บทที่ 9
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปงานวิจัยทั้งหมดโดยจะกล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานของวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึม รูปแบบและลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรแบบฟัซซี่ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า วิธีการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้กับปัญหาดังกล่าว ผลการทดสอบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึม การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมกับคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติก (CUC) และมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ในตอนท้ายของบท

9.1 ทฤษฎีพื้นฐานของวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึม

เจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบวิธีหนึ่ง โดยมีพื้นฐานจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ ข้อดีของวิธีนี้คือ เมื่อเปรียบเทียบกับการค้นหาแบบอื่นจะมีความเที่ยงตรงแม่นยำ (Accuracy) ความคงทน (Robustness) ต่อความไม่แน่นอน (Uncertainty) หรือคลุมเครือของปัญหา (Vague) และสามารถควบคุมได้ โดยมีความน่าเชื่อถือและค่าใช้จ่ายต่ำ

วิธีการค้นหาของวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมจะแตกต่างกับวิธีการค้นหาและการทำ Optimization แบบอื่นๆ คือ

- เจนเนติกอัลกอริทึมจะใช้งานโดยการเข้ารหัสสตริงเป็นชุดพารามิเตอร์
- เจนเนติกอัลกอริทึมทำการค้นหาจากทั้งประชากรไม่ใช่เพียงตำแหน่งๆเดียว
- เจนเนติกอัลกอริทึมจะใช้ข่าวสารที่เป็นผลลัพธ์ (ฟังก์ชันเป้าหมาย) โดยไม่ใช้การหาอนุพันธ์หรือความรู้อื่นๆ
- เจนเนติกอัลกอริทึมจะเป็นวิธี Probabilistic ไม่ใช่ Deterministic

ซึ่งจะมีวิธีการโอเปอร์เรเตอร์ต่างๆของเจนเนติกอัลกอริทึมได้แก่

- รีโปรดักชัน คือกระบวนการคัดเลือกสตริงมีความเหมาะสมสูงเพื่อเป็นคำตอบเริ่มต้นให้กับประชากรรุ่นต่อไป โดยอาศัยทฤษฎีของ ชาร์ล ดาร์วินที่ว่า สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่ามีโอกาสอยู่รอดในสภาวะนั้นๆได้มากกว่า
- การครอสโอเวอร์ คือกระบวนการสร้างสตริงลูกหลานใหม่ จากสตริงพ่อแม่ เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ
- การมิวเตชันคือ คือ กระบวนการที่ช่วยปรับปรุงสตริงให้ดีขึ้นหรือเลวลง เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ โดยการเปลี่ยนค่าในบางตำแหน่งของสตริง

โดยพารามิเตอร์ต่างๆของเจนเนติกอัลกอริทึมได้แก่

- จำนวนประชากร
- จำนวนเจนเนอเรชัน
- วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ
- วิธีการครอสโอเวอร์
- วิธีการมิวเตชัน
- ค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์
- ค่าความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน

9.2 รูปแบบและลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรแบบฟัซซี่ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า

งานวิจัยนี้จะนำวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้กับการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรแบบฟัซซี่ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า ซึ่งจะลักษณะของปัญหาเป็นการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาในการปรับตั้งของเครื่องจักรที่ไม่แน่นอน เวลาในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์จะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่เวลาในการปรับตั้งจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ก่อนหน้า อีกทั้งในความเป็นจริงเวลาในการปรับตั้งไม่สามารถที่จะทราบแน่นอนได้ว่าควรใช้เวลาเท่าใด แต่จะทราบเพียงคร่าวๆว่า เวลาในการปรับตั้งนั้นควรที่จะใช้เวลาประมาณเท่าใด ลักษณะเช่นนี้จะเป็นลักษณะของเวลาที่เรียกว่า “ฟัซซี่” เวลาของการปรับตั้งเครื่องจักรในแต่ละผลิตภัณฑ์จะแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ เวลาน้อยที่สุด เวลาเฉลี่ย และเวลามากที่สุดในการปรับตั้ง โดยมีลักษณะการกระจายของเวลาในการปรับตั้งแต่ละผลิตภัณฑ์เป็นรูปสามเหลี่ยม (Tri-angular)

เนื่องจากเวลาในการปรับตั้งมีลักษณะเป็นแบบฟัซซี่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเวลาในการปรับตั้งแบบฟัซซี่จะใช้ค่าของความพึงพอใจมาเป็นค่าวัตถุประสงค์ของของปัญหา เพื่อเปรียบเทียบ

