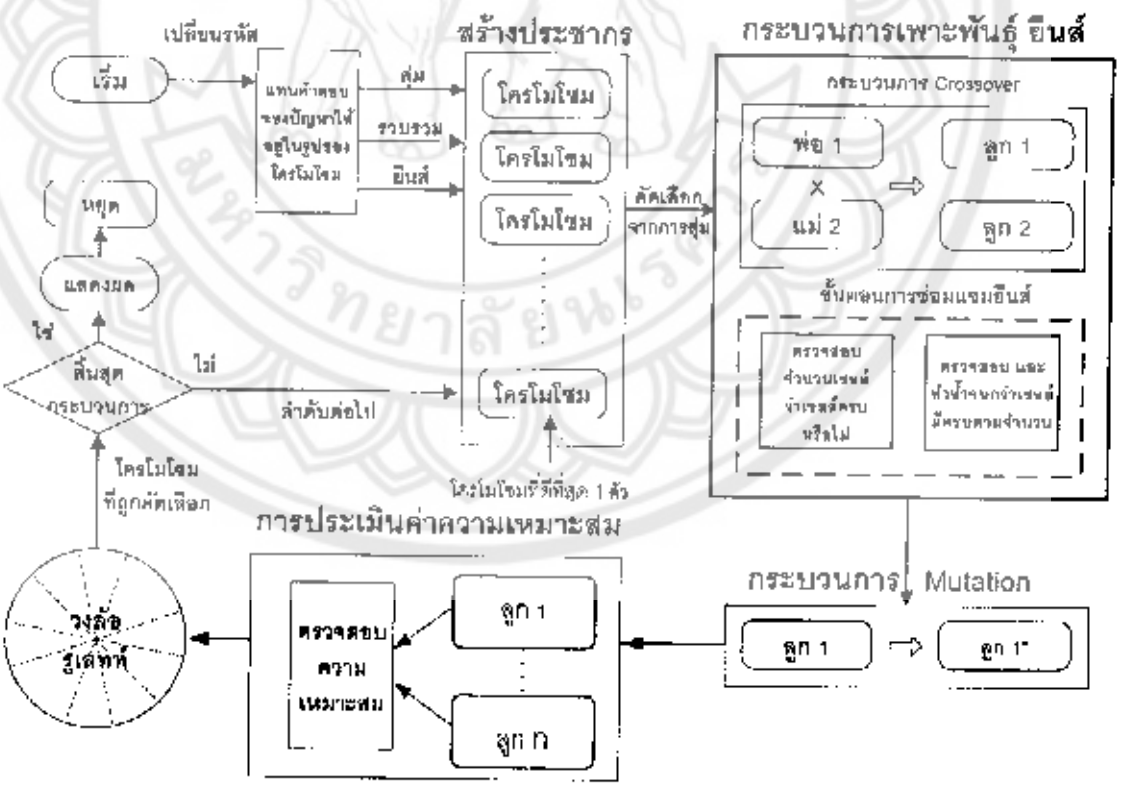
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ปัญหาที่สำคัญอันหนึ่งของ Cellular Manufacturing System : CMS นี้ คือปัญหาการสร้างเซลล์ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างเซลล์เพื่อลดจำนวน การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ โดยใช้วิธีการ เจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) โดยมีการพิจารณาความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility) เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในขั้นตอนแรกจึงต้องทำการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาของ เจเนติกอัลกอริทึม ที่มีปัญหาการแบ่งกลุ่ม (Routing Flexibility) เข้ามาเกี่ยวข้อง

3.1 ศึกษาและสร้างกระบวนการทำงานของ เจเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหา การสร้างเซลล์



รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของ เจเนติกอัลกอริทึม

(**ที่มา**: Christian Hicks)

จากรูปที่ 3.1 จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม

3.1.1 แทนคำตอบของปัญหาในรูปของโครโมโซม (Chromosome)

ในขั้นตอนแรกนี้จะทำการพิจารณา และดำเนินการจากกลุ่มคำตอบของปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นโดย การเข้ารหัส (Coding) คือ การแปลงค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ของปัญหาให้อยู่ในรูปโครงสร้างของโครโมโซม หรือ สายอักษร (String) โดยที่รูปแบบการสร้างโครโมโซมสามารถสร้างได้ 3 แบบได้แก่

