

การ จัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบน เครื่องจักรกลแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิต

อาริต ธรรมโน¹ และ อัจฉรา ภู่อ่าง²

¹อาจารย์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

²นักศึกษาปริญญาเอก คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: ¹arit@it.kmitl.ac.th, ²mary_kmitl@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นที่จะกล่าวถึงวิธีการในการจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานของอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งจะเป็ นแนวทางให้ผู้ศึกษาวิจัยสามารถวางแผนออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนสำคัญในทุกขั้นตอนของธุรกิจอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับขั้นตอนการจัดตารางงานการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตที่ได้มีการนำวิทยาการทางคอมพิวเตอร์เข้ามาผสมผสาน เพื่อให้ได้ตารางการผลิตที่มีความเหมาะสม ในบทความนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนและการนำจีเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นอัลกอริทึมทางคอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์ มาประยุกต์ใช้ช่วยสนับสนุนให้การ จัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ – Flexible Job Shop Scheduling problem; Meta-Heuristic; Genetic Algorithm; Manufacturing Industries

1. บทนำ

การจัดตารางงานของกระบวนการผลิตนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมผลิตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากตลาดสินค้ามีรูปแบบการแข่งขันที่หลากหลาย อีกทั้งมีอัตราการแข่งขันที่สูงมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ผลิตรายใดก็ตามที่สามารถส่งออกสินค้าไปถึงมือผู้บริโภคก่อน จะได้เปรียบทางการตลาดมากกว่าเสมอ ดังนั้นปัจจัยที่จะมาส่งเสริมให้อุตสาหกรรมผลิตสามารถแข่งขันได้ปัจจัยหนึ่งคือ กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และการที่จะได้มาซึ่งกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพนี้ การวางแผนจัดตารางงานการผลิตที่ดีคือ

เป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากมีการวางแผนจัดตารางการผลิตอย่างรัดกุมและเหมาะสม จะทำให้อุตสาหกรรมผลิตนั้นๆสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างเป็นระเบียบ ราบรื่น สามารถส่งสินค้าออกสู่ตลาดได้รวดเร็วและแข่งขันได้ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนหนึ่งพยายามศึกษารูปแบบของปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการจัดตารางการผลิต และวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ในบทความวิชาการนี้จะอธิบายวิธีการในการจัดตารางการผลิต จากนั้นจะกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการจัดตารางการผลิตที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยสังเขป และจะนำเสนอจีเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็น

อัลกอริทึมการทางปัญญาประดิษฐ์ที่นิยมถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยจะกล่าวดังต่อไปนี้

2. การจัดตารางกระบวนการผลิต

ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไป ส่วนประกอบหรือเครื่องมือที่ใช้จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของผลิตภัณฑ์ โดยในกระบวนการผลิตสินค้าแต่ละชนิดนั้น จะประกอบด้วยกระบวนการหรืองานที่ต้องดำเนินการอยู่มากมาย ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ จะประกอบด้วยงานหลักต่างๆ เช่น งานประกอบตัวถังรถยนต์ งานประกอบเครื่องยนต์ งานประกอบตกแต่งห้องโดยสาร เป็นต้น โดยในแต่ละงานหลักเหล่านี้จะประกอบด้วยงานย่อยๆ เช่น การที่จะทำงานประกอบตัวถังรถยนต์ จะต้องทำงานย่อย คือ ประกอบชิ้นส่วน กระง้างหน้า ฝากระโปรง หลังคา กระงะประตู และอื่นๆ ให้เรียบร้อยตามลำดับ จึงจะทำให้งานประกอบตัวถังรถยนต์เสร็จสมบูรณ์ เป็นต้น นอกจากนี้ลักษณะของงานที่มีลำดับซับซ้อนแล้ว เรื่องของเครื่องจักรกลที่มีความยืดหยุ่นก็เป็นเงื่อนไขที่สำคัญเนื่องจาก ในสายการผลิตจะประกอบด้วยเครื่องจักรกลมากกว่าหนึ่งเครื่อง อีกทั้งเครื่องจักรกลเหล่านี้ยังทำงานแบบคู่ขนานกันเสมอ และงานย่อยบางงานยังสามารถทำได้บนเครื่องจักรมากกว่า 1 ชนิดอีกด้วย ในสถานการณ์จริงของกระบวนการผลิตจะมีงานอยู่มากการที่จะใช้กำลังคนในการจัดตารางการผลิตเป็นเรื่องที่ยาก ดังนั้นความสามารถของคอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาเป็นทางเลือกหลักในการแก้ปัญหา

2.1. ปัญหาการจัดตารางกระบวนการผลิต

จากตารางที่ 1 [1] แสดงรูปแบบของปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน (Flexible Job-shop Scheduling Problem) โดย JOB_i แทนงานหลัก ในขณะที่ O_{ij} แทนงานย่อยของ

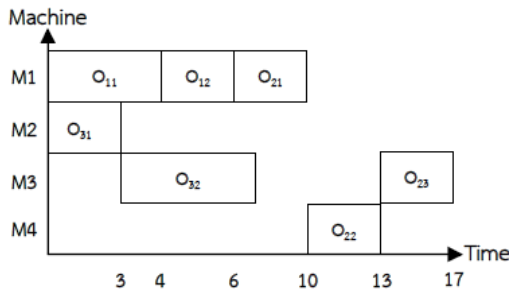
ตารางที่ 1. ตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการผลิต

งานหลัก	งานย่อย	เครื่องจักรกล (Machine:M)			
		M_1	M_2	M_3	M_4
JOB_1	O_{11}	4	7	6	5
	O_{12}	2	6	-	5
JOB_2	O_{21}	4	5	7	-
	O_{22}	5	-	6	3
	O_{23}	-	5	4	7
JOB_3	O_{31}	5	3	-	6
	O_{32}	-	-	4	-

