการทำงานระหว่าง กระบวนการทำงานตั้งแต่สองกระบวนการทำงานขึ้นไปที่มีโครงสร้างการทำงานเหมือนกัน เช่น กรณีที่รถยนต์สองคัน ที่มีขนาดเครื่องยนต์เท่ากันใช้ เชื้อเพลิงเท่ากัน แต่สามารถเคลื่อนที่ด้วยระยะทางที่ต่างกัน จะสรุปได้ว่ารถยนต์ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ไกลกว่ามีผลผลิตภาพสูงกว่า หรือกรณีที่ให้รถยนต์ที่มีขนาดเครื่องยนต์เท่ากันเคลื่อนที่ด้วยระยะทาง ที่เท่ากัน แต่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต่างกัน จะสรุปได้ว่ารถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่ามีผลผลิตภาพที่สูงกว่า โดยสามารถวัด ผลผลิตภาพของการทำงานได้จากปริมาณงานที่เกิดขึ้นจริงในงานได้(Output) ต่อทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินงาน(Input) ผลผลิตภาพของการทำงานเป็นการแสดงผลออกมาเป็นปริมาณในการผลิตต่อหน่วยเวลา เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อม ของการทำงานที่ปกติ ถือเป็นเวลามาตรฐานในการทำงาน (สวลักษณ์, 2553)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ข้อกำหนดในการเก็บรวบรวมข้อมูล

