# การจัดการทรัพยากรเพื่อลดเวลาในงานเทคอนกรีตด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ในระบบคอสมอส

# Resource Management Using COSMOS Modeling and Simulation System to Lessen Concrete-Placing Duration

จิรวัฒน์ ดำริห์อนันต์* และธนิถา ปานรังศรี

*ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120*

Jirawat Damrianant* and Thanitha Panrangsri

*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120*

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์กระบวนการและการจัดการทรัพยากรที่ใช้ในงานก่อสร้างด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรมคอสมอสซิมมิวเลเตอร์ (COSMOS simulator) จำลองกระบวนการที่อยู่ในรูปของแบบจำลองคอสมอส (COSMOS model) โดยศึกษางานก่อสร้างและการจัดการทรัพยากรที่ใช้ในสถานการณ์จริง งานที่ศึกษาเป็นงานก่อสร้างบางส่วนของโรงแยกก๊าซแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง งานวิจัยนี้แสดงการจัดการทรัพยากร หลักการในการสร้างแบบจำลอง และแสดงแบบจำลองพร้อมทั้งการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการก่อสร้างตามกรณีศึกษาในส่วนของงานเทคอนกรีต ผลการจำลองสถานการณ์บ่งชี้ว่าในโครงการนี้ควรใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จ จำนวน 3 คัน และเทคอนกรีตวันละ 50 ลูกบาศก์เมตร ผลที่ได้นี้ได้นำไปปรับใช้กับการวางแผนการสั่งคอนกรีตในแต่ละวันในการทำงานจริง พบว่าจำนวนรถคอนกรีตผสมเสร็จที่ได้จากการทำนายโดยการจำลองสถานการณ์มีความเหมาะสมกับปริมาณงาน และปริมาณคอนกรีตมีความเหมาะสมกับช่วงระยะเวลาทำงานในแต่ละวัน ส่งผลให้การดำเนินงานก่อสร้างในภาพรวมของโครงการมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยได้ปริมาณงานมากกว่าเดิมที่วางแผนไว้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ ทำให้ได้ผลที่สามารถนำไปใช้ในการจัดการทรัพยากรที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์จริง

**คำสำคัญ :** การสร้างแบบจำลอง; การจำลองสถานการณ์; คอสมอส; กระบวนการก่อสร้าง; งานเทคอนกรีต; เพททริเนทส์

**Corresponding author: djirawat@engr.tu.ac.th*

DOI: 10.14456/tjst.2018.50

**Abstract**

This research involves the process analysis and the resource management of a concrete-placing operation by means of simulation using COSMOS simulator through COSMOS models. The construction process of a certain part of a Gas Separation Unit in Rayong Province was studied. This research presents resource management, modeling concepts, a simulation model and simulation results of the construction operation under study. The simulation outcomes indicated that 3 trucks should be employed in the operation and the amount of concrete to be placed per day should be 50 $m^3$ for the process to be optimal. The results were then implemented on the real operation of the project and found to be appropriate. The efficiency of the overall construction operation was improved which can be seen from the increment of the actual work performed when comparing with the plan. The model presented in this research was able to be used for the simulation of the operation under study. The simulation outcomes was successfully implemented which resulted in efficient manipulation of the resources employed in the real process.

**Keywords:** modeling; simulation; COSMOS; construction operation; concrete placing; Petri nets

## 1. คำนำ

การวิเคราะห์และการจัดการกระบวนการก่อสร้างหน้างานมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในโครงการก่อสร้าง โดยเฉพาะในส่วนของการจัดสรรทรัพยากรให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมกับสถานการณ์หน้างานจริง เนื่องจากทรัพยากรเป็นปัจจัยที่ทำให้กระบวนการก่อสร้างต่าง ๆ ในโครงการสามารถดำเนินไปได้ อีกทั้งยังเป็นส่วนที่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ของโครงการ การขาดประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรจะทำให้การก่อสร้างล่าช้าและมักจะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของโครงการเพิ่มขึ้นด้วย

ปัญหาในการจัดสรรทรัพยากรอันหนึ่งที่พบได้ทั่วไปในงานก่อสร้าง คือ ปัญหาการจัดเตรียมหรือการสั่งคอนกรีตและการใช้จำนวนรถคอนกรีตผสมเสร็จ (concrete ready-mixed truck หรือเรียกโดยทั่วไปว่ารถปูน) ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม ปัญหาลักษณะนี้เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างของโรงแยกก๊าซธรรมชาติแห่งหนึ่งในจังหวัดระยองเช่นเดียวกัน โดยพบว่าความก้าวหน้าของงานไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้ เนื่องจากปริมาณคอนกรีตที่สั่งเข้าหน้างานมีปริมาณที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณคอนกรีตที่ต้องใช้จริง และเป็นปัญหาที่พบบ่อยครั้ง โดยมักจะเกิดจากการสั่งรถปูนมาคราวละหลายคัน เพื่อที่จะเพิ่มปริมาณงาน แต่กลับไม่ได้ผลตามที่คาดไว้ เนื่องจากรถปูนกลับมีการว่างงานเป็นช่วง ๆ จึงกลายเป็นเวลาที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ (time waste) ในรูปของเวลารอคอย (waiting time)

งานวิจัยนี้แสดงหลักการสร้างแบบจำลองและแสดงแบบจำลองกระบวนการเทคอนกรีตที่เกิดขึ้นในโครงการของโรงงานแยกก๊าซข้างต้น แบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธีคอสมอส (COSMOS methodology) (Damrianant, 2003) นอกจากนั้นยังแสดงการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมคอสมอสซิมมิวเลเตอร์ (COSMOS simulator) (Meklersuewong and Damrianant, 2013; Damrianant, 2018) ซึ่งเป็นซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการรัน (run) แบบจำลองที่สร้างขึ้นตามวิธีคอสมอสดังกล่าว คอสมอสมีพื้นฐานมาจากระเบียบวิธี

เพทริเนทส์ (Petri net methodology) ซึ่งได้รับการประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม (Thomas *et al*., 2008; Singh *et al*., 2015; Wei Liu *et al*., 2017) รวมถึงการประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง (จิรวัฒน์, 2548; รุ่งโรจน์, 2553; Wakefield and Sears, 1997; Damrianant and Wakefield, 1998; Puangpool and Damrianant, 2002; Sawhney *et al*., 2003; Chen and Shan, 2012; Damrianant, 2018) เมื่อนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปจำลองสถานการณ์ สามารถนำผลที่ได้ไปกำหนดปริมาณคอนกรีตและจำนวนรถคอนกรีตผสมเสร็จที่เหมาะสมกับสถานการณ์การเทคอนกรีตหน้างานจริงในโรงแยกก๊าซในกรณีศึกษานี้ได้

## 2. โปรแกรมคอสมอสซิมมิวเลเตอร์

โปรแกรมคอสมอสซิมมิวเลเตอร์เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ โดยในการสร้างแบบจำลองนั้นผู้ใช้สามารถจะระบุชนิดและจำนวนของทรัพยากร ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ ลำดับความสำคัญของงาน ลำดับการทำงาน และเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เข้าไปในแบบจำลองของกระบวนการนั้นได้ ข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้องพร้อมทั้งแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของกระบวนการทำงานจริง จะทำให้ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีความแม่นยำใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น ผลที่ได้นั้นสามารถใช้อธิบายกระบวนการที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการทำงานภายใต้เงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงไป อันจะช่วยให้ผู้ตัดสินใจเห็นแนวโน้มของสถานการณ์ และสามารถเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการจัดการกระบวนการนั้น ๆ นอกจากนั้นโปรแกรมคอสมอสยังใช้ในการทดลองลดหรือเพิ่มปริมาณทรัพยากรในแบบจำลอง ซึ่งสามารถนำผลที่ได้เหล่านี้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการจัดสรรทรัพยากรในหน้างานจริงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้