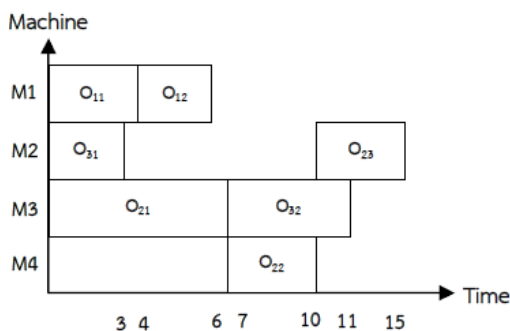
JOB_i และ M_k แทนชนิดเครื่องจักรกล วัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานคือ การจัดลำดับเซตของงานหลัก $JOBs = \{JOB_1, JOB_2, \dots, JOB_i\}$ บนเซตของเครื่องจักรกล Machines (M) = $\{M_1, M_2, \dots, M_k\}$ ซึ่งทำงานแบบคู่ขนาน เพื่อให้ได้ระยะเวลาทำงานรวม (Makespan) น้อยที่สุด (Minimize)

จากตัวอย่างในตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่างานหลัก job_i แต่ละตัว จะประกอบด้วยจำนวนงานย่อย O_{ij} ที่แตกต่างกัน โดยงานย่อย O_{ij} แต่ละตัวสามารถดำเนินการได้บนเครื่องจักรกลหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น งานย่อย O_{21} สามารถทำได้บนเครื่องจักรกล 3 ชนิด อธิบายได้ว่า หากทำงานย่อย O_{21} บนเครื่องจักรกล M_1 จะใช้ระยะเวลา 4 วัน, หากทำงานย่อย O_{21} บนเครื่องจักรกล M_2 จะใช้ระยะเวลา 5 วัน และหากทำงานย่อย O_{21} บนเครื่องจักรกล M_3 จะใช้ระยะเวลา 7 วัน แต่งานย่อย O_{21} จะไม่สามารถดำเนินการได้บนเครื่องจักรกล M_4 เป็นต้น

การจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานมีสมมุติฐานที่สำคัญคือ 1) ลำดับงานย่อย O_{ij} ของแต่ละ JOB_i จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังเสมอ (Precedence Constrained) อธิบายได้ว่า งานย่อย O_{ij+1} จะสามารถเริ่มต้นได้ในกรณีที่งานย่อย O_{ij} แล้วเสร็จก่อนเท่านั้น 2)



รูปที่ 1. ระยะเวลารวมของงานย่อยบนเครื่องจักรกลที่ใช้ ระยะเวลาสั้นที่สุด



รูปที่ 2. ระยะเวลารวมของงานย่อยบนเครื่องจักรกลที่ถูก สุ่มเลือก

ในช่วงเวลาหนึ่งๆ เครื่องจักรแต่ละตัวจะดำเนินการได้ กับ งานย่อย O_{ij} เพียงงานเดียวเท่านั้น 3) จะไม่มีภาวะการ ขัดจังหวะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของเครื่องจักร

ทั้งนี้อาจเป็นที่สงสัยว่า "หากวัตถุประสงค์ในการ จัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ ทำงานแบบคู่ขนาน คือระยะเวลาทำงานรวมน้อยที่สุด (Minimize Makespan) เหตุใดจึงไม่เลือกทำแต่ละงาน ย่อยกับเครื่องจักรกลที่ใช้ระยะเวลาในการทำงานน้อย ที่สุดเลย ซึ่งสามารถอธิบายข้อสงสัยได้ดังนี้ จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าหากเลือกดำเนินการแต่ละงานย่อยบน เครื่องจักรกลที่ใช้ระยะเวลาในการทำงานน้อยที่สุด จะทำ ให้ใช้ระยะเวลาการทำงานรวมทั้งสิ้น 17 วัน แต่ในกรณี เดียวกัน หากลองใช้วิธีการสุ่มเลือกเครื่องจักรกลแทน จะ ใช้ระยะเวลารวมในการดำเนินงานที่น้อยกว่าคือ 15 วัน

ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้นจึงเป็นคำตอบของข้อสงสัยที่ว่า การเลือกดำเนินการแต่ละงานย่อยบนเครื่องจักรกลที่ใช้ ระยะเวลาการทำงานน้อยที่สุดนั้น ไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุด สำหรับการออกแบบตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่น แต่ทั้งนี้วิธีการสุ่มก็ไม่สามารถที่จะทำให้ค้นพบลำดับงานที่ มีระยะเวลาทำงานรวมน้อยที่สุดได้ ดังนั้นอัลกอริทึมต่างๆ ทางคอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดการ

กระบวนการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบน เครื่องจักรแบบคู่ขนาน

มีนักวิจัยจำนวนหนึ่งที่น่าสนใจปัญหาการจัดการการผลิต ที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน และได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมทางคอมพิวเตอร์ ปัญญาประดิษฐ์มาแก้ปัญหา โดยอัลกอริทึมที่ถูกกล่าวถึง และนิยมนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดการการผลิตบน เครื่องจักรแบบคู่ขนาน คือ จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) ยกตัวอย่างเช่น F. Pezzella, G. Morganti และ G. Ciaschetti [2] ได้นำเสนองานวิจัยชื่อ "A genetic algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem" ซึ่งเป็นการประยุกต์จีเนติก อัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการจัดการการผลิตที่มีความ ยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน โดยการ เพิ่มกลยุทธ์ที่หลากหลายเข้าไปในขั้นตอนการกำหนด ประชากรเริ่มต้น (Initial Populations) และขั้นตอนการ คัดเลือกประชากรพ่อแม่ (Parent Selection) เพื่อเพิ่ม โอกาสให้จีเนติกอัลกอริทึมสามารถเข้าสู่พบคำตอบที่ เหมาะสมได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น, Guohui Zhang, Liang Gao และ Yang Shi [3] ได้นำเสนองานวิจัยที่ชื่อ ว่า "An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem" ขึ้นมา เพื่อสนับสนุน ให้จีเนติกอัลกอริทึมสามารถแก้ปัญหาการจัดการ ผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบ

คู่ขนานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการปรับปรุงในขั้นตอนการเลือกประชากรเริ่มต้นเช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ แต่ใช้วิธีการที่แตกต่างกัน และนอกจากนั้นในงานวิจัยยังได้เสนอกกลยุทธ์สำหรับการครอสโอเวอร์ (Crossover) และมิวเทชัน (Mutation) ที่แตกต่างและมีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่ากระบวนการที่งานวิจัยนี้นำเสนอสามารถสนับสนุนให้จีเนติกอัลกอริทึมค้นพบคำตอบที่มีความเหมาะสมได้, Jianchao Tang, Guoji Zhang, Binbin Lin และ Bixi Zhang [4] นำเสนองานวิจัยที่ชื่อว่า "Hybrid Algorithm for Flexible Job-shop Scheduling Problem" ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน โดยการตั้งจุดเด่นของ 2 อัลกอริทึม คือ จีเนติกอัลกอริทึมและ Particle Swarm Optimization Algorithm มาผสมผสานเข้าด้วยกัน ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมาะสมมากขึ้น, Libo Song และ Xuejun Xu [5] ได้นำเสนองานวิจัยชื่อ "Flexible Job Shop Scheduling Problem Solving Based on Genetic Algorithm with Chaotic Local Search" ซึ่งเป็นการผสมผสานอัลกอริทึมการค้นหาที่ชื่อว่า Chaotic Local Search เข้ามาช่วยปรับปรุงให้ผลลัพธ์ที่ได้จากจีเนติกอัลกอริทึม มีความเหมาะสมมากขึ้น เชาวลิต หามนตรี [6] ได้นำเสนองานวิจัยชื่อ "การกำหนดตารางผลิต โดยใช้วิธีฮิวริสติกร่วมกับเจเนติกอัลกอริทึม กรณีศึกษา แผนกโลหะแผ่นในโรงงานเครื่องจักรอัตโนมัติ" โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนของ จีเนติกอัลกอริทึม เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตให้กับกรณีศึกษา แผนกโลหะแผ่น บริษัทโซติก ประเทศไทย จำกัด ที่พบปัญหาว่าตารางการผลิตไม่สอดคล้องกับแผนการผลิต ทำให้ขาดแคลนชิ้นส่วนที่จะทำการผลิต และบางช่วงเวลามีชิ้นส่วนเกินความต้องการ ผลลัพธ์จากการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ชื่อ FSP ซึ่งเป็นโปรแกรม

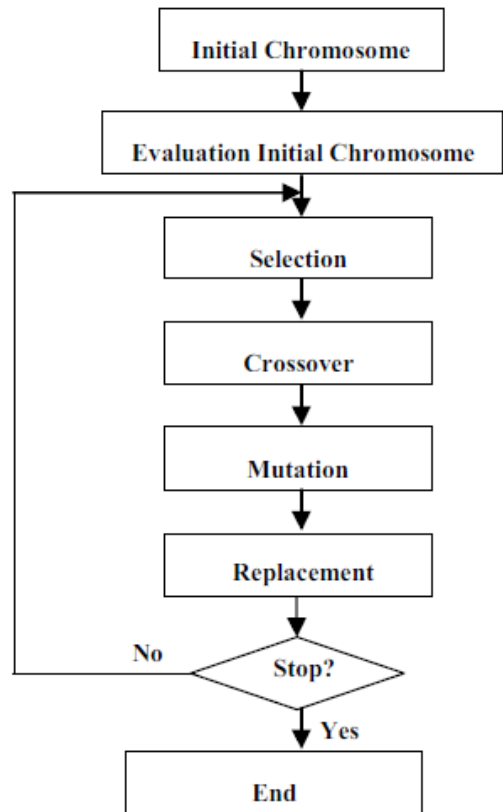
ที่งานวิจัยชิ้นนี้พัฒนาตามกระบวนการของจีเนติกอัลกอริทึมไปใช้ โดยการนำเข้าข้อมูลงานที่ต้องทำการผลิต จำนวนของเครื่องจักรกล และเงื่อนไขต่างๆ เข้าไปในโปรแกรม จากนั้นโปรแกรม FSP นำข้อมูลที่ป้อนเข้าข้างต้น ไปพิจารณาตัดสินใจ สร้างให้เกิดผลลัพธ์เป็นตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ลดการเกิดปัญหาการรอชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ และการขาดชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ระยะเวลาการดำเนินงานรวมของแผนกโลหะแผ่นลดลง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กล่าวมาทั้งหมด ล้วนเป็นการนำจีเนติกอัลกอริทึมมาปรับใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานทั้งสิ้น เพราะเมื่อนำจีเนติกอัลกอริทึมเข้าไปประยุกต์ใช้ จะช่วยสนับสนุนให้กระบวนการจัดตารางการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้คำว่าประสิทธิภาพในที่นี้คือ การจัดทำตารางการผลิตแล้วเสร็จเร็วขึ้น คิวการรอของของแต่ละงานย่อยลดลง ระยะเวลาการดำเนินการรวมของแต่ละเครื่องจักรกลลดลง เป็นต้น ดังนั้นในหัวข้อถัดไปจึงจะกล่าวถึงกระบวนการของจีเนติกอัลกอริทึมโดยสังเขป พร้อมทั้งอธิบายวิธีการนำจีเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน และสุดท้ายจะกล่าวถึงข้อดีที่ทำให้จีเนติกอัลกอริทึมถูกกล่าวถึงเสมอ

3. จีเนติกอัลกอริทึม

จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) ถูกนำเสนอโดย จอห์น ฮอลแลนด์ ในปี ค.ศ. 1975 โดยหลักการของจีเนติกอัลกอริทึมคือ การเลียนแบบพฤติกรรมการสืบทอดทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ที่ปฏิบัติในระดับของยีนส์บนแต่ละโครโมโซมภายในร่างกาย, โครโมโซม คือ โครงสร้างของยีนส์ที่จะทำหน้าที่ถ่ายทอดและควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากพ่อแม่ไปสู่ลูก โครโมโซมพ่อแม่ที่มีคุณสมบัติดีจะมีโอกาสถูกถ่ายทอดไปยังลูกได้มากกว่า

