บทที่ 6

การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาการออกแบบ ผังโรงงาน

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงการประยุกต์เจนเนติกอัลกอริทึม กับปัญหาการออกแบบผังโรงงานที่มีรูปร่างไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยพิจารณาทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพ (Multi-Objective) ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนต่างๆของเจนเนติกอัลกอริทึมอย่างละเอียด

6.1 ลักษณะของปัญหาการออกแบบผังโรงงานที่รูปร่างของผังโรงงานไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

6.1.1 ขอบเขตของปัญหา

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงาน ที่รูปร่างของผังโรงงานไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยที่แต่ละแผนกมีพื้นที่ไม่เท่ากัน และมีพื้นที่ตายตัวบรรจุอยู่ รวมถึงกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่คงที่ของแผนกได้ มีขอบเขตดังต่อไปนี้

- ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดวางผังโรงงานแบบกระบวนการผลิต โดยผู้ออกแบบสามารถกำหนดรูปร่างและพื้นที่ของโรงงาน พื้นที่ตายตัว และแผนก รวมถึงสามารถกำหนดที่ตั้งของแผนกและพื้นที่ตายตัว

- ปัญหาที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ
  - ปัญหาที่มีข้อมูลการไหลของวัสดุเป็นค่าคงที่
  - ปัญหาที่มีข้อมูลการไหลของวัสดุเป็นแบบฟัซซี่

- ผังโรงงานที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 โดยปัญหาในที่มีข้อมูลการไหลของวัสดุเป็นค่าคงที่ จะทำการพิจารณาผังโรงงานทั้ง 2 รูปแบบ มีรายละเอียด คือ ผังโรงงานรูปที่ 1.1 จะใช้กับปัญหาที่ประกอบด้วยจำนวนแผนก 6 และ 10 แผนก และผังโรงงานรูปที่ 1.2 จะใช้กับปัญหาที่มีจำนวน 20 แผนก สำหรับปัญหาในที่มีข้อมูลการไหลของวัสดุเป็นแบบฟัซซี่ จะทำการพิจารณาผังโรงงานเพียงรูปแบบเดียว คือ ผังโรงงานในรูปที่ 1.1

- พื้นที่ตายตัว เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถวางพื้นที่ของแผนกใดๆได้ โดยพื้นที่นี้ในการวางผังโรงงานในขั้นต้นจะไม่รวมอยู่ในการวิเคราะห์ แต่เมื่อได้ผังโรงงานคำตอบแล้ว จะนำพื้นที่ดังกล่าวรวมเพื่อพิจารณาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ลักษณะของพื้นที่ตายตัวมีรายละเอียด ดังนี้
  - ต้องมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก และมีจำนวนไม่เกิน 4 พื้นที่
  - ต้องอยู่ภายในพื้นที่ของผังโรงงาน โดยที่ด้านยาว และด้านกว้างจะต้องน้อยกว่าด้านที่สั้นที่สุดของผังโรงงาน

- แผนก จำนวนแผนกที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 6, 10, และ 20 แผนกสำหรับปัญหาที่มีข้อมูลการไหลเป็นค่าคงที่ และ 15 แผนกสำหรับปัญหาที่มีข้อมูลการไหลเป็นแบบฟัซซี่ ข้อกำหนดของแผนกมีรายละเอียด ดังนี้

  - พื้นที่รวมของแผนกทั้งหมดต้องไม่มากกว่าพื้นที่โรงงาน
  - พื้นที่ของแต่ละแผนกที่สร้างขึ้น จะมีพื้นที่ที่เล็กที่สุดบรรจุอยู่ (เปรียบเสมือนพื้นที่ของเครื่องจักรที่จำเป็น)
  - การสร้างแผนกแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ
    1. สร้างโดยกำหนดความต้องการพื้นที่สำหรับแผนกนั้นๆ
    2. สร้างโดยกำหนดรูปร่างของแผนก เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะถือเป็นพื้นที่ที่เล็กที่สุด ซึ่งการสร้างด้วยวิธีนี้มีจำนวนแผนกที่สร้างได้ไม่เกิน 2 แผนก
  - แต่ละแผนกสามารถกำหนดที่ตั้งที่คงที่ได้ โดยการกำหนดจุดที่ต้องการคงที่ ซึ่งในการจัดวางผังโรงงานแผนกที่ถูกระบุให้มีที่ตั้งคงที่ ต้องมีพื้นที่ครอบคลุมจุดที่ต้องการคงที่ของแผนกนั้นๆ โดยมีจำนวนไม่เกิน 4 แผนก และต้องไม่ใช่แผนกที่มีรูปร่างคงที่
  - พื้นที่ของแผนกที่สร้างขึ้นจะต้องคำนึงถึงทางเดินระหว่างแผนก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ไม่มีแผนกใดๆ ในโรงงานใช้พื้นที่เดียวกัน หรือสร้างขึ้นซ้อนทับกัน หรือสร้างขึ้นซ้อนทับพื้นที่ตายตัว พื้นที่ของแต่ละแผนกต้องติดกันเป็นพื้นที่เดียวกัน และไม่มีพื้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของแผนกอยู่นอกพื้นที่โรงงาน
- ด้านที่ยาวที่สุดของแต่ละแผนกต้องน้อยกว่าด้านที่สั้นที่สุดของผังโรงงาน

6.1.2 ข้อมูลที่ใช้พิจารณา

การแก้ปัญหาการจัดวางผังโรงงาน จะพิจารณาทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพ คือเป็นการจัดวางผังโรงงานแบบหลายวัตถุประสงค์ มีรายละเอียด ดังนี้

6.1.2.1 ข้อมูลเชิงปริมาณ

ค่าใช้จ่ายโดยรวม ประกอบด้วยข้อมูลการไหลของวัสดุระหว่างแผนก ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุระหว่างแผนก และระยะทางระหว่างแผนกแบบเรคติลิเนียร์ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าใช้จ่ายโดยรวมได้จากสมการที่ 6.1 และต้องมีค่าต่ำที่สุด

$$Minimize \quad C = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=i+1}^{n} f_{ij} . c_{ij} . d_{ij} \qquad (6.1)$$

C คือ ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดจากผังโรงงาน

f_{ij} คือ ปริมาณการไหลของวัสดุจากแผนก i ไปแผนก j

c_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของการไหลจากแผนก i ไปแผนก j

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างแผนก i ไปแผนก j โดยวัดจากเซ็นทรอยด์ (Centroid) ของแต่ละแผนกแบบเรคติลิเนียร์ (Rectilinear) (ดูรูปที่ 4.1)

ทางเดินระหว่างแผนก (ดู 4.1.2 ทางเดินระหว่างแผนก) การพิจารณาความสัมพันธ์ของทางเดินระหว่างแผนก จะทำการพิจารณา 2 ด้าน คือ พื้นที่ที่ถูกให้บริการโดยทางเดิน หาได้จากสมการที่ 6.2 และจำนวนจุดตัดกัน หาได้จากสมการที่ 6.3 และสามารถหาความสัมพันธ์ของทางเดินได้จากสมการที่ 6.4 ซึ่งต้องมีค่าต่ำที่สุด

$$A_1 = \frac{Total\ area\ served\ by\ whole\ aisle\ system}{Total\ aisle\ length} \qquad (6.2)$$

$$A_2 = \sum(Type\ of\ \text{inter section} \times Number\ of\ \text{inter section}) \qquad (6.3)$$

$$Minimize \quad A = \frac{1}{A_1} \times A_2 \qquad (6.4)$$

A คือ ค่าความสัมพันธ์ของการพิจารณาทางเดิน

A_1 คือ ความสัมพันธ์ของพื้นที่ที่ได้รับบริการจากทางเดิน

A_2 คือ ความสัมพันธ์ของจุดตัดและจำนวนจุดตัดของแผนกทั้งหมด

6.1.2.2 ข้อมูลเชิงคุณภาพ

ข้อมูลเชิงคุณภาพคือ แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแผนกต่างๆ โดยพิจารณาถึง ค่า TCR ที่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนก (Total Closeness Rating with Distance Between Department) ซึ่งต้องมีค่าน้อยที่สุด ดังสมการที่ 6.5

$$Minimize \quad Z = \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=i+1}^{M} V(r_{ij}) d_{ij} \qquad (6.5)$$

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างแผนก i ไปแผนก j โดยวัดจากเซ็นทรอยด์ (Centroid) ของแต่ละแผนกแบบเรคติลิเนียร์ (Rectilinear)

Z คือ TCR ที่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนก

$V(r_{ij})$ คือ ค่าคะแนนของความสัมพันธ์ระหว่างแผนก i และ j คะแนน ได้จากแผนภูมิ แสดงความสัมพันธ์

6.1.2.3 การแก้ปัญหาด้วยการให้น้ำหนัก

การแก้ปัญหาการจัดวางผังโรงงานแบบหลายวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weight Sum Approach) โดยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ คือ ค่าฟิตเนสรวม (Total Fitness) ซึ่งแสดงดังสมการ (6.6)

$$Total\ Fitness = (W1*Cost\text{-}fitness) + (W2*TCR\text{-}fitness) + (W3*Aisle\text{-}fitness) \qquad (6.6)$$

W1 คือ น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายของผังโรงงาน (Cost) มีค่าระหว่าง [0,1]

W2 คือ น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างแผนก (TCR) มีค่าระหว่าง [0,1]

W3 คือ น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ของทางเดิน (Aisle) มีค่าระหว่าง [0,1]

และ *W1 + W2 + W3 = 1*

สมการที่ 6.6 เป็นการหาค่าฟิตเนสรวมของสตริงแต่ละตัวเมื่อเปรียบเทียบกับประชากรทั้งหมด เพื่อใช้ในกระบวนการ Selection แต่การที่จะเปรียบเทียบว่าสตริงใดมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมต่ำที่สุดท่ามกลางสตริงตัวอื่นๆ และค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมต่ำที่สุดในแต่ละกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม (การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด, Elitist) ควรเปรียบเทียบด้วยสมการที่ 6.7 โดยสตริงใดที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมที่ต่ำกว่า ย่อมดีกว่าสตริงตัวอื่น

*Total Objective Function = (W1 * C) + (W2 * C * Z) + (W3 * C * A)* (6.7)

C คือ ค่าใช้จ่ายโดยรวมในการวางผังโรงงาน
Z คือ TCR ที่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนก
A คือ ค่าความสัมพันธ์ของการพิจารณาทางเดิน
W1 คือ น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายของผังโรงงาน
W2 คือ น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างแผนก
W3 คือ น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ของทางเดิน

6.2 โครงสร้างของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการออกแบบผังโรงงาน

6.2.1 โครงสร้างหลัก

โครงสร้างหลักของเจนเนติกอัลกอริทึม ประกอบด้วย 5 ส่วนคือ

6.2.1.1 Initialization เป็นการใส่รหัสคำตอบและสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

6.2.1,2 Reproduction เป็นการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสม โดยดูจากค่าความเหมาะสมหรือค่าฟิตเนสของสตริงคำตอบแต่ละตัว ในส่วนของการ Reproduction จะแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอน คือ

- **Evaluation** เป็นการคำนวณหาค่าต่าง ๆเพื่อนำไปสู่การหาค่าที่มีความเหมาะสมของสตริงคำตอบ
- **Selection** เป็นกระบวนการในการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสมมากกว่า

6.2.1.3 Crossover เป็นการสร้างสตริงคำตอบตัวใหม่จากการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนระหว่างสตริงคำตอบ 2 ตัว

6.2.1.4 Mutation เป็นการสร้างสตริงคำตอบตัวใหม่โดยการย้ายค่าบางตำแหน่งภายในสตริงคำตอบ

6.2.1.5 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด (Elitist) เป็นการเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด ซึ่งจะเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละขั้นตอนของ เจนเนติกอัลกอริทึม ไว้ และทำการเปรียบเทียบระหว่างสตริงที่ดีที่สุดของระหว่างประชากรก่อนและหลังผ่านขั้นตอนดังกล่าว เพื่อหาว่าสตริงใดมีคุณสมบัติดีกว่ากัน หากว่าสตริงที่ดีที่สุดของประชากรก่อนการเข้าสู่กระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม นั้นมีคุณสมบัติที่ดีกว่า ให้ทำการนำสตริงนั้นมาแทนที่สตริงที่มีคุณสมบัติแย่ที่สุดของประชากรหลังผ่านกระบวนการเจนเนติกอัลกอริทึมแล้ว

6.2.1.6 Re-initialization เป็นการเรียงลำดับค่าฟิตเนสของประชากรและตัดสตริงที่มีค่าฟิตเนสแย่กว่าทิ้งตามจำนวนที่กำหนด จากนั้นทำการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่ตามจำนวนสตริงที่ถูกตัดทิ้ง กระบวนการนี้จะทำทุก ๆเจนเนอเรชั่นที่กำหนด เพื่อป้องกันไม่ให้การหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึม ติดอยู่ใน Local optima

6.2.2 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม

6.2.2.1 Data Input : รับข้อมูลนำเข้าต่าง ๆได้แก่

- จำนวนมุมของผังโรงงาน และตำแหน่งแกน X และแกน Y ของมุมทั้งหมด เพื่อกำหนดรูปร่างของผังโรงงาน
- พื้นที่ตายตัว โดยกำหนดจำนวนของพื้นที่ตายตัว และตำแหน่งที่ตั้งตามแกน X และ Y ซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากเท่านั้น
- จำนวนแผนกทั้งหมด ชื่อของแต่ละแผนก และ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ถ้าเป็นแผนกที่มีรูปร่างคงที่ ต้องกำหนดความกว้าง ความยาวของแผนก และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของแผนก
- ถ้าไม่ใช่แผนกที่มีรูปร่างคงที่ ต้องกำหนดความต้องการพื้นที่ของแต่ละแผนก พื้นที่ที่เล็กที่สุดตามความยาวแกน X และความกว้างแกน Y อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้าง และกำหนดจุดที่ต้องการคงที่ของแผนกถ้าแผนกนั้นๆ ต้องการมีตำแหน่งคงที่ โดยกำหนดเป็นตำแหน่งในแกน X และแกน Y

- แผนภูมิการไหลของวัสดุ มี 2 รูปแบบคือ การกำหนดข้อมูลการไหลแบบค่าคงที่ และแบบฟัซซี่ ซึ่งถ้าเป็นแบบหลังต้องกำหนดทั้ง 4 กรณีของข้อมูล คือ กรณีที่ดีที่สุด กรณีใกล้เคียงดีที่สุด กรณีใกล้เคียงแย่ที่สุด และกรณีแย่ที่สุด
- ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ
- แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแผนกต่างๆ โดยกำหนดเป็นตัวอักษรแทนความสัมพันธ์ของแผนก คือ A, E, I, O, U และ X
- ความกว้างของแถบที่น้อยที่สุดและมากที่สุด
- ค่าพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึม แบ่งออกเป็น
  - ขนาดของประชากร (pop_size)
  - จำนวนเจนเนอเรชั่นที่ต้องการให้สร้างสตริงขึ้นมาใหม่
  - จำนวนรอบของการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่
  - จำนวนสตริงที่ต้องการสร้างขึ้นใหม่
  - วิธีการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์
  - วิธีการมิวเตชั่น และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น
- น้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทั้ง 3 ฟังก์ชั่น คือค่าใช้จ่ายโดยรวม ความสัมพันธ์ระหว่างแผนก และการพิจารณาทางเดิน

6.2.2.2 Representation & Initialization : นำข้อมูลต่างๆมาสร้างคำตอบเบื้องต้นแบบสุ่มตามจำนวนประชากร โดยผ่านกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรเบื้องต้น (Initial Population)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2.2.3 Evaluation : คำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ต่างๆที่ต้องการ เช่น ค่าใช้จ่าย ค่า TCR พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนก และความสัมพันธ์ของทางเดิน แล้วนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าฟิตเนส และรวมค่าฟิตเนสของทั้งสามวัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการให้น้ำหนักเป็นค่าฟิตเนสรวมของประชากรเบื้องต้นทุกตัว

6.2.2.4 Selection : เป็นกระบวนการคัดเลือกสตริง ไปยังเจนเนอเรชั่นถัดไปโดยดูจากค่าความเหมาะสมหรือค่าฟิตเนสของสตริงคำตอบแต่ละตัว

6.2.2.5 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด : เก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากประชากรเจนเนอเรชั่นแรก และเปรียบเทียบกับสตริงที่ดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการ Selection ถ้าพบว่าสตริงคำตอบที่เก็บไว้มีค่าฟังก์ชันวัตุประสงค์รวมที่ดีกว่า ให้นำสตริงนั้นแทนที่สตริงที่แย่ที่สุดของประชากรที่ผ่านการ Selection

6.2.2.6 Crossover : ทำการจับคู่คำตอบที่อยู่ในเมทติ้งพูลและทำการครอสโอเวอร์ ด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เท่ากับ P_c

