Engng.J.CMU.(2018) 25 (2), 203-216

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ กรณีศึกษา: บริษัทคอนกรีตผสมเสร็จ

Application of Genetic Algorithm for Scheduling and Dispatching of Ready Mixed Concrete Truck: A Case Study of Ready Mixed Concrete Company

ชูเดช ประสารวรณ์[*] ปุณณมี สัจจกมล และ ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล

Chudeth Prasanwon[*], Punnamee Sachakamol and Ailada Treeattrakoon

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[1]Faculty of Engineering, Kasetsart University, Chatuchuk, Bangkok 10900

[*]Tel : 080-3342724, E-mail: chudeth123@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จจากกรณีศึกษา ซึ่งมีการจัดตารางลำดับงานโดยอาศัยเพียงประสบการณ์ จึงอาจเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมหรือไม่มีประสิทธิภาพมากพอสำหรับกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จด้วยวิธีฮิวริสติก ได้แก่ วิธีสั่งก่อนส่งก่อน (First-Come, First-Serves (FCFS)) และวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ 1 เครื่อง (Genetic Algorithm of Single Plant (GA+SP)) โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจัดตารางลำดับงานของกรณีศึกษานี้คือ ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ (TWC) จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น และต้นทุนจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก และพัฒนารูปแบบการจัดตารางลำดับงานใหม่ คือ วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ 2 เครื่อง (Genetic Algorithm of Multi Plant (GA+MP)) เพื่อให้สอดคล้องกับบริษัทกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่า วิธี GA+SP สามารถลดระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ (TWC) จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก เมื่อเทียบวิธีการจัดตารางลำดับงานแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นสม่ำเสมอ (Uniform Probability Distribution (Uniform)) คิดเป็นร้อยละ 15.63, 18.50 และ 31.38 ตามลำดับ สำหรับวิธี GA+MP ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ (TWC) มีจำนวนเพิ่มขึ้นจากวิธีการจัดตารางลำดับงานแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นสม่ำเสมอ (Uniform Probability Distribution (Uniform)) คิดเป็นร้อยละ 49.15 ในส่วนของจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงักลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.63 และ 60.93 ตามลำดับ

Received 20 December 2017
Accepted 10 April 2018

ABSTRACT

This paper investigates the scheduling system for transporting Ready-Mixed Concrete (RMC). The company in case study previously relies only on experiences and resulted in ineffective and inappropriate outcome. In this study, we aimed to improve the approach for schedule arrangement of Ready-Mixed Concrete transportation sequence using two procedures: a) First-Come First-Served (FCFS) and genetic algorithm of single plant methods (GA+SP), and b) the application of genetic algorithm of multi plant method (GA+MP). The total waiting time of RMC truck at the construction sites (TWC), the number of interruption, and the total cost from both TWC and the number of interruption were the indicators to measure the system efficiency. According to the outcome of Case Study, the new system were improved by application of genetic algorithm of single plant methods (GA+SP) that were decreased in the TWC, the number of interruption penalties, and total cost from the interruption and penalties with the value of 15.63%, 18.5% and 31.38% respectively. For the results by genetic algorithm of multi plant method (GA+MP) gave the result in TWC increasing from Uniform Probability Distribution arrangement with 49.5%, but decreased in both the number of interruption and total cost with the value of 2.63% and 60.93% respectively.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่ขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจให้กับประเทศ นับเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญในการพัฒนาประเทศและสังคมของประเทศ เพราะก่อให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดการหมุนเวียนเงินทุนภายในประเทศทำให้เกิดการจ้างงานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างทั้งทางตรงและทางอ้อม จากข้อมูลการสรุปผลที่สำคัญการสำรวจอุตสาหกรรมก่อสร้าง พ.ศ. 2557 พบว่าสถานประกอบการก่อสร้างทั่วประเทศ มีจำนวนทั้งสิ้นประมาณ 33,057 แห่ง สำหรับมูลค่าการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายขั้นกลาง และมูลค่าเพิ่มของสถานประกอบการก่อสร้างทั่วประเทศ พบว่ามีมูลค่าทั้งสิ้น 445,227.41 ล้านบาท โดยแบ่งเป็นค่าใช้ขั้นกลาง 299,237.30 ล้านบาท และมูลค่าเพิ่ม 145,990.11 ล้านบาท โดยมีสัดส่วนของมูลค่าเพิ่มเปรียบเทียบกับมูลค่าการก่อสร้าง ร้อยละ 32.8 [1]

การก่อสร้างในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าอย่างมาก ทั้งวัตถุดิบและอุปกรณ์ในหลายรูปแบบ เช่น แรงงานที่มีคุณภาพ และวัตถุดิบที่มีมาตรฐาน เป็นต้น วัตถุดิบหนึ่งที่สำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง คือ คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete; RMC) เนื่องจากความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน และสามารถหาซื้อได้ง่าย จึงส่งผลให้ความต้องการของลูกค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ในปัจจุบันโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเกิดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน [2] จากข้อมูลพบว่าเดือนมีนาคม 2558 มีจำนวนโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 27 โรงงาน และเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนมีนาคม 2557 ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นอัตราร้อยละ 13.7 [3]

จากการเข้าศึกษาบริษัทกรณีศึกษา กำลังประสบปัญหาการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จไปยังโครงการก่อสร้างของลูกค้าล่าช้ากว่ากำหนด สาเหตุหลักคือไม่มีวิธีลำดับงานที่แน่นอน และแนวโน้มของความต้องการสินค้าที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมประสิทธิภาพในการจัดตารางการขนส่งที่ดีพอ อีกทั้งยังส่งผลต่อเกิดความสูญเสียต่อกำไรที่ควรจะได้รับ

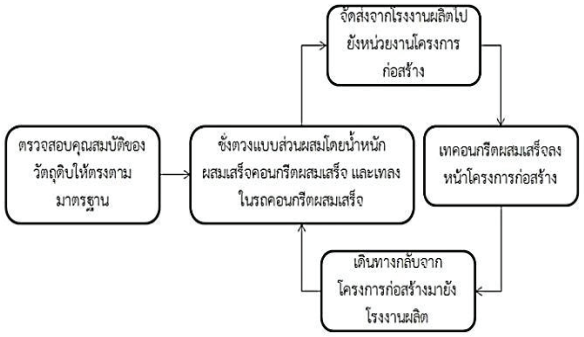
ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น และได้สนใจสร้างตัวแบบจำลองในการค้นหาคำตอบที่มีค่าลู่เข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ได้ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จมีค่าน้อยลง ภายใต้ข้อจำกัดของบริษัทคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งมีดังนี้ ความจุของรถคอนกรีตผสมเสร็จ ระยะเวลาในการเดินทางของคอนกรีตผสมเสร็จ และจำนวนรถคอนกรีตผสมเสร็จ เป็นต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อีกทั้งยังพัฒนาเครื่องมือช่วยในการจัดตาราง

ลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จโดยใช้ชุดคำสั่ง Visual Basic for Application (VBA) บนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล และพัฒนาวิธีการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จวิธีใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับบริษัทกรณีศึกษานี้

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตผสมเสร็จ คือวัสดุก่อสร้างซึ่งมีส่วนผสมของผงปูนซีเมนต์ น้ำ หิน ทราย และน้ำยาหน่วงคอนกรีตผสมเสร็จ ผสมให้เข้ากันในเครื่องผสมคอนกรีตผสมสร็จที่โรงงานแล้วเทลงในรถคอนกรีตผสมเสร็จดังรูปที่ 1 ซึ่งจะคงสภาพเหลว ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเพียงพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยที่กระบวนการกรผลิตคอนกรีตผสมเสร็จประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังรูปที่ 2

รูปที่ 1 รถคอนกรีตผสมเสร็จเทคอนกรีตผสมเสร็จหน้าโครงการก่อสร้าง



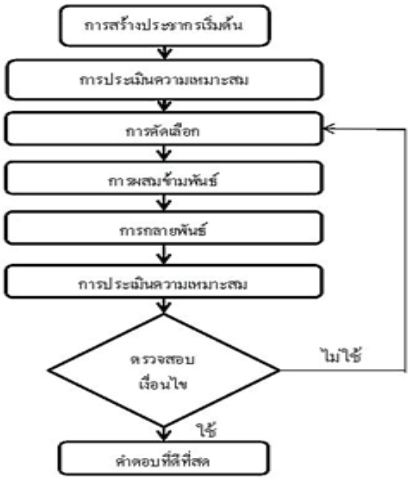
รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

การจัดตารางลำดับงาน (Scheduling) หมายถึง การจัดสรรทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับภารกิจ (Task) ที่กำหนดให้จำนวนหนึ่ง ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดให้ เพื่อที่จะทำให้องค์กรสามารถบรรลุเป้าหมาย (Goal) หรือวัตถุประสงค์ (Objective) สูงสุดที่องค์กรกำหนดเอาไว้ที่เวลานั้นได้ การจัดตารางจะทำให้ทราบว่าจะต้องการใช้แต่ละทรัพยากรเมื่อใด เพื่อที่จะผลิตชิ้นงานหรือให้บริการตามที่ต้องการ และการจัดตารางจะเกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของการวางแผนที่การผลิตจริงจะเริ่มต้นขึ้น [4] ปัญหาการจัดตารางเวลาการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ เป็นปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Problem) ที่มีความสลับซับซ้อนเนื่องจากประกอบตัวแปรในการตัดสินใจจำนวนมาก

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางลำดับงานที่นิยมใช้ 2 วิธีคือ วิธีสุ่มตัวอย่างมีเหตุผล (Heuristics) และวิธีหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimization) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะให้ค่าผลของคำตอบแบบแม่นตรง (Exact Solution) และวิธีสุ่มตัวอย่างมีเหตุผล (Heuristic) เป็นการแก้ปัญหาที่ต้องการหาค่าที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการมักถูกนำมาใช้ในการหาคำตอบภายใต้การหาตำอบที่ขึ้นอยู่กับเลขสุ่ม เพื่อให้เกิดการหาค้นพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ให้กว้างที่สุดที่จะเป็นไปได้ โดยที่คำตอบที่ได้จากการคำนวณไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเหมือนคำตอบที่ได้จากปัญหาจากวิธีแม่นตรง (Exact Method) [5] สำหรับการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จเป็นหัวใจสำคัญในการทำให้การขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า [6]

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Darwin's Theory of Natural Selection) ในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมจากรุ่นสู่รุ่น เพื่อที่จะดำรงเผ่าพันธุ์ให้อยู่ต่อไป หากมีการปรับตัวให้

เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมก็สามารถที่จะอยู่รอดในธรรมชาติได้ วิธีการนี้ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาโดย John Holland ซึ่งผู้นำวิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านงานวิจัยการดำเนินงาน (Operation Research Problem) [5] โดยจะพิจารณาและดำเนินการจากกลุ่มคำตอบของปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นโดยเข้ารหัส (Coding) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหาให้อยู่ในรูปของโครงสร้างโครโมโซม (Chromosome) ตามที่กำหนด [7] โดยมีวิธีการหลักๆ ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีเชิงพันธุกรรม

โดยที่ Feng [8] ได้ประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาด้านการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จในรูปแบบ Single Plant–Multi Site ในประเทศไต้หวัน ซึ่งได้กล่าวว่า หัวใจสำคัญของการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จให้ทันความต้องการของลูกค้า คือการจัดตารางลำดับงานที่มีประสิทธิภาพ ส่งให้ทันตามความต้องการของลูกค้า ชนิด และปริมาณที่ถูกต้องตามที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนด โดยมีการวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการจัดตารางลำดับงานดังนี้

1) ระยะเวลาในการเดินทางจากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้าง

2) ระยะเวลาในการเทคอนกรีตผสมเสร็จ

3) ระยะเวลาในการเดินทางกลับจากโครงการก่อสร้างไปยังโรงงาน

4) ปริมาณคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการให้จัดส่ง

5) ระยะเวลาในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 นาที

6) ระยะเวลาที่โครงการก่อสร้างยอมรับได้ในการรอคอยคอนกรีตผสมเสร็จ

วัตถุประสงค์คือการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จให้มีระยะเวลารอคอยน้อยที่สุด โดยการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ร่วมกับการพัฒนาระบบจำลองสถานการณ์จริง ในปี 2005 [9] ได้ศึกษาการนำ Fast Messy Genetic Algorithm และ CYCLONE Simulation Technique มาพัฒนาเพิ่มเติมจาก [10] ซึ่งจะช่วยให้การจัดการการเดินรถคอนกรีตผสมเสร็จมีความยืดหยุ่น และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของโรงงานและส่วนของการให้บริการ