เสมอ เพื่อให้ลูกได้รับคุณสมบัติที่ดีเช่นเดียวกับพ่อแม่ ดังนั้นจากหลักการของจีเนติกอัลกอริทึมที่จะพยายาม ค้นหาและเลือกโครโมโซมที่มีลักษณะที่ดีที่สุด เพื่อให้สามารถสืบทอดต่อไปได้ จึงทำให้จีเนติกอัลกอริทึมถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้แก้ปัญหาอย่างหลากหลายเช่นเดียวกัน กับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบน เครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน หลักการของจีเนติก อัลกอริทึมจะแทนชุดคำตอบของปัญหาด้วยโครโมโซม และโครโมโซมที่มีความเหมาะสมจะถูกคัดเลือกเป็น โครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นโครโมโซมพ่อแม่จะถูกพัฒนา ผ่านกระบวนการปฏิบัติการทางสายพันธุ์เพื่อสร้าง โครโมโซมลูก และสุดท้ายคือการคัดเลือกโครโมโซม เริ่มต้นและโครโมโซมลูกที่ดีที่สุด n ลำดับแรก เพื่อสืบ ทอดเป็นประชากรรุ่นต่อไป, ข้อดีของจีเนติกอัลกอริทึมคือ มีกระบวนการเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน ซึ่งขั้นตอน เหล่านี้จะสนับสนุนให้จีเนติกอัลกอริทึมสามารถค้นพบ คำตอบที่มีความเหมาะสมหรือใกล้เคียงได้อย่างรวดเร็ว, วิธีการของจีเนติกอัลกอริทึมสามารถแสดงเป็นโครงสร้าง ได้ตามรูปที่ 3 และอธิบายเป็นขั้นตอนโดยสังเขปได้ดังนี้



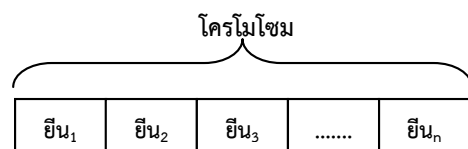
รูปที่ 3. โครงสร้างของจีเนติกอัลกอริทึม

3.1. การกำหนดวัตถุประสงค์ (Objective Function)

สิ่งแรกที่ต้องทำในการนำจีเนติกอัลกอริทึมไปใช้คือ การ กำหนดวัตถุประสงค์ ยกตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ จีเนติกอัลกอริทึมเพื่อค้นหาฟังก์ชันที่มีความเหมาะสม มากที่สุด หรือการประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมเพื่อค้นหา ระยะทางที่ใกล้ที่สุด เป็นต้น

3.2. การกำหนดค่าตัวแปร (Parameter Setting)

ตัวแปรที่ต้องกำหนดคือ 1) จำนวนโครโมโซมเริ่มต้น (Initial Chromosome) 2) ค่าความน่าจะเป็นใน การครอสโอเวอร์ (Crossover Probability) และ 3) ค่า ความน่าจะเป็นในการมิวเทชัน (Mutation Probability)



รูปที่ 4.1. โครงสร้างของโครโมโซม

1	1	0		1
---	---	---	-------	---

รูปที่ 4.2. โครงสร้างของโครโมโซมแบบเลขฐานสอง

3.3. การกำหนดโครโมโซมเริ่มต้น (Initial Chromosome)

การกำหนดโครโมโซมเริ่มต้น คือ การกำหนดโซลูชันของปัญหา โดยโซลูชันจะถูกแทนในรูปของโครโมโซม ภายในโครโมโซมจะประกอบด้วยยีนส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งโครโมโซมของแต่ละปัญหามีรูปแบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ สิ่งที่ต้องคำนึงในการกำหนดโครโมโซมเริ่มต้น คือ รูปแบบของยีนส์ภายในโครโมโซม ซึ่งสามารถกำหนดได้หลายแบบ เช่น เลขฐานสอง (Binary) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เลขจำนวนจริง (Real Number) ตัวอักษร (String) เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่นำเ็นดิกอัลกอริทึมไปประยุกต์

3.4. การประเมินความเหมาะสม (Evaluation Initial Chromosome)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซมเริ่มต้น โดยวิธีหาค่าความเหมาะสมจะขึ้นอยู่กับปัญหาที่นำเ็นดิกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ ยกตัวอย่าง เช่น การหาความเหมาะสมแบบค่ามากที่สุด และการหาความเหมาะสมแบบค่าน้อยที่สุด เป็นต้น

3.5. การคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่ (Parent Selection)

การคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่ (Parent Chromosome) เป็นขั้นตอนของการจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ที่มีความเหมาะสมเพื่อให้กำเนิดเป็นโครโมโซมลูก ซึ่งโครโมโซมพ่อแม่และแม่จะถูกคัดเลือกมาจากโครโมโซมเริ่มต้นตามค่าความเหมาะสม ทั้งนี้ Jinghui Zhong, Xiaomin Hu, Min Gu2 and Jun Zhang [7] ได้นำเสนองานวิจัยที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่ 2 วิธีคือ Tournament Selection และ Roulette wheel Selection โดยผลลัพธ์จากการทดสอบที่ได้พบว่า วิธีการ Tournament Selection มี

ประสิทธิภาพมากกว่า เพราะช่วยให้เ็นดิกอัลกอริทึมเ็นเข้าพบคำตอบที่มีความเหมาะสมได้เร็วกว่า ดังนั้นจึงสามารถอธิบายวิธีการคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่และแม่ทั้ง 2 วิธีได้ดังนี้