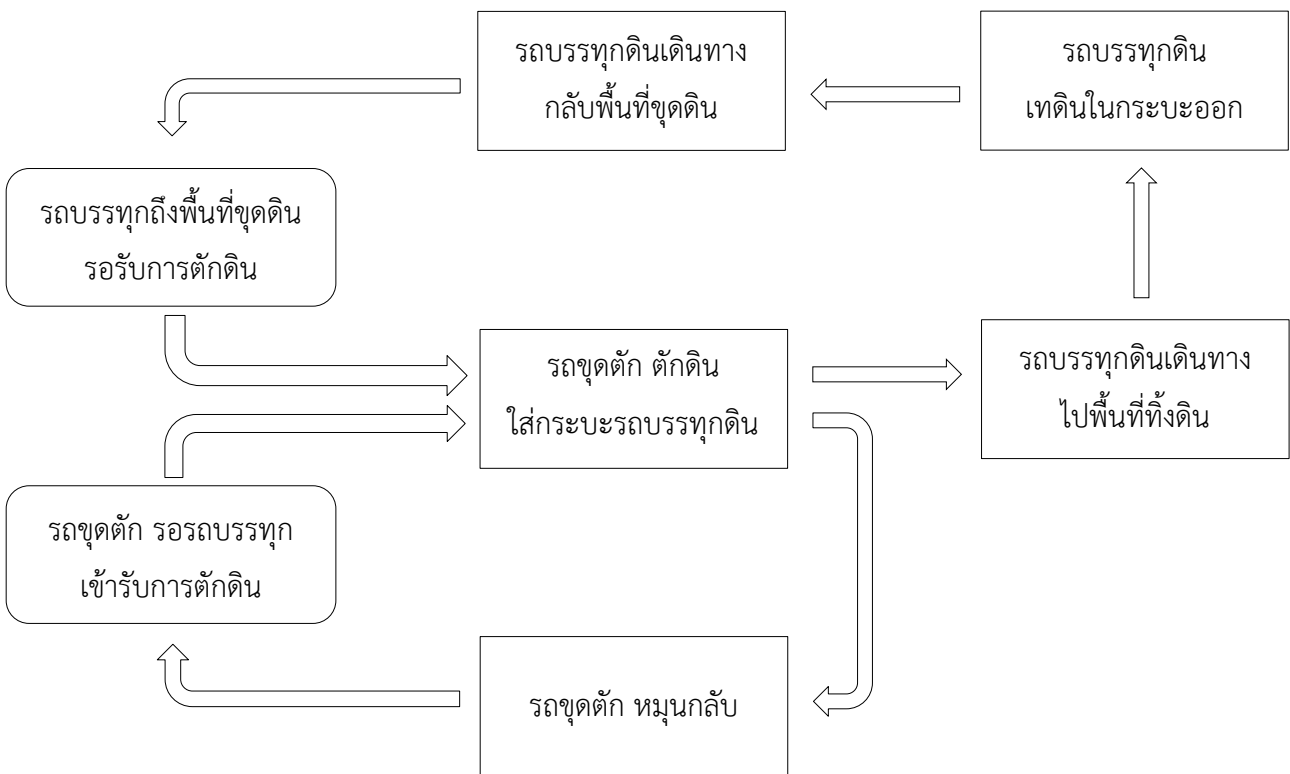
ข้อกำหนดในการศึกษากระบวนการขนย้ายดินนี้ ประกอบด้วยรถบรรทุกทุกคัน(10ล้อ) ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FUSO ซึ่งมีปริมาตรของกระบะที่สามารถบรรจุได้สูงสุดเท่ากับ 11.42 ลูกบาศก์เมตร และรถขุดตักยี่ห้อ KOBELCO รุ่น SK200-8 ซึ่งมีปริมาตรบั้งก็ตามคู่มือของผู้ผลิตเท่ากับ 0.8-1.3 ลูกบาศก์เมตร โดยให้เครื่องจักรกล ก่อสร้างทำงานวันละ 8 ชั่วโมง สำหรับการซื้อเครื่องจักรกลและอะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงใช้การจัดซื้อด้วยเงินสด หรือไม่รวมดอกเบี้ยเงินกู้กรณีที่ขอสินเชื่อจากบริษัทสินเชื่อ และคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลก่อสร้างแบบ เส้นตรง ส่วนบริเวณพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินซึ่งเป็นพื้นที่ดำเนินงานรถบรรทุกมีทางเข้าออกได้สะดวก โดยผิวถนน ที่ใช้สัญจรเป็นลูกรังที่มีพื้นผิวหน้าเรียบ และมีความกว้างอย่างน้อย 6 เมตร ซึ่งเพียงพอให้รถบรรทุกทุกคันสามารถขับสวนกันได้ระยะทางที่ใช้ศึกษาการขนย้ายดินซึ่งวัดจากพื้นที่ขุดดินถึงพื้นที่ทิ้งดินคือ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร แบ่งกลุ่มรถบรรทุกออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 คัน โดยคุณสมบัติของดินที่ทำการขนย้าย มีลักษณะเป็นดินลูกรัง ก้อนแข็ง ละเอียดมีสีส้มหรือสีแดง ซึ่งชั้นดินดังกล่าวอยู่ลึกจากผิวดินลงไปมากกว่า 1 เมตร และสามารถพบได้ทั่วไปในพื้นที่ ตอนกลางและตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

4.2 การรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับรถขุดตักและรถบรรทุก แบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือค่าใช้จ่ายเครื่องจักรก่อสร้างและผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้าง โดยค่าใช้จ่ายเครื่องจักรก่อสร้างแบ่งย่อย เป็นค่าครอบครองเครื่องจักร(Ownership Cost)และค่าใช้จ่ายเครื่องจักรกล(Operating Cost) โดยค่าครอบครอง เครื่องจักร ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายด้านการจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์มูลค่าซากของเครื่องจักรก่อสร้าง ค่าเสื่อมราคา ของเครื่องจักรก่อสร้าง ค่าซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ของเครื่องจักรก่อสร้าง ภาษีของเครื่องจักรก่อสร้าง ประกันภัยสำหรับ เครื่องจักรก่อสร้างและค่าเช่าหรือสร้างสถานที่เก็บรักษาเครื่องจักรก่อสร้าง และอื่นๆ ค่าใช้จ่ายเครื่องจักรกล

ประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิงของเครื่องจักรก่อสร้างที่เกิดขึ้นในงานแต่ละวัน น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ เกียร์และเฟืองท้าย ใส้กรอง จาระบี การซ่อมบำรุงเครื่องจักรก่อสร้างเป็นการซ่อมขนาดเล็ก ค่ายางรถ และค่าอะไหล่และค่าแรงเปลี่ยนอะไหล่ของเครื่องจักรก่อสร้าง (Robert and Clifford, 2003)

แบ่งการเก็บข้อมูลผลผลิตภาพของกระบวนการขนย้ายดินออกเป็นข้อมูลปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก และผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้าง โดยหาปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุกด้วยการทดลองใช้รถขุดตักทำการตักดินใส่กระบะรถบรรทุกแล้ววัดปริมาตรดินเพื่อหาความจุเฉลี่ยของบั้งก็รถขุดตัก ทำการทดลองจำนวน 21 ครั้ง จากนั้นทดลองตักดินใส่กระบะรถบรรทุกให้ได้จำนวนครั้งที่มากที่สุดแต่ไม่เกินความจุของกระบะรถบรรทุก คือปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุกที่ใช้ในงานวิจัย(Q) โดยการตักดินใส่กระบะรถบรรทุกต้องใช้จำนวนการตักที่เท่ากันตามการทดลองหาปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก และหาผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้างโดยการใช้เครื่องจักรก่อสร้างทำการขุดแล้วขนย้ายดินตามแบบจำลองกระบวนการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในงานขนย้ายดินดังรูปที่ 1 โดยแบ่งกลุ่มรถบรรทุกออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 คัน และแบ่งระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินออกเป็น 0.5, 1, 2, 3, และ 4 กิโลเมตร แล้วบันทึกข้อมูลเวลาในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้างรวม 1,000 รอบซึ่งใน 1 รอบของกิจกรรมการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างประกอบด้วยเวลาที่รถบรรทุกเดินทางเข้าถึงพื้นที่ขุดดิน เวลาที่รถขุดตักดินเริ่มทำการขุดแล้วเทดินลงในกระบะของรถบรรทุกดิน เวลาที่รถบรรทุกดินเริ่มออกเดินทางไปยังพื้นที่ทิ้งดิน และเวลาที่รถบรรทุกเดินทางกลับมาถึงพื้นที่ขุดดิน



รูปที่ 1 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างในกระบวนการขนย้ายดิน

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดิน แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างและการวิเคราะห์ผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์หาอัตราค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนย้ายดิน (C) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของรถขุดตัก (CE) ผลรวมค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของรถบรรทุก (CT) และจำนวนรถบรรทุกในระบบจำนวน 2, 3, 4 และ 5 คัน(k) ได้ตั้งสมการที่ 1 โดยแบ่งออกตามระยะทางระหว่างพื้นที่ที่ขุดดินและพื้นที่ที่ขุดดิน ที่ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร

$$C = CE + kCT \quad (1)$$

หาอัตราการเข้าบริการของรถบรรทุก, λ (คัน/ชั่วโมง) ด้วยสมการที่ 2 โดย T_a คือเวลาเฉลี่ยที่รถบรรทุกทำกิจกรรม เข้าพื้นที่ขุดดิน รับการตักดิน เดินทางไปพื้นที่ที่ขุดดิน เทดิน และเดินทางกลับถึงพื้นที่ขุดดิน ใน 1 รอบ (ชั่วโมง) และวิเคราะห์หาอัตราการให้บริการของรถขุดตัก, μ (คัน/ชั่วโมง) ด้วยสมการที่ 3 โดย T_s คือเวลาเฉลี่ยที่รถขุดตักทำกิจกรรมตักดินใส่กระบะรถบรรทุก ใน 1 รอบ(ชั่วโมง)

$$\lambda = \frac{1}{T_a} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{1}{T_s} \quad (3)$$

