



การประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยเพื่อหาต้นทุนการขนย้ายดิน

กฤษณะ ชอบเรียบรอย^{1*} และดนัย วันทนากอร์²

Application of Queuing Theory for Determining the Cost of Earth Moving

Kritsana Chobriabroi^{1*} and Danai Wantanakorn²

¹สาขาวิศวกรรมศาสตร์และการจัดการเชิงธุรกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

²สาขาวิศวกรรมศาสตร์โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

¹Department of Engineering And Business Management Faculty of Engineering Thammasat University

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Thammasat University

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

บทคัดย่อ

การขนย้ายดินเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอันหนึ่งต่อการกำหนดต้นทุนค่าก่อสร้างงานทาง แต่จะเห็นได้ว่าผู้รับเหมาขนาดกลางและเล็กมักคิดต้นทุนจากประสบการณ์การทำงานของแต่ละรายโดยที่ไม่ทราบต้นทุนอันแท้จริงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วยในกระบวนการขนย้ายดิน 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 การขนย้ายดินในระยะทางสั้น ๆ ไม่เกิน 1 กิโลเมตร จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 คัน โดยมี สมการต้นทุนคือ $y = -0.1418x^2 + 1.551x + 9.3852$ บาท/ม.³ และถ้าหากการขนย้ายดินมีระยะทางผันแปรตั้งแต่ 1 กิโลเมตรขึ้นไปจนถึง 4 กิโลเมตร จะได้ว่าจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมและประหยัดต้นทุนที่สุดคือ 5 คัน โดยสมการต้นทุนในการขนย้ายดินคือ $y = -0.0423x^2 + 0.9083x + 9.8655$ 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 $y = -0.1418x^2 + 1.551x + 9.3852$ 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 $y = -0.0423x^2 + 0.9083x + 9.8655$ baht/m³.

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



บทนำ

ในปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศไทยมีการเติบโตและขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีโครงการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชน ความต้องการใช้ทรัพยากรในงานโครงการก่อสร้างจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เป็นผลทำให้ทรัพยากรต้องปรับราคาเพิ่มขึ้นตามปริมาณความต้องการ ทำให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างจำเป็นต้องปรับแผนการใช้ทรัพยากรเพื่อปรับลดต้นทุนในงานก่อสร้าง กระบวนการผลิตในงานก่อสร้างจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม โดยในงานก่อสร้างจะมีลักษณะงานที่มีความต่างกันในแต่ละรอบการผลิตและมีปัจจัยของกระบวนการทำงานที่มีการแบ่งให้ผู้รับเหมาช่วงเข้ารับงาน ทำให้เกิดปัญหาหน้างานได้ตลอดเวลา ซึ่งทำให้การบริหารจัดการโครงการและการควบคุมต้นทุนมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น(กฤษฎา มณีเนตร และคณะ,2554,น.12)

ในโครงการก่อสร้างสาธารณูปโภคทั้งงานอาคารและงานทางมีการเริ่มต้นการดำเนินงานโครงการที่เหมือนกันคือ การปรับพื้นที่แล้วมีกระบวนการขนย้ายดินทั้งเข้าและออกจากพื้นที่โครงการ โดยผู้รับเหมางานขนย้ายดินจะใช้ประสิทธิภาพของตนเองที่เคยทำงานด้านการขนย้ายดิน วางแผนการดำเนินงาน กำหนดระยะเวลาในการดำเนินงาน และกำหนดต้นทุนที่จะใช้ในการดำเนินงาน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามแต่ประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละคน

แบบจำลองเชิงปริมาณของทฤษฎีแถวคอยมีความแตกต่างกันตามรูปแบบ ลักษณะของผู้รับบริการและผู้ให้บริการ ลักษณะของแถวคอย ตลอดจนปัจจัยอื่นที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น พฤติกรรมของผู้เข้ารับบริการขณะอยู่ในแถวคอย เป็นต้น (ปิยพร สุวรรณรัตน์, 2555, น.13)การใช้ทฤษฎีแถวคอยเพื่อหาต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดิน จะช่วยให้ผู้รับเหมางานขนย้ายดินทราบผลผลิตภาพและต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงานขนย้ายดิน เพื่อการจัดเตรียมเอกสารสำหรับการเสนอราคา และวางแผนการดำเนินงานให้สอดคล้องกับต้นทุนที่แท้จริง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ทฤษฎีแถวคอยศึกษาต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินที่มีรายละเอียดและขั้นตอนของที่มาของต้นทุนในการขนย้ายดินซับซ้อน จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยศึกษาค่าใช้จ่ายในโครงการ ปริมาตรของกระเบรรถบรรทุก และเวลาในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้าง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์โดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์และสถิติเพื่อหาต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดิน เป็นราคาบาทต่อลูกบาศก์เมตร