## 3. งานเทคอนกรีตของโครงการในกรณีศึกษา

โครงการก่อสร้างในกรณีศึกษานี้เป็นงานก่อสร้างโครงสร้างและฐานรากสำหรับรองรับอุปกรณ์หลายชนิดที่ใช้ในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ (compressor) รางวางท่อ (pipe rack) เครื่องทำความเย็นน้ำมันเครื่อง (oil cooler) เครื่องทำความเย็น (air cooler) เป็นต้น พื้นที่หน้างานบริเวณที่จะเทคอนกรีตมีลักษณะเป็นทางแคบ รถปูนสามารถเข้าหรือออกในระยะประมาณ 100 เมตร จากจุดเทคอนกรีตนั้นได้ครั้งละ 1 คัน

กรณีศึกษานี้ จะพิจารณาปริมาณคอนกรีตที่จะต้องเทตั้งแต่งานเสาเข็มเจาะ แท่นหัวเข็ม (pile cap) และพื้น โดยแบ่งการเทคอนกรีตสำหรับส่วนโครงสร้างเหล่านี้ของทั้งโครงการออกเป็น 2 เฟส (phase) แต่ละเฟสคิดเป็นคอนกรีตปริมาณ 682 ลูกบาศก์เมตร คอนกรีตถูกส่งมาจากโรงผสมคอนกรีต (batching plant) ที่อยู่นอกหน่วยงานก่อสร้างโดยใช้รถปูนที่บรรจุคอนกรีตเที่ยวละ 5 ลูกบาศก์เมตร เมื่อรถปูนมาถึงโรงแยกก๊าซก็จะเข้าพื้นที่ของโครงการทางประตู 5 โดยก่อนเข้าหน้างานจะต้องผ่านการทดสอบสลัมป์ การตรวจสภาพรถปูน (เช่น ตรวจไฟส่องสว่าง ไฟเลี้ยว ว่าใช้การได้ปกติหรือไม่ ตรวจที่ครอบท่อ เพื่อกันประกายไฟ และตรวจความสามารถในการเบรค) และการพิจารณาอนุมัติจากเจ้าหน้าที่เพื่อออกใบอนุญาตเข้าทำงาน (work permit) ระยะทางจากประตู 5 ถึงบริเวณที่จะเทคอนกรีตเป็นระยะประมาณ 2.4 กิโลเมตร เมื่อรถปูนมาถึงหน้างาน เครนจะนำถังบรรจุคอนกรีต (bucket) รับคอนกรีตที่ถ่ายออกจากรถ จากนั้นนำคอนกรีตไปเทลงแบบที่เตรียมไว้ เมื่อเทเสร็จเครน

จึงนำถังบรรจุคอนกรีตเปล่าวนกลับไปรับคอนกรีตจากรถปูนในรอบถัดไป จนคอนกรีตที่บรรจุมาในรถหมด รถปูนจึงเดินทางออกจากหน้างาน เครนที่ใช้ยกและขนย้ายถังบรรจุคอนกรีตนั้นยังถูกใช้ในการติดตั้งโครงสร้างที่อยู่อีกจุดหนึ่งในโครงการนั้นด้วย

ประสิทธิภาพของงานเทคอนกรีตนี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขนส่งคอนกรีตของรถปูนและการทำงานของเครนเป็นหลัก เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่หน้างานทำให้รถปูนสามารถเข้า-ออกได้ครั้งละ 1 คัน ณ บริเวณที่อยู่ใกล้กับจุดที่จะเทคอนกรีต จึงทำให้รถปูนที่สั่งมาคราวละหลายคันเกิดการรอคอยอยู่นอกบริเวณนั้น และเนื่องจากเครนที่ใช้ในงานเทคอนกรีตนี้ถูกนำไปใช้ในงานติดตั้งโครงสร้างส่วนอื่นด้วย ทำให้ในบางขณะเครนไม่อยู่ในสภาพที่ว่างและพร้อมที่จะนำไปใช้ในงานเทคอนกรีตได้ ดังนั้นหากสามารถวางแผนปริมาณคอนกรีตที่จะเทและจำนวนรถปูนที่จะใช้ให้สอดคล้องกับสถานการณ์หน้างานได้จะทำให้กระบวนการเทคอนกรีตนี้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 4. วิธีวิจัย

การวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลการก่อสร้างจริงในภาคสนาม โดยบันทึกเวลาการทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นงานเทคอนกรีตนี้ และเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาประมาณ 5 เดือน สำหรับการเทคอนกรีตปริมาณ 682 ลูกบาศก์เมตรของการก่อสร้างเฟสแรก จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหารูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของเวลาในการทำกิจกรรมสำหรับแต่ละกิจกรรมหลักในแบบจำลอง เมื่อได้ข้อมูลเพียงพอและวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว แบบจำลองคอสมอสของกระบวนการเทคอนกรีตนี้จึงได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์สำหรับการดำเนินงานในเฟสที่สองอีก 682 ลูกบาศก์เมตร โดยได้ทดลองปรับ เปลี่ยนปริมาณคอนกรีตและจำนวนรถปูนที่จะใช้ต่อหนึ่งวันในการจำลองสถานการณ์จนได้ปริมาณทรัพยากรที่เหมาะสม เป็นไปตามแผนงานที่วางไว้ จากนั้นจึงนำผลจากการจำลองสถานการณ์ที่ได้นี้ไปใช้ในการทำงานจริงในเฟสที่สองเพื่อตรวจสอบผลที่ได้และเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างสองเฟสดังกล่าว

## 5. การเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บข้อมูลในภาคสนามทำโดยการบันทึกเวลาในการทำกิจกรรมสำหรับกิจกรรมที่เกิดขึ้นทุกรอบเมื่อมีรถปูนเข้ามาในกระบวนการ โดยเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากกว่า 120 ตัวอย่างต่อหนึ่งกิจกรรม เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของเวลาในการทำกิจกรรมเหล่านั้น พบว่ามีการกระจายตัวทั้งหมด 4 รูปแบบ ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในแบบจำลองคอสมอส ประกอบด้วยการกระจายตัวแบบสามเหลี่ยม (triangular) แบบคงที่ (constant) แบบไวบูลล์ (Weibull) และการกระจายตัวแบบปกติ (normal) รายละเอียดดังแสดงไว้ในลำดับที่ 1-7 ของตารางที่ 1

ในกระบวนการก่อสร้างนี้มีเหตุการณ์ที่นำไปสู่การเลือกทำกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือนำไปสู่ทางเลือกอยู่ 6 เหตุการณ์ ได้แก่

5.1 รถปูนเตรียมนำคอนกรีตเข้ารับการทดสอบสลัมป์โดยจะมีผู้ตรวจสอบสลัมป์เป็นผู้ทดสอบ สิ่งที่จะเกิดขึ้นจะเป็นไปได้ในสองกรณีนี้ คือ ผู้ตรวจสอบอยู่ ณ จุดที่จะทดสอบในขณะนั้น หรือผู้ตรวจสอบไม่อยู่ในขณะนั้น

5.2 การเตรียมเปลี่ยนตัวผู้ตรวจสอบสืบเนื่องมาจากการที่ผู้ตรวจสอบไม่อยู่ที่จุดทดสอบสลัมป์ เมื่อเกิดกรณีนี้ขึ้นจะมีทางเลือก คือ เจ้าของโครงการยินยอมให้วิศวกรของผู้รับจ้างเป็นผู้ตรวจสอบแทนเพื่อความรวดเร็ว หรือเปลี่ยนผู้ตรวจสอบคนเดิมของเจ้าของโครงการเป็นผู้ตรวจสอบคนใหม่ของเจ้าของโครงการเอง