วิเคราะห์ผลผลิตภาพในกระบวนการขนย้ายดินของรถบรรทุก(Prod) ประกอบด้วย โอกาสในทางสถิติที่จะพบรถบรรทุกในระบบแทนด้วยสัญลักษณ์ PL หรือ $1-P_0$ ซึ่งสามารถหา P_0 ได้จากสมการที่ 4 ปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก(Q) อัตราการการให้บริการของรถขุดตัก(μ) และช่วงระยะเวลาที่พิจารณาเป็น 1 ชั่วโมง(L) ตั้งสมการที่ 5 (Halpin & Riggs, 1992)

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^k \frac{k!}{(k-i)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^i \right]^{-1} \quad (4)$$

$$\text{Prod} = (PL)\mu LQ \quad (5)$$

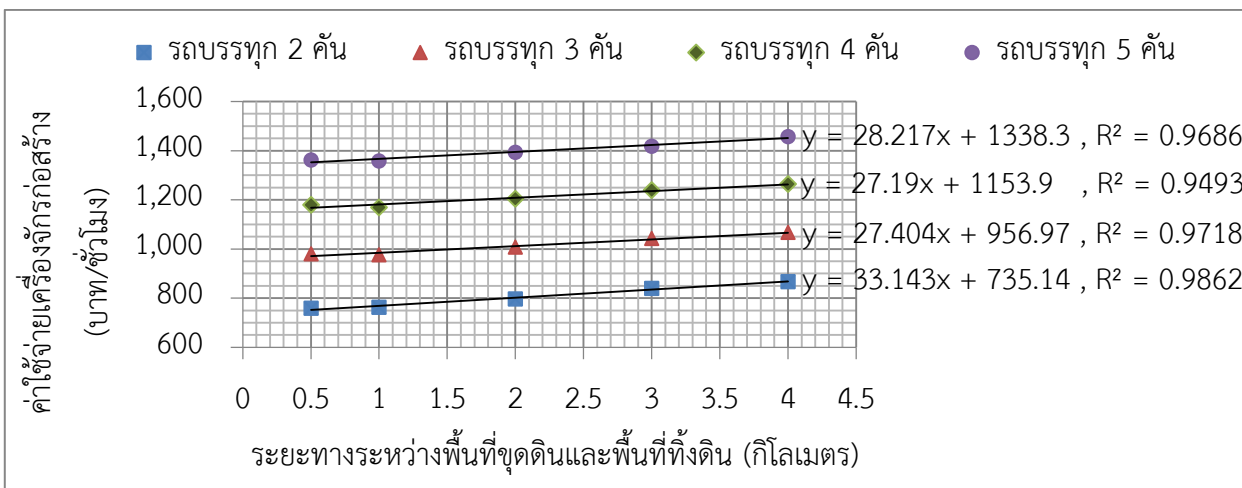
วิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วยของการขุดดิน(M) ด้วยสัดส่วนระหว่างผลรวมอัตราค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโครงการ (C) และ ผลผลิตภาพของกระบวนการขนย้ายดิน (P) ตั้งสมการที่ 6

$$M = C/\text{Prod} \quad (6)$$

5. ผลและวิจารณ์

5.1 ผลการศึกษา

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างของรถขุดตักและรถบรรทุกแล้ววิเคราะห์โดยการรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อรอบระยะเวลาการขนย้ายดินที่ระยะทาง 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร โดยใช้รถบรรทุก 2, 3, 4 และ 5 คัน ผลที่ได้เป็นแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่องจักรก่อสร้างต่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ที่ขุดดิน โดยแยกตามจำนวนกลุ่มการใช้งานรถบรรทุก