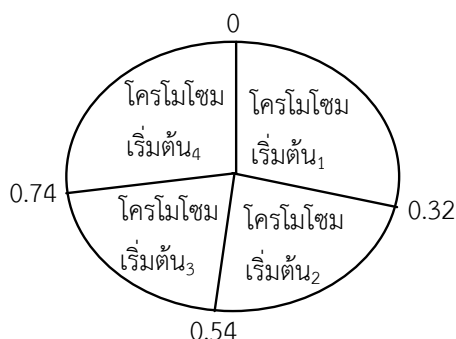
3.5.1. Tournament Selection

Tournament Selection เป็นวิธีการคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่โดยใช้หลักการแข่งขัน ซึ่งโครโมโซมพ่อแม่และแม่แต่ละคู่จะถูกเลือกมาโดยกระบวนการสุ่มจากโครโมโซมเริ่มต้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบเพื่อแข่งขันว่าโครโมโซมเริ่มต้นที่สุ่มเลือกมาตัวใดมีความเหมาะสมที่ดิกว่ากัน ซึ่งโครโมโซมที่เหมาะสมกว่าจะถูกเลือกมาเป็นโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นทำเช่นเดียวกันเพื่อเลือกโครโมโซมแม่ โดยจะทำการวิธีเช่นเดียวกันจนได้จำนวนโครโมโซมพ่อแม่และแม่เท่ากับจำนวนที่ใช้กำหนดไว้

3.5.2. Roulette wheel Selection

Roulette wheel Selection เป็นวิธีการคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่และแม่อีกวิธีหนึ่งที่นิยมถูกนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งรูเล็ตวิลจะประกอบด้วยช่องอยู่ภายในหลายๆช่อง โดยแต่ละช่องถูกแทนในความหมายของโครโมโซมเริ่มต้น ดังนั้นจำนวนช่องของรูเล็ตวิลจะเท่ากับจำนวนโครโมโซมเริ่มต้น และความกว้างของแต่ละช่องขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นที่โครโมโซมเริ่มต้นในช่องนั้นๆจะถูกเลือกให้เป็นโครโมโซมพ่อแม่และแม่ ค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละโครโมโซมจะถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่และแม่ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) โดย $Probability_i$ คือค่าความน่าจะเป็นที่โครโมโซมเริ่มต้นตัวที่ i จะถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่และแม่, $Fitness_i$ คือค่าความเหมาะสมของโครโมโซมเริ่มต้นตัวที่ i , และ n คือจำนวนโครโมโซมเริ่มต้นทั้งหมด

$$probability_i = \frac{Fitness_i}{\sum_{j=1}^n Fitness_j} \quad (1)$$

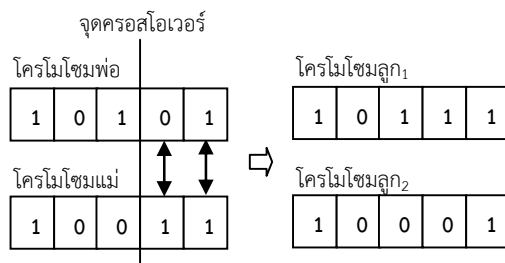


รูปที่ 5. ตัวอย่างวงล้อสุ่มเริ่มต้น

หลังจากทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นเสร็จสิ้นจะสามารถนำค่าความน่าจะเป็นที่ได้ มาสร้างรูเล็ตต์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งวิธีการสร้างโครโมโซมพ่อและแม่จากรูเล็ตต์ สามารถทำได้ด้วยการสุ่มค่าที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาหนึ่งค่า หากค่าที่สุ่มได้ตกอยู่ในช่องใดของรูเล็ตต์ ให้เลือกโครโมโซมที่อยู่ในช่องนั้นเป็นโครโมโซมพ่อและทำเช่นเดียวกันในการสร้างโครโมโซมแม่

3.6. การปฏิบัติการไขว้สลับ (Crossover)

ขั้นตอนการปฏิบัติการไขว้สลับ เป็นขั้นตอนที่สำคัญของจินตિકอัลกอริทึม ซึ่งมีหลักการคือการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเฉพาะของคู่โครโมโซมพ่อและแม่ เพื่อสร้างโครโมโซมลูกที่มีความแตกต่างและมีความหลากหลาย โดยกระบวนการไขว้กันของโครโมโซมพ่อและแม่ 1 คู่ จะสร้างให้เกิดโครโมโซมลูก 2 โครโมโซม วิธีการไขว้สลับของโครโมโซมพ่อและแม่โดยทั่วไปมีกระบวนการคือ ทำการกำหนด P_c ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยทั่วไปนิยมกำหนดให้มีค่าเข้าใกล้ 1 เพราะต้องการเพิ่มโอกาสให้เกิดความหลากหลายและแตกต่างในโครโมโซมลูก จากนั้นจะพิจารณากับโครโมโซมพ่อและแม่ทีละคู่ โดยการสุ่มค่าที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาหนึ่งค่า จากนั้นทำการพิจารณาว่าค่าที่สุ่มได้กับค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่



รูปที่ 6. ตัวอย่างวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

กำหนดไว้ โดยแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ 1) หากค่าที่สุ่มได้น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ให้ปฏิบัติการครอสโอเวอร์กับโครโมโซมพ่อและแม่คู่ นั้นตามวิธีที่ผู้ใช้เลือก 2) หากค่าที่สุ่มได้มากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์, จะไม่ปฏิบัติการครอสโอเวอร์กับโครโมโซมพ่อและแม่ แต่โครโมโซมพ่อและแม่จะถูกคัดลอกไปเป็นโครโมโซมลูกเลยตามลำดับ วิธีการครอสโอเวอร์สามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น

3.6.1. การครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

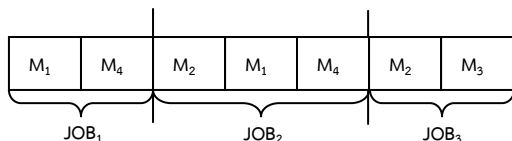
คือกระบวนการครอสโอเวอร์ที่จะทำการสุ่มตำแหน่งเพื่อครอสโอเวอร์ (Crossover Point) ขึ้นมาหนึ่งตำแหน่ง จากนั้นจะทำการสลับยีนส์ที่อยู่ในตำแหน่งหลังจุดครอสโอเวอร์ระหว่างโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ ดังแสดงในรูปที่ 6