คำตอบที่ดีที่สุด อย่างไรก็ดีลักษณะของเวลาในการปรับตั้งแบบฟัซซี่จากปัญหาตัวอย่างนี้ ค่าของความพึงพอใจไม่ใช่ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีในการเปรียบเทียบและขัดต่อหลักความจริงบางประการ เช่น เวลาการปรับตั้งโดยรวมอาจจะใช้เวลามาก แต่ค่าของความพึงพอใจสูง อันเนื่องมาจากรูปร่างและขนาดของเวลาการปรับตั้งแบบฟัซซี่มีลักษณะที่ไม่แน่นอนตามแต่ผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า ทำให้คำตอบที่ได้จากการใช้ค่าของความพึงพอใจเป็นตัวเปรียบเทียบอาจจะไม่สามารถลดเวลาในการปรับตั้งได้ ซึ่งผิดวัตถุประสงค์ในการลดเวลาในการปรับตั้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าวัตถุประสงค์หลักในการจัดตารางการผลิตคือ เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องรวม โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9.1

$$X_i = \sum_{j=1}^{m-1} T_{mean}(C_{(j)}, C_{(j+1)}) + T_{mean}(C_{(m)}, C_{(1)}) \qquad (9.1)$$

เมื่อ X_i คือ ค่าของเวลาเฉลี่ยของการปรับตั้งเครื่องจักรรวม

i คือ ลำดับที่ของคำตอบในการจัดตารางการผลิต (i=1,2,3,...)

m คือ จำนวนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ทำการจัดตารางการผลิต

j คือ ลำดับของผลิตภัณฑ์ในการจัดตารางการผลิต (j=1,2,3,...,m)

T_{mean} คือ เวลาเฉลี่ยของการปรับตั้งเครื่องจักรของแต่ละผลิตภัณฑ์

C คือ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตารางการผลิต C ตัวที่อยู่ข้างหน้าคือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จแล้ว ส่วน C ตัวที่อยู่ข้างหลังคือผลิตภัณฑ์ที่เริ่มทำการผลิต

และนำการจัดตารางการผลิตที่ได้จากวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึม ไปเปรียบเทียบคำตอบกับวิธีการจัดตารางการผลิตที่ได้จากวิธีการฮิวริสติก (CUC) เพื่อดูว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมควรนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในลักษณะดังงานวิจัยนี้มากน้อยเพียงใด

จากลักษณะของรูปแบบปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการพัฒนาวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรแบบฟัซซี่ โดยจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

9.3 เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งแบบฟัซซี่ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า

ในการพัฒนาเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ ควรจะมีการตรวจสอบดูว่า เจนเนติกอัลกอริทึมสามารถนำมาใช้จัดการกับปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ จึงต้องมีการทดสอบและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหานั้นๆเสียก่อน

9.3.1 การพัฒนาเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งแบบฟัซซี่ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า

การพัฒนาเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ที่เสนอ มีวิธีการตามขั้นตอนของ เจนเนติกอัลกอริทึมโดยสรุปดังนี้ คือ

- **การใส่รหัสคำตอบ**

การใส่รหัสคำตอบเป็นขั้นตอนแรกของเจนเนติกอัลกอริทึมซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีผลอย่างมากต่อขั้นตอนอื่นๆของเจนเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากการใส่รหัสคำตอบจะเป็นการเปลี่ยนรูปแบบของปัญหาให้อยู่ในรูปสตริงคำตอบตามแบบของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อที่จะนำไปพัฒนาคำตอบในขั้นตอนต่อไป

สำหรับการใส่รหัสคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ จะมีการใส่รหัสคำตอบแบบ Non-binary String ซึ่งสตริงของคำตอบจะมีลักษณะเป็นลำดับของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตในการจัดตารางการผลิต

- **การสร้างประชากรเบื้องต้น**

การสร้างประชากรเบื้องต้น จะเป็นกลุ่มของสตริงคำตอบเริ่มต้น ที่ได้มาจากการใส่รหัสคำตอบของคำตอบที่หลากหลาย ในขั้นตอนนี้จะมีส่วนสำคัญ

ในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากหากประชากรเริ่มต้นมีจำนวนที่มาก การค้นหาคำตอบก็จะสามารถเจอคำตอบที่ดีภายในเจนเนอเรชันที่น้อย