6.2.2.7 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด : เก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการ Selection และเปรียบเทียบกับสตริงที่ดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการครอสโอเวอร์ ถ้าพบว่าสตริงคำตอบที่เก็บไว้มีค่าฟังก์ชันวัตุประสงค์รวมที่ดีกว่า ให้นำสตริงนั้นแทนที่สตริงที่แย่ที่สุดของประชากรที่ผ่านการครอสโอเวอร์

6.2.2.8 Mutation : ทำการมิวเตชั่นสตริงคำตอบที่มี ด้วยความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น เท่ากับ P_m

6.2.2.9 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด : เก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการครอสโอเวอร์ และเปรียบเทียบกับสตริงที่ดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการมิวเตชั่น ถ้าพบว่าสตริงคำตอบที่เก็บไว้มีค่าฟังก์ชันวัตุประสงค์รวมที่ดีกว่า ให้นำสตริงนั้นแทนที่สตริงที่แย่ที่สุดของประชากรที่ผ่านการมิวเตชั่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

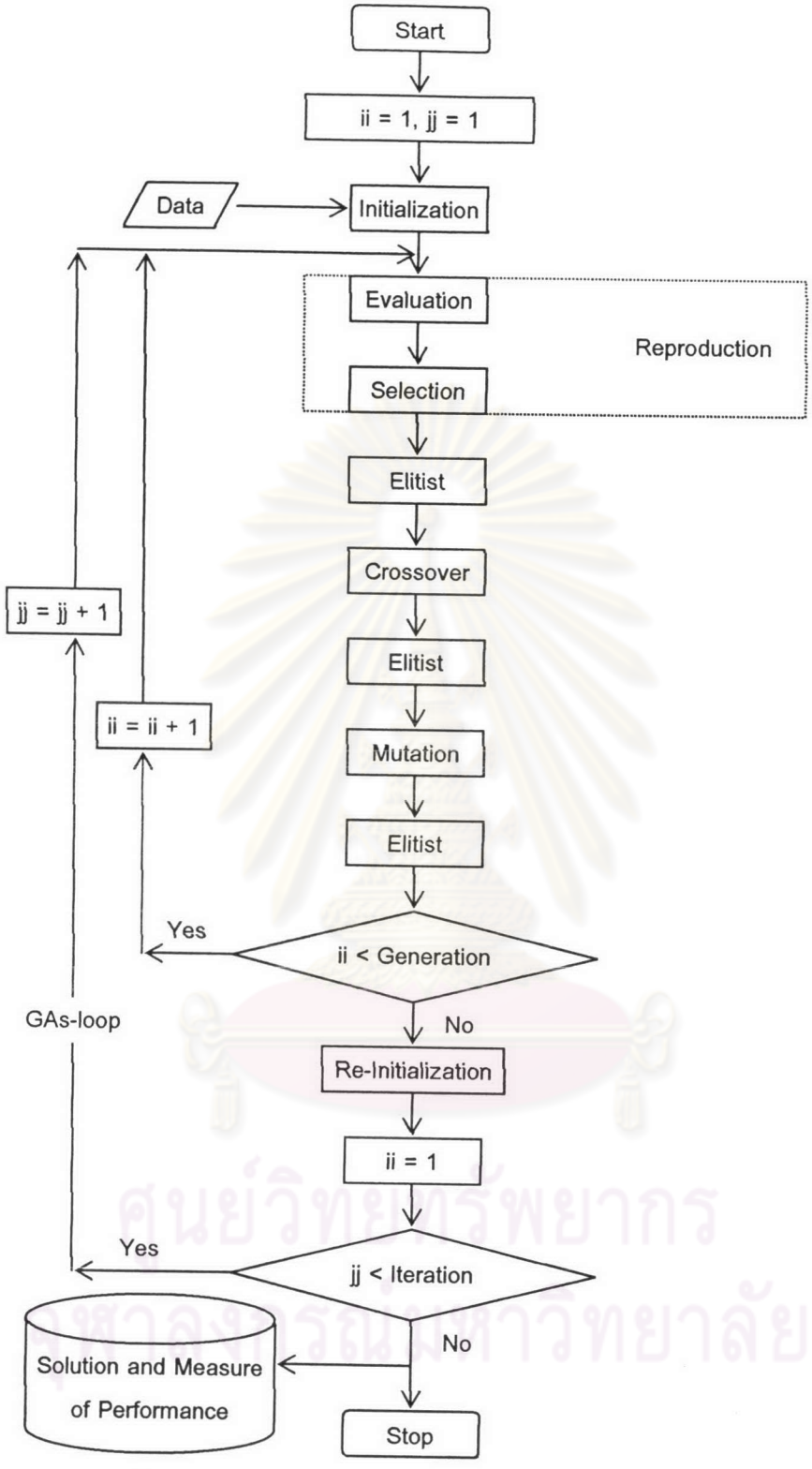
6.2.2.10 Re-initialization : เรียงลำดับค่าฟิตเนสของประชากร และตัดสตริงที่มีค่าฟิตเนสแย่กว่าทิ้งตามจำนวนที่กำหนด จากนั้นทำการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่ตามจำนวนสตริงที่ถูกตัดทิ้ง หลังจากที่ครบเจนเนอเรชั่นที่ต้องการให้สร้างสตริง

6.2.2.11 GAs-loop : มีกฎเกณฑ์ในการตรวจสอบสภาวะการหยุดทำงาน (Stopping Criteria) คือ ตรวจสอบว่าครบตามจำนวนรอบ (Iteration) ของการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่หรือไม่ ถ้าครบแล้วให้หยุดการทำงาน แต่ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำข้อ 6.2.2.3

6.2.2.12 Stop : หยุดกระบวนการของเจเนติกอัลกอริทึม และนำค่าที่ดีที่สุดจากเจนเนอเรชั่นสุดท้ายมาเป็นคำตอบ

โครงสร้างและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมแสดงได้ดังรูปที่ 6.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 แผนผังแสดงโครงสร้างและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 วิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม

6.3.1 การใส่รหัสคำตอบ (Chromosome Representation / Coding)

ขั้นตอนแรกของเจนเนติกอัลกอริทึม คือการกำหนดรูปแบบของการใส่รหัสคำตอบ ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีผลอย่างมากต่อขั้นตอนอื่นๆของ เจนเนติกอัลกอริทึม การใส่รหัสคำตอบ คือ การเปลี่ยนคำตอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของสตริงคำตอบ (หรือที่เรียกว่า Chromosome) วิธีการใส่รหัสคำตอบมีทั้งแบบ Binary String และ Non-binary String ในกรณีของปัญหาการจัดวางผังโรงงาน คำตอบของปัญหาคือ ลำดับแผนกที่จะทำการจัดเรียงไปบนพื้นที่ของผังโรงงาน ซึ่งวิธีการใส่รหัสคำตอบที่เลือกใช้เป็นแบบ Non-binary String และสตริงคำตอบที่ใช้เป็นคำตอบของปัญหาการวางผังโรงงานในลักษณะนี้ จะประกอบด้วยสตริงคำตอบ 2 ส่วน คือ

1. สตริงคำตอบลำดับการเรียงของแผนก (Department Order) ที่จะทำการเรียงแผนกต่างๆตามลำดับจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายของเส้นทางของแถบ (Band)
2. สตริงคำตอบขนาดความกว้างของแถบ (Band Width) คือ ขนาดของแถบในแต่ละช่วงของโรงงาน ซึ่งแต่ละแถบนั้นอาจมีความกว้างแตกต่างกันได้ ความกว้างของแถบต้องไม่น้อยหรือมากกว่าค่าต่ำสุดและสูงสุดของความกว้างของแถบ โดยผลรวมของความกว้างของแถบจะต้องมีค่าเท่ากับความยาวของโรงงาน

ซึ่งในที่นี้จะเรียกรวมสตริงคำตอบทั้ง 2 สตริงว่า ชุดสตริงคำตอบ ตัวอย่างเช่น สตริงคำตอบลำดับการเรียงของแผนกเป็น 3-2-4-5-1-6 หมายถึง ในโรงงานมีจำนวนแผนกทั้งหมด 6 แผนก และจะทำการจัดเรียงโดยเริ่มจากแผนกที่ 3 ก่อน จากนั้นเป็นแผนกที่ 2, 4, 5, 1 และ 6 ตามลำดับจนครบ และมีสตริงคำตอบขนาดความกว้างของแถบเป็น 3-1-2 หมายถึง แบ่งผังโรงงานออกเป็นแถบจำนวน 3 แถบตามแนวแกน Y โดยแถบแรกมีความกว้างเท่ากับ 3 หน่วย แถบที่ 2 และ 3 มีความกว้างเท่ากับ 1 และ 2 หน่วยตามลำดับ

6.3.2 การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น (Initial Population Creating)

การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องตัน คือ การสร้างคำตอบเบื้องตันขึ้นมาจำนวนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการของ เจนเนติกอัลกอริทึม โดยคำตอบ 1 คำตอบคือประชากร 1 ตัว

จำนวนของประชากรที่ต้องการสร้างนั้นเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ต้องมีการกำหนด ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ *pop_size* ตัว

การหาชุดสตริงคำตอบ สำหรับปัญหาการจัดวางผังโรงงานที่ผังไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีสตริงคำตอบ 2 สตริงนั้น ทำได้โดยขั้นแรกจะสร้างสตริงลำดับการเรียงของแผนกขึ้นมาก่อน แล้วทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบ ให้มีความสัมพันธ์กับสตริงลำดับการเรียงของแผนก และสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆของปัญหา ซึ่งเมื่อสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบขึ้นมา แต่พบว่าไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆของปัญหา ก็จะทำการสร้างสตริงลำดับการเรียงของแผนกใหม่ แล้วสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบอีกครั้ง โดยสตริงลำดับการเรียงของแผนกและสตริงขนาดความกว้างของแถบที่ไม่ผ่านเงื่อนไข จะถูกเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบ ไม่ให้สร้างสตริงคำตอบที่เหมือนชุดสตริงคำตอบที่ผิดเงื่อนไขขึ้นมาอีก ซึ่งประชากร 1 ตัวก็คือหนึ่งชุดสตริงคำตอบนั่นเอง

การสร้างประชากรเบื้องต้น จะสร้างขึ้นเท่ากับจำนวนประชากรที่ได้กำหนดไว้ และประชากรแต่ละตัวจะมีสตริงลำดับการเรียงของแผนกและสตริงขนาดความกว้างของแถบที่ไม่ซ้ำกัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และเป็นการป้องกันไม่ให้คำตอบที่ได้จากวิธีของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้เป็นค่า Local Optimum นอกจากนี้การสร้างประชากรเบื้องต้นให้แตกต่างกันยังช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนประชากรน้อยลงด้วย

6.3.3 การรีโปรดักชั่น (Reproduction)

การรีโปรดักชั่นเป็นการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสม โดยดูจากค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบแต่ละตัว แบ่งเป็นขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอน คือ การประเมินค่า (Evaluation) และ การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

6.3.3.1 การประเมินค่า (Evaluation) ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือกของเจนเนติกอัลกอริทึม จำเป็นที่จะต้องมีการประเมินค่าประชากรแต่ละตัวเสียก่อนว่ามีความเหมาะสมมากหรือน้อยเพียงใด ความเหมาะสมนี้จะวัดจากค่าฟิตเนสของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตัวใดที่มีค่าฟิตเนสมากก็หมายความว่ามีความเหมาะสมมากตามไปด้วย โดยที่ค่าฟิตเนสดังกล่าวหมายถึง ค่าของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่เราต้องการทำให้ต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดนั่นเอง

ถ้าค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ต้องการทำให้มีค่าต่ำสุด ต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบการหาค่าสูงที่สุดของฟิตเนสฟังก์ชั่นก่อน ดังสมการ (6.4)

$$f(Xi) = \left(\sum_{i=1}^{pop_size} Xi \right) - Xi \qquad (6.8)$$

เมื่อ Xi คือค่าวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบแต่ละตัว

6.3.3.2 การคัดเลือกคำตอบ (Selection) การคัดเลือกคำตอบทำได้โดยนำเอากลุ่มสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้งหมดมาผ่านวิธีการคัดเลือกโดยดูจากค่าฟิตเนสของสตริงคำตอบแต่ละตัวเป็นหลัก สตริงคำตอบตัวที่มีค่าฟิตเนสมากก็มีโอกาสที่จะถูกคัดเลือกไว้มากกว่าตัวที่มีค่าฟิตเนสน้อย สตริงคำตอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน *pop_size* ตัวจะผ่านเข้าสู่เมทติ้งพูลเพื่อรอการจับคู่และการดำเนินการของ เจนเนติกอัลกอริทึม ในขั้นต่อไป

วิธีการคัดเลือกคำตอบที่ใช้ คือ วิธีการของวงล้อรูลเล็ท (Roulette Wheel) (Goldberg, 1989) ที่มีขนาดความกว้างของสล็อต (Slot) แปรผันตามค่าความเหมาะสม การสร้างวงล้อรูลเล็ทมีวิธีการดังต่อไปนี้

- หาผลรวมของค่าฟิตเนสของสตริงคำตอบทั้งหมด *pop_size* ตัว ดังสมการ (6.9)

$$F = \sum_{i=1}^{pop_size} f(Xi) \qquad (6.9)$$

โดย $f(Xi)$ = ค่าฟิตเนสของสตริงตัวที่ *i*

- หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการ (6.10)

$$p_i = \frac{f(Xi)}{F} \quad i = 1, 2, \ldots, pop_size \qquad (6.10)$$

- หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม (Cumulative Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการ (6.7)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$q_i = \sum_{j=1}^{i} p_j \qquad (6.11)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการหาค่าฟิตเนสของสตริงแต่ละตัว และการสร้างวงล้อรูลเล็ทเพื่อนำไปพิจารณาในการคัดเลือกต่อไป ซึ่งเป็นลักษณะของวิธีการแก้ปัญหาแบบวัตถุประสงค์เดียว สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาของปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์และได้เลือกใช้วิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนักในการแก้ปัญหา จึงมีวิธีการที่แตกต่างไปจากข้างต้น

ในที่นี้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่พิจารณามี 3 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด การหาค่าใช้จ่ายของแต่ละชุดสตริงคำตอบสามารถหาได้จากสมการ (6.1) ค่า TCR พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนกให้มีค่าน้อยที่สุด การหาค่า TCR สามารถหาได้จากสมการ (6.5) และค่าความสัมพันธ์ของทางเดิน สามารถหาได้จากสมการ (6.4) สมการทั้ง 3 นั้นอยู่ในรูปแบบของการหาค่าต่ำที่สุด จะทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบการหาค่าสูงที่สุดดังสมการ (6.8) ในการที่จะรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้งสามเป็นฟังก์ชั่นเดียวนั้น เนื่องจากค่าวัตถุประสงค์ทั้งสามมีหน่วยที่แตกต่างกันจึงไม่สามารถนำมารวมกันได้โดยตรง จึงทำการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์หลังจากการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์แต่ละประเภท และค่าที่ได้หลังจากการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้งสาม ก็จะเป็นค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกที่นำไปใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสมต่อไป ซึ่งจะเรียกค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เป็นค่าฟิตเนส คือ *Cost-fitness* *TCR-fitness* และ *Aisle-fitness* และค่าที่ได้หลังจากการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เรียกว่า *Total Fitness* สามารถแสดงการหาค่าต่างๆได้ดังสมการ (6.8) สมการ (6.9) และสมการ (6.10) ตามลำดับ

$$Cost\text{-}fitness = (CostSum\text{-}c_i) / Sum_of_(CostSum\text{-}c_i) \qquad (6.12)$$

โดย *CostSum* = ผลรวมของค่าใช้จ่ายของชุดสตริงคำตอบทั้งหมด *pop_size* ตัว

c_i = ค่าใช้จ่ายของแต่ละชุดสตริงคำตอบ

$$TCR\text{-}fitness = (TCRSum\text{-}TCR_i) / Sum_of_(TCRSum\text{-}TCR_i) \quad (6.13)$$

โดย *TCRSum* = ผลรวมของค่า TCR ของชุดสตริงคำตอบทั้งหมด *pop_size* ตัว

TCR_i = ค่า TCR ของแต่ละชุดสตริงคำตอบ

$$Aisle\text{-}fitness = (AisleSum\text{-}Aisle_i) / Sum_of_(AisleSum\text{-}Aisle_i) \quad (6.14)$$

โดย *AisleSum* = ผลรวมความสัมพันธ์ของทางเดิน ของชุดสตริงคำตอบทั้งหมด *pop_size* ตัว

$Aisle_i$ = ค่าความสัมพันธ์ของทางเดิน ของแต่ละชุดสตริงคำตอบ

เมื่อได้ค่าฟิตเนสของแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้ว สามารถหาค่าฟิตเนสรวม *(Total fitness)* ได้จากสมการ (6.6)