1) จำนวนเต็ม เป็นการแทนค่าในโครโมโซมด้วยตัวเลขจำนวนเต็มตามตัวอย่างดังนี้

5	1	1	3	4	2	4	5	1	3	4

2) เลขฐานสอง เป็นการแทนค่าในโครโมโซมด้วยเลขฐานสองตามตัวอย่างดังนี้

1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0

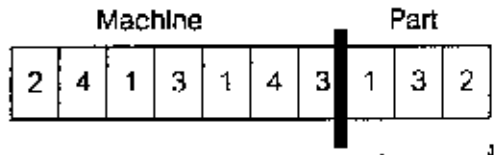
3) ตัวอักษร เป็นการแทนค่าในโครโมโซมด้วยตัวอักษรตามตัวอย่างดังนี้

a	b	a	e	c	b	c	e	a	e	c

ในการเลือกใช้รูปแบบการสร้างโครโมโซมแต่ละแบบนั้นขึ้นอยู่กับการพิจารณาปัญหาเพื่อความสะดวกในการใช้ และอาจจะมีอีกหลายๆรูปแบบของปัญหาที่ใช้ลักษณะโครโมโซมจำนวนเต็มในการแทนไม่ได้ เพราะฉะนั้นในการเลือกใช้รูปแบบต่างๆของโครโมโซมจะพิจารณาตามความเหมาะสมและความสะดวกในการแทนค่า,การคิดคำ,การแปรค่า,และการสรุปผล

ในปัญหาการสร้างเซลล์ของ CMS นั้นจากเงื่อนไขที่กระบวนการสร้างเซลล์มีลำดับเข้ามาเกี่ยวข้องจึงมีการแทนปัญหาด้วยโครโมโซม ที่มีสมมุติฐานจะให้โครโมโซมเป็นเส้นตรงต่อเรียงกันเป็นแนวยาว โดยที่ Genc (ยีน) หรือจำนวนเต็มในโครโมโซมจะทำหน้าที่แทนชื่อของเซลล์ โดยจะบอกให้ทราบว่าเครื่องจักรอยู่ในเซลล์ไหน และตำแหน่งของยีนตัวแรกจนถึงตัวสุดท้ายจะบอกให้ทราบว่าเป็นเครื่องจักรตัวที่เท่าไร

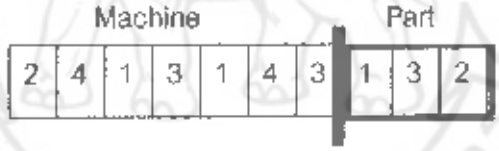
พิจารณาในปัญหา จากตัวอย่างพิจารณาโครโมโซมได้ดังนี้



ความยาวของโครโมโซมเท่ากับ 7 แสดงว่าจำนวนเครื่องจักรของปัญหานี้คือ 7 **เครื่อง** ยีนในโครโมโซมมีตัวเลขลำดับเท่ากับ 1,2,3,4 หมายถึงมี cell 4 cell คือ เซลล์ 1, เซลล์ 2, เซลล์ 3 และ เซลล์ 4

ตำแหน่งเครื่องจักร คือ เครื่องจักร 3,5 อยู่ในเซลล์ที่ 1
เครื่องจักร 1 อยู่ในเซลล์ที่ 2
เครื่องจักร 4, 7 อยู่ในเซลล์ที่ 3
เครื่องจักร 2, 6 อยู่ในเซลล์ที่ 4

แต่ในงานวิจัยนี้จะมีการเพิ่มความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิตเข้าไปด้วยซึ่งจะทำให้โครโมโซมนี้มีจำนวนของ ยีน เพิ่มขึ้นมาอีก 3 ยีน เนื่องจากมีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิตอยู่ 3 ทางด้วยกันจึงทำให้โครโมโซมนี้มีความยาวเท่ากับ 10



โดยจากรูป ชิ้นส่วน จะมีเส้นทางการผลิต คือ

ชิ้นส่วนที่ 1 มีเส้นทางการผลิตที่ 1
ชิ้นส่วนที่ 2 มีเส้นทางการผลิตที่ 3
ชิ้นส่วนที่ 3 มีเส้นทางการผลิตที่ 2

โดยวิธีการหาคำตอบนั้นจะสามารถทำได้เหมือนกับวิธีของเจเนติกอัลกอริทึมทั่วไปทุกอย่าง แต่จะมีการผสมพันธุ์ของเส้นทางการผลิตแยกออกมาด้วยเพื่อหาเส้นทางการผลิตที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์