ในปี 2010 [11] ได้ศึกษาการจัดตารางจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ โดยปกติการจัดตารางเดินรถมักใช้การคาดคะเน ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสจากการค้าขาย จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้มีการแก้ปัญหาโดยการพัฒนาโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการจัดตารางจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จ โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งผลลัพธ์จากกรณีศึกษาพบว่าตารางการจัดส่งมีระยะเวลารอคอยน้อยกว่า และยังใช้จำนวนรถในการจัดส่งที่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดส่งแบบเก่า ในขณะที่ [10] ได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการส่งมอบคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งมีการใช้วิธีการ Network Flow เพื่อการจัดตารางเดินรถของคอนกรีตผสมเสร็จในรูปแบบ Time Windows และอีกวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับกิจกรรมคือวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อจำลองสถานการณ์ให้เป็นกรณีคล้ายจริง เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการจัดลำดับ

กิจกรรมของภารกิจที่ต้องไปยังโครงการก่อสร้าง มีประสิทธิภาพดีกว่า อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่น้อยลง เพื่อให้ครอบคลุมกับสถานการณ์จริงได้มีการใช้การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ในการวิเคราะห์เพื่อแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อต้นทุน และค่าใช้จ่าย รวมไปถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอน

3. วิธีการ

3.1 ศึกษาวิธีฮิวริสติก ข้อจำกัด และเก็บข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษามีกระบวนการดำเนินการและข้อจำกัดเป็นลักษณะห่วงโซ่มีทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังนี้

1) โรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จมีจำนวนทั้งหมด 2 เครื่อง และวัตถุดิบ ในแต่ละเครื่องใช้ระยะเวลาในการผสมคือ 15 และ 10 นาทีต่อเที่ยว ตามลำดับ

2) การลำเลียงไปยังโครงการก่อสร้าง เป็นการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จโดยใช้รถคอนกรีตผสมเสร็จ โดยในที่นี้หมายถึง รถกวนคอนกรีตผสมเสร็จ (Truck Agitator) มีความจุไม่เกิน 5 ลูกบาศก์เมตรต่อคัน มีจำนวนรถคอนกรีตผสมเสร็จในการขนส่งจำนวน 30 คัน

3) การเทคอนกรีตผสมเสร็จ การเทคอนกรีตผสมเสร็จจะขึ้นอยู่กับความพร้อม และลักษณะการเทคอนกรีตผสมเสร็จที่หน้างานก่อสร้าง

4) รถคอนกรีตผสมเสร็จเดินทางไปและกลับ โดยรถคอนกรีตผสมเสร็จจะใช้ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางไปมีค่าเท่ากับ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เดินทางกลับด้วยความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และปัจจัยด้านการจราจรคิดเป็นร้อนละ 5 ของระยะเวลาในการเดินทาง

5) ระยะเวลายอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง เป็นการกำหนดของโครงการก่อสร้าง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดระยะเวลาห่างระหว่างรถคอนกรีตผสมเสร็จมากเกินไป จนนำไปสู่การแข็งตัวของรถคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการก่อสร้าง ซึ่งถูกกำหนดไว้ที่ 30 นาที

จากการค้นคว้างานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับงานของคอนกรีตผสมเสร็จส่วนใหญ่ มุ่งเน้นให้มีการค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว แต่การยังไม่มีการประยุกต์ใช้จริงกับสถานการณ์จริงมากนัก ซึ่งการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จมีความแตกต่างจากปัญหารูปแบบการขนส่งทั่วไป ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น และได้สนใจในการนำแบบจำลองของ Feng [9] มาพัฒนาและนำไปใช้กับบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากมีเหมาะสม และความสอดคล้องกับปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาที่เกิดขึ้น โดยนำคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบคำตอบกับวิธีปัจจุบันของโรงงาน สำหรับข้อมูลในการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จจากโรงงานไปยังโครงการก่อสร้างแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จไปยังโครงการก่อสร้าง 3 แห่ง

j	SCT_j	CD_j	TDG_j	TDB_j	ABD_j	k_j
1	08:00	20	30	25	30	5
2	08:00	30	25	20	20	4
3	08:30	25	40	30	15	3

หมายเหตุ ปริมาณในการบรรทุกของรถคอนกรีตผสมเสร็จ 5 ลบ.ม.ระยะเวลาในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จ 3 นาที จำนวนรถคอนกรีตผสมเสร็จ 5 คัน

โดยที่ j คือ ดัชนีโครงการก่อสร้าง k_j คือ จำนวนเที่ยวของรถคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องขนส่งไปยังโครงการก่อสร้าง ที่ j SCT_j คือ เวลาเริ่มงานของโครงการก่อสร้างที่ j (ในหน่วยเวลา 24 ชั่วโมง) CD_j คือ ระยะเวลาการเทคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการที่ j (นาที) TDG_j คือ ระยะเวลาในการเดินทางจากโรงงานผลิตไปยังโครงการก่อสร้างที่ j (นาที) TDB_j คือ ระยะเวลาในการเดินทางจากโครงการก่อสร้างที่ j กลับมายังโรงงานผลิต (นาที) และ ABD_j คือ ระยะเวลาที่มากที่สุดที่โครงการก่อสร้างที่ j ยอมรับได้ (นาที)

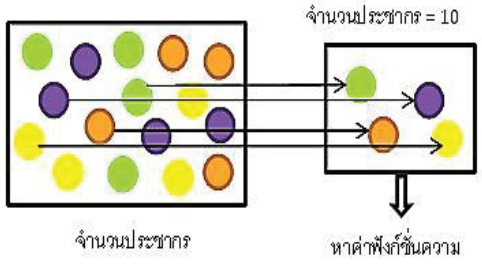
สำหรับองค์ประกอบของวิธีเชิงพันธุกรรมประกอบไปด้วย 5 ส่วนดังนี้

1) การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) เป็นการกำหนดเริ่มต้นของปัญหาในการถอดรหัสจะขึ้นอยู่กับปัญหา ซึ่งส่งผลให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างออกไปตามปัญหานั้นๆ โดยการขนส่งจะมีประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับการจัดตารางลำดับงานที่มีความเหมาะสมตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) ดังนั้นจึงกำหนดความยาวของโครโมโซมให้เท่ากับจำนวนเที่ยวรถทั้งหมดในการจัดส่งไปยังโครงการก่อสร้าง [10] โดยการกำหนดโครโมโซมให้อยู่ในรูปแบบ Permutation Coding เช่น มีจำนวนโครงการก่อสร้าง 3 แห่ง มีความต้องการคอนกรีตผสมเสร็จจำนวน 5, 4 และ 3 เที่ยว ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนโครโมโซมจึงมีค่าเท่ากับ (5+4+3) เท่ากับ 12 ยีน หรือ 12 เที่ยวในการส่งคอนกรีตผสมเสร็จ โดยการสร้างยีนจะอาศัยการสุ่มจำนวนลำดับงานขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4

2	2	1	1	3	1	3	2	2	1	3	1

รูปที่ 4 ลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ

2) ประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เป็นกระบวนการสุ่มเลือกเพื่อสร้างประชากรต้นแบบ เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของวิธีเชิงพันธุกรรม ในที่นี้ให้จำนวนสุ่ม (n=10) โดยยังไม่สนใจค่าความเหมาะสมในแต่ละโครโมโซม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 10 โครโมโซม

3) การประเมินค่าฟังก์ชั่นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Fitness Function) เป็นวิธีการสำหรับการประเมินโครโมโซมทุกตัวเพื่อบ่งบอกถึงความเหมาะสม (Fitness Value) ของโอกาสในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม โดยวัตถุประสงค์เพื่อต้องการจัดตารางลำดับงานของคอนกรีตผสมเสร็จให้มีเวลารอคอยน้อยที่สุด ดังนั้นพารามิเตอร์นำเข้าเพื่อใช้ในการจัดลำดับงานประกอบไปด้วยดังนี้

3.1) จำนวนโครงการก่อสร้างและปริมาณที่ต้องการในการจัดส่ง

3.2) ความจุของรถคอนกรีตผสมเสร็จ

3.3) ระยะเวลาเดินทางไประหว่างโรงงานผลิต และโครงการก่อสร้าง

3.4) ระยะเวลาเดินทางกลับระหว่างโครงการก่อสร้าง และโรงงานผลิต

3.5) ระยะเวลาที่ยอมรับได้ของโครงการก่อสร้างในการรอคอยคอนกรีตผสมเสร็จ

3.6) ระยะเวลาในการเทคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการก่อสร้าง

3.7) โทษปรับจากรถคอนกรีตผสมเสร็จไปถึงช้ากว่าระยะเวลาที่โครงการก่อสร้างยอมรับได้ในการรอคอยคอนกรีตผสมเสร็จ โดยโทษปรับ 1 ครั้งเท่ากับระยะเวลา 1 วัน ในหน่วยนาทีดังสมการที่ 1

$$P = (\text{The number of interruption}) \times 60 \times 24 \quad (1)$$

P คือ การปรับโทษเนื่องจากส่งงานล่าช้ากว่าระยะเวลายอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง (นาที)

จากตารางที่ 2 SDT_i คือ เวลาที่รถออกเดินทางในเที่ยวที่ i TAC_{ji} คือ เวลาที่รถคอนกรีตผสมเสร็จไปถึงยังโครงการก่อสร้างที่ i เที่ยวที่ j PTF_{ji} คือ เวลาเริ่มเทคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการกอสร้างที่ i เที่ยวที่ j LT_{ji} คือ เวลาเทคอนกรีตผสมเสร็จเสร็จที่โครงการก่อสร้างที่ i เที่ยวที่ j TBB_i คือ เวลาที่รถคอนกรีตผสมเสร็จเดินทางจากโครงการก่อสร้างที่ i มาถึงยังโรงงานผลิต โดยที่ค่า WC_{ij} มีค่าเป็นบวกหมายถึง รถคอนกรีตผสมเสร็จเที่ยวที่

i รอคอยงานที่โครงการก่อสร้างที่ j และ WC_{ij} มีค่าเป็นลบหมายถึง โครงการก่อสร้างที่ j รอคอยรถคอนกรีตผสมเสร็จเที่ยวที่ i ส่วน r คือ จำนวนเที่ยวที่รถคอนกรีตผสมเสร็จเดินทางไปยังแต่ละโครงการก่อสร้าง

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
j	2	1	3	2	1	1	3	1	3	2	1	2
r	1	1	1	2	2	3	2	4	3	3	5	4
SDT_i	7:30	7:33	7:36	7:39	7:42	8:51	8:54	9:11	9:23	9:28	10:09	10:29
TAC_{ji}	7:55	8:03	8:16	8:04	8:12	9:21	9:34	9:41	10:03	9:53	10:39	10:54
PTF_{ji}	8:00	8:00	8:30	8:30	8:23	8:43	8:55	9:41	9:59	9:00	10:01	10:23
WC_{ji}	5	-3	14	26	11	-38*	-39*	0	-4	-53*	-38*	-31*
LT_{ij}	8:30	8:23	8:55	9:00	8:43	9:41	9:59	10:01	10:28	10:23	10:59	11:24
TBB_i	8:50	8:48	9:25	9:20	9:08	10:06	10:29	10:26	10:58	10:43	11:24	11:44

หมายเหตุ " * " คืองานที่ล่าช้ากว่าระยะเวลาที่ยอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง

ตารางที่ 3 สรุปผลลัพธ์จากการจัดลำดับงานในแต่ละโครงการก่อสร้างทั้ง 3 แห่ง

j	r	1	2	3	4	5
1	Arrival Time	8:03	8:12	9:21	9:41	10:39
	Departure Time	8:23	8:43	9:41	10:01	10:59
	Waiting Time (Site)	0	11	0	0	0
	Waiting Time (Truck	-3	0	-38*	0	-38*
2	Arrival Time	7:55	8:04	9:53	10:54	
	Departure Time	8:30	9:00	10:23	11:24	
	Waiting Time (Site)	5	26	0	0	
	Waiting Time (Truck	0	0	-53*	-31*	
3	Arrival Time	8:16	9:33	10:03		
	Departure Time	8:55	9:58	10:28		
	Waiting Time (Site)	14	0	0		
	Waiting Time (Truck	0	-39*	-4		

หมายเหตุ " * " คือ งานที่ล่าช้ากว่าระยะเวลาที่ยอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง

งานวิจัยนี้กำหนดให้การเทคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการก่อสร้างเป็นการเทอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตผสมเสร็จแข็งตัวและเสียคุณภาพ รวมไปถึงรถคอนกรีตผสมเสร็จจำเป็นต้องขนส่งไปยังโครงการก่อสร้างให้ทันตามระยะเวลาที่โครงการก่อสร้างยอมรับได้ มิเช่นนั้นจะมีโทษปรับเนื่องจากความล่าช้า สำหรับผลลัพธ์จากการจัดตารางลำดับงานจะแสดงดังตารางที่ 2 และสรุปผลการจัดลำดับงานในแต่ละโครงการก่อสร้างตามจำนวนเที่ยวในการจัดส่งได้ดังตารางที่ 3 โดยที่โครงการที่ 1, 2 และ 3 มีความต้องการให้จัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จเป็นจำนวน 5, 4 และ 3 เที่ยวตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตารางที่ 3 พบว่าจำนวนงานที่ล่าช้ากว่าระยะเวลาที่ยอมรับได้ของโครงการก่อสร้างมีจำนวนเท่ากับ 3 งาน ซึ่งมีโทษปรับเท่ากับจะใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณซึ่ง P มีค่าเท่ากับเวลาในหนึ่งวันในหน่วยนาที 4320 (=(3) x 60 x 24)

เริ่มต้นด้วยการจัดเก็บข้อมูลจากการรับคำสั่งซื้อ คำนวณความต้องการ และหาเวลาออกเดินทางที่เร็วที่สุดของรถบรรทุกแต่ละคัน ซึ่งต้องรวมกับเวลาในการผสมและโหลดไปยังรถคอนกรีตผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดย

ฟังก์ชันในการประเมินหาค่าความเหมาะสม (F) ได้ดังสมการที่ 2 ในหน่วยนาที

$$F = P + TWC \quad (2)$$

TWC คือ ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ (นาที)

สำหรับกรณีนี้ มีค่าผลลัพธ์ฟังก์ชันความเหมาะสมดังสมการที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4376 นาที (=4320 + 56) โดยที่ค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมแสดงถึงเวลารวมทั้งหมดของการจัดลำดับงานแต่ละครั้งในหนึ่งวันในหน่วยนาที

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้นมากที่สุดที่โครงการก่อสร้างที่ 1 และ 2 คือจำนวน 2 ครั้ง และโครงการก่อสร้างที่ 3 เกิดขึ้นจำนวน 1 ครั้ง ในส่วนของระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จที่มากที่สุด เกิดขึ้นที่โครงการก่อสร้างที่ 2 มีค่าเท่ากับ 26 นาที ดังนั้นต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงักจะมีค่าเท่ากับ 10,086.95 บาท โดยกำหนดให้อัตราการบริโภคน้ำมันของรถคอนกรีตผสมเสร็จมีค่าเท่ากับ 4 ลิตรต่อชั่วโมง ราคาน้ำมันมีค่าเท่ากับ 23.29 บาทต่อลิตร ราคาโทษเนื่องจากการหยุดชะงักมีค่าเท่ากับ 2,000 บาทต่อครั้ง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก

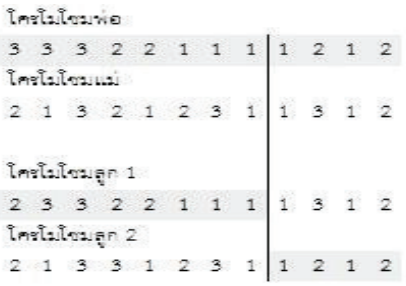
ข้อมูล	จำนวน	มูลค่า (บาท)
1. ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ (นาที)	56	86.95
2. จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น (ครั้ง)	5	10,000.00
3. ต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก		10,086.95

4) การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operation)

การดำเนินการทางพันธุกรรมซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของวิธีเชิงพันธุกรรมโดยมีกระบวนการพื้นฐาน 3 ส่วนหลักดังนี้

4.1) การคัดเลือก (Selection) เป็นการคัดเลือกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่เพื่อใช้ในการสืบสายพันธุ์ โดยรูปแบบการคัดเลือกมีหลายรูปแบบ เช่น วงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel) และการคัดเลือกแบบจัดลำดับ เป็นต้น ส่วนต่อไปการข้ามสายพันธุ์ โดยโครโมโซมใดที่มีความเหมาะสมกว่าจะมีโอกาสถูกเลือกเป็นประชากรรุ่นถัดไป

4.2) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการนำโครโมโซมหรือประชากรที่ถูกคัดเลือกมาข้ามสายพันธุ์ แลกเปลี่ยนยีนระหว่าโครโมโซมภายใต้ความน่าจะเป็น โดยการศึกษาใช้วิธีการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (One Point Crossover) ซึ่งจะใช้วิธีการสุ่มจุดที่จะทำการแลกเปลี่ยนยีน ดังรูปที่ 6 [12]



รูปที่ 6 การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว

การข้ามสายพันธุ์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อค่าการสุ่มในการสลับสายพันธุ์มีค่าน้อยกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ (P_c) และการข้ามสายพันธุ์จะเกิดการแลกเปลี่ยนส่วนประกอบของโครโมโซมหลังจุดตัด โดยการข้ามสายพันธุ์จะมีการตรวจสอบและคำนึงถึงส่วนที่อาจเกิดการซ้ำกันของส่วนประกอบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution)

4.3) การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังการข้ามสายพันธุ์ โดยโครโมโซมลูกจะถูกดำเนินการกลายพันธุ์ เพื่อสร้างความหลากหลายของคำตอบ โดยที่การกลายพันธุ์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อค่าสุ่มในการกลายพันธุ์มีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) โดยทำการสุ่มเลือกโครโมโซม และสุ่มเลือกตำแหน่งของยีนสองตำแหน่ง เพื่อทำการสลับตำแหน่ง (Arbitrary Two-Element) ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง

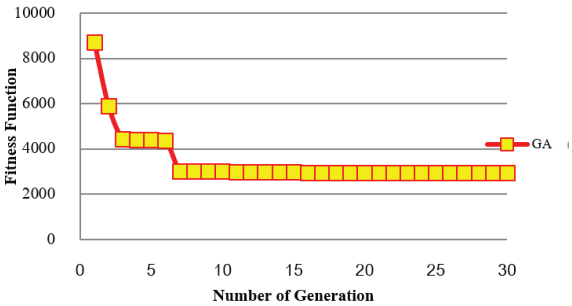
ขั้นตอนการข้ามสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ถือเป็นหัวใจสำคัญในการแก้ปัญหาด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากจะทำให้เกิดความหลายหลายของคำตอบจนอาจก่อให้เกิดคำตอบที่ดีกว่ากลุ่มคำตอบเดิม และกลไกที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง คือการคัดเลือกซึ่งจะใช้ความน่าจะเป็นในการอยู่รอด โดยที่โครโมโซมมีค่าคำตอบที่ดี ก็จะมีโอกาสได้พัฒนาต่อไป ในขณะที่คำตอบที่ไม่ได้ก็จะโดนกำจัดทิ้งไป