หลังจากคำนวณค่าดังกล่าวแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกโดยหมุนวงล้อรูลเล็ทเท่ากับจำนวน *pop_size* ครั้ง ในแต่ละครั้งจะได้ชุดสตริงคำตอบสำหรับประชากรรุ่นต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม (Random Number) r ที่มีค่าอยู่ในช่วง [0...1]
2. ถ้า $r < q_i$ ให้เลือกชุดสตริงคำตอบชุดแรก แต่ถ้า $q_{i-1} \leq r \leq q_i$ (เมื่อ $2 \leq i \leq$ *popsize*) ให้เลือกชุดสตริงคำตอบตัวที่ i ในบางครั้งชุดสตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกแล้วบางชุดอาจถูกเลือกได้มากกว่า 1 ครั้ง
3. ทำตามขั้นตอนข้อที่ 1-2 จนกว่าจะได้ชุดสตริงคำตอบในเมทติ้งพูลครบ *popsize* ตัว

จากวิธีดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ชุดสตริงคำตอบที่มีค่าฟิตเนสรวมมากก็จะมีพื้นที่มากจึงมีโอกาสที่ตัวเลขสุ่มที่สร้างขึ้นมา จะตกอยู่ภายในบริเวณของชุดสตริงคำตอบชุดนั้นมากกว่าชุดที่มีค่าฟิตเนสรวมน้อย (มีพื้นที่น้อย) ทำให้ชุดสตริงคำตอบที่ถูกเลือกเข้าสู่เมทติ้งพูลเป็นชุดสตริงคำตอบที่มีค่าฟิตเนสรวม โดยเฉลี่ยสูงกว่าชุดสตริงคำตอบเดิม ต่อไปเป็นตัวอย่างที่แสดงเพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการรีโปรดักชั่น โดยเป็นตัวอย่างการ

วางผังโรงงานจำนวน 6 แผนก และรายละเอียดของปัญหาตัวอย่างนี้แสดงในภาคผนวก ค.1 ซึ่งกำหนด *W1*=0.25, *W2*=0.25 และ *W3*=0.5

ตารางที่ 6.1 *ตัวอย่างประชากรเริ่มต้นและค่าวัตถุประสงค์*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle
1	[5 6 3 4 1]	[3 6 3 6]	4.5914	1.8866	29.5581
2	[3 4 5 6 1]	[3 5 4 3 3]	5.4988	1.8128	30.2791
3	[3 4 6 5 1]	[3 5 4 3 3]	5.6827	1.4744	27.6512
4	[3 5 6 4 1]	[3 3 6 3 3]	5.1423	2.0720	30.0388
5	[5 3 6 4 1]	[3 6 3 6]	4.5562	1.2866	30.0388
6	[4 3 6 5 1]	[3 5 4 3 3]	5.6937	1.4543	27.6512

ตารางที่ 6.2 *ตัวอย่างการคำนวณฟิตเนสฟังก์ชั่นของชุดสตริงคำตอบ*

String No.	Cost ($*10^4$)	Cost-fitness	TCR ($*10^3$)	TCR-fitness	Aisle	Aisle-fitness	Total fitness	ความน่าจะเป็นสะสม
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	4.5914	0.1705	1.8866	0.1622	29.5581	0.1663	0.1663	0.1663
2	5.4988	0.1647	1.8128	0.1637	30.2791	0.1654	0.1648	0.3311
3	5.6827	0.1635	1.4744	0.1705	27.6512	0.1684	0.1677	0.4988
4	5.1423	0.1670	2.0720	0.1585	30.0388	0.1657	0.1642	0.6630
5	4.5562	0.1708	1.2866	0.1742	30.0388	0.1657	0.1691	0.8321
6	5.6937	0.1635	1.4543	0.1709	27.6512	0.1684	0.1678	1.0000
Total	31.1650	1.0000	9.9866	1.0000	175.2171	1.0000	1.0000	

ตารางที่ 6.1 แสดงตัวอย่างประชากรเริ่มต้นจำนวน 6 ชุดสตริงคำตอบ และกำหนดค่าวัตถุประสงค์ทั้งสอง คือ ค่าใช้จ่าย (Cost) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแผนก (TCR) และค่าความสัมพันธ์ทางเดิน (Aisle) ให้กับแต่ละชุดสตริงคำตอบ เพื่อใช้ในการคำนวณฟิตเนสฟังก์ชั่นของชุดสตริงคำตอบดังที่แสดงในตารางที่ 6.2 โดยคอลัมน์ที่ 1 เป็นลำดับของชุดสตริงคำตอบ คอลัมน์ที่ 2 เป็นค่า Cost ของชุดสตริงคำตอบ คอลัมน์ที่ 3 เป็นค่า *Cost-fitness* ที่คำนวณได้จากสมการ (6.12) คอลัมน์ที่ 4 คือค่า TCR ของชุดสตริงคำตอบ คอลัมน์ที่ 5 เป็นค่า *TCR-fitness* ที่คำนวณได้จากสมการ (6.13) คอลัมน์ที่ 6 คือค่า Aisle ของชุดสตริงคำตอบ คอลัมน์ที่ 7 เป็นค่า *Aisle-fitness* ที่คำนวณได้

จากสมการ (6.14) คอลัมน์ที่ 8 เป็นค่าฟิตเนสรวม ที่คำนวณได้จากสมการ (6.6) เช่น ค่าฟิตเนสรวมของสตริงหมายเลข1 มีการคำนวณดังนี้

$$[(0.25 * 0.1705) + (0.25 * 0.1622) + (0.5 * 0.1663)] = 0.1663$$

ซึ่งค่าฟิตเนสรวมเป็นค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก หรือขนาดของช่องในวงล้อรูเล็ต โดยที่ขนาดของวงรูลเล็ทโดยรวมเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคอลัมน์ที่ 9 เป็นค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม ที่คำนวณได้จากสมการ (6.11)

จากนั้นทำการหมุนวงล้อรูลเล็ท 6 ครั้ง การหมุนแต่ละครั้งหมายถึงการคัดเลือกสตริงเข้าไปสู่ประชากรใหม่ สมมุติค่าสุ่มจำนวน 6 ค่า ที่อยู่ในช่วง [0...1] และทำการคัดเลือกชุดสตริงคำตอบตามขั้นตอนของกระบวนการคัดเลือก ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดสตริงคำตอบหมายเลข 5 มีค่าฟิตเนสรวมมากที่สุด จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมามากครั้งที่สุดคือ 3 ครั้ง ในขณะที่ชุดสตริงคำตอบที่มีค่าฟิตเนสรวมน้อย ก็จะถูกสุ่มเลือกน้อยครั้งเช่นกัน แสดงผลการคัดเลือกได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 *ตัวอย่างค่าสุ่มจากวงล้อรูลเล็ท*

ครั้งที่	ค่าสุ่มจากวงล้อรูลเล็ท	สตริงที่ผ่านการรีโปรดักชั่น
1	0.2903	String No.2 & Total fitness = 0.1648
2	0.4985	String No.3 & Total fitness = 0.1677
3	0.8205	String No.5 & Total fitness = 0.1691
4	0.3074	String No.2 & Total fitness = 0.1648
5	0.7715	String No.5 & Total fitness = 0.1691
6	0.8016	String No.5 & Total fitness = 0.1691

6.3.4 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

6.3.4.1 การจับคู่สตริงคำตอบ จากสตริงคำตอบจำนวน *pop_size* ตัวที่ได้มาจากกระบวนการคัดเลือก จะมีสตริงคำตอบเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกนำมาจับคู่เพื่อเตรียมสำหรับกระบวนการครอสโอเวอร์ สตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกนำไปจับคู่ก็จะยังคงสภาพเดิม และอยู่ในเมทติ้งพูลเป็นประชากรในเจนเนอเรชั่นต่อไป จำนวนสตริงคำตอบ

ที่จะถูกนำมาจับคู่ (*Nc*) ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (*Pc*) การจับคู่สตริงคำตอบเพื่อที่จะนำไปครอสโอเวอร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม *r* ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับสตริงคำตอบแต่ละตัว
2. สตริงคำตอบตัวใดที่ตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่า *Pc* จะถูกเลือกไปจับคู่และทำการครอสโอเวอร์
3. ถ้าไม่มีสตริงคำตอบตัวใดที่มีค่า *r* น้อยกว่า *Pc* ให้เริ่มทำข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง
4. ถ้ามีสตริงคำตอบที่มีค่า *r* น้อยกว่า *Pc* ทั้งหมดจำนวน *Nc* ตัว โดยถ้า *Nc* เป็นจำนวนคี่ ต้องทำการปรับให้เป็นจำนวนคู่ก่อน
5. เมื่อได้สตริงคำตอบที่จะนำมาจับคู่ทั้งหมด *Nc* ตัว ให้นำมาจับคู่ตามลำดับ ซึ่งจะได้ทั้งหมด *Nc*/2 คู่

6.3.4.2 การครอสโอเวอร์ สตริงคำตอบที่เตรียมไว้ $Nc/2$ คู่จะถูกนำมาผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำสตริงคำตอบที่ถูกจับคู่ไว้มาแลกเปลี่ยนส่วนซึ่งกันและกันเพื่อให้เกิดสตริงใหม่ขึ้น

ในขั้นตอนการครอสโอเวอร์จะกระทำเฉพาะที่สตริงลำดับการเรียงของแผนกให้มีลักษณะการเปลี่ยนไปก่อน แล้วจึงสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับสตริงลำดับการเรียงของแผนกที่ผ่านการครอสโอเวอร์ ซึ่งสตริงลำดับการเรียงของแผนกไม่ได้ใช้การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง การครอสโอเวอร์แบบธรรมดาหรือการครอสโอเวอร์แบบตำแหน่งเดียวไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากการครอสโอเวอร์แบบตำแหน่งเดียวอาจทำให้สตริงมีลักษณะที่ไม่ถูกต้อง กล่าวคืออาจทำให้ยีนบางตำแหน่งเกิดค่าซ้ำกัน ซึ่งทำให้ไม่สามารถคำนวณหาระยะทางของแผนกในผังโรงงานนั้นๆได้ (Goldberg,1989) ได้เสนอวิธีการครอสโอเวอร์แบบสองจุด เพื่อแก้ปัญหาของการครอสโอเวอร์แบบธรรมดา ที่นำเสนอมี 3 วิธีคือ การครอสโอเวอร์แบบ PMX (Partially Match Crossover) การครอสโอเวอร์แบบ OX (Order Crossover) และการครอสโอเวอร์แบบ CX (Cycle Crossover) นอกเหนือจากวิธีการครอสโอเวอร์ของ Goldberg ทั้ง 3 วิธีแล้วยังมีวิธีการครอสโอเวอร์ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Goldberg อีก 2 วิธีคือ การครอสโอเวอร์แบบ PBX (Position-Based Crossover) และการครอสโอเวอร์แบบ OBX (Order-Based Crossover) รวมวิธีการครอสโอเวอร์ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยทั้งหมด 5 วิธี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

1. การครอสโอเวอร์แบบ PMX วิธีการของ PMX อย่างแรกคือการเลือกคู่สตริงพ่อแม่ขึ้นมาอย่างสุ่ม จากนั้นทำการเลือกตำแหน่งที่จะทำการ ครอสโอเวอร์อย่างสุ่มที่อยู่ในช่วง [1, *l* - 1] โดยที่ *l* คือความยาวของสตริง และยีนตัวแรกคือยีนหมายเลข 1 และยีนตัวสุดท้ายคือยีนหมายเลข *l* ขอบเขตของการครอสโอเวอร์อยู่ในช่วงเครื่องหมาย " | "

$$p_1 = [9\,8\,4 \mid 5\,6\,7 \mid 1\,3\,2\,0]$$
$$p_2 = [8\,7\,1 \mid 2\,3\,0 \mid 9\,5\,4\,6]$$

ในขั้นตอนต่อไปจะทำการสลับค่าระหว่างสตริงที่อยู่ในช่วง " | " นั่นคือตำแหน่งสุ่มอยู่ในช่วง [4, 6] ของโครโมโซมลูกหลานทั้งสอง โดยที่ค่าที่อยู่นอกเครื่องหมาย " | " และเป็นค่าที่ซ้ำกันกับค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดให้เป็น x

จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่สองของสตริง p_2 มีค่าเป็น 7 ซึ่งซ้ำกับค่าที่อยู่ในช่วง " | " ของสตริง p_1 ก่อนทำการสลับ จึงเปลี่ยนค่าที่ซ้ำให้เป็น x ก่อนและตำแหน่งอื่นๆที่มีค่าซ้ำกันก็จะเปลี่ยนเป็น # ด้วยเช่นกัน

$$O_1 = [9\,8\,4 \mid 2\,3\,0 \mid 1\,\#\,\#\,\#]$$
$$O_2 = [8\,x\,1 \mid 5\,6\,7 \mid 9\,5\,4\,\#]$$

แล้วทำการแทนค่า (Map) ดังต่อไปนี้ 2 เป็น 5 และ 5 เป็น 2; 3 เป็น 6 และ 6 เป็น 3; 0 เป็น 7 และ 7 เป็น 0 การแทนค่าเหล่านี้ได้มาจากค่าที่อยู่ในช่วง " | " โดยพิจารณาตำแหน่งของสตริงที่ตรงกัน

สตริงที่ได้เมื่อทำการแทนที่แล้วคือ

$$O_1 = [9\,8\,4\,2\,3\,0\,1\,6\,5\,7]$$
$$O_2 = [8\,0\,1\,5\,6\,7\,9\,2\,4\,3]$$

2. การครอสโอเวอร์แบบ OX เช่นเดียวกับวิธีการของ PMX อย่างแรกคือการเลือกคู่สตริงพ่อแม่ขึ้นมาอย่างสุ่ม จากนั้นทำการเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์อย่างสุ่ม ขอบเขตของการครอสโอเวอร์อยู่ในช่วงเครื่องหมาย " | "

$$P_1 = [8\,9\,4 \mid 5\,6\,7 \mid 1\,3\,2\,0]$$
$$P_2 = [8\,7\,1 \mid 2\,3\,0 \mid 9\,5\,4\,6]$$

สุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ได้อยู่ในช่วง [4, 6] จากนั้นเลือกคู่แม๊ปที่อยู่ในช่วงการครอสโอเวอร์ถ้าค่าที่ตรงกันให้ทำเครื่องหมาย # เครื่องหมาย # หมายความว่าปล่อยตำแหน่งนั้นให้ว่าง สตริงลูกหลานจะเป็น

O_1 = [8 9 4 | 5 6 7 | 1 # # #]
O_2 = [8 # 1 | 2 3 0 | 9 # 4 #]

จากนั้นจะทำการเลื่อนตำแหน่ง โดยยึดถือตำแหน่งหลังช่วง " | " เป็นจุดอ้างอิง (สำหรับสตริง O_1 เป็น 1 และ สำหรับ O_2 เป็น 9) ได้สตริงลูกหลานดังต่อไปนี้

O_1= [5 6 7 | # # # | 1 8 9 4]
O_2= [2 3 0 | # # # | 9 4 8 1]

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสลับตำแหน่งที่อยู่ในช่วงของการครอสโอเวอร์ของสตริงทั้งสองที่เหลือ สตริงที่ได้เมื่อทำการครอสโอเวอร์แล้วคือ

O_1= [5 6 7 | 2 3 0 | 1 8 9 4]
O_2= [2 3 0 | 5 6 7 | 9 4 8 1]

3. การครอสโอเวอร์แบบ CX ขั้นตอนแรกเลือกคู่สตริงพ่อแม่ขึ้นมาอย่างสุ่ม พิจารณาดังต่อไปนี้

P_1 = [2 0 3 4 8 5 9 1 7 6]
P_2 = [5 9 2 1 0 6 7 3 8 4]

พิจารณาที่ตำแหน่งแรกของสตริง P_1 และ P_2 คงเดิมไว้

O_1= [2 - - - - - - - - -]
O_2 = [5 - - - - - - - - -]

ค่าตำแหน่งแรกของสตริง O_2 เป็น 5 นำมาพิจารณาค่าที่เป็น 5 (ตำแหน่งที่ 6) ของสตริง O_1 จะคงเดิมไว้ ส่วนค่าที่เป็น 6 (ตำแหน่งที่ 6) ของสตริง O_2 จะคงเดิมไว้เช่นกัน จะได้เป็น

O_1= [2 - - - - 5 - - - -]

O_2 = [5 - - - - 6 - - - -]

จากค่าที่เป็น 6 ของสตริง O_2 นำไปพิจารณาต่อในสตริง O_1ซึ่งจะคงเดิมไว้ ได้สตริงเป็น

O_1 = [2 - - - - 5 - - - 6]

O_2 = [5 - - - - 6 - - - 4]

ด้วยกระบวนการเดิมจะได้สตริงเป็น

O_1= [2 - - 4 - 5 - - - 6]

O_2 = [5 - - 1 - 6 - - - 4]

↓

O_1= [2 - - 4 - 5 - 1 - 6]

O_2 = [5 - - 1 - 6 - 3 - 4]

↓

O_1= [2 - 3 4 - 5 - 1 - 6]

O_2 = [5 - 2 1 - 6 - 3 - 4]

กระบวนการในการเลือกตัวที่จะคงเดิมไว้จะสิ้นสุดต่อเมื่อ ค่าในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของ O_2 มีค่าตรงกับค่าในตำแหน่งแรกของ สตริง O_1จากนั้นจะทำการสลับค่าที่ยังคงเหลืออยู่ทั้งสองสตริงแบบ ตำแหน่งต่อตำแหน่ง ได้สตริงลูกหลานเป็น