3.1.2 สร้างประชากรขั้นต้น (Population Initialization)

เป็นการสร้างกลุ่มประชากรขั้นต้น สิ่งที่จะต้องการคือจะต้องสร้างโครโมโซมกี่ตัว (Population size) เช่นจะต้องสร้างโครโมโซม 50 ชุด การกำหนดจำนวนโครโมโซมนั้นแล้วแต่ตามความต้องการของผู้ศึกษาว่าจะกำหนดว่าจะต้องมีจำนวนกี่ชุด การสร้างประชากรขั้นต้นนั้นทำได้ 2 วิธี คือ

ก. ทำการสุ่มขึ้นมา

ข. ใช้อัลกอริทึมหรือฮิวริสติกส์บางอย่างสร้างคำตอบ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างประชากรขั้นต้นโดยการสุ่มขึ้นมา เมื่อสร้างแล้วจะก็จะใช้ประชากรขั้นต้นเหล่านี้ทำการพิจารณาหาคำตอบที่เหมาะสมต่อไป

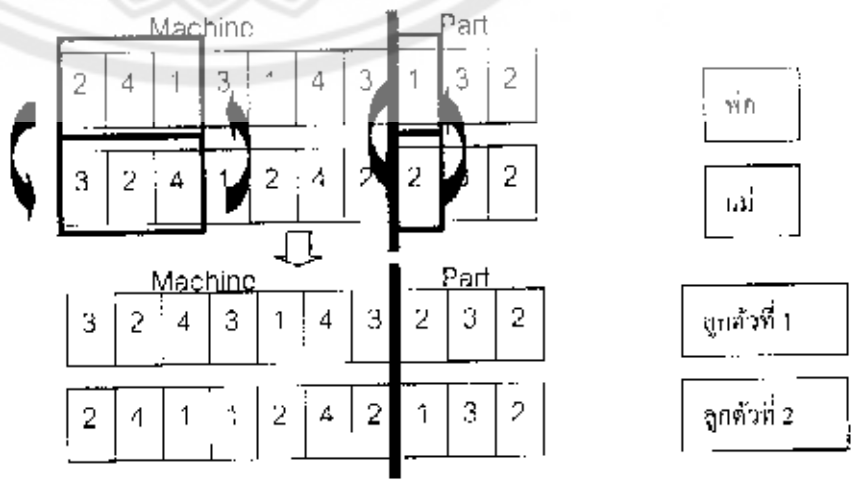
3.1.3 ปฏิบัติการทางพันธุกรรม (Genetic Operation)

เป็นกระบวนการสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ขึ้นมาด้วยวิธีการขยายพันธุ์ ทางพันธุกรรมซึ่งการขยายพันธุ์มีวิธีการหลักด้วยกัน 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การตัดสลับ (Crossover)

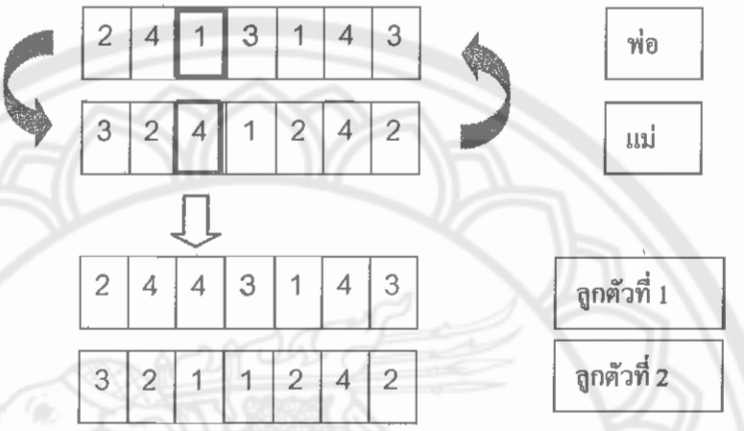
เป็นการสร้างโครโมโซมเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูกขึ้นมาใหม่ในการสร้างลูกนั้นจะต้องมีโครโมโซม 2 ชุดคือ โครโมโซมของพ่อและของแม่ โดยการเปลี่ยนสลับยีนบางตำแหน่งระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการตัดสลับแบบ One Point และ Position Base ในการหาคำตอบและนำมาเปรียบเทียบกัน

