

กรณีศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ  
สำหรับอาคารสูงโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีเพทรีเน็ตส์

An Improvement of a Precast-Concrete-Wall

Installation Process of a High-Rise Building

Using Petri Nets: A Case Study

รุ่งโรจน์ ศรีวิเชียร และ จิรวัดน์ ดำริห์อนันต์

Rougrout Sevicheen, Jirawat Damrianant

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

E-mail:lhaungpopram@hotmail.com

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail:djirawat@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอกรณีศึกษาการปรับปรุงกระบวนการก่อสร้าง ด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์(Simulation) ซึ่งการจำลองสถานการณ์เป็นวิธีการหนึ่ง ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำงานและหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิต และติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จของอาคารสูง 2 โครงการ และทำการสร้างแบบจำลองสำหรับกระบวนการดังกล่าว ด้วยวิธีการเพทรีเน็ตส์ จากนั้นจึงทำการจำลองสถานการณ์ เพื่อวิเคราะห์หาระยะเวลาและทรัพยากรที่เหมาะสม แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างจริง ที่หน้างาน โดยความเหมาะสมดังกล่าวพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการดำเนินงานก่อสร้าง โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่า เวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการยังอยู่ภายในเวลาที่กำหนดไว้ในสัญญา ผลจากการวิจัยพบว่า อาคารสูง ขนาด 34 - 35 ชั้น มีพื้นที่ผนัง 7,000 ถึง 8,000 ตารางเมตรหรือมีพื้นที่ผนังต่อชั้นประมาณ 320 ตารางเมตร ที่เลือกการผลิตและติดตั้งเป็นระบบขึ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถใช้แบบหล่อขนาดประมาณ 8 ตารางเมตร จำนวน 23 ชุด ใช้ช่างฝีมือ 5 คน ใช้กรรมกรชาย 3 คน ใช้กรรมกรหญิง 2 คน โดยจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตและ

ติดตั้งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ประมาณ 1,200 บาทต่อตารางเมตร และใช้เวลารวมทั้งสิ้น 12 วันต่อชั้น

Abstract

This paper presents a case study of a construction process improvement by means of a simulation method which is a way that can be used for determining the appropriate working period and number of resources. This research has studied the process of production and installation of pre-cast concrete walls for two high-rise buildings, and a model for such process was developed by means of the Petri Nets method. Then, the simulation was performed in order to determine the appropriate working period and number of resources, and the results obtained were taken into account to improve the actual process of construction at site. Such appropriateness is considerably based on the least costs of construction under the condition that the time to be spent in processing the projects must be still within the contractual timeframe. According to the research results, it found that a high-rise building, 34 to 35-stories, with 7,000 to 8,000 square meters of wall areas or with approximately 320 square meters of wall areas per storey, which selected the production and installation by

means of a pre-cast concrete walls system, can use twenty three sets of eight square meters-sized cast molds, with five craftsmen, three male labourers and two female labourers. The costs of production and installation of pre-cast concrete walls are approximate 1,200 baht per square meter and the total time spent is twelve days per storey.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารสูง เกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย โดยบริษัทชั้นนำส่วนใหญ่พยายามหาวิธีการก่อสร้างที่ทันสมัย สะดวก และรวดเร็ว เพื่อทำงานให้แล้วเสร็จตามที่กำหนดไว้ในสัญญา ซึ่งจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของโครงการลดลง จึงทำให้มีการแข่งขันกันหลายด้าน รวมถึงในด้านเทคนิคการก่อสร้าง การหากระบวนการก่อสร้างรูปแบบใหม่ หรือการใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัย เพื่ออำนวยความสะดวกและลดขั้นตอนในการก่อสร้าง การก่อสร้างโดยใช้ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เป็นอีกหนึ่งเทคนิคของการก่อสร้างในปัจจุบัน ด้วยประโยชน์การก่อสร้างที่รวดเร็ว ตลอดจนความมีคุณภาพ (Quality) และความทนทาน (Durability) ของชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จที่สูงกว่าโครงสร้างปกติ จึงทำให้การก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในปัจจุบันเป็นที่นิยม และแพร่หลายมากขึ้น