วิธีการศึกษา

ข้อกำหนดในการเก็บรวบรวมข้อมูล

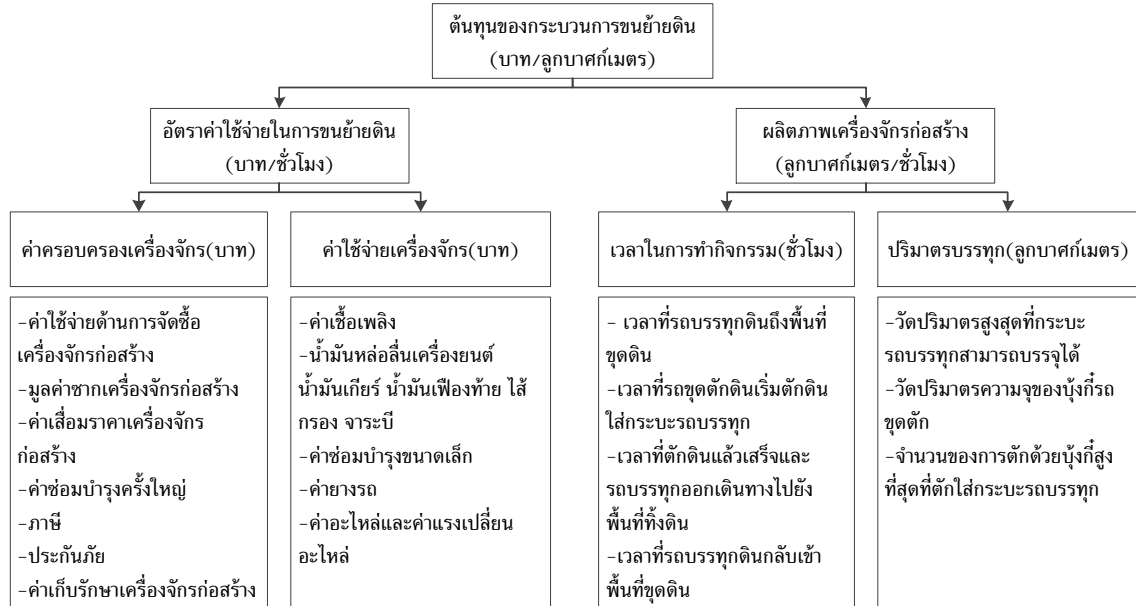
ข้อกำหนดในการศึกษากระบวนการขนย้ายดินนี้ ประกอบด้วยรถบรรทุกดิน(10ล้อ) ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FUSO ซึ่งมีปริมาตรของกระบะที่สามารถบรรจุดินได้สูงสุดเท่ากับ 11.42 ลูกบาศก์เมตร และรถขุดตักยี่ห้อ KOBELCO รุ่น SK200-8 ซึ่งมีปริมาตรบุงก์ตามคู่มือของผู้ผลิตเท่ากับ 0.8-1.3 ลูกบาศก์เมตร โดยให้เครื่องจักรกลก่อสร้างทำงานวันละ 8 ชั่วโมง สำหรับการซื้อเครื่องจักรกลและอะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุงใช้การจัดซื้อด้วยเงินสดซึ่งไม่รวมดอกเบี้ยเงินกู้ และค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกลก่อสร้าง ใช้วิธีการคิดแบบเส้นตรง ในบริเวณพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินซึ่งใช้ดำเนินการรถบรรทุกมีทางเข้าออกได้สะดวก โดยผิวถนนที่ใช้สัญจรเป็นลูกรังที่มีพื้นผิวหน้าเรียบ และมีความกว้างอย่างน้อย 6 เมตร ซึ่งเพียงพอให้รถบรรทุกสามารถขับสวนกันได้โดยไม่ต้องลดความเร็ว ระยะทางที่ใช้ศึกษาการขนย้ายดินซึ่งวัดจากพื้นที่ขุดดินถึงพื้นที่ทิ้งดินคือ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร แบ่งกลุ่มรถบรรทุกออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 คัน แบ่งการเวลาของกลุ่มรถบรรทุกในแต่ละระยะทางขุดละไม่น้อยกว่า 50 รอบ รวมไม่น้อยกว่า 1,000 รอบ โดยคุณสมบัติของดินที่ทำการขนย้าย มีลักษณะเป็นดินลูกรัง ก้อนแข็ง คละขนาดมีสีส้มหรือสีแดง ซึ่งชั้นดินดังกล่าวอยู่ลึกจากผิวดินลงไปมากกว่า 1 เมตร และสามารถพบได้ทั่วไปในพื้นที่ตอนกลางและตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลที่ใช้นในงานวิจัยสำหรับรถขุดตักและรถบรรทุก แสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือค่าใช้จ่ายเครื่องจักรก่อสร้างและผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้าง โดยค่าใช้จ่ายเครื่องจักรก่อสร้าง