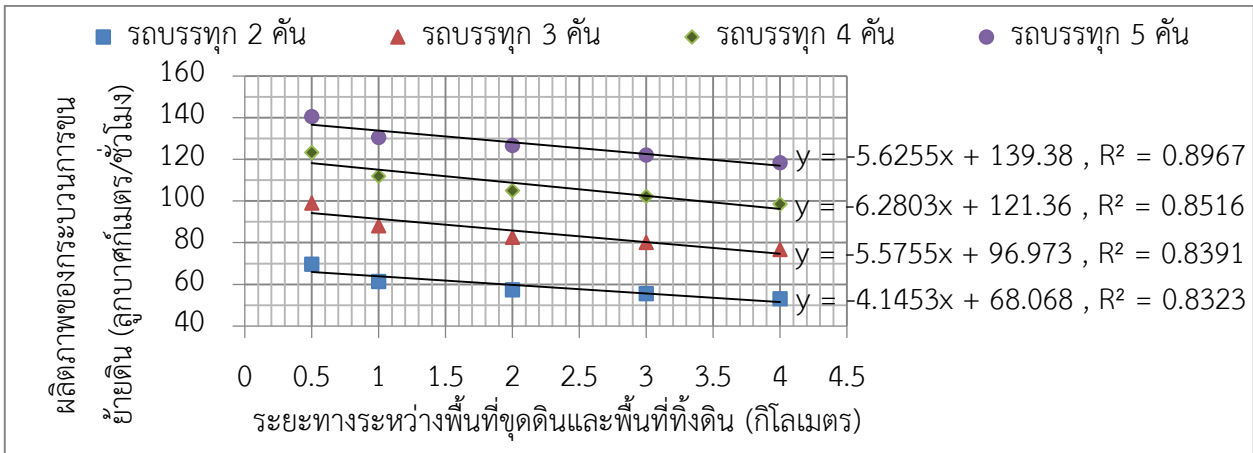


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างกับระยะทางในการขนย้ายดิน

จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของอัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับระยะทางในการขนย้ายดิน ดังแสดงในรูปที่ 2 หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่จุดดินและพื้นที่ทิ้งดินที่ไกลมากขึ้น จะการมีใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถบรรทุกเพิ่มขึ้น ซึ่งกลุ่มของรถบรรทุกจำนวน 2, 3, 4 และ 5 คัน มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปัจจัยหลักของการเพิ่มขึ้นที่สร้างความแตกต่างของค่าใช้จ่ายอย่างชัดเจนคือค่าน้ำมันเชื้อเพลิงนั่นเอง

ในการวิเคราะห์ด้านผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้างจำเป็นต้องหาปริมาณความจุเฉลี่ยของบั้งที่รถขุดตักก่อน เพราะว่าการตักแต่ละครั้งจะได้ปริมาณดินที่ไม่เท่ากัน จากการทดลองหาปริมาณความจุของบั้งที่เฉลี่ยได้เท่ากับ 1.24 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นความจุของบั้งที่นำไปใช้ในการหาปริมาณความจุที่เหมาะสมสำหรับกระบะของรถบรรทุกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ตักดินใส่กระบะรถบรรทุกซึ่งมีความจุมากที่สุดเท่ากับ 11.42 ลูกบาศก์เมตร แล้วพิจารณาเลือกจำนวนครั้งในการตักสูงสุดที่ทำให้ดินเต็มกระบะแต่ไม่ล้นออกนอกขอบกระบะของรถบรรทุก ถ้าต้องการให้ดินเต็มกระบะรถบรรทุกพอดีจะต้องทำการตัก 9 บั้งก็ หากเลือกตักดิน 10 บั้งก็ จะได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 12.40 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำให้ดินล้นออกจากกระบะรถประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร

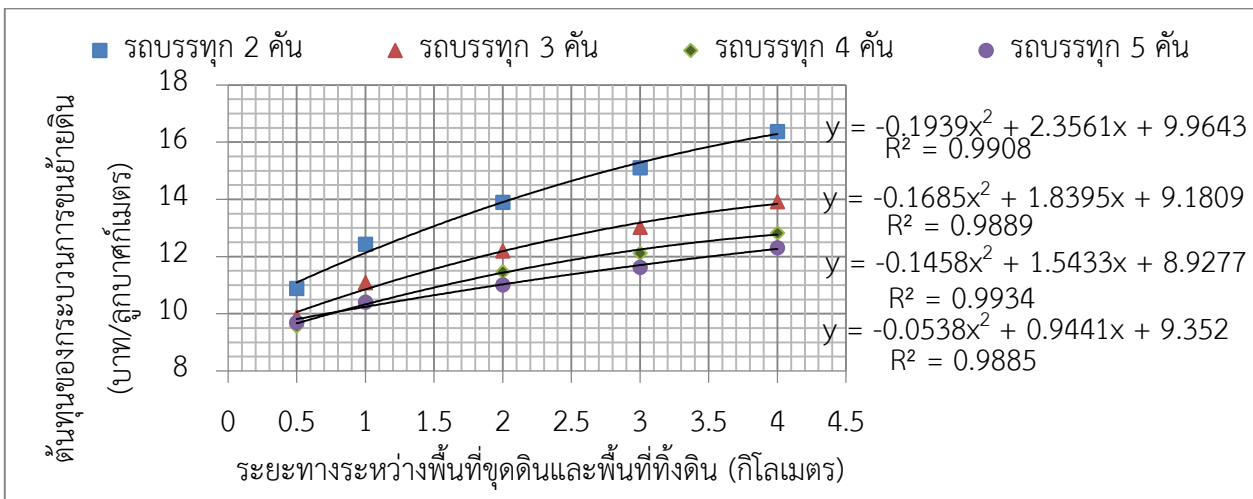
วิเคราะห์ผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้างด้วยข้อมูลรอบเวลา (cycle time) ในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้าง ปริมาณความจุของกระบะรถบรรทุก และโอกาสในเชิงสถิติของการพบรถบรรทุกในระบบ จะได้ค่าผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินต่อระยะทางระหว่างพื้นที่จุดดินและพื้นที่ทิ้งดินโดยมีความสัมพันธ์ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลัดภาพเครื่องจักรก่อสร้างกับระยะทางในการขนย้ายดิน

จะสังเกตเห็นว่า ผลัดภาพเครื่องจักรก่อสร้างในกระบวนการขนย้ายดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากระยะทางที่ไกลขึ้นทำให้รถบรรทุกต้องใช้เวลาต่อรอบที่ยาวนานขึ้น โดยแนวโน้มของผลัดภาพลดลงที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพราะปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อผลัดภาพคือระยะเวลาที่ใช้ทำกิจกรรม แม้ว่าในระยะทางเดียวกันจะมีจำนวนรถบรรทุกที่ต่างกันแต่จะมีเวลาเฉลี่ยในการทำกิจกรรมที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของผลัดภาพจะเป็นไปตามค่าในทางสถิติของโอกาสที่พบรถบรรทุกในระบบ

จากข้อมูลที่ได้ข้างต้น คือต้นทุนของเครื่องจักรก่อสร้าง และผลัดภาพเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดิน สามารถนำมาวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ลูกบาศก์เมตร) ของกระบวนการขนย้ายดิน ต่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินได้ โดยความสัมพันธ์เป็นไปตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดินกับระยะทางในการขนย้ายดิน

จะพบว่า แนวโน้มของต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่า การมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของต้นทุนในรูปแบบที่เหมือนกันคือค่อยๆเพิ่มขึ้น ในลักษณะโค้งคว่ำ ซึ่งการใช้รถบรรทุก 2 คันจะมีต้นทุนการขนย้ายดินที่สูงที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการมีจำนวน

รถบรรทุกในระบบน้อยเกินไป จะทำให้รถขุดตักต้องรอคอยการเดินทางกลับมารับดินของรถบรรทุก เป็นผลให้ผลิตภาพของรถขุดตักลดลง ซึ่งการรอคอยที่ยาวนาน จะทำให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยการขนย้ายดินที่สูงขึ้น