สำหรับการสร้างประชากรเบื้องต้นของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ จะมีการสร้างประชากรเริ่มต้นที่หลากหลายโดยจะไม่เกิดการซ้ำกันของสตริงคำตอบ และสตริงคำตอบนี้จะต้องไม่เป็นสตริงคำตอบเดียวกันตามหลักของการจัดตารางการผลิตแบบเป็นรอบ (Cyclic)

- **การรีโปรดักชัน**

ในการรีโปรดักชันจะประกอบไปด้วยการถอดรหัส การประเมินค่า และการคัดเลือก

- *การถอดรหัส* จะเป็นการนำรหัสคำตอบในสตริงแต่ละสตริงคำตอบมาเปลี่ยนให้เป็นคำตอบตามแบบของลักษณะปัญหาเพื่อสามารถเข้าใจและหาคำตอบที่ต้องการได้ง่าย และยังสื่อความหมายของคำตอบได้ชัดเจนกว่าอยู่ในรูปของสตริงคำตอบ

  สำหรับการถอดรหัสคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ สตริงคำตอบที่ได้ก็จะเป็นลำดับของการจัดตารางการผลิต นอกจากนี้ยังให้ค่าของ เวลาการปรับตั้งของเครื่องจักรรวม (เวลาที่น้อยที่สุด เวลาเฉลี่ย และเวลาที่มากที่สุด) และค่าพิสัยของเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร รวมทั้งตรวจสอบสตริงคำตอบว่าสตริงคำตอบนี้จะเป็นสตริงคำตอบเดียวกันตามหลักของการจัดตารางการผลิตแบบเป็นรอบหรือไม่ (ซึ่งในขั้นตอนการตรวจสอบสตริงนี้จะกระทำเฉพาะในขั้นตอนของการสร้างประชากรเบื้องต้นเท่านั้น)

- *การประเมินค่า* เป็นการนำเอาค่าวัตถุประสงค์ที่สนใจมาเปลี่ยนค่าให้อยู่ในรูปของค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบที่จะสามารถอยู่รอดต่อไปตามหลักของเจนเนติกอัลกอริทึม

สำหรับการประเมินค่าของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ จะใช้ค่าของเวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งรวมเป็นค่าวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 9.1 แล้วนำค่าวัตถุประสงค์มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบที่เรียกว่า Fitness Value เพื่อในไปใช้ในขั้นตอนของการคัดเลือกสตริงคำตอบต่อไป

- *การคัดเลือกสตริงคำตอบ* เป็นการคัดเลือกสตริงตามทฤษฎีการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต สตริงที่มีความเหมาะสมมากกว่าจะผ่านเข้าไปในกระบวนการถัดไปของเจนเนติกอัลกอริทึมโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม

สำหรับการประเมินค่าของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ จะมีวิธีการคัดเลือกที่ใช้ 2 วิธี คือ วิธี Roulette Wheel Selection ซึ่งจะสุ่มสตริงคำตอบให้ผ่านเข้าไปในกระบวนการถัดไปของเจนเนติกอัลกอริทึมโดยสตริงคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่มากกว่า ก็จะมีโอกาสมากกว่าในการผ่านเข้าไปในกระบวนการถัดไป และวิธี Tournament Selection ซึ่งจะสุ่มสตริงคำตอบมา 2 ตัวแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน สตริงตัวที่มีความเหมาะสมมากกว่าจะถูกเลือกไป

- **การครอสโอเวอร์**

การครอสโอเวอร์เป็นการแลกเปลี่ยนบางส่วนของสตริงคำตอบระหว่างสตริงคำตอบสองตัว เพื่อให้สตริงคำตอบมีการพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของเจนเนติกอัลกอริทึม สตริงจะถูกเลือกมาด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เพื่อนำมาจับคู่และทำการครอสโอเวอร์ตามวิธีต่างๆ

สำหรับการวิธีครอสโอเวอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี คือ

- MOX *(Modified One-Point Crossover)* เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากการ ครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวแบบธรรมดา โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ (*Xp*) ขึ้นมา 1 ตำแหน่ง ส่วนหัวหรือ *gene* ในตำแหน่งแรกจนถึง *Xp-1* ของสตริงลูก แต่ละตัว จะได้มาจาก *gene* ในตำแหน่งเดียวกันของสตริงพ่อแม่ตัวหนึ่ง ส่วนหางของสตริงลูกจะได้มาจากสตริงพ่อแม่อีกตัวที่ถูกตัด *gene* ที่ซ้ำกับ *gene* ที่อยู่ในส่วนหัวของสตริงลูก ตัวนั้นออกแล้ว