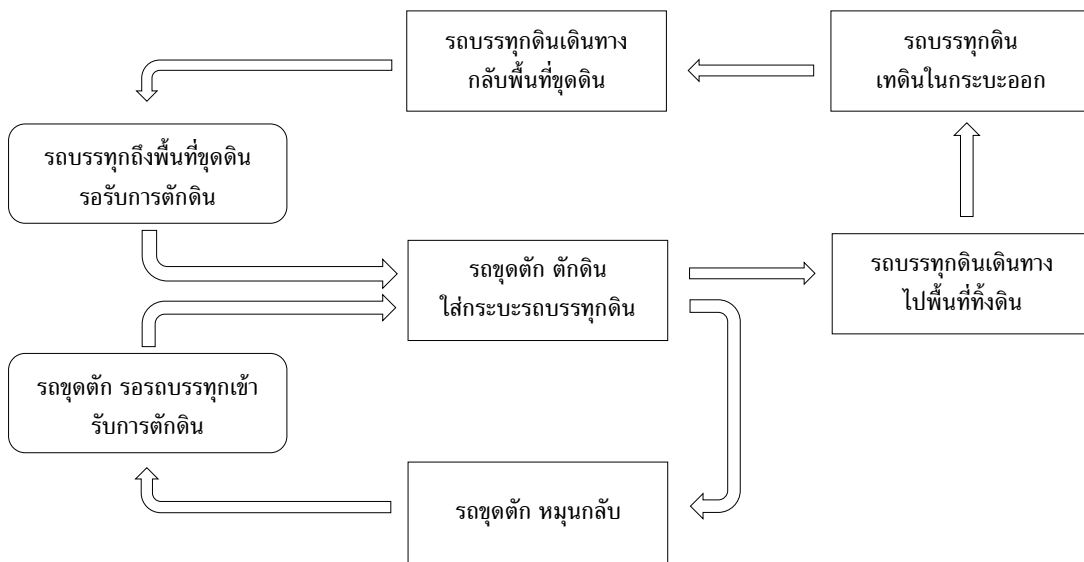


แบ่งย่อยเป็นค่าครอบครองเครื่องจักร(Ownership Cost)และค่าใช้จ่ายเครื่องจักรกล(Operating Cost) โดยค่าครอบครองเครื่องจักร ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายด้านการจัดซื้อเครื่องจักรก่อสร้าง มูลค่าซาก ค่าเสื่อมราคา ค่าซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ ภาษี ประกันภัย ค่าเช่าหรือสร้างสถานที่เก็บรักษาเครื่องจักรก่อสร้าง และอื่น ๆ ค่าใช้จ่ายเครื่องจักรก่อสร้าง ประกอบด้วยค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักรก่อสร้างที่เกิดขึ้นในงานแต่ละวัน น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ น้ำมันเกียร์ น้ำมันเฟืองท้าย ไส้กรอง จาระบี การซ่อมบำรุงเครื่องจักรก่อสร้าง ค่ายางรถ ค่าอะไหล่และค่าแรงเปลี่ยนอะไหล่ของเครื่องจักรก่อสร้าง (Robert and Clifford, 2003.p 47-58)



รูปที่ 1 รายละเอียดของต้นทุนในกระบวนการขนย้ายดิน

สำหรับผลผลิตภาพของการทำงานเป็นการแสดงผลออกมาเป็นปริมาณในการผลิตต่อหน่วยเวลา เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมของการทำงานที่ปกติ ถือเป็นเวลามาตรฐานในการทำงาน(สวลักษณ์ เชื้อสุวรรณ,2553,น.8) ในการเก็บข้อมูลผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้างแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ เวลาในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้างและปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก เก็บข้อมูลเวลาในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้างโดยสร้างจำลองกระบวนการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในงานขนย้ายดินดังรูปที่ 2 จัดแบ่งกลุ่มรถบรรทุกออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 คัน และแบ่งระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินออกเป็น 0.5, 1, 2, 3, และ 4 กิโลเมตร แล้วบันทึกข้อมูลเวลาในการทำกิจกรรมของเครื่องจักรก่อสร้างซึ่งใน 1 รอบของกิจกรรมการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างประกอบด้วยเวลาที่รถบรรทุกเดินทางเข้าถึงพื้นที่ขุดดิน เวลาที่รถขุดตักดินเริ่มทำการขุดแล้วเทดินลงในกระบะของรถบรรทุกดิน เวลาที่รถบรรทุกดินเริ่มออกเดินทางไปยังพื้นที่ทิ้งดิน และเวลาที่รถบรรทุกเดินทางกลับมาถึงพื้นที่ขุดดิน ข้อมูลปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุกสามารถหาได้จากการทดลองใช้รถขุดตักทำการตักดินใส่กระบะรถบรรทุกแล้ววัดปริมาตรดินเพื่อหาความจุเฉลี่ยของบั้งที่รถขุดตัก ทำการทดลองจำนวน 21 ครั้ง จากนั้นทำการตักดินใส่กระบะรถบรรทุกให้ได้จำนวนครั้งสูงสุดแต่ไม่เกินความจุของกระบะรถบรรทุก เป็นปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุกที่ใช้ในงานวิจัย(Q) ในการดำเนินการในหน้างานกำหนดให้จำนวนการตักดินใส่กระบะรถบรรทุกเท่ากันทุกครั้งตามจำนวนที่ได้จากการทดลองหาปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก



รูปที่ 2 แสดงแผนผังแสดงการทำงานของกระบวนการขนย้ายดิน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดินแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างและการวิเคราะห์ผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้าง ในการวิเคราะห์หาอัตราค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนย้ายดินของเครื่องจักรก่อสร้าง (C) แสดงได้ดังสมการที่ 1 อัตราค่าใช้จ่ายนี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมอัตราค่าใช้จ่ายของรถขุดตัก (CE) กับผลรวมอัตราค่าใช้จ่ายของรถบรรทุก (CT_k) เมื่อ k คือหมายเลขรถบรรทุกคันที่ 1 ถึงคันที่ 5 โดยที่การศึกษาในระบบแถวคอยนี้ได้จัดแบ่งกลุ่มของรถบรรทุกเป็น 2, 3, 4 และ 5 คัน ตามลำดับ

$$C = CE + \sum_{k=1}^5 CT_k \quad (1)$$

สำหรับการวิเคราะห์ผลผลิตภาพเครื่องจักรก่อสร้างนั้น ต้องทราบอัตราการเข้ารับบริการของรถบรรทุกและอัตราการให้บริการของรถขุดตัก สำหรับอัตราการเข้ารับบริการของรถบรรทุก, λ (คัน/ชั่วโมง) สามารถหาได้ด้วยสมการที่ 2 โดยที่ T_a คือเวลาเฉลี่ยที่รถบรรทุกทำกิจกรรมขนย้ายดินครบ 1 รอบ (ชั่วโมง) ส่วนการหาอัตราการให้บริการของรถขุดตัก, μ (คัน/ชั่วโมง) หาได้จากสมการที่ 3 โดยที่ T_s เป็นเวลาเฉลี่ยที่รถขุดตักทำกิจกรรมตักดินใส่กระบะรถบรรทุก ใน 1 รอบ (ชั่วโมง)

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

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

ค่า λ และ μ ที่ได้จากสมการข้างต้น สามารถนำหาค่าความน่าจะเป็นที่พบรถบรรทุกอยู่ในระบบ (1-P₀) โดยที่ P₀ คือความน่าจะเป็นที่ไม่มีรถบรรทุกอยู่ในระบบ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 เพราะฉะนั้นผลผลิตภาพในกระบวนการขนย้ายดินของเครื่องจักรก่อสร้าง (Prod) วิเคราะห์ได้ดังสมการที่ 5 (Halpin & Riggs, 1992)



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

$$Prod = (1-P_0)\mu LQ \quad (5)$$

โดยที่ Q = ปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก

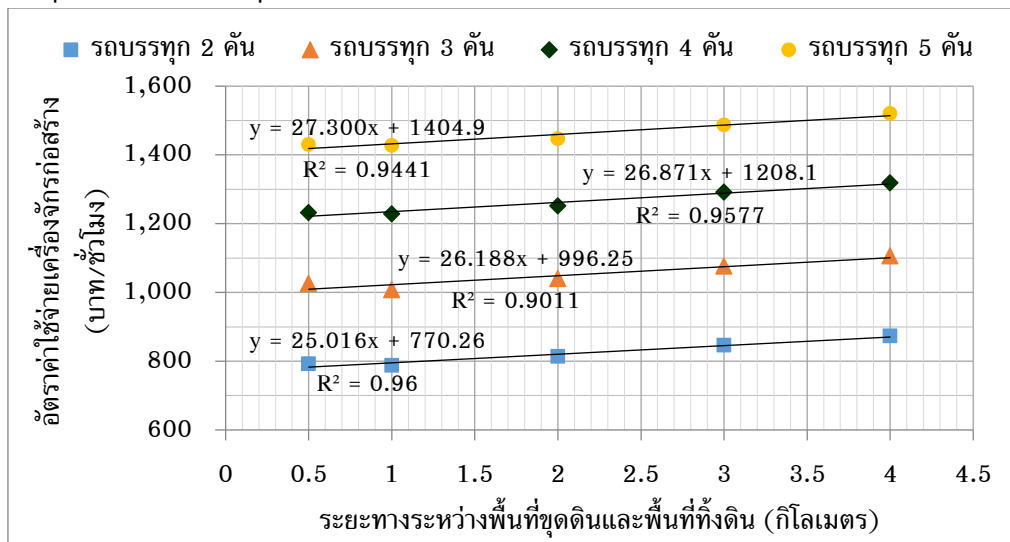
L = ช่วงระยะเวลาที่พิจารณาในที่นี้ให้เวลา 1 ชั่วโมง

ดังนั้นต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการขนย้ายดิน(M) สามารถวิเคราะห์ได้จากด้วยสัดส่วนระหว่างผลรวมอัตราค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนย้ายดินของเครื่องจักรก่อสร้าง (C) กับผลผลิตในกระบวนการขนย้ายดินของเครื่องจักรก่อสร้าง (Prod) ดังแสดงได้ด้วยสมการที่ 6

$$M = C/Prod \quad (6)$$

ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างของรถขุดตักและรถบรรทุกเพื่อวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายรวมต่อรอบระยะเวลาในการขนย้ายดินที่ระยะทาง 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร ตามลำดับ ผลที่ได้เป็นแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่องจักรก่อสร้างต่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดิน โดยแยกตามจำนวนกลุ่มการใช้งานรถบรรทุก