5.2 วิจัยกรณีผลการศึกษา

ในการทดลองวิเคราะห์หาต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดินด้วยรถขุดตัก โดยมีการระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินเป็น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร พบว่าในระยะทางการขนย้ายสั้นๆที่ไม่เกิน 1 กิโลเมตร จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 คัน เนื่องจากการใช้รถบรรทุกจำนวน 2-3 คัน ทำให้รถขุดตักต้องจอดรอการวิ่งกลับเข้ารับบริการของรถบรรทุก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของรถขุดตักลดลง อันเป็นต้นเหตุของผลิตภาพโดยรวมของเครื่องจักรก่อสร้าง ดังนั้นจึงทำให้ต้นทุนต่อหน่วยของดินสูงขึ้น โดยที่ระยะทาง 0.9 กิโลเมตร ถ้าใช้รถบรรทุกจำนวน 4 คัน ในทำนองเดียวกันเมื่อระยะทางการขนย้ายเป็น 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร การใช้รถบรรทุกจำนวน 4 คันจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลด้อยลง อันเนื่องมาจากเกิดการรอคอยที่ยาวนานขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนที่สูงขึ้นในขณะที่ผลิตภาพลดลง จากผลการศึกษาจะเห็นว่า การใช้รถบรรทุกจำนวน 5 คัน เมื่อมีระยะทางในการขนย้ายระหว่าง 1 - 5 กิโลเมตร จะได้ต้นทุนต่อหน่วยในการขนย้ายดินที่ถูกที่สุด

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า ผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้างที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนย้ายดินมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินไกลมากขึ้น ในขณะที่อัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดิน ดังนั้นในการวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการขนย้ายดินเมื่อระยะทางในการขนย้ายเป็น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร สรุปได้ว่าที่ระยะทางน้อยกว่า 1 กิโลเมตร จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 คัน ซึ่งจะมีต้นทุนการขนย้ายดินไม่เกิน 10.20 บาท/ลูกบาศก์เมตร ในระยะทางการขนย้ายที่มากกว่า 1 กิโลเมตรขึ้นไป ควรใช้รถบรรทุก 5 คัน ซึ่งจะทำให้ได้ต้นทุนต่อหน่วยในการขนย้ายดินประหยัดที่สุด ยกตัวอย่างเช่นที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร เมื่อใช้รถบรรทุก 5 คัน จะทำให้ได้ต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 12.31 บาท/ลูกบาศก์เมตร จึงสรุปได้ว่าการขนย้ายดินในระยะทางสั้นๆไม่เกิน 5 กิโลเมตร จะมีต้นทุนต่อหน่วยในการขนย้ายประหยัดที่สุดเมื่อมีรถบรรทุกในระบบที่เพียงพอกับประสิทธิภาพการทำงานของรถขุดตัก เพื่อลดการรอคอยของรถขุดตักซึ่งเป็นต้นทุนหลักที่มีค่าใช้จ่ายสูง

7. บรรณานุกรม

- [1] กฤษฎา มณีเนตร, นิรันดร์ วิชัยคำจร,รัฐพล อรรถประจง, 2554, การศึกษาการควบคุมต้นทุนงานก่อสร้างของโครงการก่อสร้างในจังหวัดขอนแก่น
- [2] ปิยพร สุวรรณรัตน์, 2555, การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการทางพิเศษ กรณีศึกษา ด้านประชาชน.
- [3] สวลักษณ์ เชื้อสุวรรณ, 2553, การศึกษาปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อการลดลงของผลิตภาพแรงงานในงานก่อสร้าง
- [4] Peurifoy, R.L., Schexnayder, C.J. and Shapira, A., 2006, Construction Planning, Equipment and Methods, 7th edition, McGraw Hill, Singapore.
- [5] Halpin, D.W. and Riggs, L.S., 1992, Planning and Analysis of Construction Operation, John Wiley & Sons, INC, USA