แม้ว่ากระบวนการผลิต และติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ จะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่ด้วยปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยากรในการทำงาน ที่กองเก็บชิ้นงาน รวมถึงจำนวนเครื่องจักรของแต่ละโครงการที่มีปริมาณไม่เท่ากัน จึงทำให้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการดำเนินงานที่ล่าช้า ปริมาณที่กองเก็บไม่เพียงพอ กับปริมาณการติดตั้ง รวมถึงการใช้ทรัพยากรมากเกินไปจนสิ้นเปลือง หากไม่มีการจัดการกับปัญหาข้างต้นอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ จะนำมาซึ่งค่าใช้จ่ายของโครงการที่สูงเกินจริง รวมถึงเวลาในการดำเนินงานที่มากเกินไป จึงควรมีการวิเคราะห์หาความเหมาะสมในด้านเวลาและค่าใช้จ่ายดังกล่าว

การวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาในการหาความเหมาะสมของระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของกระบวนการก่อสร้างชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ สำหรับการผลิตในหน่วยงานก่อสร้าง โดยการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ด้วยวิธีการเพทรีเน็ตส์ (Petri Nets) การจำลองสถานการณ์เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำงานและจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมได้ [1]-[5] การวิจัยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จของโครงการสิริเรสซิเดนซ์และโครงการสิริเอท สุขุมวิท ทั้ง 2 โครงการเป็นอาคารสูง ขนาด 34 และ 35 ชั้น ตามลำดับ ทำการหาค่าการกระจายตัวของเวลาในการทำกิจกรรม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้กลับไปแทนค่าในแบบจำลองเพทรีเน็ตส์ที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาเวลาในการทำงานและการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสม เมื่อได้ระยะเวลาในการทำงานและจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมจากการจำลองสถานการณ์แล้ว จึงนำไปปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างจริงที่หน้างานของโครงการก่อสร้างอาคารสิริเอท สุขุมวิท ถนนสุขุมวิท 38 ในส่วนของชั้น 11 ถึงชั้น 34 โดยใช้ข้อมูลจากโครงการก่อสร้างอาคารสิริเรสซิเดนซ์ ถนนสุขุมวิท 24 และโครงการก่อสร้างอาคารสิริเอท สุขุมวิทเอง ในส่วนของชั้น 7 - 10

## 2. วิธีการสร้างแบบจำลอง

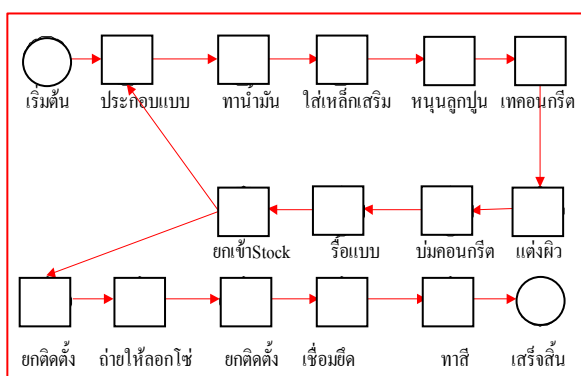
งานวิจัยนี้ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีเพทรีเน็ตส์ ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดขึ้นโดยคาร์ล อัดัม เพทรี (Carl Adam Petri) [6] แบบจำลองเพทรีเน็ตส์มีลักษณะพื้นฐานเป็นโครงข่าย (network base) ซึ่งสามารถตอบสนองกับความต้องการของงานวิจัยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากแบบจำลองในงานวิจัยนี้ต้องเป็นแบบจำลองที่แสดงโครงข่ายของกิจกรรมที่อยู่ในกระบวนการก่อสร้างได้และเป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการศึกษาให้เข้าใจถึงรายละเอียดของแต่ละกิจกรรมได้เป็นอย่างดี ซึ่งแบบจำลองเพทรีเน็ตส์ มีลักษณะที่ต้องการดังกล่าว โดยแบบจำลองเพทรีเน็ตส์สามารถที่จะแสดงลักษณะการดำเนินการของกิจกรรมต่างๆ ของงานก่อสร้างได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น แสดงการ