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างกับระยะทางในการขนย้ายดิน

จะเห็นว่า แนวโน้มของอัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับระยะทางในการขนย้ายดิน ดังแสดงในรูปที่ 3 หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินไกลมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะทำให้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถบรรทุกแต่ละคันลดลง แต่เมื่อรวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละระยะทางทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งกลุ่มของรถบรรทุกจำนวน 2, 3, 4 และ 5 คัน มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปัจจัยหลักของการเพิ่มขึ้นที่สร้างความแตกต่างของค่าใช้จ่ายอย่างชัดเจนคือค่าน้ำมันเชื้อเพลิงนั่นเอง

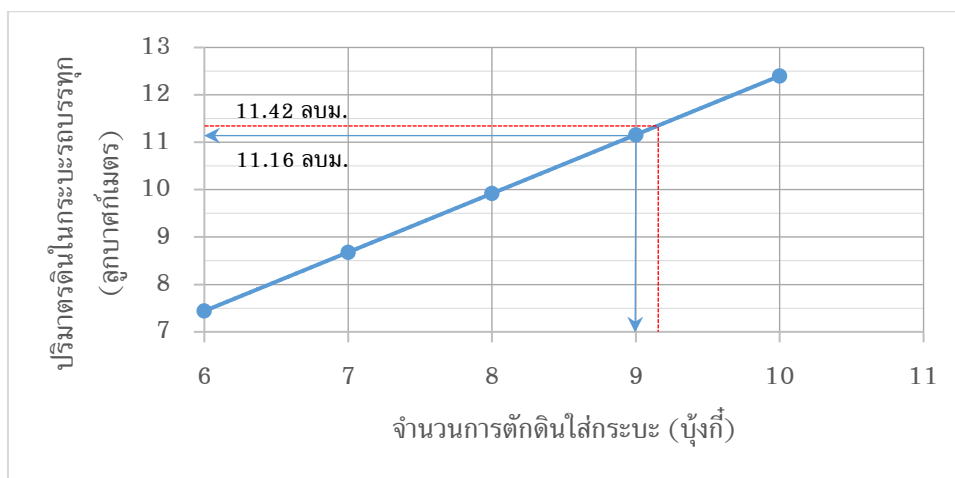
ในการวิเคราะห์หาผลผลิตของเครื่องจักรก่อสร้างจำเป็นต้องทราบปริมาณความจุเฉลี่ยของบุงก์ที่รถขุดตักก่อน เพราะว่าการตักแต่ละครั้งจะได้ปริมาณดินที่ไม่เท่ากัน ค่าความจุเฉลี่ยของบุงก์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความจุของรถบรรทุก แสดงได้ตามตารางที่ 1



ตารางที่ 1 การทดลองหาค่าปริมาตรความจุเฉลี่ยของบั้งกี

ลำดับที่	จำนวนครั้งของการตัก	ปริมาตรดิน (ลูกบาศก์เมตร)	ปริมาตรบั้งกี (ลูกบาศก์เมตร)
1	3	3.71	1.24
2	4	5.00	1.25
3	5	6.20	1.24
4	6	7.39	1.23
5	7	8.63	1.23
6	8	9.97	1.25
7	9	11.16	1.24
ปริมาตรเฉลี่ยของบั้งกีครั้งสุดท้ายตัก = 1.24 ลูกบาศก์เมตร			

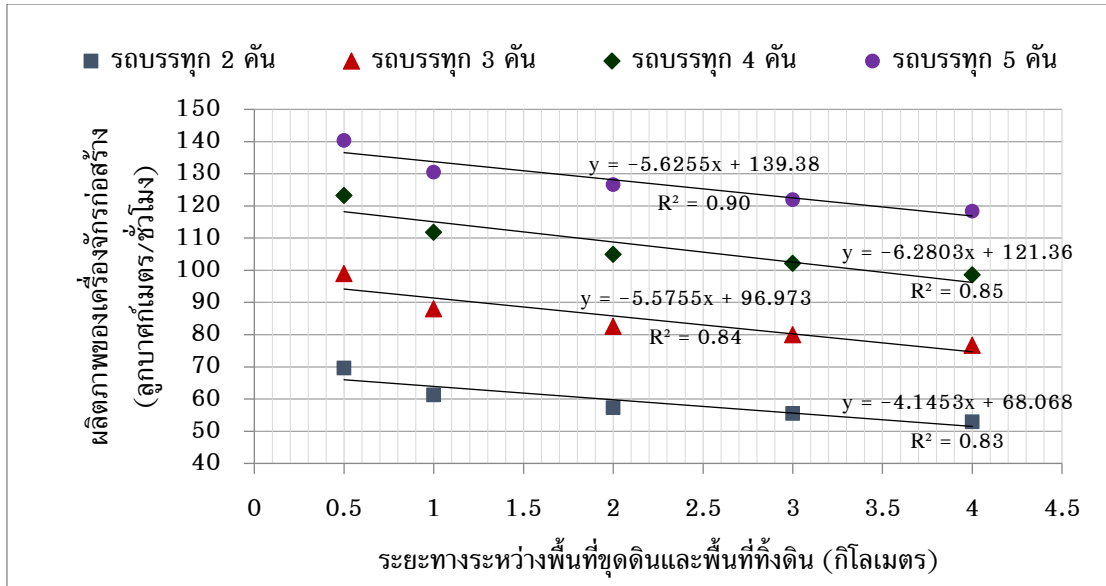
สำหรับการหาปริมาตรความจุที่เหมาะสมของกระบะรถบรรทุกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการใช้บั้งกีตักดินใส่กระบะรถบรรทุกซึ่งมีความจุสูงสุดเท่ากับ 11.42 ลูกบาศก์เมตร แล้วพิจารณาเลือกจำนวนครั้งในการตักที่เหมาะสมซึ่งทำให้ดินเต็มกระบะแต่ไม่ล้นออกนอกขอบกระบะของรถบรรทุก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุกต่อจำนวนครั้งในการตักดินของบั้งกี