O_1 = [2 9 3 4 0 5 7 1 8 6]

O_2 = [5 0 2 1 8 6 9 3 7 4]

4. การครอสโอเวอร์แบบ PBX พัฒนาโดย **Syswerda** โดยดัดแปลงมาจากวิธีการครอสโอเวอร์แบบ OX โดยเริ่มจากการเลือกสตริงพ่อแม่

P_1 = [2 0 3 4 8 5 9 1 7 6]

P_2 = [5 9 2 1 0 6 7 3 8 4]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลือกตำแหน่งจากสตริงพ่อแม่ P_1 อย่างสุ่ม แล้วนำค่าในตำแหน่งที่เลือกของสตริงพ่อแม่ P_1 ไปใส่ในตำแหน่งเดียวกันของสตริงลูก O_1 ในที่นี้เลือกตำแหน่งที่ 4 และ 7

$$P_1 = [2\ 0\ 3\ \underline{4}\ 8\ 5\ \underline{9}\ 1\ 7\ 6]$$
$$P_2 = [5\ 9\ 2\ 1\ 0\ 6\ 7\ 3\ 8\ 4]$$

$$O_1 = [\#\ \#\ \#\ 4\ \#\ \ \#\ 9\ \#\ \#\ \#\ \#]$$

ตัดค่าที่อยู่ในตำแหน่งที่เลือกของสตริงพ่อแม่ P_1 ออกจากสตริงพ่อแม่ P_2 ดังนั้นค่าที่ตัดออกคือ 4และ9

$$P_2 = [5\ \#\ 2\ 1\ 0\ 6\ 7\ 3\ 8\ \#]$$

นำค่าที่เหลืออยู่ในสตริงพ่อแม่ P_2 มาใส่ในสตริงลูก O_1 ตามลำดับ

$$P_2 = [5\ \#\ 2\ 1\ 0\ 6\ 7\ 3\ 8\ \#]$$

$$O_1 = [5\ 2\ 1\ \underline{4}\ 0\ 6\ \underline{9}\ 7\ 3\ 8]$$

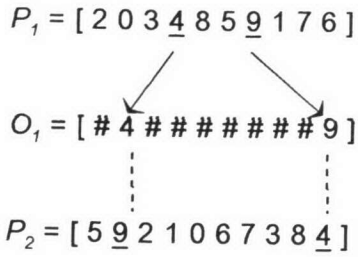
5. การครอสโอเวอร์แบบ OBX พัฒนาโดย Syswerda เช่นกัน มีความใกล้เคียงกับ PBX แต่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีวิธีการดังนี้

เลือกตำแหน่งอย่างสุ่มจากสตริงพ่อแม่ P_1 ในที่นี้เลือกตำแหน่งที่ 4 และ 7

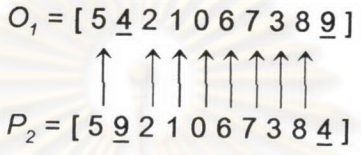
$$P_1 = [2\ 0\ 3\ \underline{4}\ 8\ 5\ \underline{9}\ 1\ 7\ 6]$$
$$P_2 = [5\ 9\ 2\ 1\ 0\ 6\ 7\ 3\ 8\ 4]$$

นำค่าจากสตริงพ่อแม่ P_1 ไปใส่สตริงลูก O_1 ที่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของสตริงพ่อแม่ P_2 ที่มีค่าตรงกับค่าที่ถูกเลือกในสตริงพ่อแม่ P_1 โดยเรียงตามลำดับก่อนหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

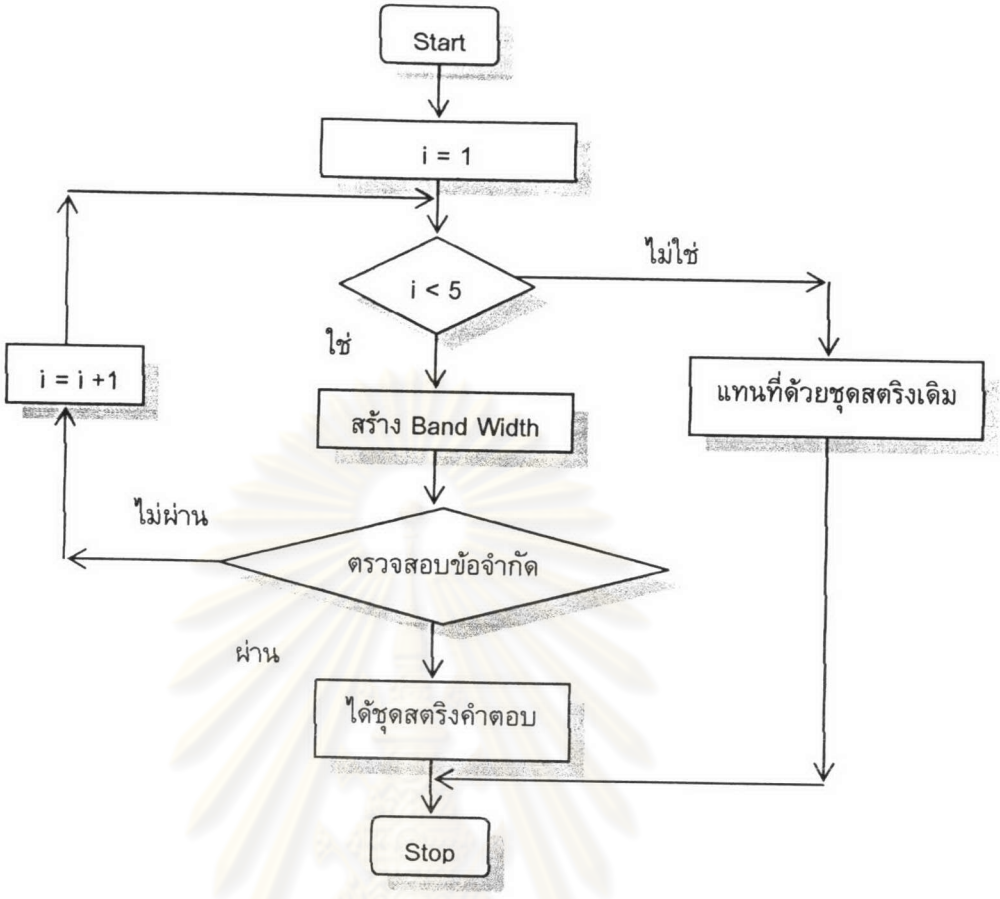


นำค่าในตำแหน่งที่เหลือของสตริงพ่อแม่ P_2 ไปใส่ในตำแหน่งที่ว่างอยู่ของสตริงลูก ตามลำดับ



เมื่อทำการครอสโอเวอร์กับสตริงลำดับการเรียงของแผนกแล้ว จะทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสม ซึ่งหลังจากการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบ อาจพบว่าสตริงทั้งสองไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆของปัญหา ก็จะทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบขึ้นมาใหม่ และตรวจสอบข้อจำกัดต่างๆอีก 5 ครั้ง ถ้าพบว่ายังไม่สามารถหาสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสมได้ นำสตริงคำตอบชุดเดิมก่อนทำการครอสโอเวอร์มาแทนที่สามารถแสดงวิธีการดังกล่าวได้ดังรูปที่ 6.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



***รูปที่ 6.2** แผนผังแสดงวิธีและจำนวนครั้งในการสร้างสตริง Band Width*
***หมายเหตุ** i คือจำนวนครั้งของการสร้างสตริง Band Width*

จากนั้นจะทำการคืนชุดสตริงคำตอบเข้าสู่เมทติ้งพูล เพื่อไปรวมกับชุดสตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกเลือกมาครอสโอเวอร์ และเข้าสู่กระบวนการของ เจนเนติกอัลกอริทึมลำดับถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.5 การมิวเตชั่น (Mutation)

6.3.5.1 การเลือกสตริง การพิจารณาว่าสตริงตัวใดจะถูกนำมาทำมิวเตชั่นขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (*Pm*) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม *r* ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับสตริงคำตอบแต่ละตัว
2. สตริงคำตอบตัวใดที่ตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่า *Pm* จะถูกเลือกไปทำมิวเตชั่น

6.3.5.2 การมิวเตชั่น กระบวนการมิวเตชั่น เป็นการเปลี่ยนค่าในบางตำแหน่งของสตริงเพื่อให้เกิดคำตอบใหม่ โดยเลือกสตริงที่จะทำการมิวเตชั่นอย่างสุ่มและนำมาผ่านการมิวเตชั่น ซึ่งการมิวเตชั่นจะเลือกทำเฉพาะที่สตริงลำดับการเรียงของแผนกให้มีลักษณะเปลี่ยนไปก่อน แล้วจึงสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับสตริงลำดับการเรียงของแผนกที่ผ่านการมิวเตชั่น

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการมิวเตชั่นทั้งหมด 2 แบบ คือ

1. การมิวเตชั่นแบบรีซิโพรคอลเอ็กเชน (Reciprocal Exchange Mutation) เริ่มจากเลือก 2 ตำแหน่งในสตริงอย่างสุ่ม แล้วทำการสลับที่กันระหว่างค่าในตำแหน่งดังกล่าว ในตัวอย่างได้เลือกตำแหน่งที่ 4 และ 6

m = [1 2 3 4 5 6 7 8 9]

m = [1 2 3 6 5 4 7 8 9]

2. การมิวเตชั่นแบบแรนดอมซีเควนซ์ (Random Seqeunce Mutation) เริ่มจากการสุ่มในตำแหน่งของสตริง m ทำการตัดสตริงที่อยู่หลังตำแหน่งที่สุ่มได้ทิ้ง แล้วสร้างสตริงที่เหลือโดยวิธีการสุ่ม ในตัวอย่างตำแหน่งที่สุ่มได้คือ 4

m = [1 2 3 4 5 6 7 8 9]

m = [1 2 3 4 # # # # #]

m = [1 2 3 4 6 5 9 8 7]

เช่นเดียวกับการครอสโอเวอร์ หลังจากสตริงลำดับการเรียงของแผนกผ่านการมิวเตชั่นแล้ว จะทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสม ซึ่งหลังจากการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบ อาจพบว่าสตริงทั้งสองไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆของปัญหา ก็จะทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบขึ้นมาใหม่ และ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตรวจสอบข้อจำกัดต่างๆอีก 5 ครั้ง ถ้าพบว่ายังไม่สามารถหาสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสมได้ นำสตริงคำตอบชุดเดิมก่อนทำการมิวเตชั่นมาแทนที่สามารถแสดงวิธีการดังกล่าวได้ดังรูปที่ 6.2 จากนั้นจะทำการคืนชุดสตริงคำตอบเข้าสู่เมทติ้งพูลเพื่อไปรวมกับชุดสตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกเลือกมามิวเตชั่น และเข้าสู่กระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม ลำดับถัดไป

หลังจากที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก ครอสโอเวอร์ และมิวเตชั่นแล้ว ประชากรรุ่นใหม่ก็พร้อมที่จะนำไปสู่กระบวนการคัดเลือกต่อไป กระบวนการคัดเลือกของรุ่นประชากรรุ่นใหม่ใช้กระบวนการของวงล้อรูเล็ทที่มีขนาดของช่องเป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสม กระบวนการทั้งหมดจะเกิดขึ้นซ้ำๆกันซึ่งเป็นไปตามกระบวนการของ เจนเนติกอัลกอริทึม

6.3.6 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด (Elitist)

กล่าวคือเมื่อระหว่างกระบวนการรีโปรดักชั่น ครอสโอเวอร์ มิวเตชั่น อาจจะทำให้สตริงที่ดีถูกทำลายไปได้ ดังนั้นเมื่อเสร็จสิ้นแต่ละขั้นตอนของ เจนเนติกอัลกอริทึม ให้ทำการเปรียบเทียบระหว่างสตริงที่ดีที่สุดของระหว่างประชากรก่อนและหลังผ่านขั้นตอนดังกล่าว เพื่อหาว่าสตริงใดมีคุณสมบัติดีกว่ากัน หากว่าสตริงที่ดีที่สุดของประชากรก่อนการเข้าสู่กระบวนการของ เจนเนติกอัลกอริทึม นั้นมีคุณสมบัติที่ดีกว่า ให้ทำการนำสตริงนั้นมาแทนที่สตริงที่มีคุณสมบัติแย่ที่สุดของประชากรหลังผ่านกระบวนการ เจนเนติกอัลกอริทึม แล้ว ซึ่งการคำนวณหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสตริงสามารถหาได้จากสมการ (6.7)

6.3.7 การสร้างสตริงใหม่อีกครั้ง(Re-initialization)

การสร้างสตริงใหม่อีกครั้ง เป็นการสร้างชุดสตริงขึ้นมาใหม่ และแทนที่ชุดสตริงในประชากรที่แย่กว่า กล่าวคือ หลังจากที่ครบเจนเนอเรชั่นที่กำหนด จะมีการสร้างชุดสตริงขึ้นมาใหม่ตามจำนวนที่ต้องการ แต่ต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับจำนวนประชากร จากนั้นทำการเรียงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมจากน้อยไปมาก แล้วนำชุดสตริงที่สร้างขึ้นใหม่ มาแทนที่ชุดสตริงปัจจุบันที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมแย่กว่าตัวอื่นตามจำนวนที่สร้างขึ้นใหม่ และทำการประเมินค่า เพื่อเข้าสู่กระบวนการรีโปรดักชั่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างสตริงขึ้นมาใหม่อีกครั้ง จะทำเมื่อถึงเจนเนอเรชั่นที่กำหนด และจะหยุดก็ต่อเมื่อครบตามจำนวนรอบ (Iteration) ที่กำหนดให้สร้าง เช่น ถ้ากำหนดให้สร้างชุดสตริงใหม่ทั้งหมด 5 รอบ และทำการสร้างสตริงใหม่เมื่อครบทุก 200 เจนเนอเรชั่น จำนวน 4 ชุดสตริงจากประชากร 6 ตัว ดังนั้น เมื่อกระบวนการของ เจนเนติกอัลกอริทึม ทำจนกระทั่งถึงเจนเนอเรชั่นที่ 200 จะทำการสร้างชุดสตริงขึ้นมาใหม่ 4 ชุด และแทนที่ชุดสตริงปัจจุบัน (เจนเนอเรชั่นที่ 200) ที่มีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์รวมแย่ที่สุด (เปรียบเทียบกันเองในประชากรปัจจุบัน) ทั้งหมด 4 ชุด และเมื่อถึงเจนเนอเรชั่นที่ 400, 600 และ 800 ก็จะมีการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่และจะหยุดกระบวนการหาคำตอบเมื่อถึงเจนเนอเรชั่นที่ 1000 หรือรอบที่ 5 นั่นเอง โดยรอบที่ 5 นั้นจะไม่มีการสร้างสตริงใหม่ แต่จะหยุดการทำงานแทน

6.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมกับการออกแบบผังโรงงาน

ในส่วนนี้แสดงรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆของเจนเนติกอัลกอริทึม ที่นำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบผังโรงงานที่ผังไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก และมีข้อจำกัดตามงานวิจัย ซึ่งเป็นปัญหาตัวอย่างการวางผังโรงงานจำนวน 6 แผนก

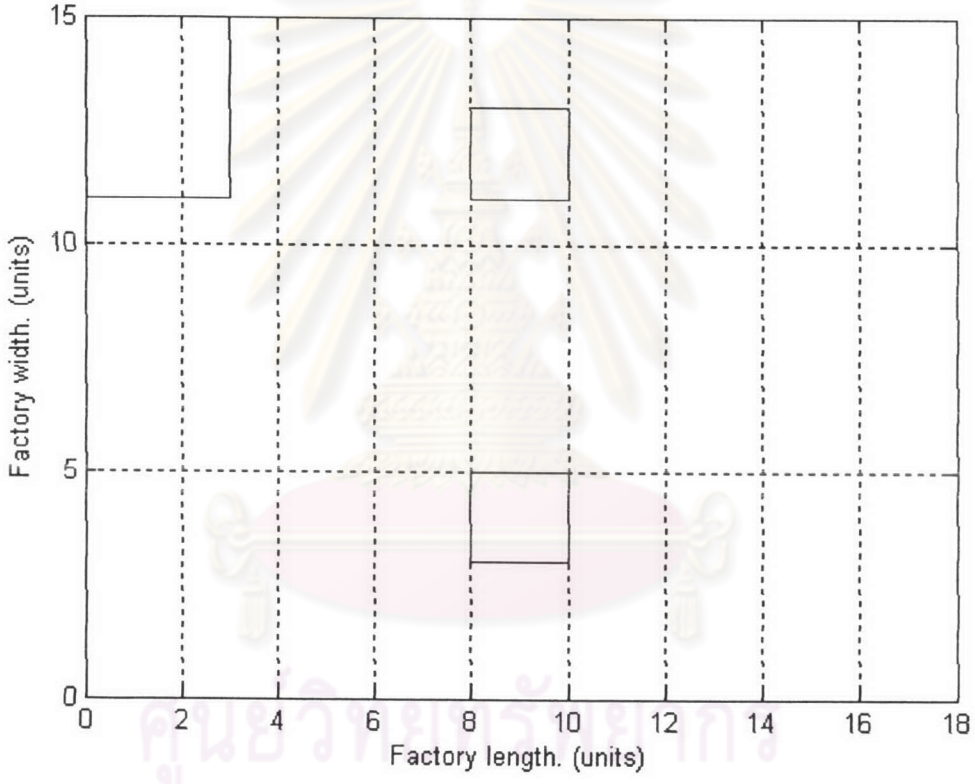
6.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

1. ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของผังโรงงาน มีจำนวนมุมทั้งหมด 6 มุม และมีรายละเอียดต่าง ดังตารางที่ 6.4 และแสดงรูปร่างของผังได้ดังรูปที่ 6.3 (ขณะวางแผนกโปรแกรมจะไม่พิจารณาพื้นที่ตายตัวรวมอยู่ด้วย แต่จะวางลงหลังจากที่ได้ผังโรงงานคำตอบแล้ว)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 *ข้อมูลขนาดผังโรงงานของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

หัวข้อ	รายละเอียด
1. ตำแหน่งแกน X-Y ของมุมต่าง ๆของผังโรงงาน	มุม1(0,0) มุม2(0,11) มุม3(3,11) มุม4(3,15) มุม 5(18,15) และมุม6(18,0)
2. จำนวนพื้นที่ตายตัว 2 พื้นที่	1) *พื้นที่ที่ 1* ตำแหน่งแกน X-Y คือ มุม1(8,3) มุม 2(8,5) มุม3(10,5) และมุม4(10,3) 2) *พื้นที่ที่ 2* ตำแหน่งแกน X-Y คือ มุม1(8,11) มุม 2(8,13) มุม3(10,13) และมุม4(10,11)



รูปที่ 6.3 *ผังโรงงานตัวอย่างก่อนการวางแผนก*

2. ข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ที่ต้องการของแต่ละแผนก โดยคำนึงถึงพื้นที่ทางเดินและพื้นที่ของพื้นที่ตายตัว รวมเข้าไปด้วย (เนื่องจากโปรแกรมจะใส่พื้นที่ตายตัวหลังจากได้ผังโรงงานคำตอบแล้ว) แสดงได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 *ข้อมูลความต้องการพื้นที่ของแต่ละแผนกและรายละเอียดต่าง ๆ ของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

แผนก	พื้นที่ (ต.ร. หน่วย)	แผนกที่มีรูปร่างคงที่		แผนกที่มีที่ตั้งคงที่		พื้นที่ที่เล็กที่สุด		อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้าง
		ความยาวแกน X	ความยาวแกน Y	ตำแหน่งแกน X	ตำแหน่งแกน Y	ความยาวแกน X	ความยาวแกน Y	
1	50	-	-	14	13	1	2	4
2	21	3	7	-	-	-	-	4
3	46	-	-	-	-	2	1	4
4	44	-	-	-	-	1	2	4
5	55	-	-	-	-	1	2	4
6	42	-	-	-	-	1	2	4

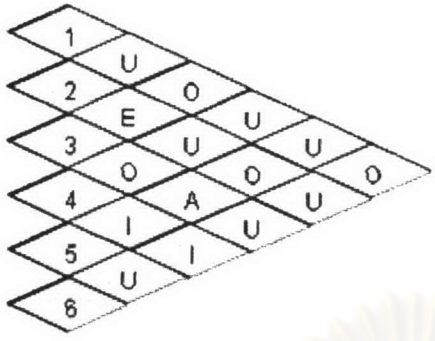
หมายเหตุ พื้นที่ของแผนกได้คำนึงถึงทางเดิน และพื้นที่ตายตัว

3. ข้อมูลที่เป็นแผนภูมิการไหลระหว่างแผนกดังตารางที่ 6.6 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแผนกต่าง ๆดังรูปที่ 6.4 ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุประเภทของการวัดระยะทาง น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายของผังโรงงาน น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างแผนก และน้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับการพิจารณาทางเดิน

ตารางที่ 6.6 *แผนภูมิการไหลระหว่างแผนก (เที่ยว) ของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

จาก-ไป	1	2	3	4	5	6
1	0	63	605	551	116	136
2	63	0	635	941	50	191
3	104	71	0	569	136	55
4	65	193	622	0	77	90
5	162	174	607	591	0	179
6	156	13	667	611	175	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



A: 81	
E: 27	
I : 9	
O: 3	
U: 1	
X: -243	

***รูปที่ 6.4** แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแผนกของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

ค่าใช้จ่ายของการขนถ่ายเท่ากับ 1 หน่วย/เที่ยว คิดระยะทางระหว่างจุด เซ็นทรอยด์ของแต่ละแผนกแบบเรคติลิเนียร์ และค่า *W1*=0.25 *W2*=0.25 และ *W3*=0.5

4. จากตารางที่ 6.5 กำหนดให้แผนกที่ 2 มีรูปร่างคงที่ จึงต้องวางแผนกที่ 2 ก่อน โดยวางที่มุมล่างขวาของผังโรงงาน

5. พารามิเตอร์ของ เจนเนติกอัลกอริทึม ที่เลือกในการยกตัวอย่าง คือ

จำนวนประชากรเบื้องต้น	6 ตัว
วิธีการรีโปรดักชั่นแบบ	วงล้อรูลเล็ท
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ	PMX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.7
วิธีการมิวเตชั่นแบบ	Reciprocal Exchange
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.1
จำนวนเจนเนอเรชั่น	200
จำนวนรอบในการสร้างสตริงใหม่	5
จำนวนสตริงที่สร้างใหม่	3

(จำนวนเจนเนอเรชั่นทั้งหมดเท่ากับ 200*5 = 1000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นเริ่มจากนำข้อมูลของจำนวนแผนก และชื่อของแผนก ซึ่งในที่นี้แทนด้วยตัวเลข เอามาใช้สร้างสตริงลำดับการเรียงของแผนก โดยตัดแผนกที่ 2 ออกจากสตริงลำดับเรียงกันของแผนก เพราะถูกวางไปก่อนแล้ว จากนั้นนำข้อมูลขนาดผังโรงงาน จำนวนแผนก ข้อมูลของพื้นที่ที่ต้องการของแต่ละแผนก และรายละเอียดต่างๆในตารางที่ 6.5 แผนกที่มีรูปร่างคงที่ จะนำมาใช้เพื่อสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบ เมื่อได้สตริงคำตอบ 2 ส่วนที่คู่กันแล้ว จะทำการตรวจสอบข้อจำกัดต่างๆของแผนกและผังโรงงาน ซึ่งถ้าผ่านข้อจำกัดทุกข้อก็จะได้สตริงคำตอบ 1 ชุด และสร้างชุดสตริงคำตอบจนครบตามจำนวนประชากรเบื้องต้น ในที่นี้คือ 6 ตัว ซึ่งประชากรเบื้องต้น 6 ตัวประกอบด้วยชุดสตริงคำตอบ 6 ชุดแสดงได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 *ประชากรเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

String No.	Order	Band
1	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]
2	[3 5 4 6 1]	[3 3 3 6 3]
3	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]
4	[5 6 3 4 1]	[3 3 3 6 3]
5	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]
6	[3 6 4 5 1]	[3 5 4 3 3]

6.4.3 การประเมินค่า

ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลแผนภูมิการไหลระหว่างแผนก แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแผนกต่างๆ ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ ประเภทของการวัดระยะทาง น้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายของผังโรงงาน น้ำหนักที่ให้ความสำคัญความสัมพันธ์ระหว่างแผนก และน้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับการพิจารณาทางเดิน มาใช้ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายของผังโรงงาน และค่า TCR ที่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนก และทำการคำนวณค่า Cost-fitness TCR-fitness Total Fitness และ Total Objective Function ของสตริงคำตอบแต่ละชุด ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.8 (สำหรับการแก้ปัญหาแบบฟัซซี่จะทำการเปลี่ยนข้อมูลการไหลของวัสดุตามกรณีของฟัซซี่ ส่วนกรณีที่เป็นค่าเฉลี่ยจะใช้สมการที่ 4.7 เป็นสมการในการหาค่าเฉลี่ย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 *ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

String No.	Cost ($*10^4$)	Cost-fitness	TCR ($*10^3$)	TCR-fitness	Aisle	Aisle-fitness	Total fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	4.3202	0.1712	1.2012	0.1727	29.3023	0.1662	0.1691	1.3618
2	5.1683	0.1656	1.7876	0.1593	31.2558	0.1639	0.1632	2.3918
3	4.8206	0.1679	1.5842	0.1639	27.3488	0.1684	0.1672	1.9763
4	4.1655	0.1723	1.2896	0.1706	29.7984	0.1656	0.1685	1.4061
5	5.4630	0.1636	1.3962	0.1682	30.2791	0.1651	0.1655	1.9909
6	6.0965	0.1594	1.5259	0.1653	25.3256	0.1708	0.1666	2.4043
Total	30.0340	1.0000	8.7847	1.0000	173.3100	1.0000	1.0000	

6.4.4 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

ค่า Total Fitness จากตารางที่ 6.8 คือค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก หรือขนาดของช่องในวงล้อรูลเล็ท จะนำมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม ดังตารางที่ 6.9 เพื่อใช้ในการคัดเลือกสตริงตามวิธีการของวงล้อรูลเล็ท โดยสมมติค่าสุ่มจำนวน 6 ค่าที่อยู่ในช่วง [0...1] และผลการคัดเลือกจะได้สตริงคำตอบทั้ง 6 ตัว คือสตริงหมายเลข 5 2 5 3 6 และ 3 แสดงได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.9 *การสร้างวงล้อรูลเล็ทของปัญหาตัวอย่างจำนวน 6 แผนก*

String No.	Total Fitness or p_i	q_i
1	0.1691	0.1691
2	0.1632	0.3323
3	0.1672	0.4995
4	0.1685	0.6680
5	0.1655	0.8335
6	0.1666	1.0000

ตารางที่ 6.10 *ผลการสุ่มเลือกสตริงคำตอบโดยวิธีการของวงล้อรูลเล็ท*

ครั้งที่	ค่าสุ่ม	สตริงที่ผ่านการรีโปรดักชั่น
1	0.7498	String No.5 & Total fitness: 0.1655
2	0.2033	String No.2 & Total fitness: 0.1632
3	0.7711	String No.5 & Total fitness: 0.1655
4	0.3715	String No.3 & Total fitness: 0.1672
5	0.8191	String No.5 & Total fitness: 0.1655
6	0.3740	String No.3 & Total fitness: 0.1672

หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกสตริงคำตอบ จะทำการประเมินค่าของชุดสตริงคำตอบทั้งหมดซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 *ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการรีโปรดักชั่น*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1665	1.9909
2	[3 5 4 6 1]	[3 3 3 6 3]	5.1683	1.7876	31.2558	0.1643	2.3918
3	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1665	1.9909
4	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1681	1.9763
5	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1665	1.9909
6	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1681	1.9763

6.4.5 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด

ทำการเปรียบเทียบ Total Objective Function ระหว่าง ชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรเบื้องต้น และชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรที่ได้ภายหลังการรีโปรดักชั่น พบว่า Total Objective Function ของชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรเบื้องต้น (ชุดสตริงที่ 1) มีค่าต่ำกว่าชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดภายหลังการรีโปรดักชั่น (ชุดสตริงที่ 4 และ 6) จึงทำการแทนที่ชุดสตริงที่แย่ที่สุดของประชากรหลังผ่าน

กระบวนการรีโปรดักชั่น (ชุดสตริงที่ 2) ด้วยชุดสตริงที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรเบื้องต้น (ชุดสตริงที่ 1) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 *ชุดสตริงคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุดภายหลังการรีโปรดักชั่น*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1655	1.9909
2	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1691	1.3618
3	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1655	1.9909
4	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1672	1.9763
5	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1655	1.9909
6	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1672	1.9763

6.4.6 การครอสโอเวอร์

กระบวนการต่อไปเป็นการครอสโอเวอร์แบบ PMX ซึ่งจะทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม *r* น้อยกว่าค่า *Pc* ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ *Pc* = 0.7 จึงอาจคาดได้ว่าประมาณ 70% ของประชากรที่มีการครอสโอเวอร์ (โดยเฉลี่ย) นั่นคือ 0.7*6=4.2 การสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการ ครอสโอเวอร์ แสดงได้ดังตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 *การเลือกสตริงเพื่อทำการครอสโอเวอร์*

String No.	Order	r_i	r_i <0.7 (*Pc*)
1	[4 3 5 6 1]	0.4529	Selected
2	[6 5 3 4 1]	0.3784	Selected
3	[4 3 5 6 1]	0.5556	Selected
4	[5 3 4 6 1]	0.2942	Selected
5	[4 3 5 6 1]	0.4704	Selected
6	[5 3 4 6 1]	0.6137	Selected

จากตารางที่ 6.13 จะได้สตริงที่นำไปครอสโอเวอร์ทั้งหมด 6 สตริง โดยจับคู่สตริงที่จะครอสโอเวอร์ได้ ดังนี้ สตริงที่ 1 คู่กับสตริงที่ 2 สตริงที่ 3 คู่กับสตริงที่ 4 และสตริงที่ 5 คู่กับสตริงที่ 6

นำสตริงลำดับการเรียงของแผนกของคู่แรกไปครอสโอเวอร์ โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ที่ตำแหน่ง 2 และ 4

$$P_1 = [4\ |3\ 5\ 6|\ 1]$$

$$P_2 = [6\ |5\ 3\ 4|\ 1]$$

ทำการสลับสตริงที่อยู่ในตำแหน่งที่ 2 ถึง 4 (หรือที่อยู่ระหว่างเครื่องหมาย |) และทำการแทนค่า (Map) ดังนี้คือ 4 เป็น 6 และ 6 เป็น 4 จะได้สตริงรุ่นลูกเป็น

$$O_1 = [6\ 5\ 3\ 4\ 1]$$

$$O_2 = [4\ 3\ 5\ 6\ 1]$$

หลังจากได้สตริงลำดับการเรียงของแผนกที่ผ่านการครอสโอเวอร์แล้ว จึงทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสม ดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 *สตริงคู่ที่ 1 หลังผ่านการครอสโอเวอร์*

String	Order	Band
O_1	[6 5 3 4 1]	[3 3 3 6 3]
O_2	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]

จากตารางที่ 6.14 หลังการครอสโอเวอร์ สตริงลูกหลานทั้งสองสามารถหาสตริงความกว้างของแถบได้ และผ่านข้อจำกัดทั้งหมด จึงนำสตริง O_1 แทนที่สตริงที่ 1 และสตริง O_2 แทนที่สตริงที่ 2 ในประชากรก่อนการครอสโอเวอร์

นำสตริงลำดับการเรียงของแผนกของคู่ที่สองไปครอสโอเวอร์ โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ที่ตำแหน่ง 4 และ 5

$$P_1 = [4\ 3\ 5\ |6\ 1|]$$

$$P_2 = [5\ 3\ 4\ |6\ 1|]$$

ทำการสลับสตริงที่อยู่ในตำแหน่งที่ 2 และ 4 (หรือที่อยู่ระหว่างเครื่องหมาย |) พบว่าได้ลำดับการเรียงเหมือนเดิม

$$O_1 = [4\ 3\ 5\ 6\ 1]$$

$$O_2 = [5\ 3\ 4\ 6\ 1]$$

หลังจากได้สตริงลำดับการเรียงของแผนกที่ผ่านการครอสโอเวอร์แล้ว จึงทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสม

ตารางที่ 6.15 *สตริงคู่ที่ 2 หลังผ่านการครอสโอเวอร์*

String	Order	Band
O_1	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]
O_2	[5 3 4 6 1]	[3 6 3 6]

จากตารางที่ 6.15 หลังการครอสโอเวอร์ สตริงลูกหลานทั้งสองสามารถหาสตริงความกว้างของแถบได้ และผ่านข้อจำกัดทั้งหมด โดยสตริง O_2 มีสตริงความกว้างของแถบเปลี่ยนไป ขณะที่ลำดับการเรียงเหมือนกับประชากรก่อนการครอสโอเวอร์ จึงนำสตริง O_1 แทนที่สตริงที่ 3 และสตริง O_2 แทนที่สตริงที่ 4 ในประชากรก่อนการครอสโอเวอร์

นำสตริงลำดับการเรียงของแผนกของคู่ที่สามไปครอสโอเวอร์ โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ที่ตำแหน่ง 1 และ 5

$$P_1 = [|4\ 3\ 5\ 6\ 1|]$$

$$P_2 = [|5\ 3\ 4\ 6\ 1|]$$

ทำการสลับสตริงที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และ 5 (หรือที่อยู่ระหว่างเครื่องหมาย |) พบว่าเป็นการสลับกันทั้งหมด โดยได้สตริงลูกหลานคือ

$$O_1 = [5\ 3\ 4\ 6\ 1]$$

$$O_2 = [4\ 3\ 5\ 6\ 1]$$

หลังจากได้สตริงลำดับการเรียงของแผนกที่ผ่านการครอสโอเวอร์แล้ว จึงทำการสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.16 *สตริงคู่ที่ 3 หลังผ่านการครอสโอเวอร์*