- PMX *(Partial-Mapped Crossover)* วิธีนี้จะเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ขึ้นมา 2 ตำแหน่ง *gene* ที่อยู่ในช่วงของตำแหน่งทั้งสองจะเรียกว่าเป็นสตริงย่อย สตริงลูกได้จากสตริงพ่อและแม่จะถูกแลกเปลี่ยนสตริงย่อยกัน หลังการแลกเปลี่ยน ถ้า *gene* ในสตริงย่อยซ้ำกับ *gene* ตัวอื่นในสตริงลูก ให้แทน *gene* ตัวอื่นที่ซ้ำด้วย *gene* ของสตริงย่อยอีกตัวที่อยู่ในตำแหน่งตรงกันของ *gene* ในสตริงย่อยที่มี *gene* อื่นซ้ำ

- CX *(Cycle Crossover)* เริ่มต้นโดยพิจารณาว่าตำแหน่งเริ่มต้นของสตริงพ่อมีค่าเท่าไร หากในตำแหน่งเดียวกันนี้ของสตริงแม่มีค่าไม่เท่ากัน ให้คงค่าในตำแหน่งนี้ของสตริงพ่อแม่ไว้ จากนั้นหาว่าตำแหน่งใดของสตริงพ่อมีค่าเท่ากับค่าในสตริงแม่ในตำแหน่งที่ผ่านมา แล้วพิจารณาว่าในตำแหน่งดังกล่าวของสตริงแม่มีค่าเท่ากับค่าในตำแหน่งเริ่มต้นของสตริงพ่อหรือไม่ หากมีค่าไม่เท่ากันให้คงค่าของสตริงพ่อแม่ในตำแหน่งดังกล่าวไว้ และทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวจนพบตำแหน่งในสตริงแม่ที่มีค่าเท่ากับค่าในตำแหน่งเริ่มต้นของสตริงพ่อ จากนั้นให้ทำการสลับที่ระหว่างค่าในตำแหน่งที่ไม่ผ่านขั้นตอนขั้นต้นของสตริงพ่อแม่

- OX *(Order Crossover)* วิธีนี้คล้ายกับวิธี PMX ตรงที่ต้องเลือกสตริงย่อยอย่างสุ่มมาจากสตริงพ่อแล้วคัดลอกลงไปยัง สตริงลูกเบื้องต้นในตำแหน่งเดียวกัน แล้วลบงานที่ปรากฏอยู่ในสตริงลูกเบื้องต้นแล้วออกจากสตริงแม่ จากนั้นนำงานที่เหลือในสตริงแม่มาใส่ในตำแหน่งที่ยังว่างของ สตริงลูกเบื้องต้นตัวนั้นตามลำดับจากซ้ายไปขวา

- PBX *(Position-Base Crossover)* เลือกตำแหน่งครอสโอเวอร์จากสตริงพ่ออย่างสุ่ม แล้วนำค่าในตำแหน่งที่เลือกของสตริงพ่อ ไปใส่ในตำแหน่งเดียวกันในสตริงลูก ตัดค่าที่อยู่ตรงตำแหน่งตำแหน่งครอสโอเวอร์ที่เลือกของสตริงพ่อออกจากสตริงแม่ นำค่าที่เหลืออยู่ในสตริงแม่ มาใส่ในสตริงลูกเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา

■ **การมิวเตชัน**

เป็นการสับเปลี่ยนบางตำแหน่งภายในสตริงคำตอบตัวเดียว เพื่อป้องกันไม่ให้คำตอบที่ได้ติดอยู่ในค่า Local Optimal และทำให้สตริงคำตอบเกิดความหลากหลายในการพัฒนาคำตอบ สตริงจะถูกเลือกมาด้วยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเพื่อมาทำการมิวเตชันตามวิธีการต่างๆ

สำหรับวิธีการมิวเตชั่นของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี คือ