**ตารางที่ 1** เวลาในการทำกิจกรรม

| ที่ | กิจกรรม | รูปแบบการกระจายตัว | พารามิเตอร์ (นาที) |
|---|---|---|---|
| 1 | รถปูนเดินทางไปโรงแยกก๊าซประตู 5 ระยะทาง 29.4 km | สามเหลี่ยม | Min = 27, Mode = 30, Max = 64 |
| 2 | แจ้งผู้ตรวจสอบให้ทดสอบสลัมป์ | คงที่ | C = 1 |
| 3 | ทดสอบสลัมป์ | สามเหลี่ยม | Min = 9, Mode = 16, Max = 22 |
| 4 | เจ้าหน้าที่อนุมัติออกใบอนุญาตเข้าทำงาน | สามเหลี่ยม | Min = 10, Mode = 14, Max = 18 |
| 5 | รถปูนเดินทางเข้าหน้างานจากประตู 5 ระยะทาง 2.4 km | ไวบูลล์ | $\alpha$ = 11, $\beta$ = 15 |
| 6 | เทคอนกรีต (ถ่ายคอนกรีตออกจากรถปูน) | สามเหลี่ยม | Min = 15, Mode = 18, Max = 43 |
| 7 | รถปูนเดินทางออกจากหน้างานกลับไปประตู 5 | ไวบูลล์ | $\alpha$ = 11, $\beta$ = 8 |
| 8 | ผสมและถ่ายคอนกรีต 5 $m^3$ จากโรงผสมปูนลงรถปูน | คงที่ | C = 7 |
| 9 | เปลี่ยนให้วิศวกรของผู้รับจ้างเป็นผู้ตรวจสอบ | คงที่ | C = 5 |
| 10 | เปลี่ยนเป็นผู้ตรวจสอบคนใหม่ของโรงแยกก๊าซ (เจ้าของงาน) | คงที่ | C = 20 |
| 11 | ตรวจสภาพรถปูน | คงที่ | C = 20 |
| 12 | แจ้งเจ้าหน้าที่และเจ้าหน้าเดินทางมาประตู 5 | คงที่ | C = 10 |
| 13 | รถเครนย้ายไปติดตั้งโครงสร้าง | แบบปกติ | $\sigma$ = 8, $\mu$ = 5 |
| 14 | รถเครนติดตั้งโครงสร้าง | สามเหลี่ยม | Min = 6, Mode = 8, Max = 10 |
| 15 | รถเครนย้ายตำแหน่ง | ไวบูลล์ | $\alpha$ = 7, $\beta$ = 5 |

5.3 ผลการทดสอบสลัมป์ ผลที่ได้ คือ ทดสอบสลัมป์ผ่าน หรือทดสอบแล้วไม่ผ่าน

5.4 การเตรียมตรวจสอบสถานะการตรวจสภาพของรถปูน ผลที่ได้จะมีสองกรณี คือ รถปูนผ่านการตรวจสภาพมาแล้ว หรือรถปูนยังไม่ผ่านการตรวจสภาพมาก่อน

5.5 ผลการตรวจสภาพรถปูน ผลที่ได้ คือ ตรวจสภาพผ่าน หรือตรวจสภาพแล้วไม่ผ่าน

5.6 การเตรียมขอใบอนุญาตเข้าทำงาน (work permit) เมื่อรถมาถึงประตู 5 กรณีนี้มีความเป็นไปได้ คือ เจ้าหน้าที่อยู่ที่ประตู 5 พร้อมอนุมัติออกใบอนุญาตให้ หรือเจ้าหน้าที่ไม่อยู่ที่ประตู 5 ในขณะนั้น

ลำดับที่ 8-12 ในตารางที่ 1 แสดงเวลาของกิจกรรมที่เกิดขึ้นเป็นบางโอกาส (ยกเว้นกิจกรรมที่ 8 “ผสมและถ่ายคอนกรีต 5 $m^3$ จากโรงผสมปูนลงรถปูน”) และเป็นกิจกรรมที่ใช้เวลาในการดำเนินการกล่าวคือ มีเวลาในการทำกิจกรรมมากกว่าศูนย์นาที โดยเวลาในการทำกิจกรรมเหล่านี้ได้จากการประมาณการ ลำดับที่ 13-15 แสดงเวลาการทำกิจกรรมที่เกี่ยวกับรถเครน สำหรับกิจกรรมอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมดที่ไม่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 แต่มีอยู่ในแบบจำลองที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไปนั้น เป็นกิจกรรม (หรือเหตุการณ์) ที่ไม่ได้ใช้เวลาในการดำเนินการ กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเป็นกิจกรรมที่มีเวลาในการทำเท่ากับศูนย์นาที

ตารางที่ 2 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์หรือการเกิดกิจกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการเทคอนกรีตนี้ที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ โดยคำนวณจากสัดส่วนระหว่างจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์นั้นขึ้นกับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องที่จะเกิดขึ้นได้

**ตารางที่ 2** ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์หรือกิจกรรม

| ที่ | เหตุการณ์หรือกิจกรรม | ความน่าจะเป็น |
|---|---|---|
| 1 | ผู้ตรวจสอบของเจ้าของงานอยู่ ณ จุดทดสอบสลัมป์ | 0.99 |
| | ผู้ตรวจสอบของเจ้าของงานไม่อยู่ ณ จุดทดสอบสลัมป์ | 0.01 |
| 2 | ให้วิศวกรของผู้รับจ้างเป็นผู้ตรวจสอบ | 0.70 |
| | เปลี่ยนเป็นผู้ตรวจสอบคนใหม่ของเจ้าของงาน | 0.30 |
| 3 | ทดสอบสลัมป์ผ่าน | 0.99 |
| | ทดสอบสลัมป์ไม่ผ่าน | 0.01 |
| 4 | รถปูนผ่านการตรวจสภาพมาแล้ว | 0.70 |
| | รถปูนยังไม่เคยผ่านการตรวจสภาพมาก่อน | 0.30 |
| 5 | ตรวจสภาพผ่าน | 0.99 |
| | ตรวจสภาพไม่ผ่าน | 0.01 |
| 6 | เจ้าหน้าที่ผู้ออกใบอนุญาตเข้าทำงานอยู่ที่ประตู 5 | 0.80 |
| | เจ้าหน้าที่ผู้ออกใบอนุญาตเข้าทำงานไม่อยู่ที่ประตู 5 | 0.20 |