String	Order	Band
O_1	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]
O_2	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 3 3]

จากตารางที่ 6.16 หลังการครอสโอเวอร์ สตริงลูกหลานทั้งสองสามารถหาสตริงความกว้างของแถบได้ และผ่านข้อจำกัดทั้งหมด โดยสตริง O_1 และ O_2 มีสตริงความกว้างของแถบเปลี่ยนไป ขณะที่ลำดับการเรียงเหมือนกับประชากรก่อนการครอสโอเวอร์ จึงนำสตริง O_1 แทนที่สตริงที่ 5 และสตริง O_2 แทนที่สตริงที่ 6 ในประชากรก่อนการครอสโอเวอร์

เมื่อทำการครอสโอเวอร์ครบทุกคู่แล้ว จากนั้นทำการประเมินค่าของชุดสตริงคำตอบทั้งหมด ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.17

ตารางที่ 6.17 *ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	[6 5 3 4 1]	[3 3 3 6 3]	4.1617	1.5029	29.5349	0.1672	1.6262
2	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1688	1.3618
3	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1652	1.9909
4	[5 3 4 6 1]	[3 6 3 6]	5.1884	1.3176	29.0698	0.1668	1.7857
5	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1668	1.9763
6	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 3 3]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1652	1.9909

6.4.7 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด

ทำการเปรียบเทียบ Total Objective Function ระหว่างประชากรที่มีคุณสมบัติดีที่สุดหลังผ่านกระบวนการรีโปรดักชั่น และชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์ พบว่าชุดสตริงทั้งสองมีคุณสมบัติดีเท่ากัน จึงไม่ทำการแทนที่ชุดสตริงที่แย่ที่สุดของประชากรที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์ด้วยชุดสตริงที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการรีโปรดักชั่น ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 *ชุดสตริงคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุดภายหลังการครอสโอเวอร์*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	[6 5 3 4 1]	[3 3 3 6 3]	4.1617	1.5029	29.5349	0.1672	1.6262
2	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1688	1.3618
3	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1652	1.9909
4	[5 3 4 6 1]	[3 6 3 6]	5.1884	1.3176	29.0698	0.1668	1.7857
5	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1668	1.9763
6	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 3 3]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1652	1.9909

6.4.8 การมิวเตชั่น

กระบวนการต่อไปเป็นการมิวเตชั่นแบบรีซิโพรคอล เอ็กเชน กำหนดความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น *Pm* = 0.1 อาจคาดได้ว่า 10% ของประชากรที่มีการมิวเตชั่น (โดยเฉลี่ย) นั่นคือ 0.1*6 = 0.6 โดยสตริงที่จะถูกเลือกขึ้นมาทำการมิวเตชั่น พิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม *r* น้อยกว่า *Pm* การสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชั่น แสดงได้ดังตารางที่ 6.19

ตารางที่ 6.19 *การเลือกสตริงเพื่อทำการมิวเตชั่น*

String No.	Order	r_i	r_i <0.1 (*Pm*)
1	[6 5 3 4 1]	0.8185	-
2	[6 5 3 4 1]	0.8101	-
3	[4 3 5 6 1]	0.0137	Selected
4	[5 3 4 6 1]	0.3260	-
5	[5 3 4 6 1]	0.1743	-
6	[4 3 5 6 1]	0.3723	-

สตริงที่จะทำการมิวเตชั่นคือ สตริงที่ 3 ซึ่งจะทำการมิวเตชั่นที่สตริงลำดับการเรียงของแผนก

String 3 = [4 3 5 6 1]

เลือกตำแหน่งที่จะทำการสลับที่ 2 ตำแหน่งคือ 2 และ 3

String 3 = [4 3 5 6 1]

String 3 = [4 5 3 6 1]

จากนั้นสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบ ที่เหมาะสมกับสตริงลำดับการเรียงของแผนกหมายเลข 3 ดังตารางที่ 6.20

***ตารางที่ 6.20** สตริงที่ได้จากการมิวเตชั่น*

String No.	Order	Band
3	[4 5 3 6 1]	ไม่สามารถหาได้

จากตารางที่ 6.20 พบว่าการมิวเตชั่นของสตริงที่ 3 ไม่สามารถหาความกว้างของแถบที่เหมาะสมได้ จึงไม่แทนที่สตริงที่ 3 แต่ใช้สตริงเดิม และรวมเข้ากับสตริงที่ไม่ได้ทำการมิวเตชั่น ซึ่งผลการประเมินยังเหมือนเดิม ดังตารางที่ 6.18

6.4.9 การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด

ทำการเปรียบเทียบชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการครอสโอเวอร์ กับชุดสตริงคำตอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการมิวเตชั่นพบว่าชุดสตริงทั้งสองมีคุณสมบัติดีเท่ากัน จึงไม่ทำการแทนที่ชุดสตริงที่แย่ที่สุดของประชากรที่ผ่านการมิวเตชั่นด้วยชุดสตริงที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจากประชากรที่ผ่านการ ครอสโอเวอร์ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.21 *ชุดสตริงคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุดภายหลังการมิวเตชั่น*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	[6 5 3 4 1]	[3 3 3 6 3]	4.1617	1.5029	29.5349	0.1672	1.6262
2	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1688	1.3618
3	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 6]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1652	1.9909
4	[5 3 4 6 1]	[3 6 3 6]	5.1884	1.3176	29.0698	0.1668	1.7857
5	[5 3 4 6 1]	[3 4 4 4 3]	4.8206	1.5842	27.3488	0.1668	1.9763
6	[4 3 5 6 1]	[3 5 4 3 3]	5.4630	1.3962	30.2791	0.1652	1.9909

หลังจากผ่านการเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุดภายหลังการมิวเตชั่นแล้ว ชุดสตริงคำตอบทั้ง 6 ชุด จะกลายเป็นชุดสตริงคำตอบเบื้องต้นในเจนเนอเรชั่นถัดไป และเข้าสู่ขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึมเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบตามจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนด

6.4.10 การสร้างสตริงใหม่

เมื่อครบตามจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนด จึงทำการสร้างสตริงใหม่อีกครั้ง โดยเมื่อผ่านเจนเนอเรชั่นที่ 200 จะได้ชุดสตริงดังตารางที่ 6.22

ตารางที่ 6.22 *ชุดสตริงคำตอบที่ได้จากเจนเนอเรชั่นที่ 200*

String No.	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Fitness	Total Objective Function ($*10^7$)
1	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1667	1.3618
2	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1667	1.3618
3	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1667	1.3618
4	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1667	1.3618
5	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1667	1.3618
6	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]	4.3202	1.2012	29.3023	0.1667	1.3618

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำการสร้างชุดสตริงใหม่ทั้งหมด 3 ชุด จากนั้นนำไปแทนที่ชุดสตริงที่มีค่า Total Objective Function ที่ได้จากเจนเนอเรชั่นที่ 200 ต่ำ 3 ชุด แต่จากตารางที่ 6.22 พบว่าค่า Total Objective Function เท่ากันหมด การแทนที่จึงแทนที่ชุดสตริงตัวใดก็ได้ ได้ผลดังตารางที่ 6.23

ตารางที่ 6.23 *ชุดสตริงคำตอบที่ได้จากการสร้างสตริงใหม่*

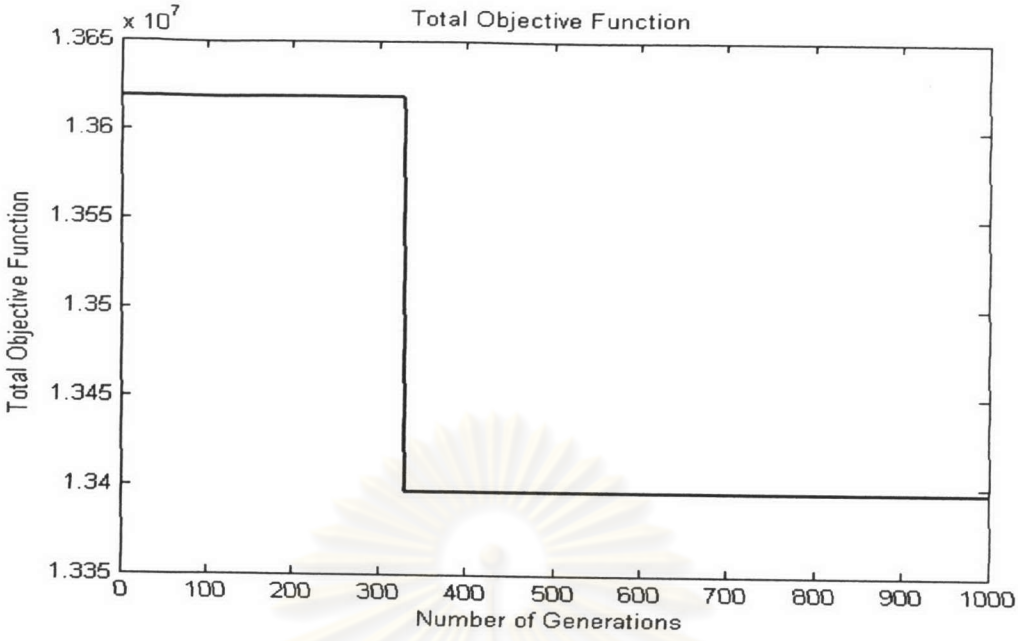
String No.	Order	Band
1	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]
2	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]
3	[6 5 3 4 1]	[3 3 6 6]
4	[5 6 3 4 1]	[3 6 3 3 3]
5	[5 3 4 6 1]	[3 6 3 6]
6	[5 3 4 6 1]	[3 6 3 6]

จากตารางที่ 6.23 ชุดสตริงที่สร้างใหม่ทั้งหมด 3 ชุดได้แทนที่ สตริงที่ 4 5 และ 6 ซึ่งชุดสตริงนี้จะเป็นชุดสตริงตั้งต้นของเจนเนอเรชั่นที่ 201 ต่อไป

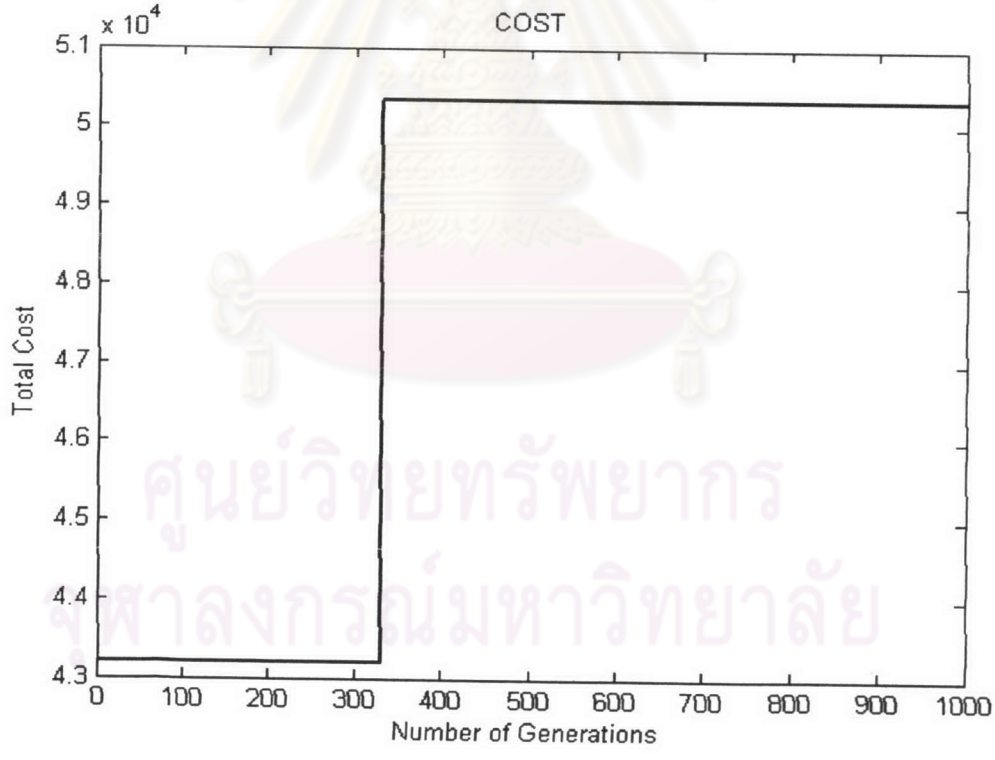
การสร้างสตริงใหม่จะทำเมื่อจบเจนเนอเรชั่นที่ 200 400 600 และ 800 ซึ่งเป็นการสร้างสตริงใหม่ทั้งหมด 4 รอบ แต่เมื่อถึงรอบที่ 5 หรือเจนเนอเรชั่นที่ 1000 จะเป็นการหยุดการทำงานแทน ซึ่งจากตัวอย่างนี้จะได้คำตอบดังตารางที่ 6.24 และได้กราฟความสัมพันธ์ต่างๆคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์รวมและเจนเนอเรชั่น ดังรูปที่ 6.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุและเจนเนอเรชั่น ดังรูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า TCR ที่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนกและเจนเนอเรชั่น ดังรูปที่ 6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสัมพันธ์ของทางเดินและเจนเนอเรชั่น ดังรูปที่ 6.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวม ของประชากรในแต่ละเจนเนอเรชันและเจนเนอเรชั่น ดังรูปที่ 6.9 และกราฟผังโรงงานคำตอบที่ยังไม่วางพื้นที่ตายตัว ดังรูปที่ 6.10

ตารางที่ 6.24 *ชุดสตริงคำตอบของปัญหาตัวอย่าง*

Generation ที่พบคำตอบ	Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Objective Function ($*10^7$)
331	[6 4 5 3 1]	[3 3 3 6 3]	5.0327	1.0073	28.2171	1.3396

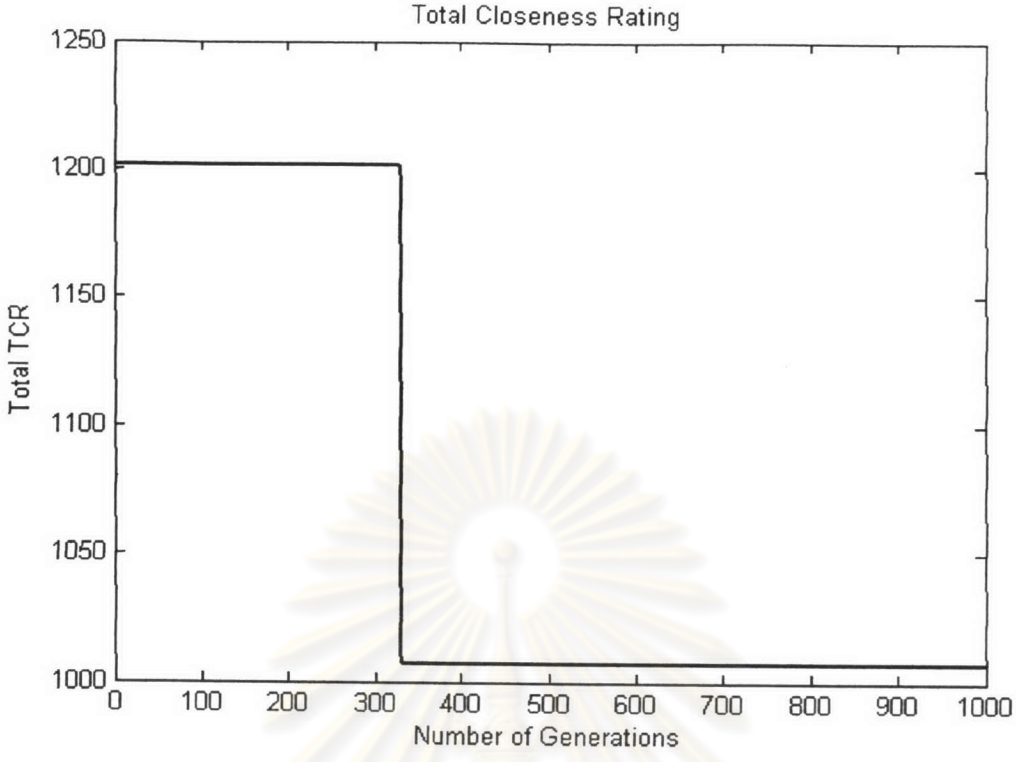


รูปที่ 6.5 *กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์รวม และเจนเนอเรชั่นของปัญหาตัวอย่าง*