5) เงื่อนไขการหยุดกระบวนการในการค้นหาคำตอบ กระบวนการเชิงพันธุกรรมนั้นจะทำงานวนรอบผ่านขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งพบกับเงื่อนไขในการหยุดการทำงาน ในการศึกษาใช้การกำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำเป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหาคำตอบโดยจะสรุปดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปพารามิเตอร์นำเข้าของวิธีเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์	ลักษณะ
1. ขนาดประชากร	100 โครโมโซม
2. ขนาดประชากรเริ่มต้น	30 โครโมโซม
3. อัตราการข้ามสายพันธุ์	ร้อยละ 70
4. อัตราการกลายพันธุ์	ร้อยละ 30
5. วิธีการคัดเลือก	แบบวงล้อเสี่ยงทาย
6. วิธีการข้ามสายพันธุ์	แบบจุดเดียว
7. วิธีการกลายพันธุ์	แบบสลับตำแหน่งกันและกัน
8. การหยุดค้นหาคำตอบ	จำนวนทำซ้ำ 30 รอบ

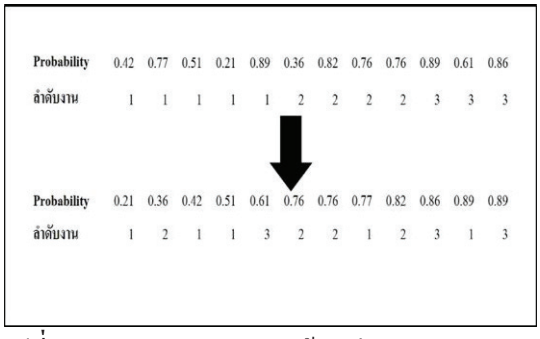
สำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรมที่พัฒนาขึ้น ลักษณะผลการดำเนินการจะมีลักษณะคือ เริ่มต้นกระบวนการมีค่าฟังก์ชันเหมาะสมที่สูง เมื่อดำเนินการต่อไปพบว่าค่าฟังก์ชันเหมาะสมจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเริ่มคงที่เป็นเส้นตรงเมื่อไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้อีก ซึ่งลักษณะของวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ลักษณะการดำเนินการของวิธีเชิงพันธุกรรม

3.2 การจัดตารางลำดับงานของบริษัทกรณีศึกษา

จากการศึกษาพบว่า การจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จใช้รูปแบบประสบการณ์ในการจัดตารางลำดับงาน ซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ได้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถมองเห็นรูปแบบการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การสุ่มลำดับงานโดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Probability Distribution (Uniform)) เนื่องจากเป็นการแจกแจงที่ให้ความน่าจะเป็นทุกลำดับงานที่เท่า ๆ กัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การจัดตารางลำดับงานด้วยวิธีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Probability Distribution (Uniform))

ตารางที่ 6 สรุปผลลัพธ์จากการจัดลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จด้วยวิธี Uniform Probability Distribution (Uniform) ในแต่ละโครงการก่อสร้าง

j	r	1	2	3	4	5
1	Arrival Time	8:00	8:06	8:09	9:38	10:56
	Departure Time	8:20	8:40	9:00	9:58	11:16
	Waiting Time (Site)	14	31	0	0	0
	Waiting Time (Truck	0	0	-38*	-58*	0
2	Arrival Time	7:58	9:13	9:18	9:53	
	Departure Time	8:30	9:43	10:13	10:43	
	Waiting Time (Site)	2	0	25	20	
	Waiting Time (Truck	0	-43*	0	0	
3	Arrival Time	8:22	10:46	11:16		
	Departure Time	8:55	11:11	11:41		
	Waiting Time (Site)	8	0	0		
	Waiting Time (Truck	0	-111*	-5		

หมายเหตุ “ * ” คือ งานที่ล่าช้ากว่าระยะเวลาที่ยอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง

หลังจากผ่านกระบวนการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอแล้ว ลำดับรถคอนกรีตผสมเสร็จจะถูกนำไปใส่ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับตารางที่ 3 โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าโครงการที่ 1 จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้นมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ครั้ง และระยะแวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จมีค่าเท่ากับ 31 นาที

จากตารางที่ 6 มีระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จมีค่าเท่ากับ 100 นาที จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 4 ครั้ง และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงักมีค่าเท่ากับ 8,155.93 บาท

3.3 การจัดตารางลำดับงานด้วยวิธี Frist-Come, Frist-Served Scheduling (FCFS)

รูปแบบการจัดตารางลำดับงานด้วยวิธี FCFS เป็นวิธีการที่มีความเข้าใจง่าย หากลูกค้ามีความต้องการคอนกรีตผสมเสร็จก่อนก็สามารถที่จะได้รับคอนกรีตผสมเสร็จก่อน โดยเป็นไปตามลำดับเวลาของการเข้ามาในลำดับคิว ซึ่งหากพิจารณาจากเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพพบว่าวิธี FCFS เป็นรูปแบบที่ไม่ค่อยดีนัก หากกรณีลูกค้ามีความต้องการด่วนและปริมาณที่มาก อาจส่งผลต่อความ

เชื่อมั่น จนนำไปสู่การเสียยอดขาย (Lost Sales) สำหรับรูปแบบลำดับงานของวิธี FCFS แสดงดังรูปที่ 10

1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3

รูปที่ 10 ลำดับงานแบบวิธี Frist-Come Frist-Serve (FCFS)

จากรูปที่ 10 การจัดลำดับงานด้วยวิธี FCFS จะถูกนำไปใส่ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับตารางที่ 3 โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักเกิดขึ้นมากที่สุดที่โครงการก่อสร้างที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 1 ครั้ง และระยะเวลารอคอยงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จมากที่สุดเกิดขึ้นที่โครงการก่อสร้างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 68 นาทีในเที่ยวที่ 4 หากพิจารณาผลรวมของระยะเวลารอคอยงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จจะมีค่าเท่ากับ 272 นาที จำนวนโทษเนื่องจากหยุดชะงักที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 2 ครั้ง และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงักมีค่าเท่ากับ 4,422.32 บาท

ตารางที่ 7 สรุปผลลัพธ์จากการจัดลำดับงานด้วยวิธี Frist-Come, Frist-Served (FCFS) ในแต่ละโครงการก่อสร้าง

j	r	1	2	3	4	5
1	Arrival Time	8:00	8:03	8:06	8:09	8:12
	Departure Time	8:20	8:40	9:00	9:20	9:40
	Waiting Time (Site)	17	34	51	68	0
	Waiting Time (Truck	0	0	0	0	0
2	Arrival Time	9:13	9:33	9:53	10:13	
	Departure Time	9:43	10:13	10:43	11:13	
	Waiting Time (Site)	0	10	20	30	
	Waiting Time (Truck	-73*	0	0	0	
3	Arrival Time	10:46	10:49	11:16		
	Departure Time	11:11	11:36	12:01		
	Waiting Time (Site)	0	22	20		
	Waiting Time (Truck	-136*	0	0		

หมายเหตุ " * " คือ งานที่ล่าช้ากว่าระยะเวลาที่ยอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง

3.4 ทดลองการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จแต่ละวิธี วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผล

สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยอ้างอิงจาก Feng [8] และออกแบบ Spread Sheet บนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซลให้เหมาะสมกับการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ และประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันวิชวลเบสิก (Visual Basic Application) เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการค้นหาคำตอบ โดยดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ ได้แก่ ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก

3.5 พัฒนาวิธีการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จวิธีใหม่

สอดคล้องกับบริษัทกรณีศึกษา สำหรับวิธีใหม่ที่ได้คือ Genetic Algorithm of Multi Plant (GA+MP) ขั้นตอนการจัดตารางลำดับงานของวิธี GA+MP เริ่มต้นจากบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจำนวน 2 เครื่อง ซึ่งยังไม่มีรูปแบบที่แน่นอนในการลำดับงานให้กับเครื่องผสมคอนกรีตผสมเสร็จ

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการจัดตารางลำดับงานของ

รถคอนกรีตผสมเสร็จวิธีใหม่ขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับบริษัทกรณีศึกษา สำหรับวิธีใหม่ที่ได้คือ Genetic Algorithm of Multi Plant (GA+MP) ขั้นตอนการจัดตารางลำดับงานของวิธี GA+MP เริ่มต้นจากบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจำนวน 2 เครื่อง จะมีการใช้ระบบลำดับรถเข้าเครื่องผสมคอนกรีตผสมเสร็จอย่างง่าย คือ ระบบมาก่อนได้ก่อน (First-Come, First-Served) เพื่อให้รถคอนกรีตผสมเสร็จเข้าเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จได้อย่างมีระบบ

4. ผลและวิจารณ์

จากผลการทดลองการจัดตาราลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ และทำการเปรียบเทียบผลค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จในแต่ละวิธีกับวิธี Uniform ซึ่งเป็นของบริษัทกรณีศึกษา ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จในแต่ละวิธี

ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ	วิธีที่ใช้จัดตารางการลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จ			
	วิธี Uniform	วิธี FCFS	วิธี GA+SP	วิธี GA+MP
1. จำนวนลูกค้า (ราย/ปี)	709			
2. จำนวนเที่ยวทั้งหมด (เที่ยว/ปี)	7,945			
3. ระยะเวลารอคอยงานรวม (นาที/ปี)	854,528	877,558	720,980	1,274,565
4. จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น (ครั้ง/ปี)	2,344	1,650	1,329	253
5. ต้นทุนรวม (บาท/ปี)	5,971,464	4,566,773	4,097,610	2,333,007
6. ประหยัดได้ (บาท/ปี)	-	1,404,691	1,873,854	3,638,457

4.1 ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ

จากผลการวิจัยเมื่อเปรียบเทียบการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จในแต่ละวิธี เมื่อเทียบกับวิธีการสุ่มลำดับงานโดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Probability Distribution) พบว่ามีจำนวนลูกค้าเท่ากับ 709 ราย โดยที่ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จด้วยวิธี Uniform วิธี FCFS วิธี GA+SP และวิธี GA+MP มีค่าเท่ากับ 854,528 877,558 720,980 และ 1,274,565 นาที/ปี จะเห็นได้ว่าวิธี GA+SP มีระยะเวลารอคอยงานรวมน้อยที่สุด ซึ่งสามารถลดระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จจากวิธี Uniform คิดเป็นร้อยละ 15.63 เนื่องจากวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีในการค้นหาคำตอบที่มีลักษณะที่กว้างขวาง โดยที่ความสามารถในการปรับปรุงคำตอบจะอยู่ที่กระบวนการการข้ามสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) จึงทำให้มีการปรับปรุงคำตอบที่ดีขึ้นเรื่อยๆ จนนำไปสู่การได้คำตอบที่ลู่เข้าค่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่สำหรับวิธี FCFS คือวิธีการจัดลำดับงานสั่งก่อนส่งก่อน เป็นวิธีการที่สะดวก และง่ายต่อการใช้งาน แต่จะเห็นได้ว่าหากลูกค้าลำดับต้นมีการสั่งงานที่ช้า ก็จะส่งผลให้ลูกค้าในช่วง

สำหรับการจัดตารางลำดับงานที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ถึงแม้วิธีเชิงพันธุกรรมจะพยายามค้นหาคำตอบที่ลู่เข้าสู่ค่าที่ดีที่สุด แต่ยังคงมีระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จเพิ่มขึ้นจากวิธี Uniform คิดเป็นร้อยละ 49.15 เนื่องจากการเพิ่มจำนวนเครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจาก 1 เครื่อง เป็น 2 เครื่อง ส่งผลให้ความสามารถในการโหลดคอนกรีตผสมเสร็จใส่รถคอนกรีตผสมเสร็จ

สูงขึ้น ทำให้รถคอนกรีตผสมเสร็จสามารถเดินทางไปยังโครงการก่อสร้างได้เร็วขึ้น และมีการจอดรอคอยเทคอนกรีตผสมเสร็จ เนื่องจากความสามารถในการรับรถคอนกรีตผสมเสร็จได้เพียงทีละคันจึงทำให้วิธี GA+MP มีค่าที่สูงกว่าวิธีอื่น ๆ