1. การตัดสลับแบบ One Point คือเลือกโครโมโซม 1คู่มาผสมพันธุ์ เกิดลูก 2 ตัว เมื่อนำโครโมโซมมาทำการสุ่มเลือกจุด 1 จุดในตำแหน่งที่ 3 เพื่อทำการ Crossover ยีนตั้งแต่จุดที่ 3 จะทำการปรับเปลี่ยนกันระหว่าง พ่อและแม่จะได้ลักษณะลูกออกมา 2 โครโมโซม โดยอีกทั้งมีการเปลี่ยนกันในส่วนของ ชิ้นส่วน ซึ่งมีเส้นทางการผลิตเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการ One Point Crossover

2. Position Base เป็นการเปลี่ยนยีนในตำแหน่งตั้งแต่ที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ n โดยการสุ่ม หรือกำหนดตามความน่าจะเป็นของยีนแต่ละตัว ในการเลือกยีนตัวนั้นเพื่อกลายพันธุ์ โดยเปลี่ยนยีนเพียง 1 ตำแหน่งระหว่าง 2 โครโมโซมดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการ Position Base Crossover

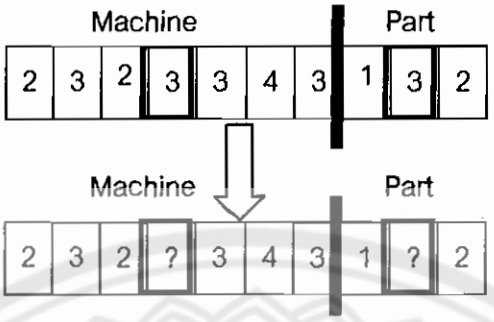
วิธีที่ 2 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ไม่จำเป็นจะต้องเกิดขึ้นกับโครโมโซมที่ไม่สมบูรณ์เสมอไป การกลายพันธุ์มีโอกาสเกิดขึ้นได้กับทุกโครโมโซม โดยจะมีลักษณะกระทำของยีนภายในโครโมโซมคือเปลี่ยนค่ายีนเพื่อให้มีพันธุ์ใหม่เกิดขึ้น และรักษาโครโมโซมให้อยู่รอดต่อไป

โดยการ Mutation ทำได้2 แบบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือก การเปลี่ยนค่าตัวใดๆโดยการสุ่ม

การเปลี่ยนค่าตัวใดๆโดยการสุ่ม (Shift Change) คือเปลี่ยนค่าตัวไหนก็ได้โดยการสุ่ม เมื่อสุ่มได้ยีนที่ต้องการเปลี่ยนแล้วจึงทำการสุ่มอีกครั้งเพื่อเปลี่ยนค่าจากเดิมให้เป็นค่าอื่น ซึ่งเหมือนกับการกลายพันธุ์ทางธรรมชาตินั่นเอง ดังในตัวอย่างกำหนดให้สุ่มยีนตำแหน่งที่ 4 เมื่อทำการ Mutation ยีนที่ตำแหน่งนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นยีนตัวอื่นคือเป็นเลขตัวอื่นที่นอกเหนือจากเลข 3 คือเป็นไปได้ทั้ง 1, 2, 4 เป็นต้น

ความหมายของกรณีสร้างเซลล์เท่ากับ การเปลี่ยนเซลล์ 3 ในตำแหน่งเครื่องจักรที่ 4 เป็นเซลล์อื่นๆที่ทำการสุ่มได้ เช่นเปลี่ยนเป็น เซลล์ 1, 2, 4 ความหมายก็คือ กำหนดให้เครื่องจักรที่ 4 ไปอยู่ในเซลล์อื่นๆ นอกจากเซลล์เดิม คือเซลล์ 1, 2, 4 เป็นต้น รวมถึงในส่วนของ ชิ้นส่วนด้วย จะมีการทำ Mutation เหมือนกัน โดยสุ่มเลขจากเดิมแต่เลขที่สุ่มออกมานั้นจะไม่เกิน เส้นทางการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่าง Shift Change Mutation

3.1.4 **การประเมินค่าความเหมาะสม** (Fitness Evaluation)

ในขั้นตอนนี้จะทำการประเมินค่าโครโมโซมที่ได้จากการปฏิบัติการทางพันธุกรรมโดยการพิจารณาจะทำได้ ดังนี้

ก. โครโมโซมแต่ละตัวให้ การเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์เท่าไหร่ จะพิจารณาว่าโครโมโซมไหนที่ให้ค่า การเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