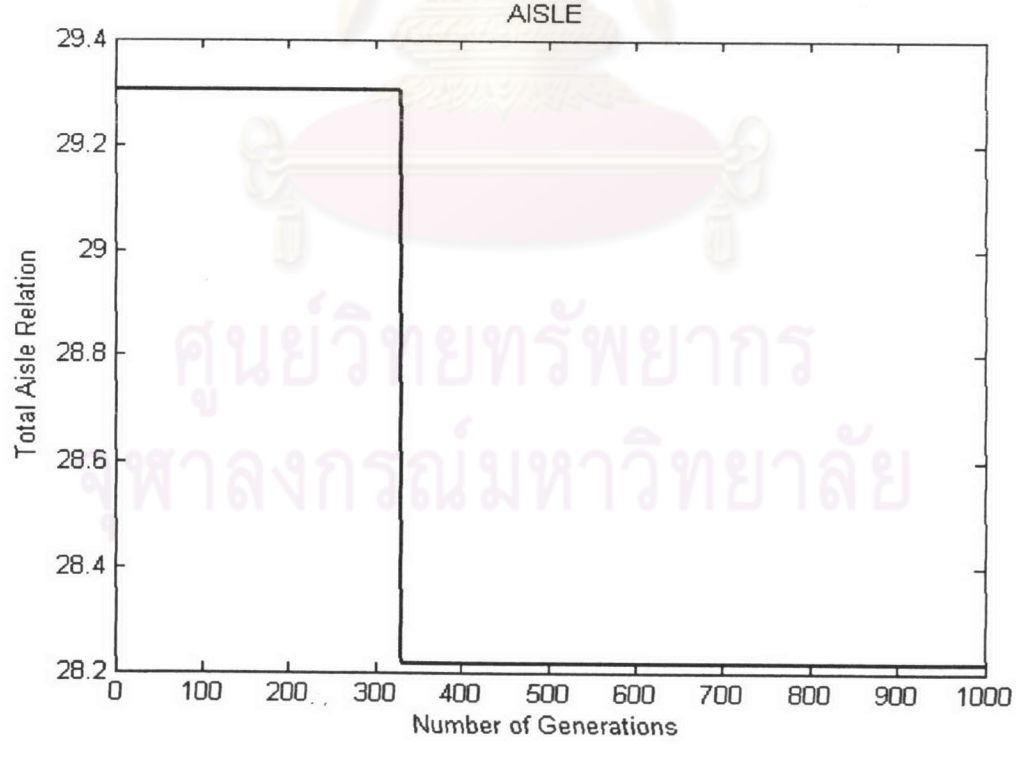


รูปที่ 6.6 *กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ และเจนเนอเรชั่นของปัญหาตัวอย่าง*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

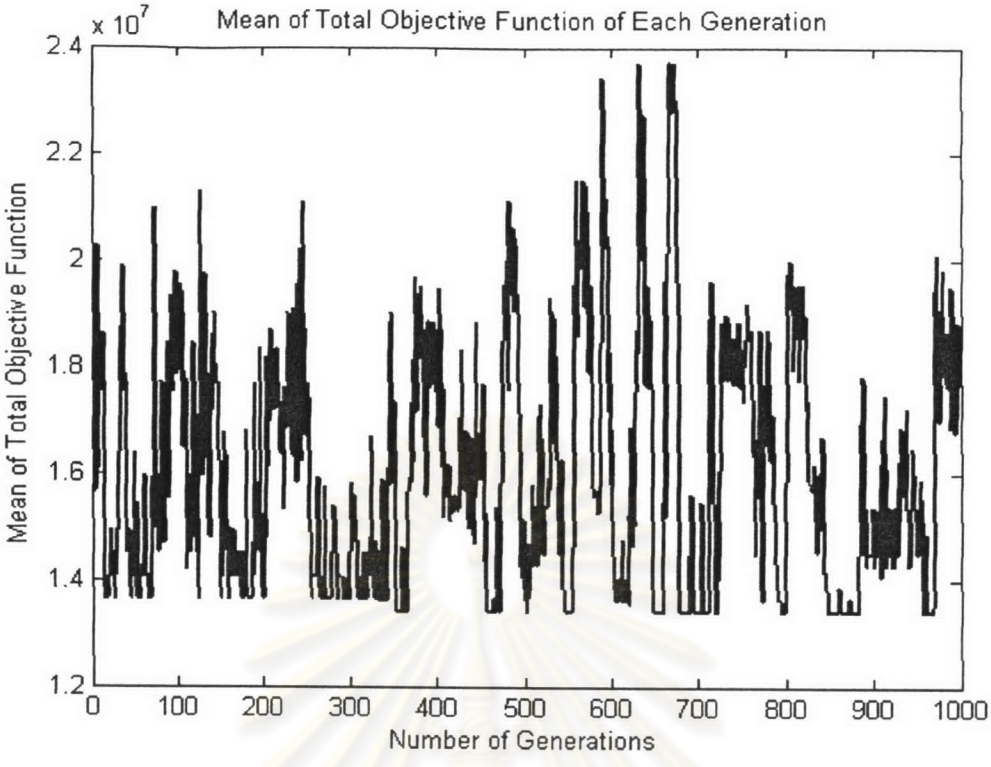


รูปที่ 6.7 *กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า TCR ที่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแผนก และเจนเนอเรชั่นของปัญหาตัวอย่าง*

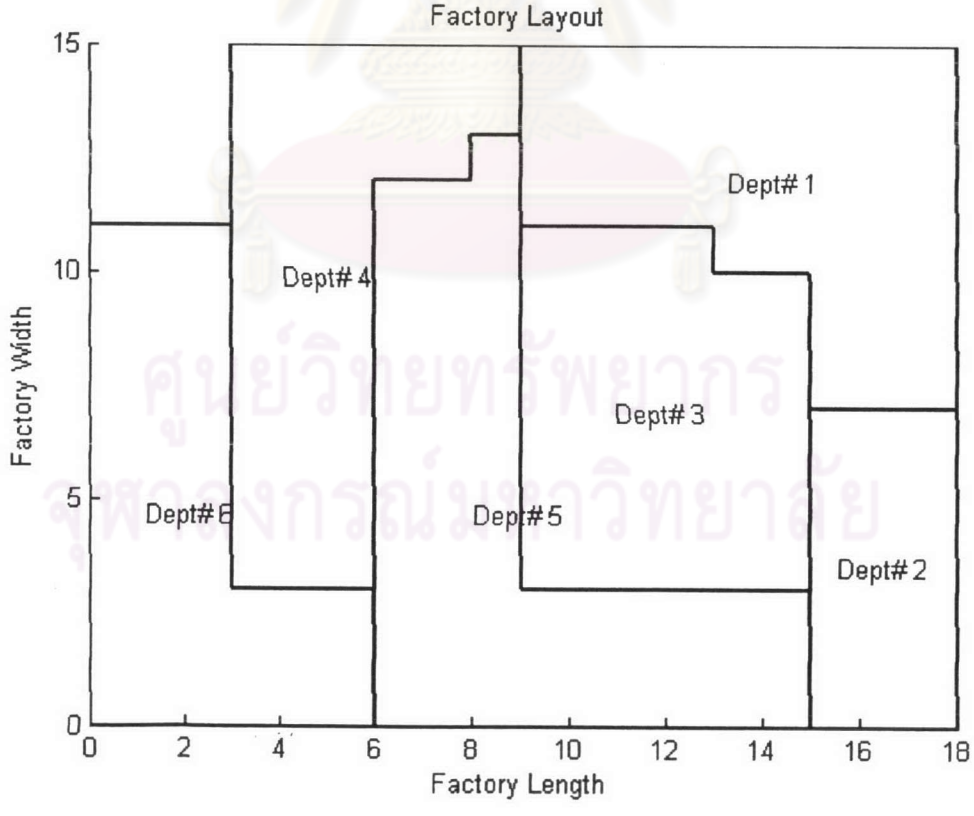


รูปที่ 6.8 *กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสัมพันธ์ของทางเดิน และเจนเนอเรชั่นของปัญหาตัวอย่าง*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมของประชากรในแต่ละเจนเนอเรชัน และเจนเนอเรชั่น

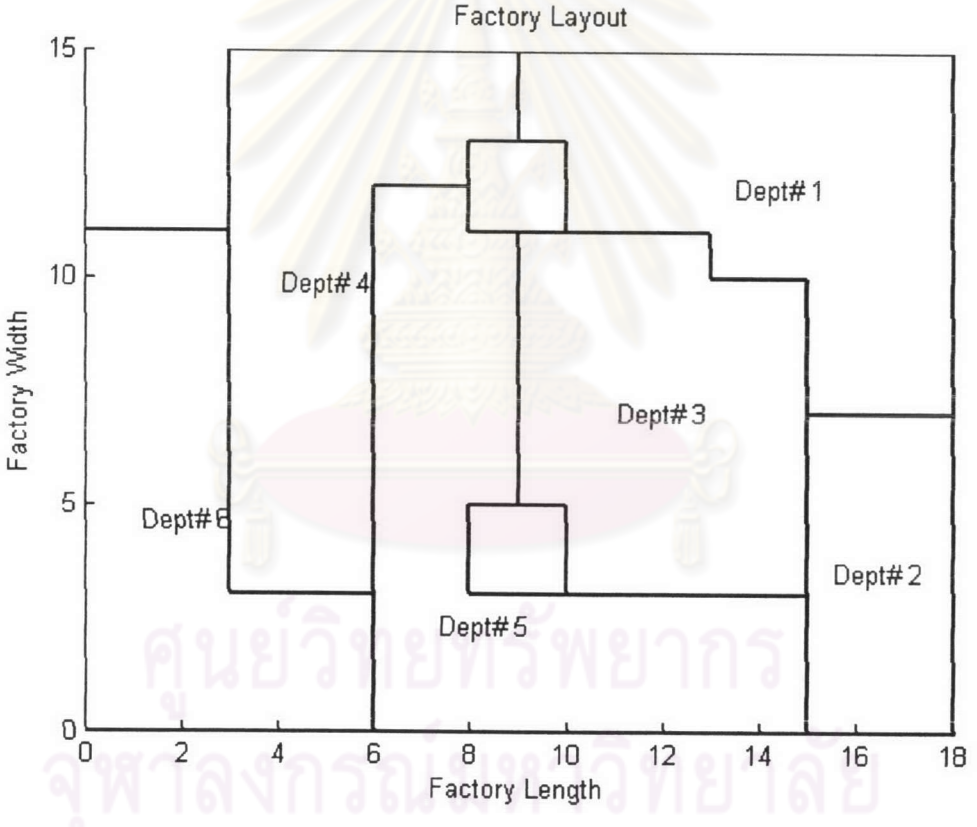


รูปที่ 6.10 ผังโรงงานคำตอบที่ยังไม่ได้วางพื้นที่ตายตัวของปัญหาตัวอย่าง

หลังจากที่ได้ผังโรงงานคำตอบจากเจนเนติกอัลกอริทึมแล้ว ทำการวางพื้นที่ตายตัว ดังรูปที่ 6.10 และคำนวณหาค่าฟังชั่นวัตถุประสงค์ใหม่ดังตารางที่ 6.25

ตารางที่ 6.25 *ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนวณใหม่*

Order	Band	Cost ($*10^4$)	TCR ($*10^3$)	Aisle	Total Objective Function ($*10^7$)
[6 4 5 3 1]	[3 3 3 6 3]	5.0610	1.0485	40.8480	1.4312



รูปที่ 6.11 *ผังโรงงานคำตอบสุดท้ายของปัญหาตัวอย่าง*

6.5 โปรแกรมการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงาน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆของโปรแกรมทั้งหน้าที่ของโปรแกรม ข้อจำกัดหรือข้อควรพิจารณา การป้อนข้อมูลเข้าของโปรแกรม และผลที่ได้จากโปรแกรม

6.5.1 หน้าที่ของโปรแกรม

โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ เหมาะสำหรับนำไปใช้กับการแก้ปัญหาการออกแบบผังโรงงานแบบกระบวนการผลิต ที่รูปร่างของผังไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก มีพื้นที่ตายตัวบรรจุอยู่ แต่ละแผนกมีความต้องการขนาดพื้นที่ไม่เท่ากัน สามารถกำหนดให้รูปร่างของแผนกคงที่ และกำหนดตำแหน่งที่ต้องการให้แผนกคงที่ได้ ซึ่งหน้าที่ของโปรแกรมคือ รับข้อมูลต่าง ๆซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ข้อมูลที่เกี่ยวกับโรงงาน และแผนกต่าง ๆในโรงงาน และข้อมูลที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งโปรแกรมจะทำการหาคำตอบที่เป็นการจัดวางตำแหน่งของแผนกในโรงงานให้เหมาะสมที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์ในการพิจารณา 3 ประการคือ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด เพื่อให้ค่า TCR ที่พิจารณาระยะทางระหว่างแผนกน้อยที่สุด และเพื่อให้ค่าความสัมพันธ์ของทางเดินน้อยที่สุด ในการประเมินผลผังโรงงานจะดูจากค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์รวมทั้งหมด ซึ่งจะใช้วิธีการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้งสามฟังก์ชั่น โดยการให้น้ำหนักกับแต่ละวัตถุประสงค์ เพื่อบ่งบอกถึงความสำคัญของวัตถุประสงค์นั้น ๆ ซึ่งน้ำหนักที่กำหนดให้กับแต่ละวัตถุประสงค์จะถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบ

6.5.2 ข้อจำกัดและข้อควรพิจารณา

1. โปรแกรมการออกแบบผังโรงงานนี้เหมาะที่จะนำไปใช้ในการสร้างผังโรงงานใหม่และสามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงผังโรงงานเดิมได้ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงทางเดิน เครื่องจักร และระบบการขนถ่ายวัสดุที่ติดตั้งอยู่ก่อน การกำจัดพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์บางอย่าง เพราะโปรแกรมไม่สามารถกำหนดความต้องการส่วนนี้ได้ ในการนำโปรแกรมไปใช้เพื่อปรับปรุงผังโรงงานเดิมควรมีการกำหนดข้อมูลและเงื่อนไขให้ตรงกับโปรแกรม และเมื่อนำไปใช้แล้วลักษณะคำตอบผังโรงงานที่ได้อาจไม่เหมาะนำไปใช้ปรับปรุงผังเดิม จึงอาจต้องมีการปรับปรุงขอบเขตของแผนกเพื่อที่จะนำไปใช้ได้

2. ความเหมาะสมในการแก้ปัญหาการออกแบบผังโรงงานด้วยวิธีเจนเนติก อัลกอริทึมนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาด้วย สำหรับปัญหาขนาดเล็กที่สามารถหาคำตอบที่ดีได้จากวิธีฮิวริสติกทั่ว ๆไป และไม่ใช้เวลาในการหาคำตอบนานก็ไม่มีความจำเป็นที่จะเลือกใช้วิธีเจนเนติก

อัลกอริทึม ซึ่งการแก้ปัญหาด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมนี้จะเหมาะกับปัญหาขนาดใหญ่และไม่สามารถใช้วิธีฮิวริสติกทั่วๆไปแก้ปัญหาได้ ขนาดของปัญหาที่เหมาะสมที่จะใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมควรเป็นปัญหาผังโรงงานจำนวน 6 แผนกขึ้นไป และในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมามีข้อจำกัดสำหรับแก้ปัญหาผังโรงงานที่มีจำนวนแผนกไม่เกิน 20 แผนกนั้น สามารถที่จะออกแบบผังโรงงานได้มากกว่า 20 แผนก แต่จะทำให้เสียเวลาในการหาคำตอบที่นานมาก และต้องขึ้นอยู่กับหน่วยความจำและความสามารถในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยว่าจะรับได้หรือไม่

3. เนื่องจากมีข้อจำกัด และข้อควรพิจารณามากมาย (ดู 5.2.1.2 ข้อมูลกี่ยวกับข้อจำกัดการออกแบบ) สมมติฐานเบื้องต้น (ดู 5.2.2 ข้อสมมติฐานเบื้องต้น) จึงถูกตั้งขึ้น เพื่อป้องกันการหาคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นในการออกแบบผังโรงงาน ผู้ออกแบบจึงควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆเหล่านี้ การออกแบบที่เข้มงวดกับข้อจำกัดมากเกินไปจะทำให้ไม่พบคำตอบที่เป็นไปได้ หรืออาจใช้เวลานานเกินไปในการหาคำตอบ

6.5.3 ข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม

ข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เป็นข้อมูลที่จำเป็นที่โปรแกรมจะนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบผังโรงงาน ดังได้อธิบายอย่างย่อในหัวข้อ 6.2.2.1 ซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายขยายความให้มากขึ้น เพราะข้อมูลต่างๆเหล่านี้ส่งผลต่อการทำงาน และประสิทธิในการหาคำตอบของโปรแกรมโดยตรง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ข้อมูลที่เกี่ยวกับโรงงานและแผนกต่างๆในโรงงาน และข้อมูลที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึม ข้อมูลหรือค่าตัวแปรใดๆดังกล่าวจะได้มาจากผู้ใช้ที่ทำการโต้ตอบกับคำถามในโปรแกรม ซึ่งมีดังต่อไปนี้