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการให้ดินเต็มกระบะรถบรรทุกพอดีจะต้องทำการตัก 9.21 บั้งกี ดังนั้นหากเลือกตักดิน 10 บั้งกี จะได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 12.40 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำให้ดินล้นออกจากกระบะรถบรรทุกประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร และถ้าเลือกตักดินจำนวน 9 บั้งกี จะได้ปริมาตรรวม 11.16 ลูกบาศก์เมตร ถึงแม้ว่าปริมาตรดินที่ตักได้จะน้อยกว่าปริมาตรที่รถบรรทุกบรรจุได้เต็มพอดีอยู่ที่ 0.26 ลูกบาศก์เมตร แต่ก็ถือว่ามีความเหมาะสม

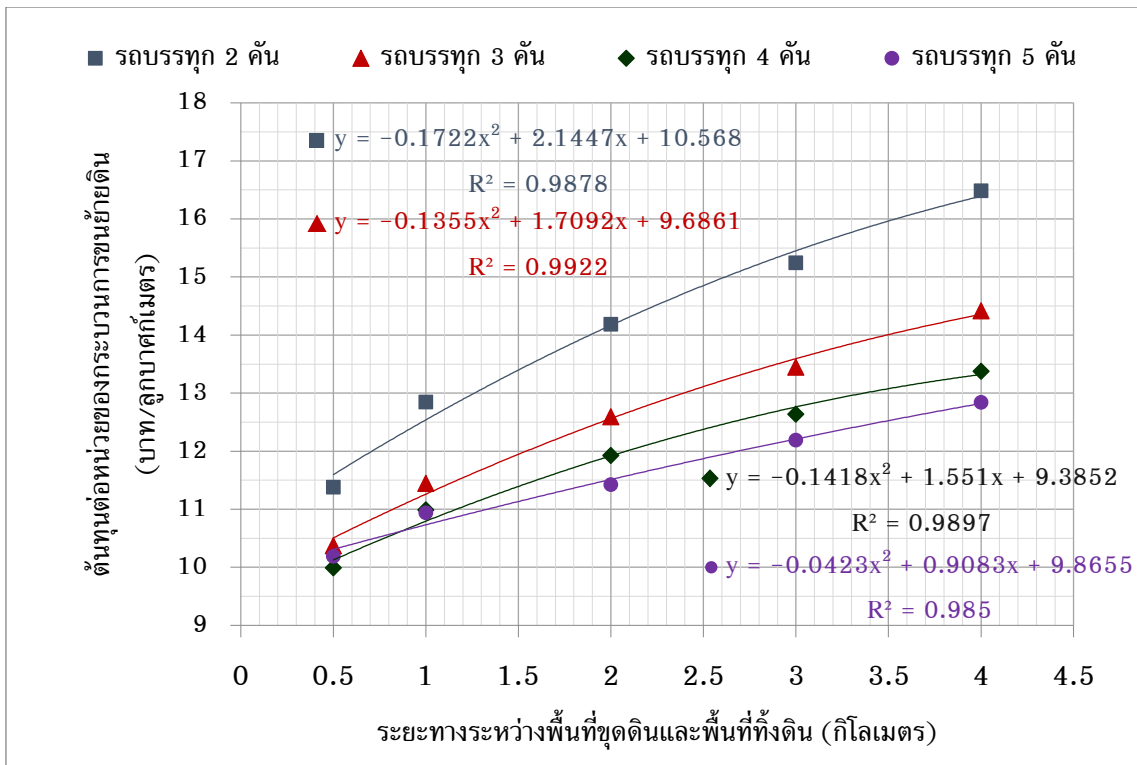
วิเคราะห์ผลผลิตภาพของเครื่องจักรก่อสร้างด้วยข้อมูลรอบเวลาในการทำกิจกรรม (cycle time) ปริมาตรความจุของกระบะรถบรรทุก และค่าความนำจะเป็นที่จะพบรถบรรทุกในระบบ จะได้ค่าผลผลิตภาพเครื่องก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินต่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินโดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเครื่องจักรก่อสร้างกับระยะทางในการขนย้ายดิน