ดำเนินกิจกรรมที่มีลักษณะต่อเนื่องกัน (Sequential Execution) แสดงการดำเนินกิจกรรมที่มีลักษณะดำเนินการพร้อมๆ กันได้ (Concurrency) แสดงการดำเนินกิจกรรมที่มีลักษณะเกิดขึ้นแบบสอดคล้องกัน (Synchronization) แสดงการดำเนินกิจกรรมที่มีลักษณะร่วมกันดำเนินการ (Merging) และแสดงการดำเนินกิจกรรมที่มีลักษณะทับซ้อนกันและมีหลายๆ สถานการณ์ที่แตกต่างกันในเวลาเดียวกันได้ (Confusion) [7]-[8]

### 3. ลักษณะของอาคารและกระบวนการก่อสร้างที่ศึกษา

อาคารที่ทำการศึกษามีได้แก่ อาคารสิริเรสซิเดนส์ และอาคารสิริเอทสุภูมิวิทย์ ซึ่งเป็นอาคารสูงขนาด 34 ชั้นและ 35 ชั้น ตามลำดับ โดย ชั้น 2 ถึงชั้น 5 ของอาคารสิริเรสซิเดนส์ เป็นส่วนของที่จอดรถจากชั้น 5 ขึ้นไป ถึงชั้น 33 เป็นที่พักอาศัย ส่วนชั้น 2 ถึงชั้น 5 ของอาคารสิริเอทสุภูมิวิทย์ เป็นส่วนของที่จอดรถเช่นกัน และจากชั้น 5 ขึ้นไป ถึงชั้น 34 เป็นที่พักอาศัย ซึ่งทั้ง 2 โครงการใช้การก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยใช้ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ขนาดประมาณ 2 เมตร x 4 เมตร พื้นที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 7,000 ตารางเมตร

กระบวนการก่อสร้างด้วยระบบขึ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับอาคารสูง โดยการผลิตในหน่วยงานก่อสร้างทั้ง 2 โครงการ มีขั้นตอนในการดำเนินงานที่สามารถแสดงในรูปแบบของ CPM ได้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตและติดตั้งขึ้นส่วนผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จในรูปแบบ CPM

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตและติดตั้งด้วยระบบขึ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับอาคารสูงในกรณีศึกษา เริ่มจากการประกอบแบบ เมื่อได้แบบหล่อตามจำนวนที่ต้องการจึงทำการทาน้ำมันที่แบบหล่อ ใส่เหล็กเสริม หนุนลูกปูน และเทคอนกรีต ทำการแต่งผิวหน้าคอนกรีตให้สวยงาม ปล่อยให้ไว้ประมาณ 4 วันเพื่อให้ชั้นงานสามารถรับกำลังได้ เมื่อครบ 4 วัน จึงทำการรื้อแบบ จากนั้นใช้ทาวเวอร์เครนยกไปที่กองเก็บ เมื่อได้จำนวนตามต้องการจึงขกคิดตั้ง ทำการเชื่อมยึด และทาสีกันสนิม จึงถือว่าจบกระบวนการ ขั้นตอนการทำงานบางส่วนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ถึง รูปที่ 5



รูปที่ 2 กิจกรรมการใส่เหล็กเสริมลงแบบหล่อ



รูปที่ 3 กิจกรรมการเทคอนกรีต



รูปที่ 4 การกองเก็บชิ้นงานคอนกรีตหล่อสำเร็จ



รูปที่ 5 กิจกรรมการยกติดตั้ง

#### 4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยได้แบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเพททรีเน็ตส์ โปรแกรม Visual

Simnet และ โปรแกรม Arena

2. ศึกษากระบวนการก่อสร้างขึ้นส่วนหล่อสำเร็จสำหรับอาคารสูง

3. สร้างแบบจำลองเชิงแนวคิดและเก็บรวบรวมข้อมูล

4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยทำการหาค่าการกระจายตัวของเวลาในการทำงานของแต่ละกิจกรรมด้วยโปรแกรม Arena เพื่อนำกลับไปแทนค่าในโปรแกรม Visual Simnet

5. สร้างแบบจำลองและจำลองสถานการณ์

6. ปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างและเปรียบเทียบผลการปรับปรุงระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์กับงานจริง

7. วิเคราะห์และสรุปผล

#### 5. แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างที่เป็นกรณีศึกษา

แบบจำลองของกระบวนการก่อสร้างตามกรณีศึกษาถูกสร้างขึ้นตามวิธีการเพททรีเน็ตส์ ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยใช้จำนวนคนงานและแบบหล่อที่มีอยู่ที่หน้างานในการกำหนดค่าเริ่มต้น จากนั้นจึงเพิ่มจำนวนคนงานและแบบหล่อเข้าไปในแบบจำลองครั้งละ 1 หน่วย (ตามตารางที่ 1) แล้วนำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด เพื่อหาการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตและติดตั้งขึ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จจริงที่หน้างาน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มทรัพยากรทั้งคน และแบบหล่อรวมทั้งสิ้น 29 แบบ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดสรรทรัพยากรทั้ง 29 แบบ

| รูปแบบการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>ทรัพยากร | การเพิ่มทรัพยากร |         |              |               | สถานะ                |
|--------------------------------------|------------------|---------|--------------|---------------|----------------------|
|                                      | แบบหล่อ          | ช่าง(1) | กรรมกรชาย(2) | กรรมกรหญิง(3) |                      |
| 1                                    | 12               | 4       | 2            | 2             | แบบจำลองคืบหน้า      |
| 2                                    | ไม่จำกัด         | 5       | 2            | 2             | เพิ่มช่าง            |
| 3                                    | ไม่จำกัด         | 6       | 2            | 2             | เพิ่มช่าง            |
| 4                                    | ไม่จำกัด         | 7       | 2            | 2             | เพิ่มช่าง            |
| 5                                    | ไม่จำกัด         | 4       | 3            | 2             | เพิ่มกรรมกรชาย       |
| 6                                    | ไม่จำกัด         | 4       | 4            | 2             | เพิ่มกรรมกรชาย       |
| 7                                    | ไม่จำกัด         | 4       | 5            | 2             | เพิ่มกรรมกรชาย       |
| 8                                    | ไม่จำกัด         | 4       | 6            | 2             | เพิ่มกรรมกรชาย       |
| 9                                    | ไม่จำกัด         | 4       | 7            | 2             | เพิ่มกรรมกรชาย       |
| 10                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 2            | 3             | เพิ่มกรรมกรหญิง      |
| 11                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 2            | 4             | เพิ่มกรรมกรหญิง      |
| 12                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 2            | 5             | เพิ่มกรรมกรหญิง      |
| 13                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 2            | 6             | เพิ่มกรรมกรหญิง      |
| 14                                   | ไม่จำกัด         | 5       | 3            | 2             | เพิ่ม1,2 (ครึ่งละ1)  |
| 15                                   | ไม่จำกัด         | 5       | 2            | 3             | เพิ่ม1,3(ครึ่งละ1)   |
| 16                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 3            | 3             | เพิ่ม2,3(ครึ่งละ1)   |
| 17                                   | ไม่จำกัด         | 5       | 3            | 3             | เพิ่ม1,2,3(ครึ่งละ1) |
| 18                                   | ไม่จำกัด         | 6       | 4            | 2             | เพิ่ม1,2 (ครึ่งละ2)  |
| 19                                   | ไม่จำกัด         | 6       | 2            | 4             | เพิ่ม1,3(ครึ่งละ2)   |
| 20                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 4            | 4             | เพิ่ม2,3(ครึ่งละ2)   |
| 21                                   | ไม่จำกัด         | 6       | 4            | 4             | เพิ่ม1,2,3(ครึ่งละ2) |
| 22                                   | ไม่จำกัด         | 7       | 5            | 2             | เพิ่ม1,2 (ครึ่งละ3)  |
| 23                                   | ไม่จำกัด         | 7       | 2            | 5             | เพิ่ม1,3(ครึ่งละ3)   |
| 24                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 5            | 5             | เพิ่ม2,3(ครึ่งละ3)   |
| 25                                   | ไม่จำกัด         | 7       | 5            | 5             | เพิ่ม1,2,3(ครึ่งละ3) |
| 26                                   | ไม่จำกัด         | 8       | 6            | 2             | เพิ่ม1,2 (ครึ่งละ4)  |
| 27                                   | ไม่จำกัด         | 8       | 2            | 6             | เพิ่ม1,3(ครึ่งละ4)   |
| 28                                   | ไม่จำกัด         | 4       | 6            | 6             | เพิ่ม2,3(ครึ่งละ4)   |
| 29                                   | ไม่จำกัด         | 8       | 8            | 8             | เพิ่ม1,2,3(ครึ่งละ4) |

จากรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรทั้ง 29 แบบ คณะผู้วิจัยได้ทำการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ผล ทำให้ทราบเวลาดำเนินการก่อสร้างแต่ละรูปแบบของการจัดสรรทรัพยากร จากนั้นจึงนำเวลาดังกล่าวมาหาค่าใช้จ่ายและทรัพยากรที่เหมาะสม พบว่ารูปแบบการจัดสรรทรัพยากรที่ 14 ใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมเนื่องจากใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการจัดสรรทรัพยากรในรูปแบบอื่น และเวลาในการก่อสร้างไม่เกินเวลารวมของโครงการตามสัญญา ซึ่งรูปแบบการปรับปรุงทรัพยากรที่ 14 มีรายละเอียดของการใช้เวลา และทรัพยากรดังนี้

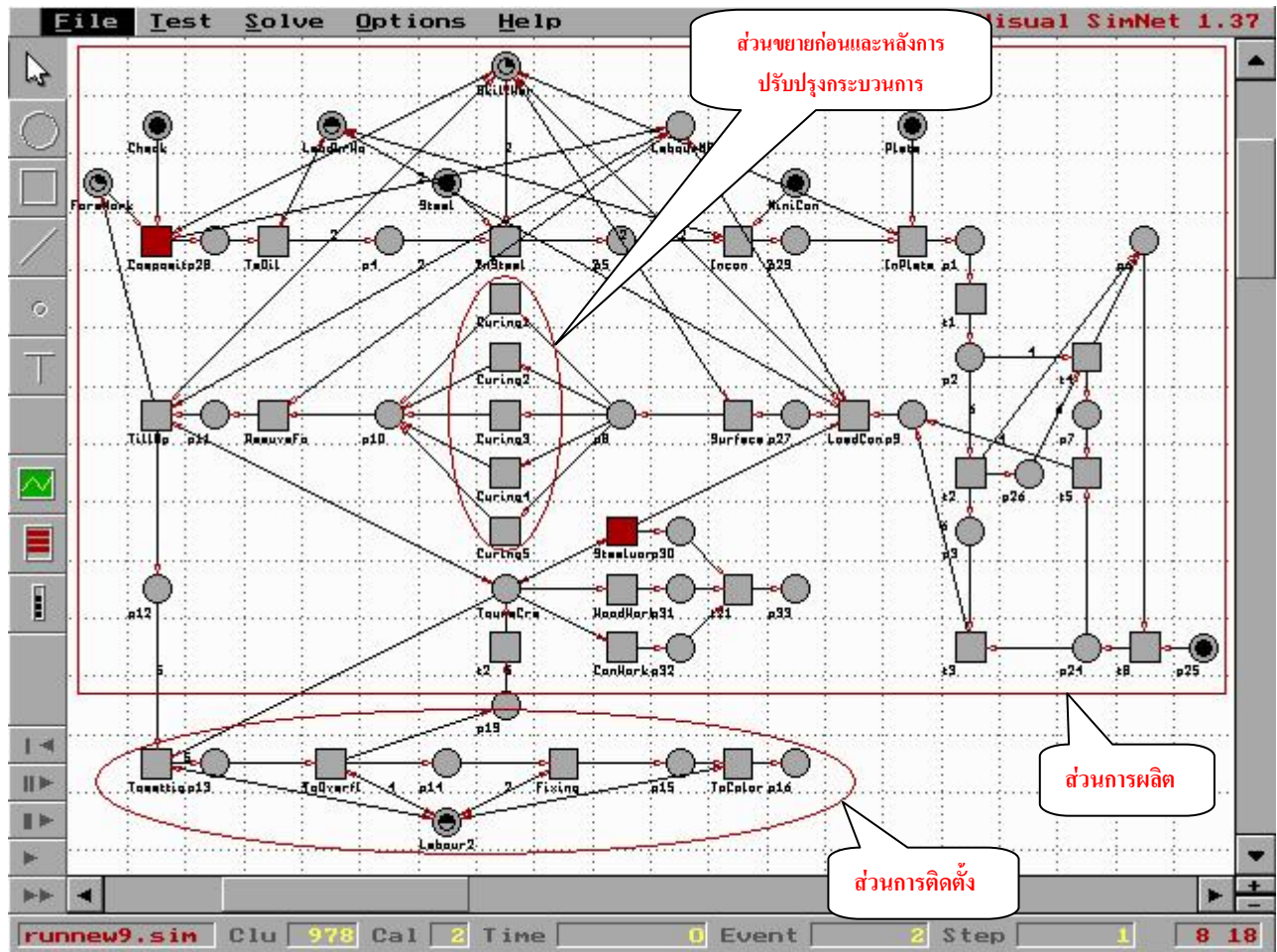
จำนวนแบบหล่อ 23 ชุด

จำนวนช่างฝีมือ 5 คน

จำนวนกรรมกรชาย 3 คน

จำนวนกรรมกรหญิง 2 คน

เวลารวมของการผลิตและติดตั้งเท่ากับ 17,493 นาที หรือประมาณ 12 วันต่อชั้น และคำนวณค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 181,502 บาท ซึ่งแบบจำลองเพทรีเน็ตส์สำหรับรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรที่ 14 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองเพทรีเน็ตส์ของกระบวนการก่อสร้างที่ศึกษาและสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Visual Simnet

ตารางที่ 2 คำอธิบายส่วนประกอบของรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรที่ 14 ของโปรแกรม Visual Simnet ในรูปที่ 6

| Transition<br>□ | คำอธิบาย                            | Place<br>○ | คำอธิบาย                       | Waiting Time<br>(Minute) |
|-----------------|-------------------------------------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Composit        | แทนกิจกรรมประกอบแบบ                 | Formwork   | แสดงการมีอยู่ของแบบหล่อ        | 1,289                    |
| ToOil           | แทนการทาน้ำมันที่แบบหล่อ            | Check      | แสดงการตรวจสอบจำนวนชุดแบบหล่อ  |                          |