6.5.3.1 ข้อมูลที่เกี่ยวกับโรงงานและแผนกต่าง ๆในโรงงาน

1. **ผังโรงงาน** การกำหนดพื้นที่ และรูปร่างของผังโรงงาน สามารถทำได้โดยกำหนดจำนวนมุมของผังโรงงาน และตำแหน่งแกน X และแกน Y ของมุมทั้งหมด เพื่อกำหนดรูปร่างของผังโรงงาน ซึ่งจำนวนมุมดังกล่าวสัมพันธ์โดยตรงกับการรูปร่างของผังโรงงาน หมายความว่า ถ้าต้องการผังที่เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉาก ก็กำหนดมุมทั้งหมด 4 มุม หรือถ้าต้องการผังโรงงานดังรูปที่ 1.1 ก็กำหนดมุมทั้ง 6 มุม เป็นต้น โปรแกรมจะทำการคำนวณพื้นที่โดยอัตโนมัติว่ามีพื้นที่ที่อยู่ในผังโรงงานทั้งหมดเท่าไร ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องพิจารณารูปร่างของผังโรงงานเบื้องต้นก่อน แล้วจึงป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรม (ดู 5.2.2.1 ผังโรงงาน)

2. **พื้นที่ตายตัว** การกำหนดพื้นที่ตายตัวสามารถทำได้ โดยกำหนดจำนวนของพื้นที่ตายตัว และตำแหน่งที่ตั้งตามแกน X และ Y ซึ่งต้องเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากเท่านั้น การกำหนดพื้นที่ตายตัวใหญ่จนเกินไป อาจทำให้ขวางทางการวางแผนกตามทิศทางแกน X-Y ทำให้แผนกที่ถูกวางพาดผ่านพื้นที่ตายตัวแตกออกจากกัน ทำให้คำตอบที่ได้จากโปรแกรมหลังจากการวางพื้นที่ตายตัวลงไปแล้วไม่สามารถใช้ได้ เพราะพื้นที่ตายตัว จะถูกวางหลังจากได้คำตอบที่ผ่านกระบวนการของเจนเติกอัลกอริทึมแล้วเท่านั้น เพื่อทำให้ชุดสตริงที่เป็นไปได้ และผ่านข้อจำกัดทั้งหมดมีจำนวนมากขึ้น (ดู 5.2.2.3 พื้นที่ตายตัว)

3. **แผนก** การกำหนดข้อมูลของแผนกประกอบไปด้วย จำนวนแผนกที่ต้องการทั้งหมด ชื่อแผนก และ

   - ถ้าเป็นแผนกที่มีรูปร่างคงที่ ต้องกำหนดความกว้าง ความยาวของแผนก และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของแผนก
   - ถ้าไม่ใช่แผนกที่มีรูปร่างคงที่ ต้องกำหนดความต้องการพื้นที่ของแต่ละแผนก พื้นที่ที่เล็กที่สุดตามความยาวแกน X และความกว้างแกน Y (เปรียบเสมือนพื้นที่ของเครื่องจักร) อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้าง (เพื่อป้องกันไม่ให้บางส่วนของแผนกแคบเกินไป) (ดู 5.2.2.4 อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้างของแผนก) โดยผลคูณความกว้างและความยาวต้องไม่มากกว่าพื้นที่ที่ต้องการของแผนกนั้น และกำหนดจุดที่ต้องการคงที่ของแผนก ถ้าแผนกนั้นๆต้องการมีตำแหน่งคงที่ โดยกำหนดเป็นตำแหน่งในแกน X และแกน Y

พื้นที่ของแผนกทั้งหมด ต้องกำหนดให้สัมพันธ์กับพื้นที่ที่สามารถวางได้ในผังโรงงาน และต้องคำนึงถึงพื้นที่ตายตัว และทางเดินด้วย เพราะพื้นที่ตายตัวจะถูกวางทีหลัง หลังจากที่ได้ผังโรงงานคำตอบแล้ว ดังนั้นการวางพื้นที่ตายตัวลงไปจะทำบางส่วนของแผนกที่อยู่บนตำแหน่งของพื้นที่ตายตัวหายไป ผู้ออกแบบจึงควรกำหนดข้อมูลพื้นที่แผนกให้เหมาะสม

การกำหนดจำนวนแผนกที่มีรูปร่างคงที่ ไม่ควรกำหนดเกิน 2 แผนก เพราะจะทำให้การหาความกว้างของแถบที่เป็นไปได้น้อยลง ส่วนการกำหนดจำนวนแผนกที่มีที่ตั้งที่คงที่มากเกินไป จะทำให้การหาชุดสตริงที่เป็นไปได้มีน้อยลงหรือไม่มีเลย (ดู 5.2.2.2 แผนก)

4. **ข้อมูลการไหลของวัสดุ** ผู้ออกแบบจำเป็นที่จะต้องหาจำนวนเที่ยวของการขนย้ายระหว่างแผนกต่างๆในโรงงาน (ในระหว่างช่วงเวลาหนึ่งของการผลิต) ซึ่งอยู่ในลักษณะของแผนภูมิจาก/ไป (From/To) มี 2 รูปแบบคือ การกำหนดข้อมูลการไหลแบบค่าคงที่ เหมาะสำหรับการออกแบบผังโรงงานที่ผู้ออกแบบมีข้อมูลที่แน่นอน และแบบฟัซซี่ ซึ่งถ้าเป็นแบบหลังต้องกำหนดทั้ง 4 กรณีของข้อมูล คือ กรณีที่ดีที่สุด กรณีใกล้เคียงดีที่สุด กรณีใกล้เคียงแย่ที่สุด และกรณีแย่ที่สุด เหมาะกับผังโรงงานที่ผู้ออกแบบไม่แน่ใจ หรือมีความไม่แน่นอนของข้อมูลเกิดขึ้น

5. **ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ** ผู้ออกแบบจำเป็นที่จะต้องหาค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวในหน่วยระยะทางหนึ่ง ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุจากแผนกหนึ่งไปยังอีกแผนกหนึ่ง ซึ่งอยู่ในลักษณะของแผนภูมิจาก/ไป และถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนการพิจารณาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในเรื่องของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดเป็นระยะทางในการขนถ่ายวัสดุสั้นที่สุด ก็สามารถทำได้โดยกำหนดให้ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุมีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมดนั่นเอง

6. **ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแผนก** ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลความสัมพันธ์หรือความใกล้ชิดของคู่แผนกต่างๆ ภายในโรงงานที่ปรารถนา ให้กับโปรแกรม โดยความสัมพันธ์จะป้อนเป็นรูปแบบสัญลักษณ์ A E I O U ซึ่งความสัมพันธ์นี้ จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปคะแนนที่เป็นตัวเลขจำนวนเต็มแบบเอ็กซ์โปเนนเชี่ยล

7. **ความกว้างของแถบ** การกำหนดความกว้างของแถบ เป็นการกำหนดความกว้างของแถบที่น้อยที่สุด และความกว้างของแถบที่มากที่สุด ซึ่งจะมีส่วนสัมพันธ์โดยตรง กับการสร้างสตริงของแถบที่ใช้ในการวางผังโรงงาน โปรแกรมจะทำการพิจารณาการวางผัง ที่มีความกว้างของแถบไม่ต่ำกว่าค่าที่น้อยที่สุด หรือมากกว่าค่าที่มากที่สุด การกำหนดความกว้างของแถบที่น้อยหรือมากเกินไปจะทำให้แผนกยาว และแคบจนเกินไป

8. **น้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์** ประกอบด้วยน้ำหนักของค่าใช้จ่ายโดยรวมในการขนถ่ายวัสดุ (*W1*) น้ำหนักของค่าความสัมพันธ์ระหว่างแผนก (*W2*) และน้ำหนักของความสัมพันธ์การพิจารณาทางเดิน (*W3*) ผู้ผู้ออกแบบต้องป้อนตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับค่าทั้งสามอย่าง โดยค่าน้ำหนักทั้งสามนี้เมื่อรวมกันแล้วต้องมีค่าไม่มากกว่า 1 การให้ค่า

น้ำหนักกับวัตถุประสงค์นั้นขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ออกแบบ ว่าให้ความสำคัญกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสามมากน้อยเพียงใด หรืออาจพิจารณาจากความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ได้จัดเก็บมาเพื่อพิจารณา ซึ่งถ้าข้อมูลเชิงปริมาณมีระยะเวลาการจัดเก็บไม่เพียงพอ และเก็บข้อมูลได้ไม่ครบถ้วน ก็อาจกำหนดน้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายน้อยกว่าน้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างแผนก โดยสำหรับปัญหาหนึ่งๆการกำหนดน้ำหนักให้กับวัตถุประสงค์แตกต่างกัน ก็ย่อมส่งผลให้ได้คำตอบที่แตกต่างกันด้วย

6.5.3.2 ข้อมูลที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึม

ค่าตัวแปรต่างๆ ที่เป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึม ได้จากการป้อนค่าให้กับโปรแกรมโดยผู้ใช้ เพื่อใช้ในกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม โดยพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดค่าให้มีดังต่อไปนี้

1. **ขนาดของจำนวนประชากรเริ่มต้น** ผู้ออกแบบต้องป้อนเป็นเลขจำนวนเต็ม ถ้าจำนวนประชากรมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณ แต่ถ้าจำนวนประชากรน้อยเกินไปก็จะไม่เกิดประโยชน์ ซึ่งในงานวิจัยนี้เสนอจำนวนประชากรที่มีค่าดังนี้ 6 10 15 และ 20

2. **จำนวนเจนเนอเรชั่น** เพื่อกำหนดจำนวนรอบในการคำนวณพอที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ซึ่งถ้ากำหนดจำนวนเจนเนอเรชั่นสูงมากเกินไป จะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากโดยไม่จำเป็น การกำหนดจำนวนเจนเนอเรชั่นต้องพิจารณาร่วมกับการจำนวนรอบของการสร้างสตริงใหม่ เพราะจำนวนเจนเนอเรชั่น เมื่อคูณกับ จำนวนรอบของการสร้างสตริงใหม่ จะได้จำนวนเจนเนอเรชั่นทั้งหมด

3. **วิธีการครอสโอเวอร์** ที่สามารถเลือกใช้ได้ในโปรแกรมมีอยู่ 5 วิธีคือ PMX CX OX PBX และ OBX

4. **ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์** ผู้ใช้ต้องป้อนเป็นตัวเลขมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. **วิธีการมิวเตชั่น** ที่สามารถเลือกใช้ได้ในโปรแกรมมีอยู่ 2 วิธีคือ Reciprocal Exchange Mutation และ Random Sequence Mutation

6. **ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น** ผู้ใช้ต้องป้อนเป็นตัวเลขมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

7. **จำนวนรอบของการสร้างสตริงใหม่** เป็นเงื่อนไขในการหยุดการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม และเมื่อถึงเจนเนอเรชั่นที่กำหนดจะทำการสร้างชุดสตริงขึ้นมาใหม่ตามจำนวนที่กำหนด และทำเช่นนี้จนครบจำนวนรอบของการสร้างสตริงใหม่ ยกเว้นรอบสุดท้ายโปรแกรมจะไม่หาสตริงใหม่ให้ แต่จะหยุดการทำงานของโปรแกรมแทน จำนวนรอบของการสร้างสตริงใหม่เมื่อคูณกับจำนวนเจนเนอเรชั่น จะได้จำนวนเจนเนอเรชั่นทั้งหมด

8. **จำนวนสตริงสตริงที่สร้างขึ้นมาใหม่** เป็นการสร้างชุดสตริงตามจำนวนที่ต้องการเมื่อถึงรอบที่กำหนด เพื่อป้องกันการติดอยู่ใน Local optima ซึ่งไม่ควรกำหนดจำนวนให้เท่ากับขนาดของประชากร เพราะจะทำให้สูญเสียชุดสตริงที่ดีได้ การกำหนดจำนวนมากเกินไปจะทำให้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น เพราะการสร้างชุดสตริงขึ้นมาใหม่ต้องใช้เวลานาน เนื่องมาจากต้องผ่านข้อจำกัดทั้งหมด

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ เจนเนติกอัลกอริทึม ทั้งหมดนี้ ควรมีการทดสอบพารามิเตอร์ก่อน เพื่อจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการทดสอบและวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะได้อธิบายในบทต่อไป ทั้งนี้สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางได้

6.5.4 ผลที่ได้จากโปรแกรม

การหาคำตอบตามกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม จะกระทำซ้ำกันไปเรื่อยๆจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ในสภาวะการหยุดทำงานของ GAs-loop เมื่อหยุดการทำงานโปรแกรมจะสร้างผลลัพธ์ออกมา คือ

- ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ
- ผลคำตอบลำดับการเรียงของแผนกและขนาดความกว้างของแถบ
- ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวม

- ค่าใช้จ่ายรวมในการขนถ่ายวัสดุของผังโรงงาน
- ค่า TCR ที่พิจารณาระยะทางระหว่างแผนก
- ค่าความสัมพันธ์ของทางเดิน
- เวลาที่ใช้ทั้งหมดในหน่วยนาที
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวม และเจนเนอเรชั่น
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมในการขนถ่ายวัสดุของผังโรงงาน และเจนเนอเรชั่น
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า TCR ที่พิจารณาระยะทางระหว่างแผนก และเจนเนอเรชั่น
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสัมพันธ์ของทางเดิน และเจนเนอเรชั่น
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมของประชากรในแต่ละเจนเนอเรชัน และเจนเนอเรชั่น
- กราฟของผังโรงงานคำตอบ

6.6 สรุปท้ายบท

วิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม ที่นำมาใช้แก้ปัญหาการออกแบบผังโรงงานที่ผังมีรูปร่างไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 5 ส่วนคือ การใส่รหัสและสร้างประชากรเบื้องต้น (Initialization) การรีโปรดักชั่น (Reproduction) การครอสโอเวอร์ (Crossover) การมิวเตชั่น (Mutation) การเก็บค่าสตริงที่ดีที่สุด (Elitist) และการสร้างสตริงใหม่อีกครั้ง (Re-initialization)

การสร้างประชากรเริ่มต้นนั้น เริ่มจากการใส่รหัสคำตอบซึ่งสตริงคำตอบจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สตริงคำตอบลำดับการเรียงของแผนกและสตริงคำตอบขนาดความกว้างของแถบ โดยเริ่มจากสร้างสตริงลำดับการเรียงของแผนกขึ้นมาก่อน แล้วจึงสร้างสตริงขนาดความกว้างของแถบให้มีความสัมพันธ์กับสตริงลำดับการเรียงของแผนก และสอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหา และทำการสร้างประชากรจนครบเท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนด จากนั้นสตริงทั้งหมดจะเข้าสู่กระบวนการรีโปรดักชั่น ที่ทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสมโดยใช้วิธีการของวงล้อรูลเล็ท สตริงที่ผ่านการคัดเลือกจะเข้าสู่กระบวนการครอสโอเวอร์ โดยสุ่มเลือกสตริงด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เพื่อมาจับคู่และทำการครอสโอเวอร์ โดยวิธีการครอสโอเวอร์มีทั้งหมด 5 วิธีคือ PMX OX CX PBX และ OBX จากนั้นสตริงคำตอบจะถูกสุ่มเลือกด้วยความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเพื่อทำการมิวเตชั่น ซึ่งวิธีการมิวเตชั่นมีทั้งหมด 2

วิธีคือ Reciprocal Exchange Mutation และ Random Sequence Mutation สตริงคำตอบที่ได้จะกลายเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้นในเจนเนอเรชั่นต่อไป และเข้าสู่ขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึมไปเรื่อยๆ จนครบตามจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนด

ในระหว่างกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึมจะมีวิธีการเก็บสตริงที่ดีไว้ ภายหลังกระบวนการรีโปรดักชั่น ภายหลังการครอสโอเวอร์ และภายหลังการมิวเตชั่น เพื่อให้สตริงคำตอบที่ดีไม่ถูกทำลายไปภายหลังกระบวนการดังกล่าว เมื่อครบตามจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนดจะทำการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่ และทำเช่นนี้จนครบรอบของการสร้างสตริงขึ้นมาใหม่ จึงจะหยุดการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม

โปรแกรมการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึม ในการออกแบบผังโรงงานที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะมีหน้าที่ของโปรแกรมคือ รับข้อมูลต่างๆซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ข้อมูลที่เกี่ยวกับโรงงานและแผนกต่างๆในโรงงาน และข้อมูลที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งโปรแกรมจะทำการหาคำตอบที่เป็นการจัดวางตำแหน่งของแผนกในโรงงานให้เหมาะสมที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์ในการพิจารณา 3 ประการคือ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด เพื่อให้ค่า TCR ที่พิจารณาระยะทางระหว่างแผนกน้อยที่สุด และเพื่อให้ค่าความสัมพันธ์ของทางเดินน้อยที่สุด ในการประเมินผลผังโรงงานจะดูจากค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์รวมทั้งหมด ซึ่งจะใช้วิธีการรวมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้งสามฟังก์ชั่น โดยการให้น้ำหนักกับแต่ละวัตถุประสงค์เพื่อบ่งบอกถึงความสำคัญของวัตถุประสงค์นั้นๆ และน้ำหนักที่กำหนดให้กับแต่ละวัตถุประสงค์จะถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบ ผลที่ได้จากโปรแกรมคือ คำตอบลำดับการเรียงของแผนกและขนาดความกว้างของแถบ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ รวมถึงกราฟที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย