อัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมสำหรับแบบจำลองการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งในโรงงานตู้ปาเป้าอิเล็คทรอนิกส์

วิจิตรา กิจชัยนุกูล[*1] และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์[*2]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งเป็นหนึ่งในปัญหาที่แก้ไขยาก เนื่องจากต้องใช้เวลาในการค้นหา การสลับค่าคำตอบของลำดับงานรวมถึงเงื่อนไขของลำดับก่อนหลังของเครื่องจักรในแต่ละงาน เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม โดยวิธีการที่มักนิยมใช้ในการแก้ปัญหาคือวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะขึ้นกับขนาดของปัญหาที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นจึงได้นำเสนอวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง โดยขั้นตอนของอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม เริ่มจากการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นรวมถึงหาผลลัพธ์จากกฎความสำคัญ เช่นเวลาการปฏิบัติงานสั้นสุด และเวลาการปฏิบัติงานนานสุดของแต่ละประชากร จากนั้นทำการสืบพันธุ์ประชากรดังกล่าว โดยวิธีการข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ ขั้นตอนจะสิ้นสุดเมื่อพบผลลัพธ์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด งานวิจัยนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมกับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งของโรงงานผลิตตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดเวลาปิดงานของระบบ โดยในการผลิตตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยงานย่อย 129 งาน ใช้เครื่องจักร 17 เครื่อง จำนวน 80 ตู้ต่อใบสั่งผลิต ซึ่งผลของการจัดตารางการผลิตสามารถลดเวลาปิดงานของระบบจากวิธีเดิม 7,614 นาที/80 ตู้ เป็น 2,005.8 นาที/80 ตู้ ลดลง 5,608.2 นาที/80 ตู้

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิต, อัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม, เวลาปิดงานของระบบ, ตู้ปาเป้าอิเล็คทรอนิกส์

* Correspond author. E-mail: lengma_13@hotmail.com and r_vichai@yahoo.com

[1] นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

An Application of Genetic Algorithms for the Job Shop Scheduling Model in an Electronic Dartboard Factory

Vijitra Kitchainukoon [*1] **and Vichai Rungreunganun** [*2]

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat Sai 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

Abstract

The job shop scheduling problem (JSP) is extremely difficult because it is time consuming. It requires permutations of work procedures constrained by the sequence on the machines. Traditionally, the algorithm used for solving the JSP is the branch-and-bound method, which takes considerable computing time when the size of problem is large. Genetic algorithms are proposed for solving the problem. The first step of genetic algorithms generating an initial population randomly, including the result obtain by some well-known priority rules, such as shortest and longest processing time. Then, the population will go through the process of reproduction, crossover, and mutation to create a new population for the next generation until some stopping criteria were reached. This paper presents genetic algorithms for the job shop scheduling problem of the dartboard factory. The objective of this research was to reduce the makespan time. The dartboard planning order is consisted of 129 jobs which were processed on 17 machines for producing 80 units. The result shows that the makespan time reduced from 7,614 minutes per 80 units to 2,005.8 minutes per 80 units. The makespan time reduction was 5,608.2 minutes per 80 units.

Keywords: Job shop scheduling problem, Genetic Algorithm, Makespan, Electronic Dartboard

* Correspond author. E-mail: lengma_13@hotmail.com and r_vichai@yahoo.com

[1] Student in Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] Assistant Professor in Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงงานผลิตตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ เป็นโรงงานที่มีระบบการแบบตามสั่ง (Job shop) และยังไม่มีการกำหนดแบบแผนในการทำงานที่แน่นอน โดยส่วนใหญ่การทำงานจะอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญของผู้จัดการและหัวหน้างานเป็นหลัก ซึ่งไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจวางแผนและการจัดตารางการผลิต ส่งผลให้เกิดการว่างงานของเครื่องจักร และมีงานที่รอผลิต (Work in Process) เป็นจำนวนมาก จนทำให้โรงงานไม่สามารถผลิตสินค้าได้ทันกำหนดส่งมอบ ดังนั้นโรงงานจึงควรให้ความสำคัญกับการวางแผนการผลิต โดยเฉพาะการจัดตารางการผลิต ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญ เนื่องจากประสิทธิภาพของตารางการผลิต จะมีผลให้การผลิตมีความรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา เฉพาะระบบการผลิตภัณฑ์ตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ที่เคยทำการผลิตแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดการว่างงานของเครื่องจักร ลดงานที่รอผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เพื่อแก้ปัญหาการส่งมอบสินค้าไม่ทันกำหนด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมสำหรับแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตชนิดตามงานในกระบวนการเคมีแบบกะ โดยใช้วิธีการใส่รหัสโครโมโซมแบบใหม่ ซึ่งใช้วิธี Circular list และวิธี Schedule builder ประกอบกันเพื่อหลีกเลี่ยงผลของการเกิดโครโมโซมที่มีความผิดพลาดและขัดแย้งกับข้อจำกัดของลำดับการทำงาน โดยศึกษาปัญหา 2 ขนาด ได้แก่ขนาด 6x6 และ 10x10 และใช้ค่าระยะเวลาปิดงานของระบบเป็นมาตราฐานในการวัดสมรรถนะในการหาคำตอบ

[2] ได้พัฒนาวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการจัดตารางการผลิต โดยคำนึงถึงข้อจำกัดของทรัพยากร และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยการบวนการซ่อมแซมเพื่อปรับปรุงโครโมโซมที่เป็นไปไม่ได้ที่อาจมีการวิวัฒนาการในระหว่างกระบวนการ โดยวิธีนี้เป็นเครื่องมือที่ช่วยสร้างตารางการผลิตที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ซึ่งค่าใช้จ่ายจะพิจารณาจากการผลิตงานเสร็จก่อนกำหนดและการผลิตงานล่าช้า ซึ่งพิจารณาส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ และผลิตภัณฑ์สุดท้าย วิธีการที่ประยุกต์นี้ใช้ข้อมูลจากบริษัทที่เป็นผู้ผลิตสินค้าที่มีความซับซ้อน และพิสูจน์ว่าตารางการผลิตที่ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเดิมที่บริษัทใช้ ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธีการแฟคทอเรียลแสดงให้เห็นขนาดของปัญหา ซึ่งเป็นไปอย่างมีนัยสำคัญ

[3] ได้ศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหาเมื่อต้องการผลิตชิ้นงานหลายชนิดในสายการผลิตเดียวกันซึ่งแต่ละชนิดจะมีการใช้เวลาในการเตรียม (Setup Time) เพื่อเริ่มการผลิตต่างกัน โดยการหาจำนวนงานที่ผลิตของแต่ละชนิดที่จะทำให้ได้รับผลกำไรสูงสุดด้วยวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมในกระบวนการผลิตและใช้ลำดับความสำคัญในการผลิตแบบมาก่อนทำก่อน

[4] ได้นำวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการจัดตารางการทำงานให้กับเครนในท่าเรือประเทศสิงคโปร์ ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ทำให้ได้ผลการจัดตารางการทำงานของเครนที่จะทำให้ใช้เวลาในการหาค่าคำตอบที่ดีทางด้านเวลาและได้เลือกข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์อย่างละหนึ่งแบบมาใช้

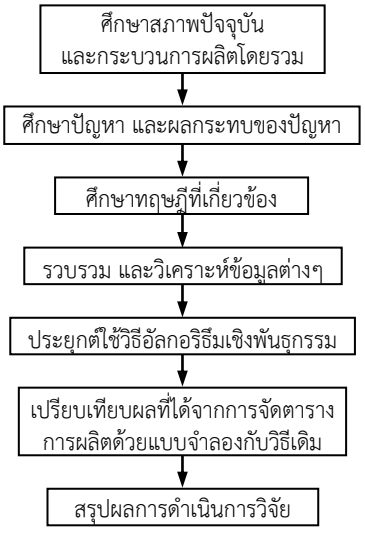
[5] ได้ศึกษาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะจัดตารางการผลิตให้ทันกำหนดส่งงานพอดี ให้สอดคล้องกับระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in Time) ซึ่งจะลดค่าใช้จ่ายจากการปรับตั้งเครื่องจักร โดยวิธีเชิงพันธุกรรมแบบเมมเมติก (Memetic Algorithm: MA) มาใช้ในการหาตารางงานที่ดีที่สุดของแต่ละลำดับงาน ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับวิธีแตกกิ่งและการกำหนดขอบเขตอย่างง่าย (Simple Branch and Bound) พบว่าวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมแบบเมมเมติกใช้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการแตกกิ่งและการกำหนดขอบเขตอย่างง่าย เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ความแตกต่างของเวลาในการประมวลผลจะมีมากขึ้น แต่วิธีเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอจะเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่

[6] ได้พัฒนาออกแบบวิธอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจัดตารางการผลิตของโรงงานเมลทัลอัลลอย เพื่อให้สถานีงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในการทำงาน โดยผู้วิจัยได้นำปัญหา 4 ปัญหา มาทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลค่าคำตอบ พบว่าวิธีที่หาค่าคำตอบได้ดีที่สุด คือวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธี Longest Processing Time (LPT) ซึ่งค่าคำตอบของการจัดตารางการผลิตทำให้โรงงานมีทางเลือกในการเลือกผลของคำตอบการจัดตารางการผลิตมาใช้ เพื่อแก้ปัญหาได้ตามวัตถุประสงค์ตรงตามเป้าหมาย และสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินการในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

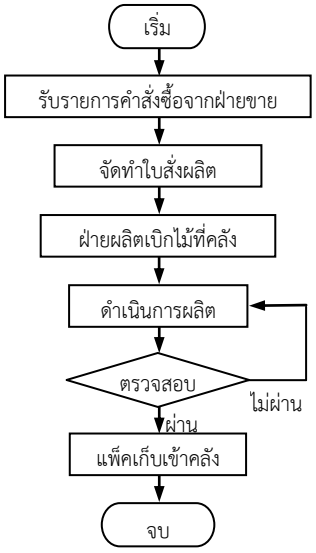
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยเริ่มจากการศึกษาสภาพปัจจุบันและกระบวนการผลิตโดยรวม ศึกษาถึงปัญหาและผลกระทบของปัญหาที่พบในโรงงานกรณีศึกษา ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองการจัดตารางการผลิต สร้างแบบจำลองการจัดตารางการผลิต เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยแบบจำลอง และสรุปผลการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงาน

ตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเครื่องเล่นอิเล็กทรอ - นิกส์ที่ใช้เหรียญ ธนบัตร หรือการ์ดในการเล่น ซึ่งมีหน้าจอ LCD แสดงโหมดการเล่นและผลคะแนนของผู้เล่น มีระบบเสียงประกอบ โดยโรงงานจะทำการผลิตตัวตู้ปาเป้าซึ่งใช้วัตถุดิบประเภทไม้ห่อพีวีซี และประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หน้าจอ LCD แป้นปาเป้า ปุ่มกด กล่องหยอดเหรียญ เข้ากับตัวตู้ที่ทำการผลิต โดยโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบตามคำสั่งซื้อจากลูกค้า เมื่อฝ่ายขายได้รับรายการสั่งซื้อจากลูกค้า จะส่งรายการสั่งซื้อให้กับฝ่ายวางแผนเพื่อจัดทำใบสั่งผลิต และดำเนินการเบิกไม้จากคลังวัสดุ เพื่อดำเนินการผลิตตามขั้นตอนของแต่ละแผนก เมื่อชิ้นงานผ่านขั้นตอนต่างๆ และประกอบเป็นชิ้นงานสำเร็จรูป จะทำการตรวจสอบชิ้นงานและแพ็คงานเพื่อรอส่ง ดังรูปที่ 2 ได้แสดงขั้นตอนการดำเนินงานในปัจจุบันของโรงงาน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานในปัจจุบันของโรงงาน

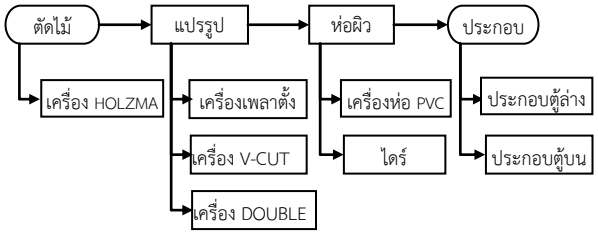
ปัจจุบันโรงงานจะทำการวางแผนการผลิตตามประสบการณ์ของพนักงานก่อให้เกิดการรอ และการว่างงาน ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามแผน และส่งสินค้าไม่ทันกำหนด ซึ่งมีผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า ดังนั้นทางโรงงานควรมีการวางแผนการผลิตเพื่อลดรอบเวลาการผลิตจากปัจจุบันโรงงานมีรอบเวลาการผลิตตู้ปาเป้า

อิเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 7,614 นาที / 80 ตู้ หรือประมาณ 2 สัปดาห์ / 80 ตู้

3.2 ศึกษาขั้นตอนการผลิต

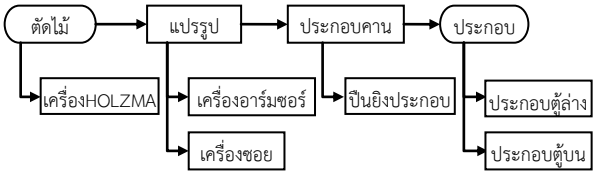
ตัวตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ จะประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ตู้ปาเป้าส่วนบน ตู้ปาเป้าส่วนล่าง ชุดLCD และชุดฐานตั้ง ซึ่งกระบวนการผลิตหลักได้แก่ ตัดไม้, ห่อ PVC, แปรรูป เจาะคว้าน, ประกอบชิ้นส่วน โดยโรงงานจะใช้เครื่องจักรจำนวน 17 เครื่อง ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของการแปรรูปออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ ดังนี้

1) การแปรรูปแผ่นไม้ที่ต้องการความสวยงาม ซึ่งจะนำไปใช้ในส่วนภายนอกของตู้บนและล่าง ดังรูปที่ 3



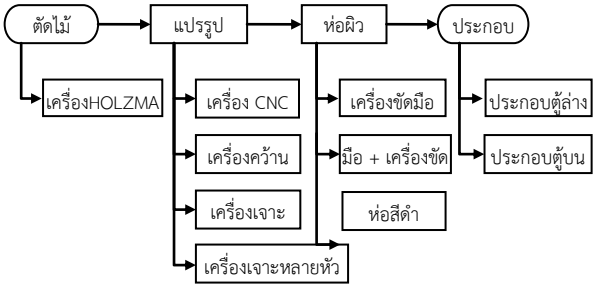
รูปที่ 3 ขั้นตอนการแปรรูปแผ่นไม้ที่ต้องการความสวยงาม

2) การแปรรูปแผ่นไม้ซึ่งจะนำไปประกอบภายในของโครงตู้ปาเป้า ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการแปรรูปแผ่นไม้ที่จะนำไปประกอบภายใน

3) การแปรรูปแผ่นไม้ให้เป็นส่วนย่อย ซึ่งจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบที่ต้องการความสวยงามในส่วนของจอ LCD ดังรูปที่ 5



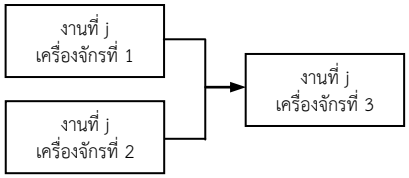
รูปที่ 5 ขั้นตอนการแปรรูปแผ่นไม้ให้เป็นส่วนย่อย

แผ่นไม้ที่ใช้ทั้งหมดมีจำนวน 41 แผ่น โดยการแปรรูปไม้แต่ละแผ่น จะเรียงตามลำดับตั้งแต่ไม้แผ่นที่ 1 จนถึงแผ่นที่ 41 และการแปรรูปไม้แต่ละแผ่นอาจใช้เครื่อง จักรมากกว่า 1 เครื่อง โดยไม่ได้เรียงตามลำดับของเครื่อง จักร ซึ่งความสัมพันธ์ของการทำงานบนแต่ละเครื่องจักรแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง (Sequential) การแปรรูปไม้แผ่นหนึ่งที่ต้องใช้เครื่องจักรมากกว่า 1 เครื่อง ซึ่งการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง จะต้องผ่านการทำงานบนเครื่องจักรก่อนหน้าจนเสร็จสิ้นก่อน จึงจะสามารถเริ่มทำงานบนเครื่องจักรถัดไปได้ โดยที่ลำดับเครื่องจักรของแต่ละงานจะแตกต่างกันตามลักษณะของงาน ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง

2) ความสัมพันธ์แบบบรรจบกัน (Convergent) การแปรรูปไม้แผ่นหนึ่งที่ต้องใช้เครื่องจักรมากกว่า 1 เครื่อง ที่สามารถแยกส่วนออกมาทำบนเครื่องจักรที่ต่างกันได้ และเมื่อแต่ละส่วนทำงานเสร็จสิ้นแล้ว จะนำมารวมกันที่เครื่องจักรถัดไป โดยที่ลำดับเครื่องจักรของแต่ละงานจะแตกต่างกันตามลักษณะของงาน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์แบบบรรจบกัน

3.3 การประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม

การจัดตารางการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง จะมีรายละเอียดเกี่ยวกับลำดับของงานย่อย และข้อจำกัดต่างๆ ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม ในการหาคำตอบโดยตรง เนื่องจากจะต้องมีการปรับแต่งหรือเพิ่มเติมรายละเอียดที่เกี่ยวกับข้อจำกัด และความซับซ้อนในการจัดตาราง ดังนั้นการใส่รหัสโครโมโซมจะต้องใช้วิธีที่เรียกว่าวิธีทางอ้อมซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ รวมทั้งโครโมโซมที่ได้จะมีลำดับที่สอดคล้องกับลำดับขั้นตอนการดำเนินงานของงานย่อยทุกงาน รายละเอียดของการการจัดตารางแสดงตัวอย่างได้ดังนี้

สมมติว่ามีงาน 6 งาน มีเครื่องจักร 5 เครื่อง งานแต่ละงานจะมีลำดับการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องแตกต่างกัน โดยรายละเอียดของลำดับ และเวลาปฏิบัติงาน (Processing Time) ดังตารางที่ 1 แสดงลำดับของการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และเวลาปฏิบัติงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ค่าในตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้ ค่า 2(20) ของงานที่ 1 บนเครื่องจักรที่ 1 หมายถึงงานที่ 1 จะทำงานบนเครื่องจักรที่ 1 เป็นลำดับที่ 2 ซึ่งจะใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 20 นาที ค่า 1(15) ของงานที่ 1 บนเครื่องจักรที่ 2 หมายถึงงานที่ 1 จะทำงานบนเครื่องจักรที่ 2 เป็นลำดับที่ 1 ซึ่งจะใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 15 นาที ค่า 3(12) ของงานที่ 1 บนเครื่องจักรที่ 4 หมายถึงงานที่ 1 จะทำงานบนเครื่องจักรที่ 4 เป็นลำดับที่ 3 ซึ่งจะใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 12 นาที ดังนั้นลำดับการทำงานบนเครื่อง จักรของงานที่ 1 คือ เครื่องจักรที่ 2 เครื่องจักรที่ 1 และเครื่องจักรที่ 4

เป้าหมายหลักของการจัดตาราง คือเวลาปิดงานของระบบ ต่ำสุด นั่นคือค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness Function) สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$\text{Makespan} = \max(C_j) \; ; \; j=1, 2, \ldots n \qquad (1)$$

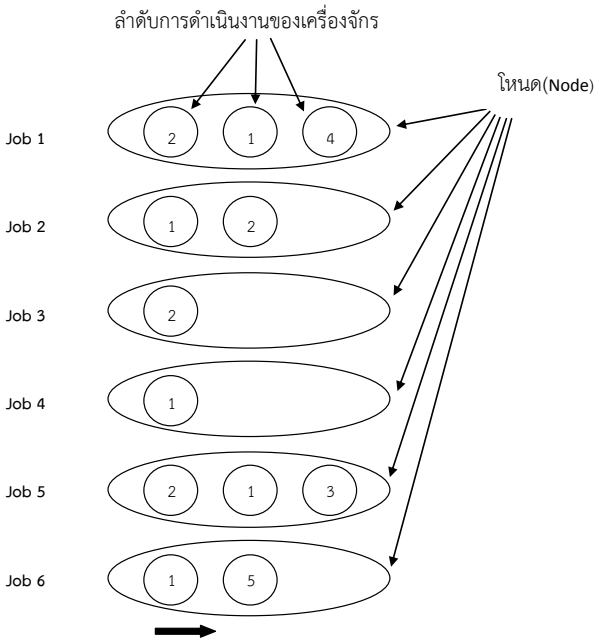
โดย C_j แทนเวลาเสร็จงานที่ j และ j แทนงานที่ 1, 2, ...n ซึ่งเวลาเสร็จงานจะหาได้จาก เวลาเริ่มงานบวกด้วยเวลาปฏิบัติงานของแต่ละงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

ตาราง 1 ลำดับการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และเวลาปฏิบัติงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

Job \ Machine	1	2	3	4	5
1	2(20)	1(15)		3(12)	
2	1(11)	2(14)			
3		1(15)			
4	1(19)				
5	2(16)	1(17)	3(19)		
6	1(22)				2(8)

ขั้นตอนแรกคือการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดเกี่ยวกับลำดับของงานย่อยแต่ละงาน และความซับซ้อนในการจัดตาราง ทำให้ไม่สามารถสร้างโครโมโซมด้วยวิธีทางตรงได้ จึงต้องใช้วิธีทางอ้อมซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยเริ่มจากการใส่ลำดับของการดำเนินงานของเครื่องจักรของงานย่อยทุกงานลงในโหนด (Node) ที่มีลักษณะการเรียงลำดับข้อมูล และทำการใส่เครื่องจักรที่ใช้ทำงานย่อยแต่ละงานตามลำดับในโหนดถัดไปจนกระทั่งครบทุกงาน ดังรูปที่ 8 แสดงการใส่ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรลงในโหนด

การนับโหนดจะเริ่มนับตั้งแต่โหนดเริ่มต้นไปยังโหนดสุดท้าย โดยนับไปทีละโหนด และเมื่อถึงโหนดสุดท้ายจะย้อนกลับมานับโหนดเริ่มต้นอีกครั้ง เมื่อมีการลบโหนดใดๆ ออกไปก็จะไม่มีผลต่อการนับลำดับของโหนดที่เหลือ ซึ่งลำดับการนับจะให้ความสำคัญกับโหนดที่เชื่อมโยงกันเท่านั้น โดยไม่สนใจว่า ขณะนั้นมีจำนวนของโหนดเท่าใด โดยจะนับวนไปจนถึงค่าที่กำหนด และทำการพิจารณาค่านั้นอยู่ที่โหนดใด



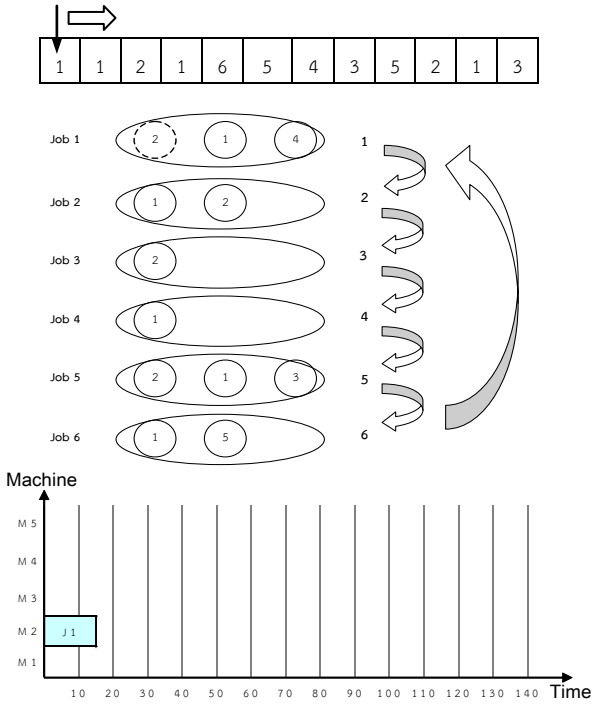
รูปที่ 8 การใส่ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรลงในโหนด

ขั้นที่สอง พิจารณาลักษณะของโครโมโซม โดยจะพิจารณาที่จำนวนของงานย่อยทั้งหมด ซึ่งปัญหานี้มีจำนวนของย่อยเท่ากับ 12 งาน ดังนั้นโครโมโซมที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะมีความยาวเท่ากับ 12 ยีน และมีเลขภายในเป็นเลขสุ่ม ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง จำนวนของงาน สำหรับปัญหานี้มี 6 งาน ตัวเลขสุ่มจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 6 ดังรูปที่ 9 แสดงการสุ่มโครโมโซม

1	1	2	1	6	5	4	3	5	2	1	3

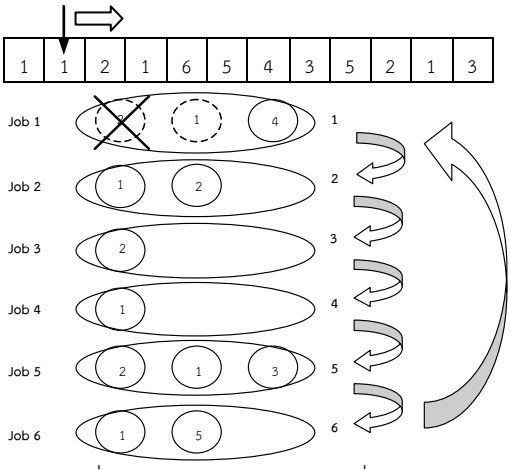
รูปที่ 9 การสุ่มโครโมโซม

ขั้นที่สาม พิจารณาความหมายของโครโมโซม (1 1 2 1 6 5 4 3 5 2 1 3) โดยจะพิจารณาตามลำดับดังนี้ ลำดับที่ 1พิจารณาโครโมโซมจากซ้ายไปขวาโดยพบว่า ยีนแรกมีค่าเป็น 1 ซึ่งค่านี้จะใช้ในการนับโหนด และโหนดที่พบจากการนับคือ โหนดที่ 1 อยู่ใน Job 1 ต่อมาจะพิจารณาข้อมูลภายในโหนดของ Job 1 และพบลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 2 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 15 นาที ดังรูปที่ 10 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 1

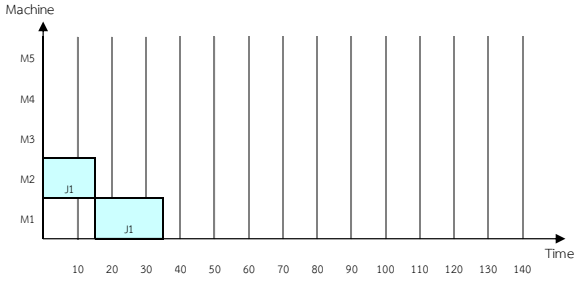


รูปที่ 10 การนับโหนดในลำดับที่ 1

ลำดับที่ 2 ในทำนองเดียวกันพิจารณาค่ายีนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 1 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับคือ โหนดที่ 1 อยู่ใน Job 1 ต่อมาจะพิจารณาข้อมูลภายในโหนดของ Job 1 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรถูกเลื่อนมาอยู่ที่เครื่องจักรที่ 1 เนื่องจากเครื่องจักรก่อนหน้าได้ถูกดำเนินการเสร็จสิ้นไปแล้ว โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 20 นาที ดังรูปที่ 11 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 2

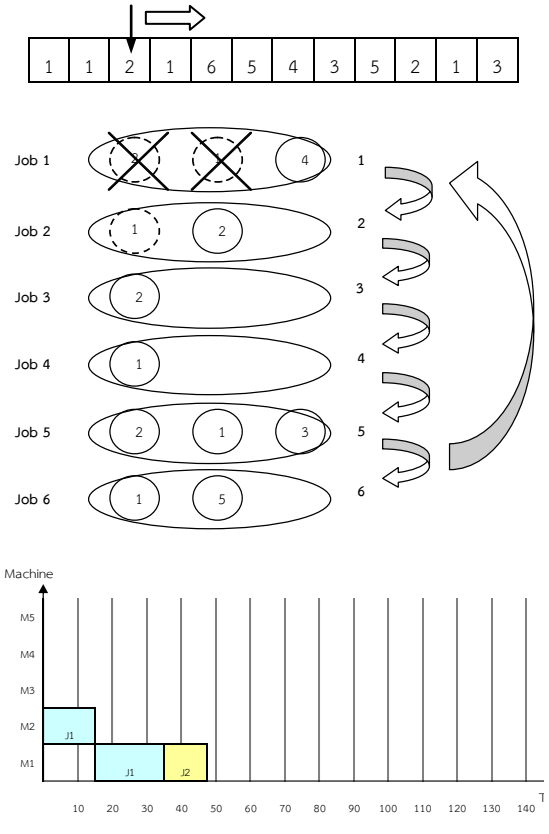


รูปที่ 11 การนับโหนดในลำดับที่ 2



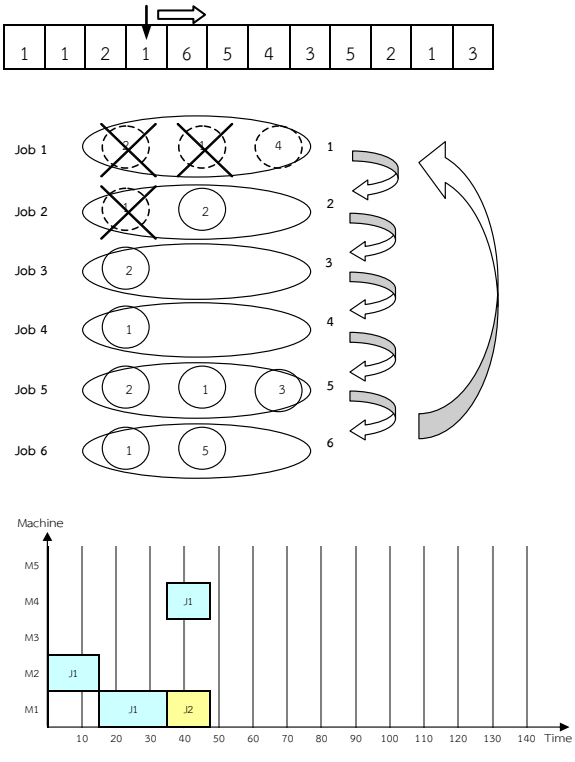
รูปที่ 11 การนับโหนดในลำดับที่ 2 (ต่อ)

ลำดับที่ 3 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 2 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับคือ โหนดที่ 2 อยู่ใน Job 2 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 2 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 1 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 11 นาที ดังรูปที่ 12 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 3



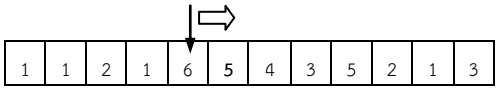
รูปที่ 12 การนับโหนดในลำดับที่ 3

ลำดับที่ 4 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 1 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับคือ โหนดที่ 1 อยู่ใน Job 1 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 1 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 4 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 12 นาที ดังรูปที่ 13 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 4

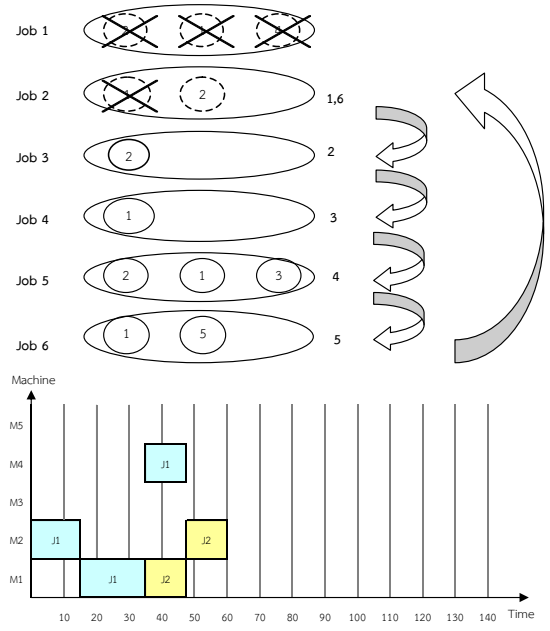


รูปที่ 13 การนับโหนดในลำดับที่ 4

ลำดับที่ 5 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 6 แต่ในลำดับนี้จะพบว่างานย่อยทุกงานใน Job 1 ได้ถูกดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นจึงลบโหนดที่มี Job 1 อยู่ และทำการนับเช่นเดียวกับลำดับที่ผ่านมา ซึ่งโหนดที่พบจากการนับ คือโหนดที่ 2 อยู่ใน Job 2 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 2 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 2 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 14 นาที ดังรูปที่ 14 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 5

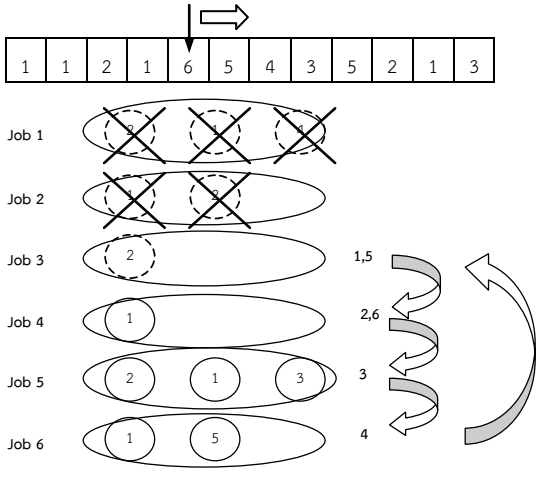


รูปที่ 14 การนับโหนดในลำดับที่ 5

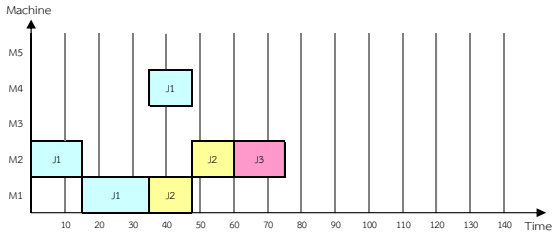


รูปที่ 14 การนับโหนดในลำดับที่ 5(ต่อ)

ลำดับที่ 6 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 5 แต่ในลำดับนี้จะพบว่างานย่อยทุกงานใน Job 1 และ Job 2 ได้ถูกดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นจึงลบโหนดที่มี Job 1 และ Job 2 อยู่ และทำการนับเช่นเดียวกับลำดับที่ผ่านมา ซึ่งโหนดที่พบจากการนับคือ โหนดที่ 3 อยู่ใน Job 3 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 3 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 2 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 15 นาที ดังรูปที่ 15 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 6

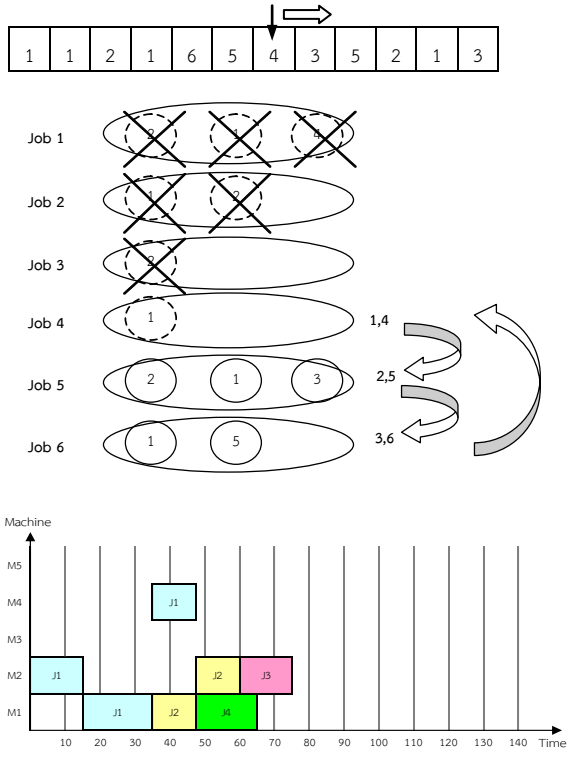


รูปที่ 15 การนับโหนดในลำดับที่ 6



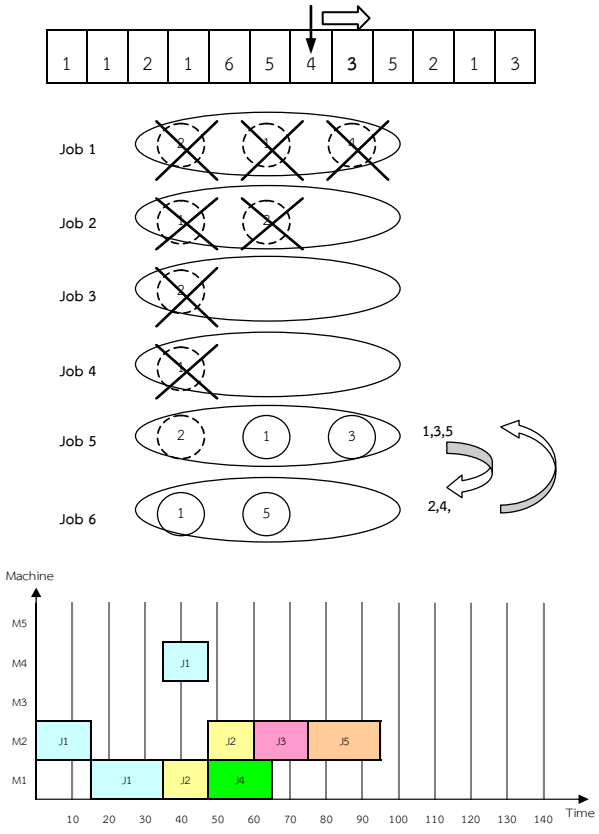
รูปที่ 15 การนับโหนดในลำดับที่ 6(ต่อ)

ลำดับที่ 7 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 4 แต่ในลำดับนี้จะพบว่างานย่อยทุกงานใน Job 1, Job 2 และ Job 3 ได้ถูกดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นจึงลบโหนดที่มี Job 1, Job 2 และ Job 3 อยู่ และทำการนับเช่นเดียวกับลำดับที่ผ่านมา ซึ่งโหนดที่พบจากการนับ คือโหนดที่ 4 อยู่ใน Job 4 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 4 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 1 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 16 นาที ดังรูปที่ 16 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 7



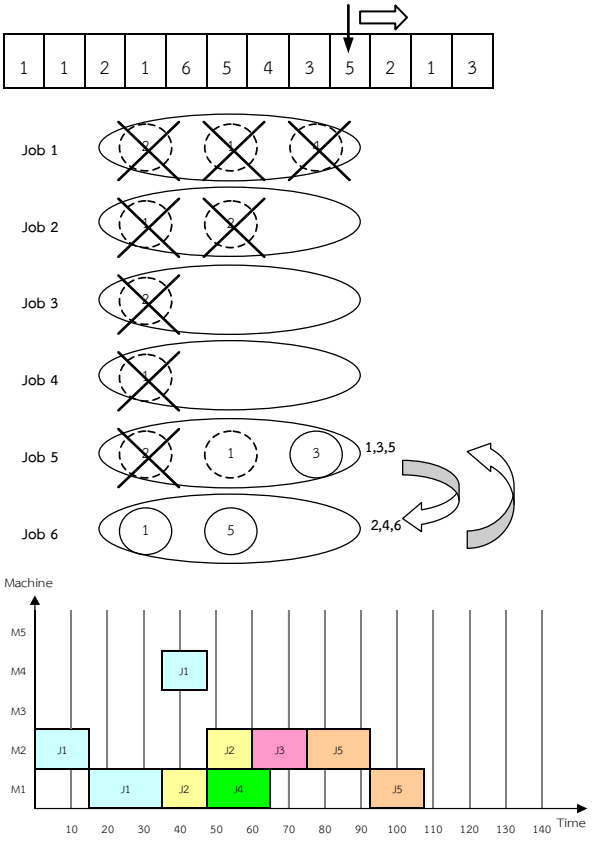
รูปที่ 16 การนับโหนดในลำดับที่ 7

ลำดับที่ 8 พิจารณาค่ายีนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 3 แต่ในลำดับนี้จะพบว่างานย่อยทุกงานใน Job 1, Job 2, Job 3 และ Job 4 ได้ถูกดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นจึงลบโหนดที่มี Job 1, Job 2, Job 3 และ Job 4 อยู่ และทำการนับเช่นเดียวกับลำดับที่ผ่านมา ซึ่งโหนดที่พบจากการนับคือโหนดที่ 5 อยู่ใน Job 5 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 5 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 2 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 17 นาที ดังรูปที่ 17 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 8



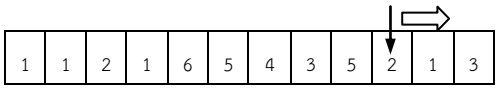
รูปที่ 17 การนับโหนดในลำดับที่ 8

ลำดับที่ 9 พิจารณาค่ายีนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 5 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับ คือโหนดที่ 5 อยู่ใน Job 5 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 5 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 1 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 16 นาที ดังรูปที่ 18 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 9

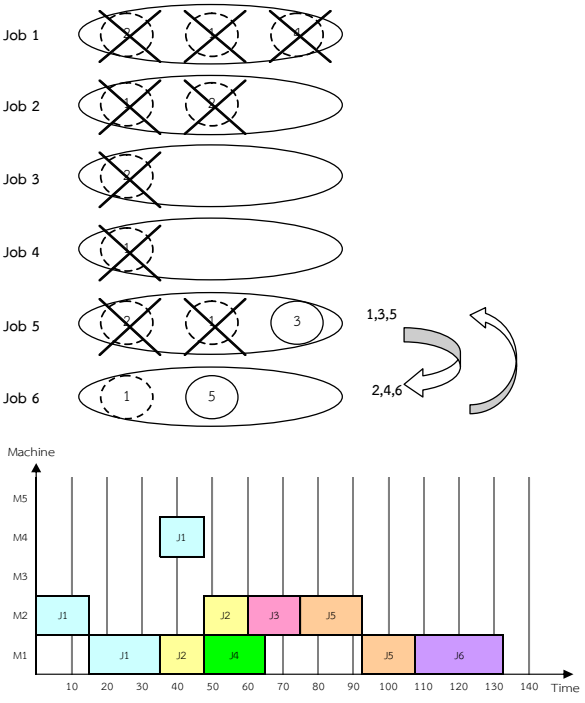


รูปที่ 18 การนับโหนดในลำดับที่ 9

ลำดับที่ 10 พิจารณาค่ายีนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 2 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับ คือโหนดที่ 6 อยู่ใน Job 6 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 6 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 1 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 22 นาที ดังรูปที่ 19 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 10

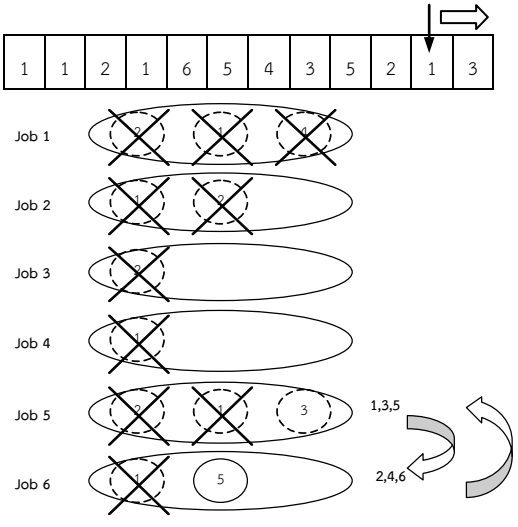


รูปที่ 19 การนับโหนดในลำดับที่ 10

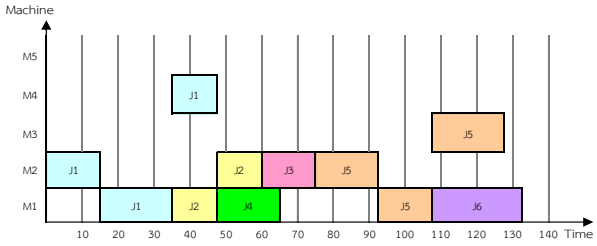


รูปที่ 19 การนับโหนดในลำดับที่ 10 (ต่อ)

ลำดับที่ 11 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 1 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับ คือโหนดที่ 5 อยู่ใน Job 5 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 5 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 3 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 19 นาที ดังรูปที่ 20 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 11

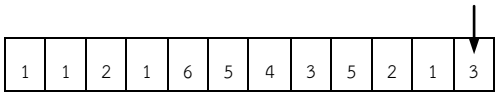


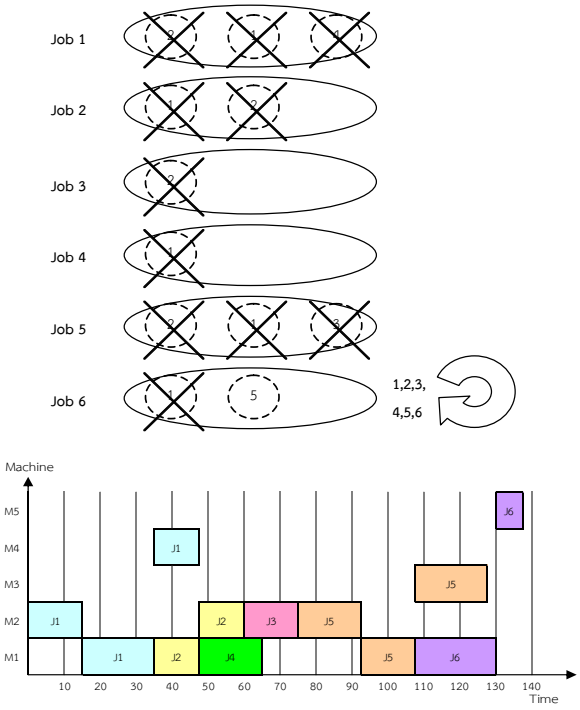
รูปที่ 20 การนับโหนดในลำดับที่ 11



รูปที่ 20 การนับโหนดในลำดับที่ 11(ต่อ)

ลำดับที่ 12 พิจารณาค่ายืนถัดไปพบว่า มีค่าเป็น 3 ซึ่งโหนดที่พบจากการนับ คือโหนดที่ 6 อยู่ใน Job 6 ข้อมูลภายในโหนดของ Job 6 ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรอยู่ที่เครื่องจักรที่ 5 โดยมีเวลาปฏิบัติงานเท่ากับ 8 นาที ดังรูปที่ 21 แสดงการนับโหนดในลำดับที่ 12





รูปที่ 21 การนับโหนดในลำดับที่ 12

เมื่อพิจารณาครบทุกค่าของยีนแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะพิจารณาเวลาปิดงานของระบบ ซึ่งจากตัวอย่างนี้ พบว่าเวลาปิดงานของระบบคือ 138 นาที

จากการใส่รหัสโครโมโซมด้วยวิธีที่กล่าวมา พบว่าถึงแม้ค่าภายในโครโมโซมจะมีค่าเป็นอย่างไร ก็ไม่มีผลต่อการจัดตารางการผลิต เมื่อพิจารณาร่วมกับวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม ที่มีการข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ โดยจะมีขั้นตอนของวิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม มีดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการสุ่มประชากรเริ่มต้นจำนวน 5 โครโมโซม

2. คำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชัน ของคำตอบเบื้องต้นด้วยการคำนวณหาเวลาปิดงานของระบบ แสดงดังตารางที่ 2

3. สร้างโครโมโซมรุ่นลูกจนกว่าจะได้โครโมโซมรุ่นลูกเท่ากับ 5 โครโมโซม ด้วยลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

ตาราง 2 ค่าฟิตเนสฟังก์ชันของคำตอบเบื้องต้น

โครโมโซม	เวลาปิดงานของระบบ (นาที) ค่าฟิตเนสฟังก์ชัน
1 1 2 1 6 5 4 3 5 2 1 3	138
1 2 6 6 1 2 4 5 3 6 1 3	88
5 2 4 2 4 4 2 1 3 1 2 6	116
4 1 4 1 3 2 1 2 5 2 3 6	96
2 1 2 1 4 5 6 1 3 4 3 1	92

3.1 เลือกโครโมโซมต้นแบบ 2 โครโมโซม จาก 5 โครโมโซม (พ่อ – แม่) โดยใช้ความน่าจะเป็นพิจารณาค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (โครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสฟังก์ชันดีกว่ามีโอกาสถูกเลือกมากกว่า) ซึ่งสามารถหาความน่าจะเป็นในการเลือกโครโมโซมต้นแบบได้ดังนี้

ก) คำนวณหาส่วนกลับของเวลาปิดงานของระบบสำหรับแต่ละโครโมโซม และหาผลรวมของส่วนกลับได้ดังตาราง 3

ข) หาสัดส่วนความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซม โดยนำส่วนกลับของเวลาปิดงานของระบบสำหรับแต่ละโครโมโซมหาร ด้วยผลรวมของส่วนกลับ

ตาราง 3 รายละเอียดการหาส่วนกลับของเวลาปิดงานของระบบ

โครโมโซม	เวลาปิดงานของระบบ (นาที)	ส่วนกลับของเวลาปิดงานของระบบ
1 1 2 1 6 5 4 3 5 2 1 3	138	0.007
1 2 6 6 1 2 4 5 3 6 1 3	88	0.011
5 2 4 2 4 4 2 1 3 1 2 6	116	0.009
4 1 4 1 3 2 1 2 5 2 3 6	96	0.010
2 1 2 1 4 5 6 1 3 4 3 1	92	0.011
รวม		0.048

ค) หาความน่าจะเป็นสะสมได้ผลดังตาราง 4

ตาราง 4 รายละเอียดการหาความน่าจะเป็น และความน่าจะเป็นสะสม

โครโมโซม	เวลาปิดงาน	ส่วนกลับของเวลาปิดงาน	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม
1 1 2 1 6 5 4 3 5 2 1 3	138	0.007	$\frac{0.007}{0.048}$ =0.146	0.146
1 2 6 6 1 2 4 5 3 6 1 3	88	0.011	$\frac{0.011}{0.048}$ =0.229	0.375
5 2 4 2 4 4 2 1 3 1 2 6	116	0.009	$\frac{0.009}{0.048}$ =0.188	0.563
4 1 4 1 3 2 1 2 5 2 3 6	**96**	**0.010**	$\frac{0.010}{0.048}$ **=0.208**	**0.771**
2 1 2 1 4 5 6 1 3 4 3 1	92	0.011	$\frac{0.011}{0.048}$ =0.229	1

ง) สุ่มตัวเลขเพื่อเลือกโครโมโซมพ่อ สมมุติว่าสุ่มตัวเลขได้ 0.587 ดังนั้นเลือกโครโมโซมที่ 4 เป็นโครโมโซมพ่อ

จ) ทำซ้ำ ข้อ ก) - ข) เพื่อเลือกโครโมโซมแม่ โดยคำนวณหาความน่าจะเป็นของโครโมโซมที่ยังไม่ถูกเลือกเท่านั้น ดังตาราง 5

ตาราง 5 รายละเอียดการหาโครโมโซมแม่

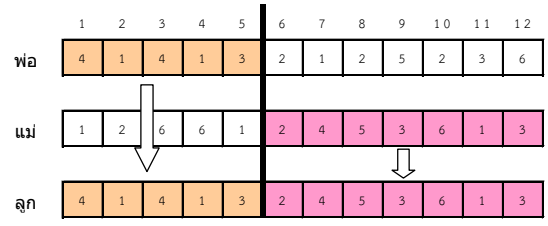
โครโมโซม	เวลาปิดงาน	ส่วนกลับของเวลาปิดงาน	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม
1 1 2 1 6 5 4 3 5 2 1 3	138	0.007	$\frac{0.007}{0.038}$ =0.184	0.184
1 2 6 6 1 2 4 5 3 6 1 3	**88**	**0.011**	$\frac{0.011}{0.038}$ **=0.289**	**0.473**
5 2 4 2 4 4 2 1 3 1 2 6	116	0.009	$\frac{0.009}{0.038}$ =0.237	0.710
2 1 2 1 4 5 6 1 3 4 3 1	92	0.011	$\frac{0.011}{0.038}$ =0.289	1
รวม		0.038		

สุ่มตัวเลขมาเพื่อเลือกโครโมโซมแม่ ได้ตัวเลข 0.335 ได้โครโมโซมที่ 2 สรุปแล้วจะได้โครโมโซมต้นแบบ 2 โครโมโซมจากนั้นดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

3.2 การข้ามสายพันธุ์ มีขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์ ดังนี้

ก) การข้ามสายพันธุ์แบบ 1 จุด จากข้อ 3.1 ได้โครโมโซมต้นแบบ 2 โครโมโซม

ข) สุ่มตำแหน่งที่จะให้มีการข้ามสายพันธุ์ โดยการสุ่มเลือกตำแหน่ง 1 ถึง 12 สมมติสุ่มได้ 5 หมายถึงโครโมโซมลูกที่เกิดขึ้น โดยตำแหน่งที่ 1–5 เป็นของโครโมโซมพ่อ และตำแหน่งที่ 6-12 เป็นของโครโมโซมแม่ ดังรูปที่ 22 แสดงการข้ามสายพันธุ์



รูปที่ 22 การข้ามสายพันธุ์

3.3 การกลายพันธุ์ ทำโดยการสุ่มเลือกตำแหน่งที่จะให้มีการกลายพันธุ์ โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งที่มีการกลายพันธุ์ 2 ตำแหน่งจากตำแหน่ง 1 ถึง 12 และทำการสลับตำแหน่งกัน สมมติสุ่มได้ตำแหน่งที่มีการกลายพันธุ์ 2 ตำแหน่งคือ 7 และ 10 จะได้โครโมโซมใหม่ ดังรูปที่ 23 โครโมโซมใหม่จากการกลายพันธุ์ เวลาปิดงานของระบบเท่ากับ 96 นาที

รูปที่ 23 โครโมโซมใหม่จากการกลายพันธุ์

จากขั้นตอนที่กล่าวมาจะได้โครโมโซมใหม่ 1 โครโมโซม เนื่องจากโครโมโซมรุ่นลูกจะต้องมีจำนวนเท่ากับ 5 โครโมโซม ดังนั้นจะดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3.1 ถึง 3.3 จนได้โครโมโซมรุ่นลูกเท่ากับ 5 โครโมโซม เพื่อความหลากหลายของคำตอบจะกำหนดให้โครโมโซมต้นแบบ 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยโครโมโซมพ่อ 1 โครโมโซม โครโมโซมแม่ 1 โครโมโซม จะทำให้เกิดโครโมโซมรุ่นลูก 1 โครโมโซม สรุปแล้วได้โครโมโซมรุ่นลูก 5 โครโมโซม ดังตาราง 6

4. แทนที่ โครโมโซมรุ่นพ่อ แม่ ด้วยโครโมโซมรุ่นลูก ดังนั้นประชากรใหม่คือโครโมโซมที่แสดงดังตาราง 6

5. ทดสอบการแทนที่คำตอบใหม่ที่ดีที่สุด หากพบว่าคำตอบในรุ่นลูกมีคำตอบที่ดีกว่ารุ่นพ่อ แม่ ให้บันทึกค่าที่ดีที่สุด และทดสอบว่าควรหยุดอัลกอริธึมหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2–5 แต่ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขให้หยุด และคำตอบที่ดีที่สุดจะถูกเลือกมาใช้เป็นคำตอบ

ตาราง 6 โครโมโซมรุ่นลูก

โครโมโซม												เวลาปิดงานของระบบ ค่าฟิตเนสฟังก์ชัน(นาที)
4	1	4	1	3	2	6	5	3	4	1	3	96
3	5	2	4	6	2	3	1	5	2	3	6	88
5	1	2	2	4	4	4	6	3	5	3	6	94
5	4	5	4	3	6	1	5	4	2	3	1	100
1	6	6	1	2	5	6	2	3	2	4	3	88

จากวิธีการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมดังขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้หาคำตอบ และคำนวณค่าเวลาปิดงานของระบบ สำหรับการผลิตตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีจำนวนงานทั้งหมด 41 งาน (จำนวนแผ่นไม้ทั้งหมดที่ต้องดำเนินการแปรรูป) ผ่านเครื่องจักร 17 เครื่อง รวมมีงานย่อยทั้งหมดเท่ากับ 129 งาน โดยรายละเอียดของลำดับการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และเวลาปฏิบัติงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องสำหรับตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์แสดงดังตาราง 7