จะสังเกตเห็นได้ว่า ผลผลิตเครื่องจักรก่อสร้างในกระบวนการขนย้ายดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินที่เพิ่มขึ้น นั่นคือเมื่อใช้กลุ่มรถบรรทุกเท่าเดิมถ้าหากระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินกับพื้นที่ทิ้งดินที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ผลผลิตในการขนย้ายดินลดลงหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าผลผลิตในการขนย้ายดินของรถบรรทุกมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่แปรผกผันกับระยะทางการขนย้าย ทั้งนี้เนื่องจากระยะทางที่ไกลขึ้นทำให้รถบรรทุกต้องใช้เวลาต่อรอบที่ยาวนานขึ้นส่งผลให้ผลผลิตลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะพบว่ากลุ่มของรถบรรทุก 2, 3, 4 และ 5 คน มีแนวโน้มของผลผลิตลดลงที่เป็นไปในทิศทางแบบเดียวกัน เพราะปัจจัยหลังที่ส่งผลต่อผลผลิตคือระยะเวลาที่ใช้ทำกิจกรรม แม้ว่าจะมีจำนวนรถบรรทุกที่ต่างกันแต่ในระยะทางที่เท่ากันรถบรรทุกจะใช้เวลาเฉลี่ยในการทำกิจกรรมที่ใกล้เคียงกัน

จากข้อมูลต้นทุนของเครื่องจักรก่อสร้าง และผลผลิตเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดิน ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 5 สามารถนำมาวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ลูกบาศก์เมตร) ของกระบวนการขนย้ายดิน ต่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินได้ โดยความสัมพันธ์เป็นไปตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการขนย้ายดินกับระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดิน

จะพบว่า แนวโน้มต้นทุนต่อหน่วยในกระบวนการขนย้ายดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีอัตราเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในช่วงระหว่าง 0.5-1.5 กิโลเมตร ซึ่งเส้นกราฟมีความชันมาก หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มของต้นทุนต่อหน่วยลดลงเมื่อระยะทางในการขนย้ายดินไกลมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้รถบรรทุกในระบบ กลุ่มละ 2, 3, 4 และ 5 คันนั้น แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของต้นทุนจะมีความเป็นไปในรูปแบบที่เหมือนกันคือค่อยๆ เพิ่มขึ้นในลักษณะโค้งคว่ำ ซึ่งการใช้รถบรรทุก 2 คันจะมีต้นทุนการขนย้ายดินที่สูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะการมีจำนวนรถบรรทุกในระบบน้อยเกินไป จะทำให้รถขุดตักต้องรอคอยการเดินทางกลับมารับดินของรถบรรทุก เป็นผลให้รถขุดตักทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการรอคอยที่ยาวนาน จะทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายสูงในส่วนของรถขุดตักอันเป็นผลให้ต้นทุนต่อหน่วยของการขนย้ายดินเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามต้นทุนต่อหน่วยของการขนย้ายดินที่ถูกที่สุดคือการใช้รถบรรทุกจำนวน 4 คัน สำหรับระยะทางน้อยกว่า 1 กิโลเมตร และใช้รถบรรทุกจำนวน 5 คัน ในระยะทางตั้งแต่ 1 ถึง 4 กิโลเมตร

อภิปรายผล

ในการทดลองวิเคราะห์หาต้นทุนของกระบวนการขนย้ายดินด้วยทฤษฎีแถวคอย โดยมีระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินเป็น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร พบว่าในระยะทางการขนย้ายสั้นๆที่ไม่เกิน 1 กิโลเมตรจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 คัน เพราะจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้รถบรรทุก 2-3 คัน เนื่องจากการใช้รถบรรทุกจำนวน 2-3 คัน ทำให้รถขุดตักต้องจอดรอการวิ่งกลับเข้ารับบริการของรถบรรทุก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของรถขุดตักลดลง อันทำให้เป็นตัวควบคุมผลผลิตภาพโดยรวมของเครื่องจักรก่อสร้าง ดังนั้นจึงทำให้ต้นทุนต่อหน่วยของมันสูงขึ้น โดยที่ระยะทาง 0.8 กิโลเมตร ถ้าใช้รถบรรทุกจำนวน 4 คัน จะได้ต้นทุนในการขนย้ายดินที่ถูกที่สุด คือ 10.53 บาท/ลูกบาศก์เมตร ในทำนองเดียวกันเมื่อระยะทางการขนย้ายเป็น 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร การใช้รถบรรทุกจำนวน 4 คันจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลด้อยลง อันเนื่องมาจากเกิดการรอคอยที่ยาวนานขึ้น ส่งผลให้มี



ต้นทุนที่สูงขึ้นในขณะที่ผลผลิตภาพลดลง จากผลการศึกษาจะพบว่าการใช้รถบรรทุกจำนวน 5 คัน เมื่อมีระยะทางในการขนย้ายระหว่าง 1 – 4 กิโลเมตร จะได้ต้นทุนต่อหน่วยในการขนย้ายดินที่ถูกที่สุด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนการขนย้ายดินกับกรมบัญชีกลาง

ระยะทางของการขนย้ายดิน (กิโลเมตร)	กรมบัญชีกลาง (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	งานวิจัย (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	
		ใช้รถบรรทุก 2 คัน	ใช้รถบรรทุก 5 คัน
1	16.28	12.54	10.73
2	18.23	14.17	11.51
3	20.45	15.45	12.21
4	22.13	16.39	12.82

เมื่อนำต้นทุนต่อหน่วยของการขนย้ายดินที่ได้จากงานวิจัยมาเปรียบเทียบกับราคากลางการขุดและขนย้ายดินของกรมบัญชีกลาง พ.ศ. 2558 ตามที่ได้แสดงในตารางที่ 2 พบว่าต้นทุนที่ได้จากงานวิจัยมีความแตกต่างจากราคากลางจากกรมบัญชีกลางค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากปัจจัยหลักสองประการคือ (1) หน่วยงานรัฐคิดปริมาณความจุของรถบรรทุกเท่ากับ 9.28 ลูกบาศก์เมตรต่อคัน ในขณะที่งานวิจัยพบว่าปริมาณความจุที่แท้จริงเท่ากับ 11.16 ลูกบาศก์เมตรต่อคัน และ (2) กรมบัญชีกลางคิดอัตราค่าให้บริการของรถขุดตัก (μ) เท่ากับ 10 คันต่อชั่วโมง แต่ในงานวิจัยนี้ได้ค่า μ เฉลี่ยเท่ากับ 14.5 คันต่อชั่วโมง จากการที่กรมบัญชีกลางคิดปริมาณงานต่อหน่วยที่น้อยกว่าที่ควรจะเป็นดังนั้นจึงทำให้ราคากลางต่อหน่วยของการขนย้ายดินมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัย

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตของเครื่องจักรก่อสร้างที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนย้ายดินมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อระยะทางระหว่างพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดินไกลมากขึ้น ในขณะที่อัตราค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการขนย้ายดินจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่ขุดดินและพื้นที่ทิ้งดิน ดังนั้นในการวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการขนย้ายดินเมื่อระยะทางในการขนย้ายเป็น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กิโลเมตร สรุปได้ว่าที่ระยะทางน้อยกว่า 1 กิโลเมตร จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 คัน ซึ่งจะมีต้นทุนการขนย้ายดินไม่ประมาณ 10.67 บาท/ลูกบาศก์เมตร โดยจะได้อัตราผลผลิตเท่ากับ 116.34 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ในระยะทางการขนย้ายที่มากกว่า 1 กิโลเมตรขึ้นไป ควรใช้รถบรรทุก 5 คัน ซึ่งจะทำให้ได้ต้นทุนต่อหน่วยในการขนย้ายดินประหยัดที่สุด ยกตัวอย่างเช่นที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร เมื่อใช้รถบรรทุก 5 คัน จะทำให้ได้ต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 12.82 บาท/ลูกบาศก์เมตร โดยเครื่องจักรก่อสร้างมีอัตราผลผลิตในการขนย้ายดินได้ 116.88 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จึงสรุปได้ว่าการขนย้ายดินในระยะทางสั้น ๆ ไม่เกิน 5 กิโลเมตร จะมีต้นทุนต่อหน่วยในการขนย้ายประหยัดที่สุดเมื่อมีรถบรรทุกในระบบที่เพียงพอกับประสิทธิภาพการทำงานของรถขุดตัก เพื่อลดการรอคอยของรถขุดตักซึ่งเป็นต้นทุนหลักที่มีค่าใช้จ่ายสูง



เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา มณีเนตร และคณะ. (2554). การศึกษาการควบคุมต้นทุนงานก่อสร้างของโครงการก่อสร้างในจังหวัดขอนแก่น. (รายงานโครงการของนักศึกษาชั้นปีที่4). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กรมบัญชีกลาง. (2558). ตารางค่าขนส่งวัสดุก่อสร้างและตารางงานดิน,การจัดทำรายละเอียดประกอบการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับราคาน้ำมันเพิ่มเติม ลงวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2558. กรุงเทพฯ.
- ปิยพร สุวรรณรัตน์. (2555). การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการทางพิเศษ: กรณีศึกษา ด้านประชาชน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สลักษณ์ เชื้อสุวรรณ. (2553). การศึกษาปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อการลดลงของผลิตภาพแรงงานในงานก่อสร้าง. (สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- Halpin, D.W. and Riggs, L.S., (1992), *Planning and Analysis of Construction Operation*, John Wiley & Sons, INC, USA.
- Peurifoy, R.L.; Schexnayder, C.J. and Shapira, A. (2006) *Construction Planning, Equipment and Methods*, 7th edition, McGraw Hill, Singapore.