ข. การเลือกโครโมโซม (Chromosome Selection) โดยทำการเลือกโครโมโซมที่มีค่าการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ น้อยที่สุดให้ค่าที่น้อยที่สุดมีโอกาสอยู่รอดต่อไปในอนาคต

การหาค่าที่เหมาะสมซึ่งเมื่อได้ค่านี้แล้วจะเป็นการกลับค่าของแต่ละโครโมโซมจากค่าที่น้อยที่สุดเป็นค่าที่มากที่สุดและค่าที่มากที่สุดจะกลายเป็นค่าที่น้อยที่สุด การหาค่าที่เหมาะสมจะใช้สมการหาค่าดังนี้

$$F(t) = (1/(1+f(t)) \qquad (3.1)$$

ความหมายของแต่ละตัวแปรคือ

f(t) = จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์

F(t) = ค่าที่เหมาะสม

เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วจะแทนค่าได้ดังตัวอย่างตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างค่าความเหมาะสมเมื่อหาได้จากสมการ

ตัวอย่าง Chromosome (sample number)	การจัดเรียงขั้นต้น (Initial population)	จำนานการเคลื่อนที่ระหว่างcell (objective function)	ค่าที่เหมาะสม (Fitness function)
1	1 4 3 1 2	46.29999	0.021142
2	2 3 4 1 3	44.79999	0.021834
3	4 2 1 3 2	43.40000	0.022523
4	4 2 1 4 3	49.79999	0.019685
5	3 1 2 4 2	48.50000	0.020202

จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าโครโมโซมที่ 3 จะให้ค่า การเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์น้อยที่สุด น่าจะเป็นโครโมโซมที่ถูกเลือกมากที่สุดเพื่อเป็นค่าที่เหมาะสมแล้วก็จะกลายเป็นโครโมโซมที่ให้ค่า Fitness Function มากที่สุดแต่การคัดเลือกโครโมโซมใช่ว่าโครโมโซมที่ 3 จะถูกเลือกเสมอไป เพราะฉะนั้นจึงหาวิธีการเลือกโครโมโซมจากการพิจารณาในขั้นต่อไป

การคัดเลือกและการแพร่พันธุ์ สำหรับ การ Crossover และ Mutation นั้นจะทำการเลือกชุดโครโมโซม โดยการสุ่มออกมาและจะเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้ 1 ค่า ในการแพร่พันธุ์นั้นจะทำการเลือกชุดโครโมโซมจากการสุ่ม ในสมาชิกของประชากรและจากบ่อเพาะพันธุ์ เป็นการคำนวณเพื่อทำการคัดเลือก ในขั้นตอนนี้จะทำการหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของโครโมโซมและหาความน่าจะเป็นของการที่จะถูกเลือก ซึ่งค่าที่มากที่สุดของค่าที่เหมาะสมจะมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด โดยค่าที่ได้นั้นจะนำเข้า Roulette wheel ต่อไปเพื่อทำการสุ่มค่า การหาความน่าจะเป็นของการเลือกชุดโครโมโซมจะทำได้โดยใช้สมการดังนี้

$$SI = F(t)/Fa \qquad (3.2)$$

SI = Selection Index (ดัชนีการถูกเลือก)