- *Inversion Mutation* เลือกสตริงย่อยที่มีความยาวไม่เกินความยาวของสตริงคำตอบ จากนั้นทำการกลับตำแหน่งของ *gene* ที่เรียงกันภายในสตริงย่อยจากซ้ายมาขวาเป็นจากขวาไปซ้าย ส่วนสตริงอื่นภายในสตริงคำตอบยังคงเดิม

- *Insertion Mutation* เลือก *gene* ภายในสตริงคำตอบโดยการสุ่มมา 1 ตัว แล้วทำการสุ่มตำแหน่งที่จะนำ *gene* ไปแทรก จากนั้นนำ *gene* ดังกล่าวไปแทรกไว้ในตำแหน่งที่ทำการสุ่มภายในสตริงคำตอบเดียวกัน แล้วขยับ *gene* ที่เหลือไปยังตำแหน่งถัดไป

- *Displacement Mutation* เลือกสตริงย่อยที่มีความยาวไม่เกินความยาวของสตริงคำตอบ แล้วทำการสุ่มตำแหน่งที่จะนำสตริงย่อยนั้นไปแทรก จากนั้นนำสตริงย่อยไปแทรกไว้ในตำแหน่งสุ่มดังกล่าวภายในสตริงคำตอบเดียวกัน หากเราเลือกสตริงย่อยเป็น *gene* เพียงตัวเดียว วิธีการนี้จะกลายเป็นวิธี *Insertion Mutation*

- *Reciprocal Exchange Mutation* วิธีการนี้เป็นการสลับตำแหน่งของ *gene* ภายในสตริงคำตอบเดียวกัน ซึ่งจะทำการสลับ *gene* เป็นคู่ๆโดยการสุ่ม

- **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด**

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดเป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อรักษาคำตอบที่ดีให้คงอยู่ต่อไปในเจนเนอเรชันหน้า ในการเก็บค่าที่ดีที่สุดจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระหว่างกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม 3 ครั้ง คือ

- *Initial Elite Preserve Strategy*

เป็นจุดเริ่มต้นของเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดและเป็นการเก็บค่าที่ดีที่สุดครั้งแรกสำหรับกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม เพื่อเก็บค่าที่ดีที่สุดจากคำตอบของสตริงคำตอบในการสร้างประชากรเบื้องต้น ซึ่งกันสตริงคำตอบที่ดีที่สุดหลุดจากประชากรหลังจากทำการคัดเลือกสตริงคำตอบ โดยจะกระทำเพียงครั้งเดียวภายหลังจากการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น และเก็บไว้เป็นสตริงคำตอบ Elite Preserve Solution

- *Post-crossover Elite Preserve Strategy*

เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่ใช้ภายหลังจากที่เสร็จสิ้นกระบวนการครอสโอเวอร์แล้ว เพื่อกันสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการครอสโอเวอร์สูญหายหลังจากการนำไปมิวเตชันการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดนี้จะนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากการครอสโอเวอร์ไปเปรียบเทียบกับสตริงคำตอบ Elite Preserve Solution หากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการครอสโอเวอร์นี้จะถูกเก็บไว้เป็น สตริงคำตอบ Elite Preserve Solution แทนสตริงคำตอบตัวเดิม แต่หากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการครอสโอเวอร์ไม่ได้ดีกว่าสตริงคำตอบ Elite Preserve Solution ก็ให้สตริงคำตอบ Elite Preserve Solution เป็นสตริงคำตอบตัวเดิมต่อไป

- *Elite Preserve Strategy of Generation*

เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่ใช้ภายหลังการมิวเตชัน เพื่อช่วยให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่เคยปรากฏขึ้นมายังคงมีอยู่ในเจนเนอเรชันต่อไป และยังป้องกันการสูญเสียสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากการมิวเตชันจากทำการคัดเลือกสตริงคำตอบในเจนเนอเรชันถัดไป การเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดนี้จะนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากการมิวเตชันไปเปรียบเทียบกับสตริงคำตอบ Elite Preserve Solution หากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการมิวเตชันเป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่า สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการมิวเตชันนี้จะถูกเก็บไว้เป็น สตริงคำตอบ Elite Preserve Solution แทนสตริงคำตอบตัวเดิม แต่หากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการมิวเตชันไม่ได้ดีกว่าสตริงคำตอบ Elite Preserve Solution สตริงคำตอบที่แย่ที่สุดภายหลังจากการทำมิวเตชันจะต้องถูกแทนที่ด้วย สตริงคำตอบ Elite Preserve Solution ก่อนจะไปสู่ในเจนเนอเรชันถัดไป

สำหรับเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ จะใช้ค่าวัตถุประสงค์ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นค่าของเวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งรวมและค่าพิสัยในการปรับตั้ง เป็นตัวกำหนดว่าสตริงคำตอบใดจะมีค่าดีหรือแย่กว่ากัน โดยสตริงคำตอบใดที่มีค่าของเวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งรวม (ซึ่งถือว่าเป็นค่าวัตถุประสงค์หลัก) ต่ำกว่า จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่า หากสตริงคำตอบใดที่มีค่าของเวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งรวมเท่ากัน แต่ไม่ได้เป็นสตริงคำตอบเดียวกัน ก็จะพิจารณาจากช่วงเวลาในการปรับตั้ง (ซึ่งถือว่าเป็นค่าวัตถุประสงค์รองลงมา) หากสตริงคำตอบใดที่มีช่วงเวลาในการปรับตั้งน้อยกว่า ก็จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่า

จากการพัฒนาเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหาตัวอย่างในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้วิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพสูงสุดในการค้นหาคำตอบ ซึ่งก็คือจำเป็นที่ต้องหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาตัวอย่างในขนาดต่างๆ

9.3.2 การทดสอบและหาค่าพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึมที่เหมาะสม

ในกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึมมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายค่า การเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหา จะทำให้วิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงต้องมีการทดสอบเพื่อดูว่าพารามิเตอร์ตัวใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมทำการทดลองตามวิธีของ Experimental Design โดยแบ่งการทดลอง เป็น 3 ส่วน คือ การทำ Pilot Run สำหรับค่าค่าเจนเนอเรชันที่เหมาะสม การทำ One-Factor-at-a-Time เพื่อหาค่า ระดับของปัจจัยที่ไม่คงที่ และการทำการทดลองแบบ Full Factorial Design เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาต่างๆทั้งหมด ซึ่งมีปัจจัยที่พิจารณาคือจำนวนประชากร วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ วิธีครอสโอเวอร์ วิธีการมิวเตชัน ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน

สำหรับการทดสอบและหาค่าพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึมที่เหมาะสมในปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ จะทำการทดสอบปัญหาตัวอย่าง 3 ปัญหาคือ ปัญหาผลิตภัณฑ์ 10 20 และ 30 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนของปัญหาขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA และ Fisher's Least Significant Difference Method ที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95 จะได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อเจนเนติกอัลกอริทึม คือ จำนวนประชากร วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ วิธีครอสโอเวอร์ วิธีการมิวเตชัน ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน และได้เสนอค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละขนาดปัญหาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้งาน

9.3.3 ผลการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในแก้ไขปัญหา

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการหาคำตอบของตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีเวลาแบบฟัซซี่ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาตัวอย่าง จะได้ว่าแนวโน้มของผลลัพธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับทฤษฎีของเจนเนติกอัลกอริทึมทั่วๆไป คือในตอนแรกๆค่าจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปสักระยะ ค่าจะลู่เข้าสู่ค่าๆหนึ่งและคงที่จนกว่าจะถึงเงื่อนไขในการหยุด

เมื่อนำคำตอบที่ได้จากวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธี CUC จะได้ว่าค่าวัตถุประสงค์หลัก (เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้ง) ของปัญหาตัวอย่างที่

ได้จากคำตอบของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมจะมีค่าที่ดีกว่าคำตอบที่ได้จาก CUC ในทุกขนาดของปัญหา

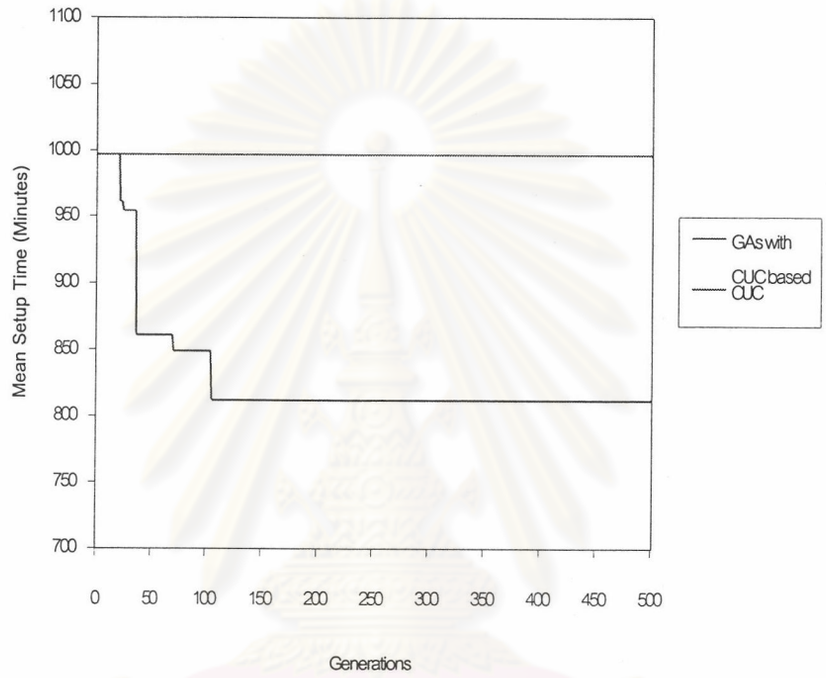
เนื่องจากวิธี CUC ยังมีข้อจำกัดเพราะในการจัดตารางการผลิตโดย วิธี CUC นี้ไม่ได้มองลำดับทั้งหมดแต่จะมองการจัดลำดับทีละลำดับ ทำให้เวลาการปรับตั้งที่สั้นๆจะอยู่ที่ลำดับต้นๆ ส่วนลำดับปลายๆอาจจะมีเวลาการปรับตั้งที่ไม่ใช่เวลาการปรับตั้งที่สั้นที่สุด ทั้งนี้ก็เพราะผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดเวลาการปรับตั้งที่สั้นที่สุดอาจจะถูกจัดไว้แล้วในลำดับต้นๆ ซึ่งวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมไม่มีข้อจำกัดทางด้านนี้ ทำให้วิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถหาคำตอบที่ดีกว่าได้ในทุกปัญหา

โดยสรุปแล้ว เจนเนติกอัลกอริทึมสามารถนำมาใช้จัดการกับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าและมีเวลาแบบฟัซซี่ได้ดี และมีประสิทธิภาพ แต่ทั้งนี้จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของเจนเนติกอัลกอริทึม

9.4 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเจนเนติกอัลกอริทึมมีความไวต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาเสียก่อน โดยอาจนำเอาวิธีทดสอบ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่เสนอในงานวิจัยไปใช้เป็นแนวทางได้
2. การจัดตารางการผลิตโดยดูเวลาเฉพาะการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นหลัก อาจจะทำให้วัตถุประสงค์อื่น เช่น การส่งงานไม่ทันกำหนดเวลา ได้รับผลกระทบที่ไม่ดีจากการจัดตารางการผลิตแบบนี้ จึงควรพิจารณาวัตถุประสงค์หลายๆด้าน
3. การจัดตารางการผลิตโดยดูเวลาเฉพาะการปรับตั้งเครื่องจักร ไม่ควรทำหากเวลาที่ใช้ในการผลิตจริงของแต่ละผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน หรือใช้เวลาต่างกันมากๆ เนื่องจากเวลาในการปรับตั้งจะมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการผลิตจริงของแต่ละผลิตภัณฑ์
4. โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ไม่สามารถสร้าง User Interface ที่ใช้งานง่ายได้ ดังนั้นอาจมีการพัฒนาโดยการใช้โปรแกรมอื่นสร้าง User Interface แล้วค่อยนำมาเชื่อมต่อเข้ากับโปรแกรม MATLAB ที่เขียนขึ้น
5. ในการหาคำตอบด้วยเจนเนติกอัลกอริทึม กระบวนการ Initialization นับว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมาก ถ้าหากสตริงคำตอบเบื้องต้นที่สร้างเป็นสตริงที่ดีก็จะทำให้การหาคำตอบทำได้รวดเร็วและได้ผลที่ดี ดังนั้นในการนำเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้งานควรระมัดระวังในการกำหนดวิธี Initialization เพื่อให้สามารถสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นที่ดีได้