วิธีประยุกต์ใช้อัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม เริ่มจากการสร้างโหนดตัวแทนของทั้ง 41 งาน โดยภายในแต่ละโหนดใส่ลำดับการดำเนินงานของเครื่องจักรของงานย่อยทุกงานลงในโหนด ซึ่งเรียงลำดับข้อมูล และทำการใส่เครื่องจักรที่ใช้ทำงานย่อยแต่ละงานตามลำดับในโหนดถัดไปจนกระทั่งครบทุกงาน หลังจากนั้นสุ่มสร้างโครโมโซมที่มีความยาวเท่ากับ 129 ยีน เพื่อพิจารณาเวลาปิดงานของระบบ โดยจะสุ่มสร้าง

ประชากรทั้งหมด 75,000 รุ่น ในแต่ละรุ่นจะสุ่มสร้างโครโมโซมจำนวน 500 โครโมโซม ใช้การข้ามสายพันธุ์แบบ 1 ตำแหน่ง ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ คือ 0.5 และ 0.05 ตามลำดับ

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อสุ่มสร้างโครโมโซม และคำนวณเวลาปิดงานงานของระบบ ตามขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม ซึ่งผู้วิจัยได้ทดสองใช้โปรแกรมแก้ปัญหาทั้ง 2 ปัญหา ปัญหาแรกคือปัญหาตัวอย่างงาน 6 งาน ใช้เครื่องจักร 5 เครื่อง ตามที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น และปัญหาที่สองคือปัญหาตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์งาน 41 งาน ใช้เครื่องจักร 17 เครื่อง

4 ผลการดำเนินการวิจัย

หลังจากผู้วิจัยได้ใช้เขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการสุ่มตัวเลขสำหรับสร้างโครโมโซม ดำเนินการตามขั้นตอนวิธีของอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม เพื่อคำนวณหาคำตอบเวลาปิดงานของระบบซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้และคำตอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 8

ตาราง 8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ และคำตอบที่ได้

พารามิเตอร์	ปัญหาตัวอย่าง	ปัญหาตู้ปาเป้า
จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นที่ใช้	5	500
จำนวนรุ่นประชากรที่ใช้	50	75,000
ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (เอกชาติ, 2543)	0.5	0.5
ลักษณะการข้ามสายพันธุ์	แบบ 1 ตำแหน่ง	แบบ 1 ตำแหน่ง
ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (เอกชาติ, 2543)	0.05	0.05
คำตอบ (เวลาปิดงานของระบบ หน่วยเป็นนาที)	**88**	**2,005.8**

เมื่อเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิต โดยประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม กับการจัดตารางการผลิตแบบเดิม โดยตัวชี้วัดคือ เวลาปิดงานของระบบ สามารถแสดงการเปรียบเทียบผลการจัดตารางการผลิตดังตาราง 9

ตาราง 9 การเปรียบเทียบผลการจัดตารางการผลิต

วิธีที่ใช้	เวลาปิดงานของระบบ (นาที/80 ตู้)	เวลาที่ลดลง (นาที)	เวลาในการประมวลผล (นาที)
วิธีเดิม	7,614.0	-	-
วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)	2,005.8	5,608.2	541

จากตาราง 9 พบว่าการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม สามารถลดเวลาปิดงานของระบบได้ 5,608.20 นาที/80 ตู้ และใช้เวลาในการประมวลผลโปรแกรม 541 นาที หรือประมาณ 9 ชั่วโมง

5 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

การทำงานที่มีความซับซ้อนโดยอาศัยประสบ การณ์และความชำนาญ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เป็นผลให้ส่งสินค้าไม่ทันกำหนด ดังนั้นการวางแผนการจัดตารางการผลิตจะเป็นกิจกรรมสำคัญที่สามารถลดความสูญเปล่าจากการรองาน และการว่างงานของเครื่องจักรได้ จากผลการดำเนินการวิจัย พบว่าการจัดตารางการผลิตตู้ปาเป้าซึ่งประกอบด้วยไม้จำนวน 41 แผ่นและเครื่องจักรจำนวน 17 เครื่อง โดยประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมเชิงพันธุกรรม ลดเวลาปิดงานของระบบจากเดิม 7,614 นาที/80 ตู้ เป็น 2,005.8 นาที/80 ตู้ สามารถลดเวลาปิดงานของระบบได้ 5,608.2 นาที/80 ตู้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาส่งสินค้าไม่ทันกำหนดได้อีกด้วย

ตาราง 7 ลำดับการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และเวลาปฏิบัติงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องสำหรับตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์

Mechaine (i) / Job (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	3(33)		4(138.2)			2(61)									1(33)		
2.1	1(61.1)	5(220.4)		2(51.8)		4(45)								3(132.2)			
2.2	1(100.8)			2(20.4)	4(33.1)		3(17.1)										
3.1	1(61.1)	3(181.8)	4(237.5)			2(39.6)			5(45.3)								
3.2	1(61.1)	3(231)	4(193.3)			2(39.7)			5(20.4)								
4	1(53.2)	9(66.1)		2(98.7)	7(22)		3(25)	4(22.6)		6(77.2)			5(55.2)	8(31.1)			
5			1(33.6)														
6.1	1(33.6)																
6.2	1(33.6)	6(66.1)		2(132)	3(57.8)									4(33.1)	5(132.2)		
7.1		1(45)															
7.2	1(65)			3(40.8)	2(33.1)		4(33.6)	5(55.7)									
8			1(50.7)	3(90.2)	5(44.1)			4(22.6)								2(20.5)	
9.1	2(55.7)	3(77.3)		4(12.1)		1(45.2)											
9.2	1(50.1)							2(50.1)									
10.1		2(318.5)		3(73.3)		1(45.2)	4(19.8)										
10.2	1(50.1)							2(50.1)									
11.1		2(286.9)		3(14.9)		1(45.2)	4(17.1)					5(24.9)					6(16.5)
11.2	1(50.1)	2(50.1)															
12	1(33.6)	3(90.9)		4(17.6)										2(11)			
13	2(228.9)	4(99.2)		5(40.8)		1(45.2)					3(22.6)						
14	1(17.12)						3(154.5)	2(14.3)									
15	1(33.6)			2(111.2)	3(16.5)												
16	1(33.6)			2(12.1)	3(115.6)												
17	1(33.5)			2(12)	3(115.7)												
18	1(33.6)																
19		1(66.7)														2(20.4)	
20	1(33.6)			3(12.1)							2(20.4)						
21	1(33.1)										2(11.1)						
22	1(33.1)										2(11.1)						
23	1(61.1)	2(47.1)		4(12.1)			3(51.3)										
24	1(33.7)																
25	1(22.6)																
26	1(22.6)																
27		2(30)					3(30.9)										
28		1(33.6)															
29	1(28.1)																
30	1(28.1)																
31	1(33.6)																
32	1(33.6)																
33	1(33.6)			2(20.1)	4(33.1)		3(17.1)										
34																	
35	1(99.8)																
36	1(99.8)																
37	1(99.8)																
38	1(22.6)																
39	1(22.6)																
40	1(22.6)																
41	1(132.9)								2(42.9)								

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เอกชาติ หัตถา. “การประยุกต์เจเนติกอัลกอริธึมส์สำหรับการจัดลำดับการผลิตชนิดตามงานในกระบวนการเคมีแบบกะ.” วศม.วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพ, 2543

[2] P.Pongcharoen, C.Hicks and P.M.Braiden, “The development of genetic algorithms for the finite capacity scheduling of complex products,” *European Journal of Operational Research*,vol 152, pp.215-225, January 2002.

[3] M. Kampf and P. Kochel, “Simulation-based sequencing and lot size optimisation for a production-and-inventory system with multiple items,” *International Journal of Production Economics*, vol. 104, pp. 191- 200, November 2006.

[4] L.Der-Horng, W.Hui Qiu and M.Lixin, “Quay cane scheduling with non-interference constraints in port container terminals,” *ELSEVIER*., vol 44, pp.124-135, January 2006.

[5] เพ็ญศิริ สมพงษ์ และ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, “การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมชนิดเมมเมติกสำหรับการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กันโดยมีค่าใช้จ่ายจากงานที่ผลิตเสร็จก่อนค่าใช้จ่ายจากงานที่ล่าช้าและเวลาปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับ,” *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี2009*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, (2009)

[6] อดุลย์ พุกอินทร์. “การจัดตารางการผลิตโดยเปรียบเทียบการจัดตารางทั่วไปและวิธีเจเนติกอัลกอริทึม,” วิศวกรรมสาร มข. 2012 (39): 35-46