4.2 จำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้นจากผลการวิจัย

บริษัทกรณีศึกษามีจำนวนเที่ยวในการจัดส่งไปยังทุกลูกค้ามีค่าเท่ากับ 7,945 เที่ยว จากการวิจัยพบว่า วิธี Uniform วิธี FCFS วิธี GA+SP และวิธี GA + MP มีจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 2,344, 1,623, 1,470 และ 209 ครั้ง/ปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 29.50, 20.43, 18.5 และ 2.63 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเที่ยวในการจัดส่งทั้งหมด จะเห็นได้ว่าวิธี GA+MP มีจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักเกิดขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากความสามารถในการโหลดคอนกรีตผสมเสร็จที่เร็วขึ้น ทำให้รถคอนกรีตผสมเสร็จรับคอนกรีตผสมเสร็จ และออกเดินทางไปยังโครงการก่อสร้างได้เร็วกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพในด้านการลดจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก รวมไปถึงความสามารถในการค้นหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งมีเหตุผลเดียวกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพในด้านระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ

4.3 ต้นทุนจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก

ผลลัพธ์การวิจัยในส่วนของต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงักในแต่ละวิธี พบว่า วิธี Uniform วิธี FCFS วิธี GA+SP และวิธี GA+MP มีค่าเท่ากับ 5,971,464, 4,556,773, 4,097,610 และ 2,333,007 บาท/ปี ตามลำดับ เมื่อนำแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกับวิธี Uniform พบว่าวิธี GA+MP สามารถประหยัดต้นทุนได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 60.93 รองลงมาเป็นวิธี GA+SP คิดเป็นร้อยละ 31.38 และวิธี FCFS คิดเป็นร้อยละ 23.53 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าวิธี GA+MP สามารถประหยัดต้นทุนได้มากที่สุด อันเป็นผลมาจากวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จในด้านต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงัก อีกทั้งยังมาจากความสามารถในการโหลดคอนกรีตผสมเสร็จให้กับรถคอนกรีตผสมเสร็จที่เร็วขึ้นกว่าวิธีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้

5. สรุป

จากผลการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้พบว่าวิธี GA+SP สามารถลดระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จจากวิธี Uniformได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 15.63 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) สามารถค้นหาคำตอบในการจัดตารางลำดับงานของรถคอนกรีตผสมเสร็จได้อย่างมีประสิทธิภาพในด้านระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ โดยคำตอบของปัญหาจะถูกปรับปรุงในขั้นตอนกระบวนการการข้ามสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) จนทำให้คำตอบที่ได้ลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด ในส่วนวิธี GA+MP ที่พัฒนาขึ้นมีระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 49.15 เนื่องจากความสามารถในการโหลดคอนกรีตผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้รถคอนกรีตผสมเสร็จได้รับคอนกรีตผสมเร็จได้ขึ้น และจอดรอคอยเทคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการก่อสร้างเป็นระยะเวลานานขึ้น อีกทั้งโครงการก่อสร้างมีความสามารถในการรับรถคอนกรีตผสมเสร็จได้เพียงทีละ1 คัน ทำให้เกิดการสะสมของรถคอนกรีตผสมเสร็จที่โครงการก่อสร้าง จึงเป็นผลทำให้ระยะเวลารอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จในกรณีนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับกรณีตัวชี้วัดประสิทธิภาพในด้านจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถคอนกรีตผสมเสร็จ จะเห็นได้ว่าวิธี GA+MP สามารถลดจำนวนโทษเนื่องจากการหยุดชะงักที่เกิดขึ้น และต้นทุนรวมจากการรอคอยงานรวมของรถ

คอนกรีตผสมเสร็จและโทษเนื่องจากการหยุดชะงักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Uniform ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 2.63 และ 60.93 ตามลำดับ เนื่องจากความสามารถในการโหลดคอนกรีตผสมเสร็จที่เพิ่มขึ้น ทำให้รถคอนกรีตผสมเสร็จสามารถเดินทางไปได้ทันตามระยะเวลายอมรับได้ของโครงการก่อสร้าง ประกอบกับการค้นหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมที่พัฒนาขึ้น จึงทำให้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพทั้งสองมีค่าที่ดีขึ้นกว่าทุกวิธีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายในการสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร.ปุณณมี สัจจกมล ดร. ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทั้งในส่วนของคำปรึกษาที่ดี เสนอแนะแนวทางในการทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่อนุญาตให้ทำการศึกษางานวิจัยตลอดระยะเวลาที่ได้ดำเนินการในครั้งนี้รวมทั้งบุคคลที่ยังไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ ที่คอยให้การสนับสนุน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติเศรษฐกิจและสังคม. การสำรวจอุตสาหกรรมก่อสร้าง พ.ศ. 2557. สำนักสถิติพยากรณ์ สำนักงานสถิติแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, 2557.

[2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือมาตรฐานการตรวจสอบโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ. สำนักโรงงานอุตสาหกรรมสาขา 3 กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2549.

[3] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม เดือนมีนาคม 2558. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2558.

[4] ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2555.

[5] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., กรุงเทพฯ, 2554.

[6] สายชล การีพจน์. การจัดตารางเวลาเดินรถเพื่อลดปัญหาความล่าช้าในการขนส่งเพิ่มขีดความสามารถในการทำกำไร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2553.

[7] กาญจนา เศรษฐนันท์. เมตะฮิวริสติกส์และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. โรงพิมพ์คลังนานา-วิทยา, ขอนแก่น, 2558.

[8] Chung-Wei Feng. Optimizing the schedule of dispatching RMC trucks through genetic algorithm. Automation in Construction, 2004(13): 327-340.

[9] ลัดดา ตันวาณิชกุล และอรรถพล ศิริสุวรรณ. ตารางจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จที่เหมาะสมที่สุดโดยเจเนติกอัลกอริทึม. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 2553; 21(1).

[10] Liu, Z. Integrated Scheduling of Ready-Mixed Concrete Production and Delivery. Automation in Construction, 2014; 48: 31-43.

[11] Feng, C.W. Integrating fmGA and CYCLONE to optimize the schedule of dispatching RMC trucks. Automation in Construction. 2006; 15: 186–199.

[12] อภิรักษ์ ขัดวิลาศ. การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, 2011; 5(2): 153-163