6. ในกระบวนการ Initialization หากนำคำตอบที่ได้จากวิธี Heuristic มาเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้นจะสามารถทำให้ลดเวลาในการค้นหาคำตอบได้ แต่อย่างไรก็ดีในบางครั้งการนำ Heuristic มาเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้น อาจจะทำให้คำตอบที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากคำตอบที่ได้อาจจะติดอยู่ใน Local Optimal เนื่องจากการลดลงของคำตอบที่เร็วเกินไป ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของผลิตภัณฑ์ 20 ผลิตภัณฑ์ หากนำคำตอบที่ได้จากวิธีการ Heuristic ในบทที่ 8 มาเป็นหนึ่งในสตริงคำตอบเบื้องต้น จะได้ผลการค้นหาคำตอบดังรูปที่ 9.1



รูปที่ 9.1 *กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งระหว่างคำตอบที่ได้จาก GAs โดยมีสตริงคำตอบเบื้องต้นจากวิธี CUC กับ CUC สำหรับปัญหาตัวอย่าง 20 ผลิตภัณฑ์*

จากรูปที่ 9.1 จะได้ลักษณะการจัดตารางการผลิตของปัญหาตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 20 ผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

1) มีลำดับการจัดตารางการผลิต 10-14-17-8-12-4-11-19-18-1-20-13-3-7-9-6-16-2-15-5-10
2) เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งรวมเท่ากับ 812 นาที
3) ช่วงเวลาในการปรับตั้งเท่ากับ 162 นาที
4) เวลาที่ใช้ (น้อยที่สุด,เฉลี่ย,มากที่สุด) (728,812,890) นาที

จะเห็นได้ว่าคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมโดยมีคำตอบที่ได้จากวิธีการ Heuristic มาเป็นหนึ่งในสตริงคำตอบเบื้องต้น จะมีค่าเริ่มแรกที่เท่ากับการหาคำตอบด้วย

วิธี Heuristic แต่เมื่อเวลาผ่านไป คำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมจะมีค่าที่น้อยกว่าค่าเริ่มต้นถึง 18.6 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีการนี้ได้รวดเร็วกว่าการใช้สตริงคำตอบเบื้องต้นโดยไม่มีคำตอบที่ได้จาก Heuristic เป็นสตริงคำตอบเริ่มต้น

อย่างไรก็ดีเมื่อนำคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมที่ได้นำคำตอบที่ได้จากวิธีการ Heuristic มาเป็นหนึ่งในสตริงคำตอบเบื้องต้น ไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมที่ไม่ได้นำคำตอบที่ได้จากวิธีการ Heuristic มาเป็นหนึ่งในสตริงคำตอบเบื้องต้น พบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมที่ไม่ได้นำคำตอบที่ได้จากวิธีการ Heuristic มาเป็นหนึ่งในสตริงคำตอบเบื้องต้น จะมีค่าเฉลี่ยของเวลาในการปรับตั้งที่น้อยกว่า เนื่องจากคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมที่ได้นำคำตอบที่ได้จากวิธีการ Heuristic มาเป็นหนึ่งในสตริงคำตอบเบื้องต้น มีการลดลงของคำตอบที่เร็วไป ทำให้ติดอยู่ใน Local Optimal

9.5 ข้อจำกัดของโปรแกรม

เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้เป็นโปรแกรมประยุกต์ซึ่งสามารถนำไปดัดแปลงหรือใช้งานข้อจำกัดของโปรแกรมในงานวิจัยนี้จึงขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์รวมทั้ง Operator System ที่ใช้กับโปรแกรมชนิดนี้

นอกจากนี้โปรแกรมการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาในการปรับตั้งแบบฟัซซี่ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า จะใช้ได้เฉพาะลักษณะของงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับปัญหาตัวอย่างกล่าวคือ

- การจัดตารางการผลิตจะทำได้เฉพาะในการจัดตารางการผลิตให้กับเครื่องจักรเครื่องเดียวที่ผลิตผลิตภัณฑ์หลายผลิตภัณฑ์
- การจัดลำดับของผลิตภัณฑ์ภัณฑ์ที่จะทำการผลิตจะเป็นแบบ Cyclic
- เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และมีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม (Tri-angular Distribution)
- ลักษณะของเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องเป็นแบบฟัซซี่ ซึ่งรู้เวลาน้อยที่สุด เวลาเฉลี่ย และเวลามากที่สุดในการปรับตั้งที่สามารถเป็นไปได้
- การจัดตารางการผลิตที่ได้จากโปรแกรมจะพิจารณาเฉพาะวัตถุประสงค์ในการลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรเท่านั้น