3.7. การปฏิบัติการกลายพันธุ์ (Mutation)

การปฏิบัติการกลายพันธุ์ หรือ การมิวเทชันเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มคุณลักษณะพิเศษให้กับโครโมโซมลูก ซึ่งไม่พบคุณลักษณะพิเศษเหล่านี้ในโครโมโซมพ่อและแม่, โดยหลักการตามธรรมชาติ โอกาสที่จะเกิดการกลายพันธุ์มีน้อยมาก เนื่องจากกระบวนการกลายพันธุ์อาจจะส่งผลให้โครโมโซมลูกมีความเหมาะสมน้อยลง ดังนั้นในจินตિકอัลกอริทึมจึงนิยมเพิ่มโอกาสให้มีการเกิดกระบวนการนี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในขั้นตอนเริ่มต้น

O ₁₁	O ₁₂	O ₂₁	O ₂₂	O ₂₃	O ₃₁	O ₃₂
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

รูปที่ 7.1. โครโมโซมลำดับงานย่อย

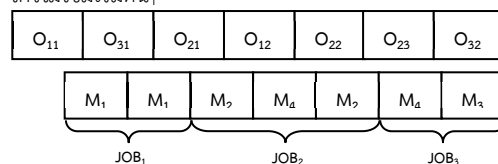


รูปที่ 7.2. โครโมโซมเครื่องจักรกล

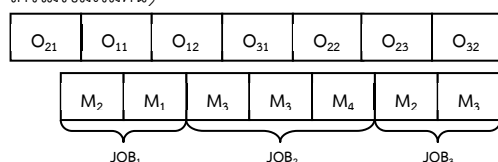
ของกระบวนการมิมิเทชันคือ การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละยีนส์ในโครโมโซมลูกจะถูกมิมิเทชัน (Mutation Probability ;P_m) โดยค่าความน่าจะเป็นในการมิมิเทชันจะถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และนิยมกำหนดให้มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ขั้นตอนการมิมิเทชันมีดังนี้ 1) พิจารณาเพื่อที่จะทำการมิมิเทชันกับทุกยีนส์ในโครโมโซมลูก โดยการสุ่มค่าที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาหนึ่งค่า หลังจากนั้นแบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ 1) ถ้าค่าที่สุ่มได้น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการมิมิเทชัน ให้ทำการมิมิเทชันกับยีนส์นั้นๆด้วยวิธีที่ผู้ใช้กำหนด 2) ถ้าค่าที่สุ่มได้มากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการมิมิเทชัน ยีนส์นั้นๆในโครโมโซมลูกจะคงเดิม

กระบวนการสุดท้ายของจีเนติกอัลกอริทึมคือ การคัดเลือกโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งโครโมโซมรุ่นใหม่จะถูกคัดเลือกจากโครโมโซมเริ่มต้นและโครโมโซมลูก โดยการเรียงลำดับคัดเลือกตามค่าความเหมาะสม โครโมโซมที่มีความเหมาะสมมากกว่าจะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งจำนวนของโครโมโซมรุ่นใหม่จะเท่ากับจำนวนของโครโมโซมเริ่มต้น

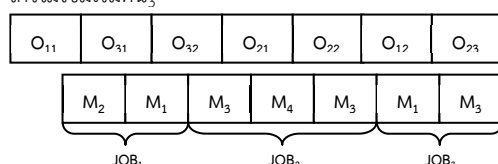
โครโมโซมเริ่มต้น₁



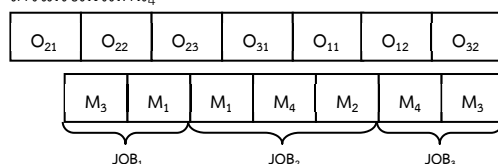
โครโมโซมเริ่มต้น₂



โครโมโซมเริ่มต้น₃



โครโมโซมเริ่มต้น₄



รูปที่ 8. ตัวอย่างโครโมโซมเริ่มต้น

4. การนำจีเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนาน

จีเนติกอัลกอริทึมถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานเพื่อ 1) เลือกเครื่องจักรกลให้มีความเหมาะสมกับงานย่อย 2) จัดลำดับงานย่อยบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ระยะเวลารวมในการดำเนินการผลิตน้อยที่สุด ทั้งนี้สามารถอธิบายการประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมได้ดังต่อไปนี้

4.1. การกำหนดรูปแบบของโครโมโซมเริ่มต้น

โครโมโซมจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) โครโมโซมงานย่อย โดยแต่ละยีนส์ภายในจะทำหน้าที่แทนลำดับของงานย่อย ดังแสดงในรูปที่ 7.1 และ 2) โครโมโซมของเครื่องจักรกล โดยแต่ละยีนส์คือเครื่องจักรกลที่ถูกเลือกซึ่งมีความสัมพันธ์กับงานหลัก ดังแสดงในรูปที่ 7.2

4.2. การสร้างโครโมโซมเริ่มต้น

โครโมโซมเริ่มต้นทั้งส่วนลำดับงานย่อยและส่วนเครื่องจักรกลจะถูกสร้างจากกระบวนการสุ่ม ตัวอย่างของโครโมโซมเริ่มต้นแสดงไว้ในรูปที่ 8

4.3. การหาค่าความเหมาะสม

การคำนวณหาโครโมโซมที่มีความเหมาะสม สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 เมื่อ $C_{\max}$ คือ เวลาแล้วเสร็จมากที่สุดของทุก JOB (maximum complete time of all jobs) และ C_i คือเวลาแล้วเสร็จของแต่ละ JOB_i (the complete time of job J_i)