| InSteel         | แทนการใส่เหล็กเสริมลงในแบบหล่อ      | LabourWo   | แสดงการมีอยู่ของแรงงานหญิง     | 1,289                    |
| InCon           | แทนการหนุนลูกปูนลงในแบบหล่อ         | LabourMe   | แสดงการมีอยู่ของแรงงานชาย      | 162                      |
| InPlate         | แทนการใส่ Place Support ลงในแบบหล่อ | Steel      | แสดงการมีอยู่ของเหล็กเสริม     |                          |
| LoadCon         | แทนกิจกรรมเทคอนกรีต                 | MiniCon    | แสดงการมีอยู่ของลูกปูน         |                          |
| Surface         | แทนกิจกรรมแต่งผิวหน้าคอนกรีต        | Place      | แสดงการมีอยู่ของ Place Support |                          |
| Curing          | แทนกิจกรรมการบ่มคอนกรีต             | SkillWkr   | แสดงการมีอยู่ของช่างฝีมือ      | 23                       |
| TillUp          | แทนกิจกรรมยกแผ่นPrecastไปติดตั้ง    | TowerCra   | แสดงการมีอยู่ของ Tower Crane   | 328                      |

## 6. การนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการจำลอง

### สถานการณ์กลับไปใช้ที่ทำงานจริง

หลังจากได้เวลาในการก่อสร้างและทรัพยากรที่เหมาะสมตามรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรที่ 14 จากโปรแกรม Visual Simnet จึงนำผลที่ได้ไปปรับปรุงกระบวนการที่ทำงานจริง โดยแต่เดิมก่อนการปรับปรุงที่ทำงานใช้แบบหล่อ 20 ชุด ช่างฝีมือ 4 คน กรรมกรชาย 2 คน และกรรมกรหญิง 2 คน เพื่อให้ทรัพยากรมีจำนวนเท่ากับรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรที่ 14 จึงเพิ่มแบบหล่อจำนวน 3 ชุด เพิ่มช่างฝีมือจำนวน 1 คน และเพิ่มกรรมกรชายจำนวน 1 คน จากนั้นจึงดำเนินงานตามรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรที่ 14 ได้เวลาและค่าใช้จ่ายหลังจากการดำเนินงานดังนี้ เวลารวมของการผลิตเท่ากับ 18,893 นาที หรือประมาณ 12 วันต่อชิ้น และคำนวณค่าใช้จ่ายรวมได้เท่ากับ 179,292 บาท