## 6. แบบจำลองงานเทคอนกรีตตามกรณีศึกษา

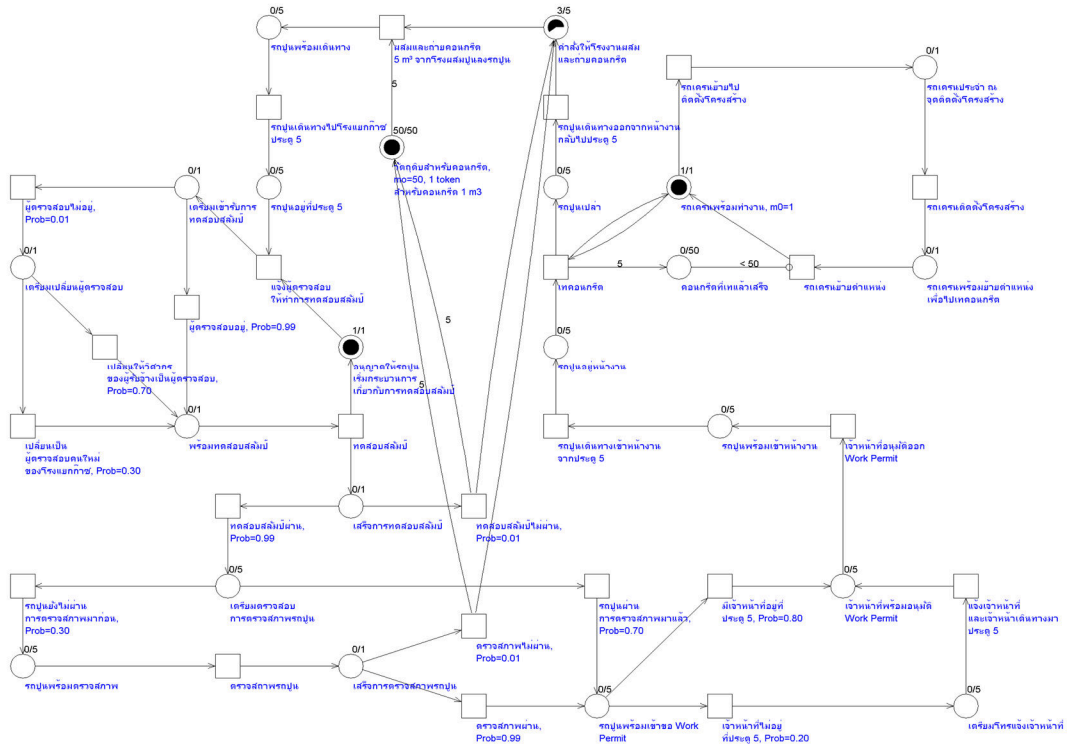
แบบจำลองคอสมอสของงานเทคอนกรีตตามกรณีศึกษานี้แสดงไว้ในรูปที่ 1 แบบจำลองดังกล่าวได้สร้างขึ้นโดยพิจารณากิจกรรมและเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในหน้างานจริงของงานเทคอนกรีตตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5

แบบจำลองได้กำหนดให้มีทรานซิสชัน (transition) ที่เป็นตัวแทนของเหตุการณ์หรือกิจกรรมที่ไม่ได้เกิดขึ้นเสมอไปในทุกเที่ยวของรถปูนไว้อย่างชัดเจน ทำให้สื่อความหมายให้เข้าใจได้โดยง่าย ทรานซิสชันเหล่านั้นได้แก่ทรานซิสชันที่ระบุความน่าจะเป็นไว้เป็น Prob = 0.XX ได้แก่ ทรานซิสชันที่ใช้ชื่อว่า “รถปูนผ่านการตรวจสภาพมาแล้ว, Prob = 0.70” และ “รถปูนยังไม่ผ่านการตรวจสภาพมาก่อน, Prob = 0.30” เป็นต้น

อาคเงื่อนไข (condition arc) ที่เชื่อมระหว่างเพลส “คอนกรีตที่เทแล้วเสร็จ” กับ ทรานซิสชั่น “รถเครนย้ายตำแหน่ง” ที่กำหนดเงื่อนไขเป็น “< 50” นั้น ใช้ในการควบคุมให้การจำลองสถานการณ์หยุดเมื่อเทคอนกรีตครบ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แล้วหากต้องการจำลองสถานการณ์กรณีเทคอนกรีตเป็นปริมาณอื่น เช่น 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะต้องเปลี่ยนตัวเลข 50 นี้ให้เป็น 60 ตามปริมาณคอนกรีตที่ต้องการจำลองนั้น

แบบจำลองนี้ไม่ได้กำหนดให้มีเพลสขาเข้า (input place) ที่เป็นเงื่อนไขของทรัพยากรสำหรับบางทรานซิสชั่น เนื่องจากทรัพยากรเหล่านั้นไม่ใช่ทรัพยากรหลักและไม่ใช่ทรัพยากรที่จะศึกษาหรือทดลองปรับเปลี่ยนในงานวิจัยนี้ และในหน้างานจริงทรัพยากรเหล่านั้นมีอยู่ประจำ ณ บริเวณที่จะทำกิจกรรมนั้นอยู่ตลอดเวลา การที่ไม่ได้กำหนดให้มีเพลสขาเข้าที่ทรานซิสชั่นในแบบจำลองก็เท่ากับว่าจะไม่มีกรณีที่ไม่มีโทคเคนขาเข้า (input token) ณ เวลาที่ทรานซิสชั่นนั้นพร้อมจะไฟเออะริ่ง (firing) ซึ่งเทียบเท่ากับสถานการณ์จริงได้ว่าจะไม่มีกรณีที่ทรัพยากรไม่มีหรือไม่พร้อมที่จะทำกิจกรรมนั้น ๆ เท่ากับว่าทรัพยากรเหล่านั้นมีอยู่ประจำ ณ บริเวณ

ที่จะทำกิจกรรมนั้นและพร้อมจะทำกิจกรรมนั้นอยู่เสมอ นอกจากนั้นการไม่ได้กำหนดให้มีเพลสดังกล่าวก็ไม่ได้มีผลกระทบกับจำนวนการไฟเออะริ่ง ณ เวลาหนึ่ง ๆ ของทรานซิสชันนั้นแต่อย่างใด เนื่องจากได้กำหนดให้ทรานซิสชันเหล่านั้นไฟเออะริ่งได้เพียงครั้งเดียว ณ เวลาหนึ่ง ๆ เป็นค่าปกติ (default) อยู่แล้วในโปรแกรมคอสมอส ซึ่งสามารถใช้แทนการกำหนดให้มีโทคเคนขาเข้าเพียงหนึ่งชุดเพื่อควบคุมให้ทรานซิสชั่นไฟเออะริงได้ครั้งเดียว ณ เวลาหนึ่ง ๆ




**รูปที่ 1** แบบจำลองคอสมอสสำหรับกระบวนการเทคอนกรีตในงานวิจัยนี้

ตัวอย่างของทรานซิสชันที่ไม่มีเพลสขาเข้าที่เป็นเงื่อนไขของทรัพยากรบางอย่าง ได้แก่ ทรานซิสชัน “ตรวจสถาพรถปูน” ซึ่งไม่ได้มีเพลสขาเข้าที่เป็นเงื่อนไขของเจ้าหน้าที่ที่เป็นผู้ตรวจสภาพรถปูน หากเทียบกับสถานการณ์จริงก็จะเปรียบเสมือนว่ามีเจ้าหน้าที่ประจำอยู่ ณ จุดที่จะตรวจสภาพรถปูนและพร้อมทำงานอยู่ตลอดเวลาที่มีรถปูนเข้ามารับการตรวจสภาพ และการกำหนดให้ทรานซิสชันนี้ไฟเออะริงได้ครั้งเดียว ณ เวลาหนึ่ง ๆ ในแบบจำลอง (กำหนดในโปรแกรมคอสมอส) ก็จะเทียบเท่ากับสถานการณ์จริงได้ว่ามีเจ้าหน้าที่ประจำอยู่ ณ จุดที่จะตรวจสภาพรถปูนนี้เพียงคนเดียวหรือชุดเดียว และในการตรวจสภาพรถปูนก็จะใช้เจ้าหน้าที่ที่มีอยู่คนเดียวหรือชุดเดียวนั้น ทำให้สามารถตรวจสภาพรถปูนได้ครั้งละ 1 คัน เท่านั้น

เพลส “อนุญาตให้รถปูนเริ่มกระบวนการเกี่ยวกับการทดสอบสลัมป์” ที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง ใช้ในการจำลองเงื่อนไขในหน้างานจริงที่กำหนดให้รถปูนที่มาถึงประตู 5 เริ่มกระบวนการทดสอบสลัมป์ (นับได้ว่าเป็นกระบวนการย่อยอันหนึ่ง) ได้ครั้งละ 1 คัน เท่านั้น กล่าวคือ เมื่อมีรถปูนคันหนึ่งอยู่ในกระบวนการย่อยนี้ รถปูนคันอื่นจะ

เริ่มกระบวนการนี้ไม่ได้ จนกว่ารถปูนคันที่อยู่ในกระบวนการคันนั้นจะได้รับการทดสอบสลัมป์จนแล้วเสร็จและออกจากจุดทดสอบสลัมป์นี้ไปเสียก่อน