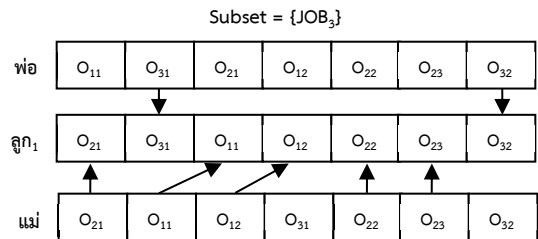
$$C_{\max} = \max_{1 \leq i \leq R} \{C_i\} \quad (2)$$

4.4. การคัดเลือกโครโมโซมพ่อและแม่

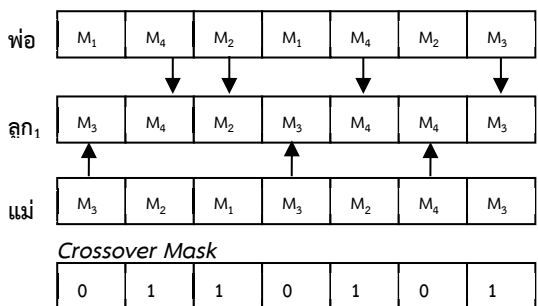
การคัดเลือกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ในปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานนั้นทำได้หลายวิธี จากตารางที่ 2 แสดงการคัดเลือกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ด้วยวิธี Tournament selection

4.5. การครอสโอเวอร์

กระบวนการครอสโอเวอร์โครโมโซมพ่อและแม่เพื่อสร้างโครโมโซมลูก สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนาน จะถูกแบ่งเป็น



รูปที่ 9. ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม



รูปที่ 10. ตัวอย่างวิธีการมิกซ์กับ โครโมโซมเครื่องจักรกลในกรณีค่า P_m เท่ากับ 0.01

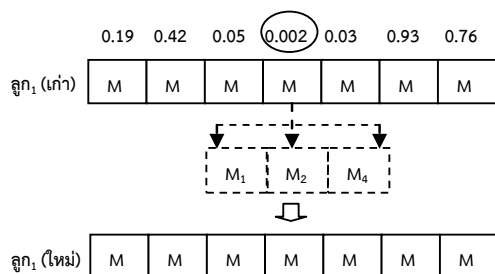
- 2 วิธีคือ 1) วิธีการครอสโอเวอร์สำหรับโครโมโซมส่วนลำดับงานย่อย เช่น วิธีการครอสโอเวอร์แบบ MPOX และ 2) วิธีการครอสโอเวอร์สำหรับโครโมโซมส่วนเครื่องจักร เช่น วิธีการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม อธิบายได้ดังนี้

4.5.1. การครอสโอเวอร์แบบ MPOX (A Modified precedence operation crossover Cross

MPOX Crossover จะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับโครโมโซมส่วนลำดับงานย่อย เพื่อสร้างโครโมโซมส่วนลำดับงานย่อยตัวใหม่ที่แตกต่างจากเดิม โดย MPOX Crossover จะคำนึงถึงความสัมพันธ์ของแต่ละยีนส์ภายในโครโมโซม โดย MPOX Crossover มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) สุ่มสร้าง subset ของ JOB 2) ยีนส์ในโครโมโซมพ่อจะถูกถ่ายทอดมายังโครโมโซมลูกในกรณีที่ยีนส์นั้นๆ ของโครโมโซมพ่อสอดคล้องกับสมาชิกใน subset ในกรณีตรงกันข้าม หาก

ตารางที่ 2. การคัดเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ด้วยวิธี Tournament Selection

โครโมโซมที่ สุ่มได้ครั้งที่ 1	ค่าความ เหมาะสม	โครโมโซมที่ สุ่มได้ครั้งที่ 2	ค่าความ เหมาะสม	โครโมโซมที่ชนะการ แข่งขัน	คู่โครโมโซม พ่อแม่
โครโมโซมเริ่มต้น ₂	20	โครโมโซมเริ่มต้น ₁	14	โครโมโซมเริ่มต้น ₁	โครโมโซม พ่อแม่คู่ที่ 1
โครโมโซมเริ่มต้น ₃	23	โครโมโซมเริ่มต้น ₂	20	โครโมโซมเริ่มต้น ₂	
โครโมโซมเริ่มต้น ₄	17	โครโมโซมเริ่มต้น ₂	20	โครโมโซมเริ่มต้น ₄	โครโมโซม พ่อแม่คู่ที่ 2
โครโมโซมเริ่มต้น ₃	23	โครโมโซมเริ่มต้น ₁	14	โครโมโซมเริ่มต้น ₁	



รูปที่ 11. ตัวอย่างวิธีการมิกซ์กับโครโมโซมเครื่องจักรกล เมื่อ $P_m = 0.01$

ยีนในโครโมโซมพ่อแม่ไม่สอดคล้องกับสมาชิกใน subset ยีนในโครโมโซมแม่จะถูกถ่ายทอดมายังโครโมโซมลูก แทน แสดงตัวอย่างได้ในรูปที่ 9

4.5.2. การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม (Uniform Crossover)

คือกระบวนการครอสโอเวอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับโครโมโซมส่วนเครื่องจักรกล เพื่อสร้างโครโมโซมส่วนเครื่องจักรกลตัวใหม่ที่แตกต่างจากเดิม โดยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์มีกระบวนการคือ การสร้างโครโมโซมที่ถูกเรียกว่า "Crossover mask" ขึ้นมาหนึ่งโครโมโซม ซึ่งภายใน Crossover mask จะประกอบด้วยยีนรูปแบบเลขฐานสองจำนวนเท่ากับยีนของโครโมโซมพ่อแม่และแม่

จากนั้นแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีดังนี้ 1) กรณีที่ยีนส์ของ crossover mask มีค่าเท่ากับ 1 ให้ทำการครอสโอเวอร์โดยการตัดลอกยีนส์ในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมพ่อแม่มาเป็นยีนส์ของโครโมโซมลูก 2) กรณีที่ยีนส์ของ crossover mask มีค่าเท่ากับ 0 ให้ทำการครอสโอเวอร์โดยตัดลอกยีนส์ในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมแม่มาเป็นยีนส์ของโครโมโซมลูก, ทั้งนี้สามารถสุ่มสร้าง crossover mask ใหม่ หรือจะใช้ crossover mask ตัวเดิมขึ้นอยู่กับผู้ใช้กำหนด [8] แสดงตัวอย่างในรูปที่ 10

4.6. การมิกซ์

การมิกซ์โครโมโซมลูกในปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานจะถูกแบ่งเป็น 2 วิธีคือ 1) วิธีการมิกซ์สำหรับโครโมโซมลำดับงานย่อย เช่น การสุ่มสลับตำแหน่งยีนส์ในโครโมโซมลูกจำนวน 2 ยีนส์ และ 2) วิธีการมิกซ์สำหรับโครโมโซมส่วนเครื่องจักร เช่น การสุ่มเลือกเครื่องจักรใหม่ [9] ดังแสดงในรูปที่ 11

หลังจากขั้นตอนการมิกซ์เสร็จสิ้น จะได้โครโมโซมลูกทั้งส่วนของลำดับงานย่อยและเครื่องจักรกล ขั้นตอนถัดไปที่ต้องทำคือ การคำนวณหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูก โดยโครโมโซมลูกและโครโมโซมเริ่มต้นจะถูกนำมาจัดเรียงตามลำดับความเหมาะสม และโครโมโซม

ตารางที่ 3. การทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดข้อมูล Brandimarte Data Set

Problem (BRData)	Jobs x Machines	Lower bound	GA [2]	eGA [3]	GA&PSO [4]	CGA [5]
MK01	10 x 6	36	40	40	40	40
MK02	10 x 6	24	26	26	26	26
MK03	15 x 8	204	204	204	204	204
MK04	15 x 8	48	60	60	60	60
MK05	15 x 4	168	173	173	173	173
MK06	10 x 15	33	63	58	60	58
MK07	20 x 5	133	139	144	140	142
MK08	20 x 10	523	523	523	523	523
MK09	20 x 10	299	311	307	307	307
MK10	20 x 15	165	212	198	205	201
% Avg.Dev.LB			17.53	<u>15.41</u>	16.14	15.44

ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะเป็นคำตอบของปัญหาการจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนาน

5. ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทุกงานวิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอกับข้อมูลมาตรฐานชุดเดียวกันชื่อ Brandimarte Data Set (BRData) ซึ่งประกอบด้วยชุดข้อมูลย่อย 10 ชุดดังแสดงในตารางที่ 3 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากขอบเขตล่างโดยเฉลี่ย(Percentage Deviation from Lower bound; % Avg.Dev.LB) แสดงให้เห็นว่างานวิจัยของ Guohui Zhang และเพื่อนๆ [3] ให้คำตอบที่

คลาดเคลื่อนจากขอบเขตล่างน้อยที่สุด คือ 15.41 % ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้จินตริกอัลกอริทึมร่วมกับวิธีการสร้างประชากรเริ่มต้นที่มีประสิทธิภาพ และเพิ่มความหลากหลายในขั้นตอนการครอสโอเวอร์และมิวเทชัน ช่วยสนับสนุนให้จินตริกอัลกอริทึมสามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานได้อย่างขึ้น

6. บทสรุป

เนื่องจากการจัดตารางงานของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นที่สามารถช่วยขับเคลื่อนให้เกิดรวดเร็วในกระบวนการผลิต มีอัลกอริทึมหลายวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์เพื่อ ใช้จัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานได้ โดยแต่ละวิธีล้วนมี

ข้อดีข้อด้อยที่ต่างกัน และเพื่อให้การพัฒนาวิธีการจัดตารางการผลิตมีประสิทธิภาพอย่างแท้จริง จึงควรพิจารณาข้อจำกัดต่างๆของวิธีการที่จะนำมาใช้ ซึ่งจีเนติกอัลกอริทึมเป็นอัลกอริทึมที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน และหลายงานวิจัยนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ก็ให้ผลลัพธ์ที่ดี ดังนั้นจึงการันตีได้ในระดับหนึ่งว่าวิธีนี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Davarzani *et al.*, “Multi objective Artificial Immune Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling Problem,” *Int. J. Hybrid Inform. Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 75-88, July. 2012.
- [2] F. Pezzella *et al.*, “A genetic algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem,” *Computers & Operations Research* 35, pp. 3202-3212, March. 2007.
- [3] G. Zhang *et al.*, “An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem,” *Expert Systems with Applications* 38, pp. 3563-3573, 2011.
- [4] J. Tang *et al.*, “A Hybrid Algorithm for Flexible Job-shop Scheduling Problem,” *Advance in Control Eng. and Inform. Sci., Procedia Eng.* 15, pp. 3678-3683, 2011.
- [5] L. Song, and X. Xu, “Flexible Job Shop Scheduling Problem Solving Based on Genetic Algorithm with Chaotic LocalSearch” *Int. Conf. Natural Computation*, vol. 6, pp. 2356 - 2360, 2010.
- [6] เขาวลิต หามนตรี. “การกำหนดตารางผลิต โดยใช้วิธีฮิวริสติกร่วมกับ เจเนติกอัลกอริทึม กรณีศึกษา แผนกโลหะแผ่นในโรงงานเครื่องจักรอัตโนมัติ”. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545).
- [7] J. Zhong, “Comparison of Performance between Different Selection Strategies on Simple Genetic Algorithms,” in *Proc. 2005 Int. Conf. Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation, and Int. Conf. on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce*, 2005.
- [8] L. Wang *et al.*, “An effective artificial bee colony algorithm for the flexible job- shop scheduling problem,” *Int. Journal Advance Manufacturing Technology*, vol. 60, pp. 303-315, 2012.
- [9] G. Zhang *et al.*, “A Genetic Algorithm and Tabu Search for Multi Objective Flexible Job Shop Scheduling Problems,” in *Int. Conf. Computing, Control and Industrial Eng.*, pp. 251-254, 2010.