## 7. สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการนำรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรที่ 14 ไปปรับปรุงกระบวนการจริงที่ทำงาน สามารถสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบการดำเนินงานก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการด้วยการจัดสรรทรัพยากรได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

| รายการ                 | ก่อนปรับปรุงกระบวนการ | หลังปรับปรุงกระบวนการ | ผลต่าง  |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| จำนวนแบบหล่อ (ชุด)     | 20                    | 23                    | +3      |
| จำนวนคนงาน             |                       |                       |         |
| -จำนวนช่าง (คน)        | 4                     | 5                     | +1      |
| -จำนวนกรรมกรชาย (คน)   | 2                     | 3                     | +1      |
| -จำนวนกรรมกรหญิง(คน)   | 2                     | 2                     | 0       |
| ระยะเวลา (วัน)         | 16                    | 12                    | -4      |
| ค่าใช้จ่ายต่อวัน (บาท) | 13,702                | 14,941                | +1,239  |
| รวมค่าใช้จ่าย (บาท)    | 219,232               | 179,292               | -39,940 |

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าการใช้แบบหล่อเพิ่มขึ้นจำนวน 3 ชุด ช่างฝีมือเพิ่ม 1 คน กรรมกรชายเพิ่ม 1 คน จะทำให้เวลาในการทำงานลดลง 3 วันต่อชิ้น เป็นเหตุให้ค่าใช้จ่ายลดลง 39,940 บาทต่อชิ้น

เมื่อนำกระบวนการที่ปรับปรุงแล้วมาวิเคราะห์ในรายละเอียดในเชิงปริมาณร่วมกับเชิงคุณภาพพบว่า การใช้แบบหล่อจำนวน 23 ชุด ทำให้มีเวลาในการรอคอย (Waiting Time) ของทรัพยากรต่างๆ ดังนี้

เวลารอคอยของแบบหล่อ ณ. จุดที่รอประกอบแบบ (place “Formwork” ในรูปที่ 6 หรือในตารางที่ 2) เท่ากับ 1,289 นาทีต่อการติดตั้งผนังหล่อสำเร็จหนึ่งชั้น ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาหลังการถอดแบบเพื่อรอประกอบแบบใหม่ เนื่องจากในหน้างานจริงคนงานซึ่งเป็นกรรมกรหญิงไม่ได้ทำความสะอาดแบบหล่อในทันที เพราะใช้เวลาพูดคุยกับเพื่อนร่วมงาน จึงทำให้มีแบบหล่อจำนวนหนึ่งรอการทำความสะอาดก่อนใช้งาน

ด้านเวลารอคอยของช่างฝีมือ (place “SkillWkr” ในรูปที่ 6 หรือในตารางที่ 2) เท่ากับ 23 นาทีต่อการติดตั้งผนังหล่อสำเร็จหนึ่งชั้นซึ่งเกิดจากการรอแบบก่อสร้าง โดยเวลารอคอยดังกล่าวจะเกิดเฉพาะวันแรกของการเริ่มที่ชั้นใหม่เท่านั้น เพราะช่างฝีมือจะใช้เวลาในการศึกษาแบบและทำความเข้าใจกับแบบก่อสร้างที่ได้รับจากโฟร์แมนก่อนจะเริ่มทำงานในชั้นนั้น ส่วนวันต่อไปเวลารอคอยในส่วนนี้จะไม่เกิดขึ้น

เวลาในการรอคอยของกรรมกรชาย (place “LebourMe” ในรูปที่ 6 หรือในตารางที่ 2) เท่ากับ 162 นาทีเกิดจากการนั่งพักสูบบุหรี่และพูดคุยกัน ซึ่งกรรมกรชายจะใช้เวลาดังกล่าวไปกับการทำกิจกรรมประกอบแบบ ใส่เหล็กเสริม เทคอนกรีต แต่งผิวหน้า และยกชิ้นส่วนหล่อสำเร็จไปที่กองเก็บ

สำหรับเวลาในการรอคอยของทาวเวอร์เครน (place “TowerCra” ในรูปที่ 6 หรือในตารางที่ 2) มีค่าเท่ากับ 328 นาที เกิดจากคนขับทาวเวอร์เครนใช้เวลาลงไปเข้าห้องน้ำและติดต่อสื่อสารทางวิทยุกับผู้อยู่ด้านล่าง จึงทำให้ทาวเวอร์เครนหยุดการเคลื่อนไหว ก่อนจะกลับมายก

ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จหรือเทคอนกรีตอีกครั้ง จึงทำให้กิจกรรมต่างๆ เกิดการรอคอยทาวเวอร์คอนกรีตขึ้น

หากมีการแก้ไขเวลาในการรอคอยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น เช่น ให้ช่างฝีมือศึกษาแบบที่ใช้ในการก่อสร้างก่อนเวลาการเริ่มงาน หรือกำหนดไม่ให้คนงานพูดคุยกันในระหว่างการทำงานจนกว่างานจะแล้วเสร็จ ก็จะสามารถลดเวลารอคอยดังกล่าวได้

จากงานวิจัยนี้เมื่อดำเนินงานไปจนถึงสิ้นโครงการ (ชั้น 7 – 34) ของโครงการสิริเทพสุขุมวิท สามารถลดเวลาในส่วนของการผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จได้ 108 วัน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายลดลง 675,000 บาท และเมื่อนำทรัพยากรในการดำเนินงานมาแยกหาค่าใช้จ่าย พบว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานอยู่ที่ประมาณ 1,200 บาทต่อตารางเมตร

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Damrianant, J. and Wakefield, R. R. (1997). "An example application of modeling and simulation in construction." Proceedings of the Third National Convention on Civil Engineering, Engineering Institute of Thailand (EIT), Songkla, Thailand, CMT 6-1–CMT 6-22.
- [2] Wakefield, R. R., Damrianant J. and O'Brien J. B. (1997). "A Petri net based system for the modeling and computer simulation of automated construction operations." Proceedings of the Fourteen International Symposium on Automation & Robotics in Construction, ISARC, Pittsburgh, 406-414.
- [3] จีรวัดน์ ดำริห์อนันต์ (2543). "กรณีศึกษาการใช้เทคนิคการทำกระบวนการเลียนแบบในการวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการเทคอนกรีตพื้นโดยใช้เครื่องยิงคอนกรีต." เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6, พฤษภาคม, ชะอำ, เพชรบุรี, TEC-1 – TEC-6.
- [4] จีรวัดน์ ดำริห์อนันต์ และ ศิวกร พ่วงพูล (2548). "แนวทางและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์งานก่อสร้าง: กรณีศึกษาเขื่อนคลองท่าด่าน."
- เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, เล่มที่ 1, 2-4 พฤษภาคม, พัทยา, CEM-29 – CEM-34.
- [5] พงศภัทร ลิ้มปิยนันท์ (2551). การประเมินประสิทธิภาพของการปรับปรุงกระบวนการก่อสร้าง โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีเพทรีเน็ตส์ : กรณีศึกษางานเขื่อนแควน้อย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [6] Carl Adam Petri, C.A., Kommunikation (1962). Ph.D. Thesis, University of Bonn, Bonn, West Germany; Also English translation: Greene, C. F. Jr., Communication with Automata, Volume 1, Supplement 1 to Technical Report RADC-TR-65-377, Rome Air Development Center, Griffis Air Force Base, New York.
- [7] Wakefield, R. R. and Damrianant, J. (1999). "Petri net modelling—A simulation tool for use in construction process re-engineering." International Journal of Computer Integrated Design and Construction, vol. 1, no. 2, 20-34.
- [8] Damrianant, J. and Chiravanich T. (1999). "Characteristics of construction processes to considering for development of practical construction-process modelling methodologies." Proceedings of the Fifth National Convention on Civil Engineering, Engineering Institute of Thailand (EIT), Pattaya, Thailand, CMT-69 – CMT-73.