แบบจำลองไม่มีทรานซิสชันที่เป็นตัวแทนของกิจกรรมการเดินทางกลับของรถปูนจากประตู 5 ของโรงแยกก๊าซไปยังโรงผสมคอนกรีต เนื่องจากในสภาพการทำงานจริงโรงผสมคอนกรีตไม่ได้รอให้รถคันเดิมหรือคันหนึ่งคันใดกลับไปถึงโรงผสมคอนกรีตเสียก่อนจึงจะเริ่มผสมคอนกรีตครั้งถัดไป และเมื่อผสมคอนกรีตเสร็จจึงปล่อยรถคันเดิมนั้นออกมา หากแต่จะเริ่มผสมคอนกรีตครั้งถัดไปเมื่อมีการแจ้งมาจากผู้รับจ้าง (ผู้รับเหมา) ที่รับผิดชอบอยู่ที่ประตู 5 ของโรงแยกก๊าซ โดยผู้รับจ้างคนดังกล่าวจะแจ้งให้โรงผสมคอนกรีตผสมคอนกรีตทุกครั้งเมื่อมีรถปูน 1 คันเดินทางออกมาจากหน้างานและมาถึงประตู 5 การทำเช่นนี้ได้ย่อมหมายความว่าเป็นความรับผิดชอบของโรงผสมคอนกรีตที่ต้องจัดรถปูนไว้ให้กับการเทคอนกรีตนี้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของผู้รับจ้าง โดยต้องจัดให้มีจำนวนรถมากกว่าจำนวนที่ผู้รับจ้างต้องการให้มีอยู่ในระบบการเทคอนกรีตหน้างานของผู้รับจ้าง เนื่องจากต้องเผื่อเวลาเดินทางกลับของรถปูนที่ไม่นับรวมอยู่ในระบบการเทคอนกรีตของผู้รับจ้างด้วย

แบบจำลอง เพลส “คำสั่งให้โรงงานผสมและถ่ายคอนกรีต” ใช้แทนเงื่อนไขที่ว่าการผสมคอนกรีตครั้งถัดไปของโรงผสมคอนกรีตจะทำได้ก็ต่อเมื่อมีการแจ้งมาจากผู้รับจ้างที่รับผิดชอบอยู่ที่ประตู 5 ดังที่กล่าวข้างต้น นอกจากนั้นเพลสนี้ยังแทนเงื่อนไขที่ให้โรงผสมคอนกรีตเริ่มผสมคอนกรีตเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่การทดสอบสลัมป์หรือการตรวจสภาพรถปูนไม่ผ่านอีกด้วย

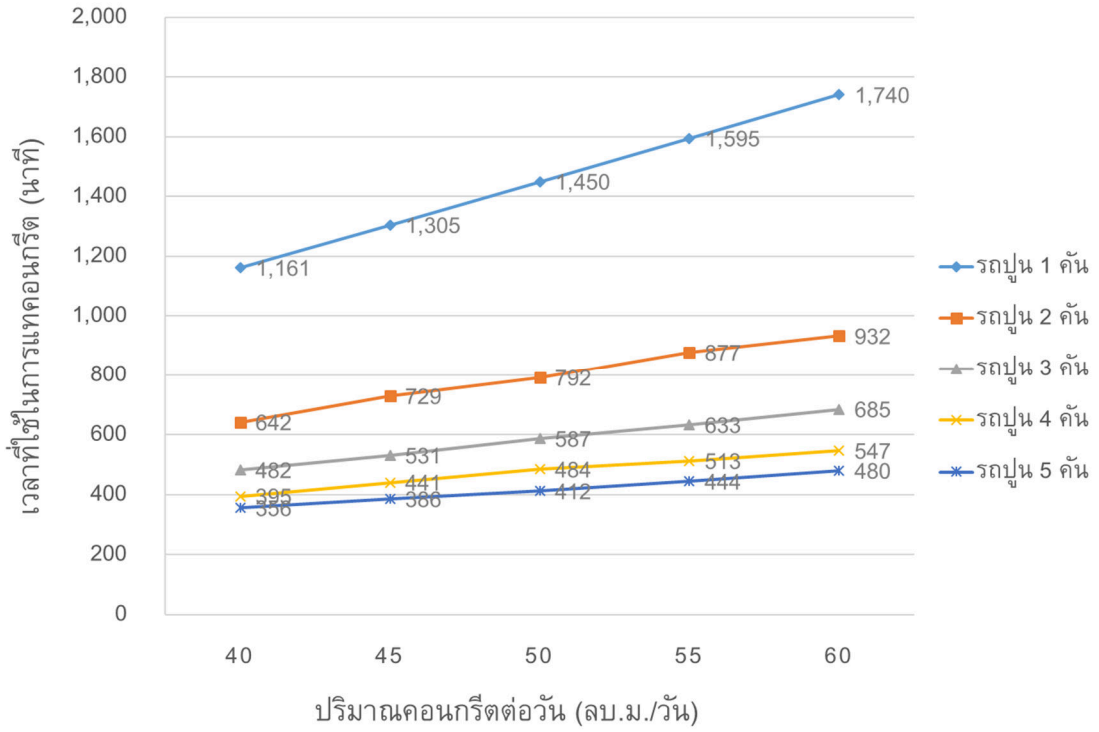
ทั้งนี้ เหตุการณ์ที่การทดสอบสลัมป์หรือการตรวจสภาพรถปูนไม่ผ่านนั้น แม้จะเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นน้อยมากในโครงการนี้ คิดเป็นความน่าจะเป็นในการเกิดเพียง 0.01 เท่านั้นก็ตาม หากแต่ยังกำหนดให้มีทรานซิสชันที่เป็นตัวแทนของเหตุการณ์เหล่านั้นอยู่ในแบบจำลอง ทั้งนี้ก็เพื่อให้แบบจำลองนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองหรือการจำลองสถานการณ์สำหรับกระบวนการอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันต่อไปได้โดยสะดวก โดยเพียงแต่เปลี่ยนความน่าจะเป็นที่ระบุไว้ในทรานซิสชันเหล่านี้ให้เหมาะสมตามความเป็นจริงของกระบวนการนั้น ๆ เท่านั้น

## 7. การจำลองสถานการณ์และผลที่ได้

การจำลองสถานการณ์ (simulation) ได้ทำขึ้นโดยการรัน (run) แบบจำลองคอสมอสด้วยโปรแกรมคอสมอสซิมมิวเลเตอร์ โดยเปลี่ยนแปลงจำนวนรถปูนและปริมาณคอนกรีตที่จะเทหลายกรณี ประกอบด้วยจำนวนรถปูนตั้งแต่ 1 ถึง 5 คัน และปริมาณคอนกรีตที่เทตั้งแต่ 40 ถึง 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อหาจำนวนรถปูนที่จะใช้ขนส่งคอนกรีตเข้าหน้างานและหาปริมาณคอนกรีตที่จะเทที่เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาทำงานที่มีอยู่ 10 ชั่วโมงต่อวัน แต่ละกรณีได้รันแบบจำลองเป็นจำนวน 30 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการเทคอนกรีตจนเสร็จสิ้นต่อวันสำหรับกรณีนั้น ๆ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2

กราฟในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่ากรณีใช้รถปูนจำนวน 1-2 คัน จะใช้เวลาเทคอนกรีตมากกว่า 600 นาทีต่อวัน สำหรับการเทคอนกรีตตั้งแต่ 40 ลูกบาศก์เมตรต่อวันขึ้นไป ซึ่งเวลาที่ใช้ดังกล่าวเกินช่วงระยะเวลาทำงานใน 1 วัน ที่กำหนดให้ทำงานได้วันละไม่เกิน 10 ชั่วโมง หรือ 600 นาที กรณีใช้รถปูนจำนวน 3 คัน จะใช้เวลาเทคอนกรีตไม่เกิน 600 นาทีหากปริมาณคอนกรีตที่เทไม่เกิน 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เช่น กรณีเทคอนกรีตวันละ 50 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 587 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงระยะเวลาการทำงาน 1 วันที่มี

ในขณะที่เมื่อเพิ่มจำนวนรถปูนที่ใช้ในกระบวนการขึ้นเป็นจำนวน 4 หรือ 5 คัน จะใช้เวลาทำงานน้อยลงในปริมาณคอนกรีตที่เท่ากัน เช่น จะใช้เวลาทำงานเฉลี่ย 484 นาที และ 412 นาที สำหรับรถปูนจำนวน 4 และ 5 คันตามลำดับ เมื่อเทคอนกรีต 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน



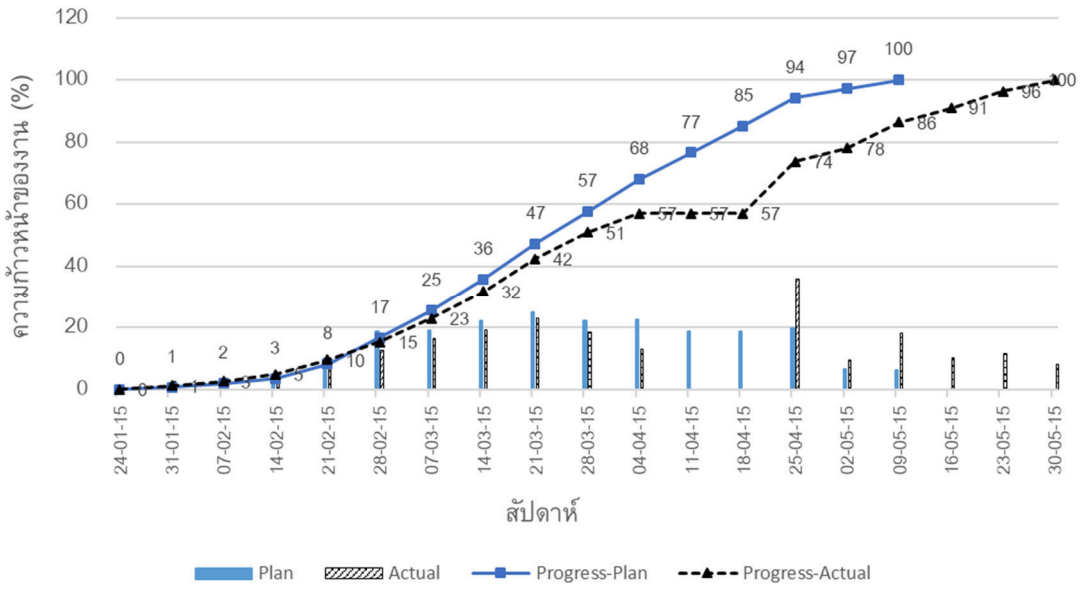

**รูปที่ 2** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอนกรีตและเวลาที่ใช้ในการเท จากการจำลองสถานการณ์

เมื่อพิจารณาเป็น 3 กรณี กล่าวคือ (1) ใช้จำนวนรถปูน 1-2 คัน (2) ใช้รถปูนจำนวน 3 คัน และ (3) ใช้รถปูนจำนวน 4-5 คัน เพื่อเลือกกรณีที่เหมาะสมที่สุด โดยจัดลำดับความสำคัญของประเด็นพิจารณาเป็นดังนี้ คือ (1) ใช้ระยะเวลาเทคอนกรีตไม่เกิน 600 นาทีต่อวัน (2) ใช้จำนวนรถปูนน้อยที่สุด และ (3) ได้ปริมาณคอนกรีตต่อวันมากที่สุด ตามลำดับ จะเห็นว่ากรณีที่เหมาะสมที่สุด คือ กรณีใช้รถปูนจำนวน 3 คัน และเทคอนกรีตเป็นปริมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เนื่องจากใช้เวลาในการเทคอนกรีตไม่เกินเวลาทำงานใน 1 วัน หรือ 600 นาที และใช้รถปูนน้อยกว่ากรณีอื่นที่ใช้รถเป็นจำนวน 4 หรือ 5 คัน เมื่อพิจารณาปริมาณคอนกรีตที่จะเทได้กรณีใช้รถ 3 คัน พบว่าปริมาณคอนกรีตมากที่สุดที่บ่งชี้ว่าจะเทได้จะเป็น 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

## 8. การปรับปรุงกระบวนการและผลการดำเนินงานก่อสร้าง

เฟสแรกของการก่อสร้างก่อนนำโปรแกรมคอสมอสมาใช้ในการจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงกระบวนการนั้น พบว่าไม่มีการวางแผนงานเทคอนกรีตอย่างชัดเจน จากการเก็บข้อมูลพบว่าส่วนใหญ่ในแต่ละวันมีการสั่งคอนกรีตเป็นปริมาณ 1.5-30 ลูกบาศก์เมตร และในช่วงที่เร่งทำงานปริมาณคอนกรีตที่สั่งสูงสุดต่อวันจะสูงถึง

120 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้รถปูนขนส่งคอนกรีตเข้าหน้างานจำนวน 1-10 คัน เมื่อวัดความก้าวหน้าของงานในช่วงดังกล่าวนี้ จะได้กราฟความก้าวหน้าของงานในภาพรวมดังแสดงในรูปที่ 3 ความก้าวหน้าของงานที่แสดงในรูปนี้ เป็นความก้าวหน้าของงานในสัปดาห์ต่าง ๆ เทียบกับมูลค่างานของทั้งโครงการในเฟสแรก โดยที่งานของทั้งโครงการหมายถึงงานเทคอนกรีตปริมาณ 682 ลูกบาศก์เมตร ในเฟสนี้ ที่รวมงานอื่น ๆ ที่จะทำให้งานคอนกรีตนั้นดำเนินการได้จนเสร็จสิ้นด้วย เช่น งานติดตั้งเหล็กเสริม และงานติดตั้งไม้แบบ



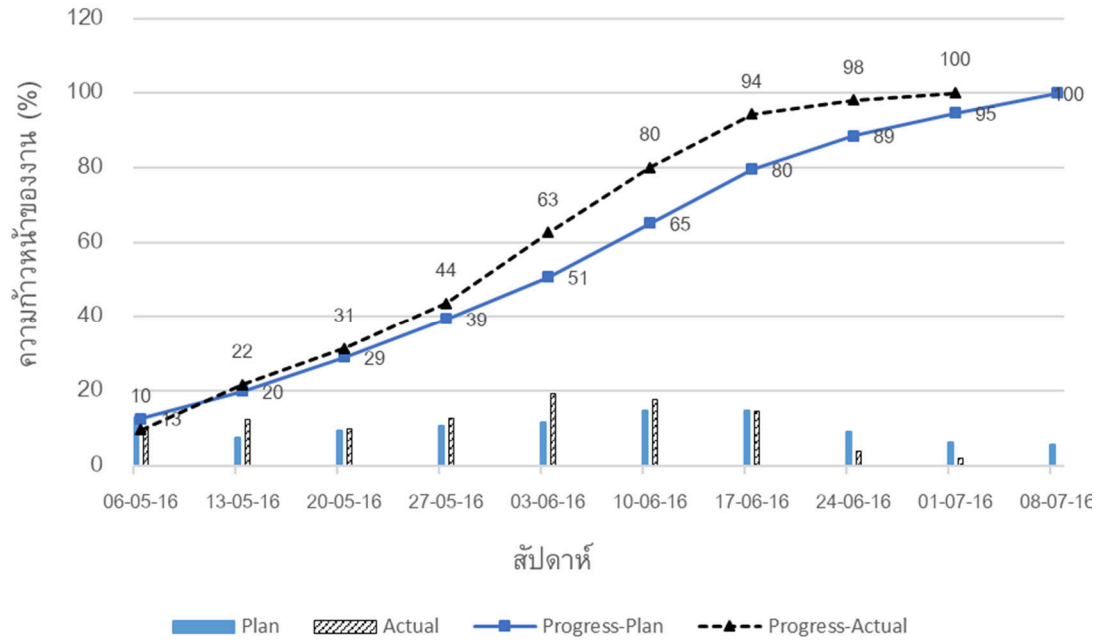

**รูปที่ 3** ความก้าวหน้างานก่อสร้างก่อนการใช้โปรแกรมคอสมอสช่วยจำลองสถานการณ์

ในกราฟจะเห็นว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 1-5 ของโครงการ มูลค่าที่ทำได้จริง (actual) กับมูลค่าตามแผน (plan) มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเข้าสัปดาห์ที่ 6-11 มูลค่าที่ทำได้จริงมีค่าลดลง ต่างจากแผนที่วางไว้ โดยส่วนใหญ่เกิดจากในช่วงนั้นรถปูนมักติดปัญหายังไม่ผ่านการตรวจสภาพมาก่อน หรือในบางกรณีไม่มีเจ้าหน้าที่อนุมัติใบอนุญาตเข้าทำงานที่ประตู 5 ต่อมาในสัปดาห์ที่ 12-13 เป็นช่วงที่คนงานหยุดในช่วงเทศกาลสงกรานต์และมีฝนตกหนัก เป็นปัญหาต่อการดำเนินงาน ทำให้มูลค่างานที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น สัปดาห์ที่ 14 ผู้รับเหมาต้องการเร่งงานก่อสร้าง ซึ่งสามารถเร่งงานบางอย่างได้ แต่เมื่อเข้าสัปดาห์ที่ 15-19 เมื่อผู้รับเหมาพยายามเร่งงานเทคอนกรีตกลับพบปัญหาสั่งคอนกรีตมาพร้อมกันหลายคัน ในขณะที่รถปูนสามารถเข้าหน้างานได้ครั้งละ 1 คัน จึงเกิดการรอคอยของรถปูน ทำให้ไม่ได้ความก้าวหน้าของงานตามที่ต้องการ

หลังจากนั้นได้จำลองสถานการณ์และพบว่าการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการนี้ คือ การเทคอนกรีตวันละ 50 ลูกบาศก์เมตร และใช้รถปูนจำนวน 3 คัน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้

เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ไปทดลองใช้ในหน้างานจริงสำหรับการก่อสร้างในเฟส

ที่สอง ทำให้ได้ผลงานดังแสดงในรูปที่ 4 กราฟในรูปนี้แสดงความก้าวหน้าของงานในสัปดาห์ต่าง ๆ เทียบกับมูลค่างานของทั้งโครงการในเฟสที่สอง โดยที่งานของทั้งโครงการหมายถึงงานเทคอนกรีตปริมาณ 682 ลูกบาศก์เมตรในเฟสที่สองนี้ ซึ่งรวมงานอื่น ๆ ที่ทำให้งานคอนกรีตนั้นดำเนินการได้จนเสร็จสิ้นด้วย เช่น งานติดตั้งเหล็กเสริม และงานติดตั้งไม้แบบ ทั้งนี้ในการวางแผนการทำงานจะเริ่มจากการวางแผนงานเทคอนกรีตเป็นหลักก่อน ในส่วนของงานอื่น ๆ จะวางแผนการดำเนินงานให้สอดคล้องกับกำหนดการเทคอนกรีตที่วางแผนไว้แล้วนั้น




**รูปที่ 4** ความก้าวหน้างานก่อสร้างหลังนำผลจากการจำลองสถานการณ์ไปใช้ในงานจริง

รูปที่ 4 จะเห็นว่าในสัปดาห์ที่ 1 มูลค่าที่ทำได้จริงมีค่าน้อยกว่ามูลค่าที่วางแผนไว้ แต่ทั้งนี้เป็นเพราะมีเหตุการณ์สุดวิสัยเกิดขึ้นเป็นการชั่วคราว เนื่องจากเป็นสัปดาห์ที่โรงแยกก๊าซมีกิจกรรมซ่อมแผนฉุกเฉินและมีการตรวจเช็คโรงงานประจำปี ทำให้ต้องหยุดงานเป็นระยะเวลา 3 วัน เป็นเหตุให้ได้มูลค่าน้อยกว่าแผนที่วางไว้ ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2-7 งานเทคอนกรีตสามารถทำได้ตามแผนการที่กำหนดไว้ จากนั้นในช่วงสัปดาห์ที่ 8-9 มูลค่างานที่ทำได้ไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก เนื่องจากเป็นช่วงสุดท้ายของการทำงาน เป็นการเก็บงานซึ่งมีมูลค่างานไม่มาก

## 9. การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง

หัวข้อนี้ได้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างเฟสแรกกับเวลาที่ใช้ในเฟสที่สอง ในช่วงเริ่มโครงการก่อนการปรับปรุงได้กำหนดระยะเวลาทำงานเทคอนกรีตในครั้งแรกไว้เป็น 10 สัปดาห์ แต่เมื่อพิจารณาความก้าวหน้าของงานที่ได้ดำเนินงานไประยะหนึ่งแล้ว จึงได้มีการแก้ไขแผนการดำเนินงานโดยเพิ่มระยะเวลาทำงานจาก 10 เป็น 16 สัปดาห์ เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณงานที่น่าจะทำได้ในตอนนั้น แต่เมื่อสิ้นสุดการก่อสร้างในเฟส

แรกนี้พบว่าใช้เวลาทำงานจริงทั้งหมด 19 สัปดาห์ ล้าช้ากว่าแผนงานที่ปรับใหม่แล้วนี้ 3 สัปดาห์ (ดูรูปที่ 3)

หลังใช้โปรแกรมคอสมอสในการจำลองสถานการณ์และนำผลจากการจำลองสถานการณ์ไปใช้กับหน้างานจริงในเฟสที่สอง พบว่างานก่อสร้างในภาพรวมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน กล่าวคือ ในหน้างานจริงได้ทดลองปรับแผนการเทคอนกรีตเป็นวันละ 50 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้รถปูนจำนวน 3 คัน และวางแผนการดำเนินงานให้มีระยะเวลาการทำงานเป็น 10 สัปดาห์ เท่ากับแผนงานเดิมที่เคยวางแผนไว้ในช่วงเริ่มโครงการ พบว่าสามารถดำเนินงานก่อสร้างในเฟสนี้เสร็จสิ้นภายในเวลาเพียง 9 สัปดาห์ เร็วกว่าแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4 จากรูปนี้จะเห็นได้ว่ามูลค่าที่ทำได้จริงมีเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าที่ 100 เปอร์เซ็นต์กล่าวคืองานเสร็จสมบูรณ์ ในสัปดาห์ที่ 9 เร็วกว่าแผน 1 สัปดาห์

เมื่อเปรียบเทียบเวลาแล้วเสร็จของงานระหว่างเฟสที่หนึ่งกับเฟสที่สอง จะเห็นได้ว่างานก่อสร้างในเฟสที่สองเสร็จสิ้นเร็วกว่างานก่อสร้างในเฟสที่หนึ่งอยู่ถึง 10 สัปดาห์ (9 สัปดาห์ เทียบกับ 19 สัปดาห์) แต่ทั้งนี้เวลาแล้วเสร็จของงานในภาพรวมนี้เกิดจากปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ที่มิได้เกี่ยวกับกระบวนการก่อสร้างโดยตรงด้วย ได้แก่ การหยุดงานช่วงเทศกาลสงกรานต์ การหยุดงานเนื่องจากการตรวจเช็คโรงงานประจำปี เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ตัดความล่าช้าเนื่องจากปัจจัยที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับกระบวนการก่อสร้างโดยตรง แต่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความก้าวหน้าของงานอย่างมีนัยสำคัญออกไป เช่น ปัจจัยการหยุดงานช่วงเทศกาลในช่วงสัปดาห์ที่ 12-13 ของการก่อสร้างในเฟสแรก ผลการก่อสร้างของทั้งสองเฟสเมื่อเปรียบเทียบกันก็ยังคงเป็นไปในลักษณะเดิม กล่าวคือ งานก่อสร้างในเฟสที่สองเสร็จสิ้นเร็วกว่างานก่อสร้างในเฟสที่หนึ่ง โดยในกรณีนี้จะเสร็จเร็วกว่า 8 สัปดาห์ เมื่อตัดความล่าช้าที่เกิดจากฝนตกในช่วง 2 สัปดาห์ นั้นออกไป

นอกจากนั้น หากพิจารณาตัดปัจจัยที่ไม่ได้เกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรโดยตรง หากแต่เกี่ยวกับการบริหารจัดการในเรื่องอื่นออกไป กล่าวคือ ปัจจัยเรื่องรถปูนที่มักติดปัญหายังไม่ผ่านการตรวจสภาพมาก่อน และการไม่มีเจ้าหน้าที่อนุมัติใบอนุญาตเข้าทำงานที่ประตู 5 ที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างสัปดาห์ที่ 6-11 คิดเป็นช่วงเวลาอีกประมาณ 6 สัปดาห์ ของการก่อสร้างเฟสแรก จะพบว่าผลการก่อสร้างของทั้งสองเฟสเมื่อเปรียบเทียบกันก็ยังคงเป็นไปในทิศทางเดิม คือ งานก่อสร้างในเฟสที่สองเสร็จสิ้นเร็วกว่างานก่อสร้างในเฟสที่หนึ่ง ในกรณีนี้จะเสร็จเร็วกว่า 2 สัปดาห์ โดยประมาณ โดยการก่อสร้างในเฟสที่ 1 จะเสมือนว่าใช้เวลาดำเนินการ 11 สัปดาห์ ในขณะที่การก่อสร้างในเฟสที่สองเสร็จสิ้นในเวลา 9 สัปดาห์

## 10. อภิปรายผล

การจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมในกรณีศึกษานี้คือการเทคอนกรีตวันละ 50 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้รถปูนจำนวน 3 คัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เนื่องจากการวางแผนการเทและการสั่งคอนกรีตวันละ 50 ลูกบาศก์เมตรนั้น เป็นการลดปัญหาการสั่งคอนกรีตในปริมาณที่ไม่เหมาะสมกับสถานการณ์หน้างานจริงที่เคยเกิดขึ้นก่อนปรับปรุงกระบวนการ และทำให้การทำงานร่วมกันระหว่างทรัพยากรหลักต่าง ๆ คือ รถปูน รถเครน และคอนกรีตที่จะเทต่อวัน มีความสอดคล้องกัน จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการดำเนินงานดีขึ้นอย่างชัดเจน

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบในสถานการณ์จริง จึงมีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือมีความแปรปรวนอยู่

หลายตัวแปร ซึ่งเป็นธรรมชาติของงานก่อสร้างที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อสร้างโดยนับรวมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงรวมกันทั้งหมด ทำให้เห็นผลสัมฤทธิ์ในภาพรวมที่ได้จากการนำผลจากการจำลองสถานการณ์ไปใช้สถานการณ์จริง ซึ่งประเด็นการนำไปใช้ในสถานการณ์จริงนั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ในงานวิจัยต่อไปอาจพิจารณาสร้างแบบจำลองที่มีตัวแปรเรื่องความแปรปรวนหรือความไม่แน่นอนที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมเข้าไปด้วย

## 11. บทสรุป

งานวิจัยนี้แสดงการจัดการทรัพยากร หลักการในการสร้างแบบจำลอง และแสดงแบบจำลองพร้อมทั้งการจำลองสถานการณ์ในระบบคอสมอส โดยใช้โปรแกรมคอสมอสซิมมิวเลเตอร์เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ในระบบคอสมอสสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการ อันเป็นการจัดการทรัพยากรเพื่อปรับปรุงการปฏิบัติงานหน้างานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ ในการศึกษานี้สามารถหาปริมาณทรัพยากรที่เหมาะสมกับสถานการณ์ได้เป็นอย่างดี และสามารถนำผลการจำลองสถานการณ์ที่ได้ไปปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างในหน้างานจริง ทำให้โครงการก่อสร้างนี้มีการใช้ทรัพยากรในปริมาณที่เหมาะสม หลักในการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองสำหรับกระบวนการอื่นหรือกระบวนการก่อสร้างอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันต่อไปได้

## 12. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วศ.ธนิถา ปานรังศรี สำหรับข้อมูลจากหน่วยงานก่อสร้างและการวิเคราะห์การกระจายตัวของเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมด้วยโปรแกรม Crystal Ball และขอขอบคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาบทความ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้บทความนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

## 13. รายการอ้างอิง

จิรวัฒน์ ดำริห์อนันต์ และศิวกร พ่วงพูล, 2548, แนวทางและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์งานก่อสร้าง : กรณีศึกษาเขื่อนคลองท่าด่าน, p. CEM-29 - CEM-34, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, พัทยา.

รุ่งโรจน์ ศรีวิเชียร และจิรวัฒน์ ดำริห์อนันต์, 2553, กรณีศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับอาคารสูงโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีเพทริเน็ทส์, ว.วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 21(1): 27-34.

Chen, Z. and Shan, B., 2012, The Application of Petri Nets to Construction Project Management, pp. 151-158, In Luo, J., Affective Computing and Intelligent Interaction, Advances in Intelligent and Soft Computing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Damrianant, J. and Wakefield, R. R., 1998, Examination and modification of Petri net-based methodology for construction- process modeling, J. Proj. Constr. Manag. 4(2): 55-75.

Damrianant, J., 2003, COSMOS: A discrete-event modeling methodology for construction processes, Int. J. Internet Enterprise Manag. (IJIEM) special issue on

"Product and Process Modeling in Building and Related Industries 1(2): 128-152.

Damrianant, J., 2018, Optimization of supply trains in tunnel boring operation using tunnel boring machines, pp. 8-12, Proceedings of the 6th International Conference On Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering, Zurich.

Liu, W., Wang, P., Du, Y., Zhu, M. and Yan, C., 2017, Extended logical Petri nets- based modeling and analysis of business processes, IEEE Access 5: 16829-16839.

Meklersuewong, S. and Damrianant, J., 2013, Energy reduction in road construction, pp. 523-532, Proceedings of the 3rd International Symposium on Engineering, Energy and Environments, Bangkok.

Puangpool, S. and Damrianant, J., 2002, An application of restricted colored Petri nets for concurrent engineering in construction, pp. 405- 411, Proceedings of the 9th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Advances in Concurrent Engineering, Cranfield.

Sawhney, A., Mund, A. and Chaitavatputtiporn, T., 2003, Petri net- based scheduling of construction projects, Civ. Eng. Environ. Syst. 20(4): 255-271.

Singh, K., Raj, N., Sahu, S.K., Behera, R.K., Sarkar, S. and Maiti, J., 2015, Modelling safety of gantry crane operations using Petri nets, Int. J. Inj. Contol Sa. 24(1): 32-43.

Thomas Ng, S., Yuan, F. and Onuegbu, O.U., 2008, Modelling construction material logistics system with stochastic Petri nets, Constr. Innov. 8(1): 46-60.

Wakefield, R.R. and Sears, G.A., 1997, Petri nets for simulation and modeling of construction systems, J. Constr. Eng. M. 123(2): 105-112.