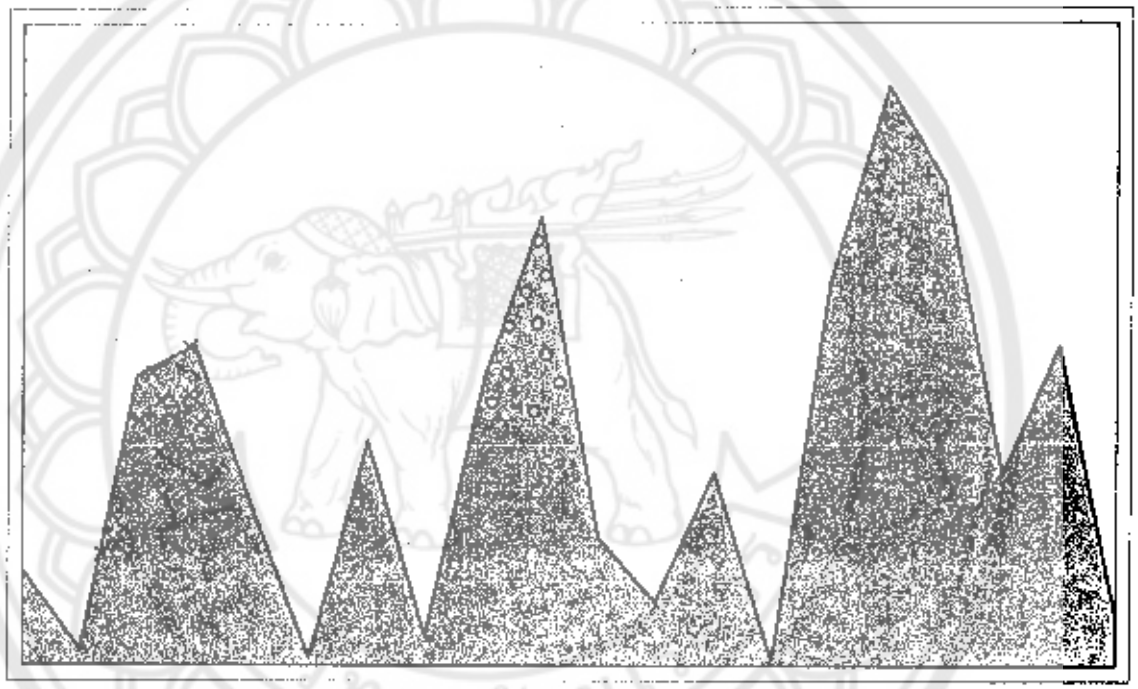
F(t) = ค่าที่เหมาะสม

Fa = ผลรวมของค่าที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าสำหรับการคัดเลือกโครโมโซม

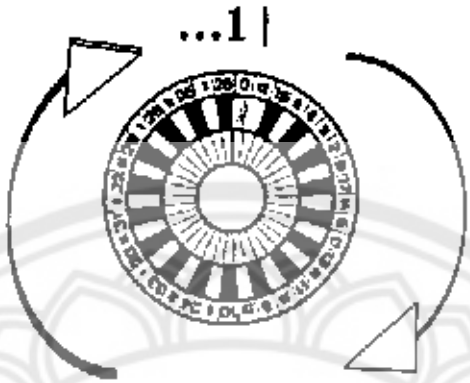
ตัวอย่าง Chromosome (sample number)	การจัดเรียงขั้นต้น (Initial population)	ความน่าจะเป็น (Probability)	ความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability)	Reproduction
1	1 4 3 1 2	0.10196	0.101986	2 3 4 1 3
2	2 3 4 1 3	0.10530	0.207276	4 2 1 3 2
3	4 2 1 3 2	0.10863	0.315904	3 3 1 4 2
4	4 2 1 4 3	0.09494	0.410847	3 3 1 4 2
5	3 1 2 4 2	0.09743	0.508283	3 4 1 2 3
6	3 1 2 4 3	0.09117	0.599457	3 4 1 2 3
7	3 4 1 2 3	0.10507	0.704536	3 1 2 4 2
8	4 2 3 2 1	0.09763	0.802169	3 1 2 4 3
9	3 4 2 1 2	0.09607	0.898247	2 3 4 1 3
10	3 3 1 4 2	0.05352	1.000000	1 4 3 1 2

จะเป็นการสร้างโอกาสความเป็นไปได้ ของค่าประชากรอื่นๆที่จะถูกนำมาคัดเลือก โดยทุกๆค่าจะมีโอกาสเข้าสู่การคัดเลือกใน Roulette Wheel เพื่อให้มีการเกิดโอกาสสูงสุดโดยไม่มีการกีดกันของค่าประชากรอื่นๆ ในการที่จะถูกคัดเลือกซึ่งค่าที่ได้อาจไม่ได้เป็นค่าที่ดีที่สุด แต่อาจจะเป็นค่าที่เหมาะสมในมุมมองอื่นจึงมีโอกาสที่ถูกคัดเลือก ดังรูปที่ 3.5 ที่แสดงการถูกเลือกของประชากร ที่ว่ากลุ่มสัญลักษณ์ ○ ○ ○ อาจไม่ได้ถูกเลือกเสมอไป แต่ยังมีกลุ่มสัญลักษณ์ + + + และ × × × อีกเหมือนกันที่มีโอกาส ซึ่งแต่ละกลุ่มก็ย่อมมีค่าที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มตนเอง ดังนั้นทุกกลุ่มควรมีโอกาสเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกเช่นกัน



รูปที่ 3.5 รูปค่าเหมาะสมของแต่ละประชากร (Local Optimal)

3.1.5 การคัดเลือกความเหมาะสมของโครโมโซมด้วยวิธี Roulette Wheel

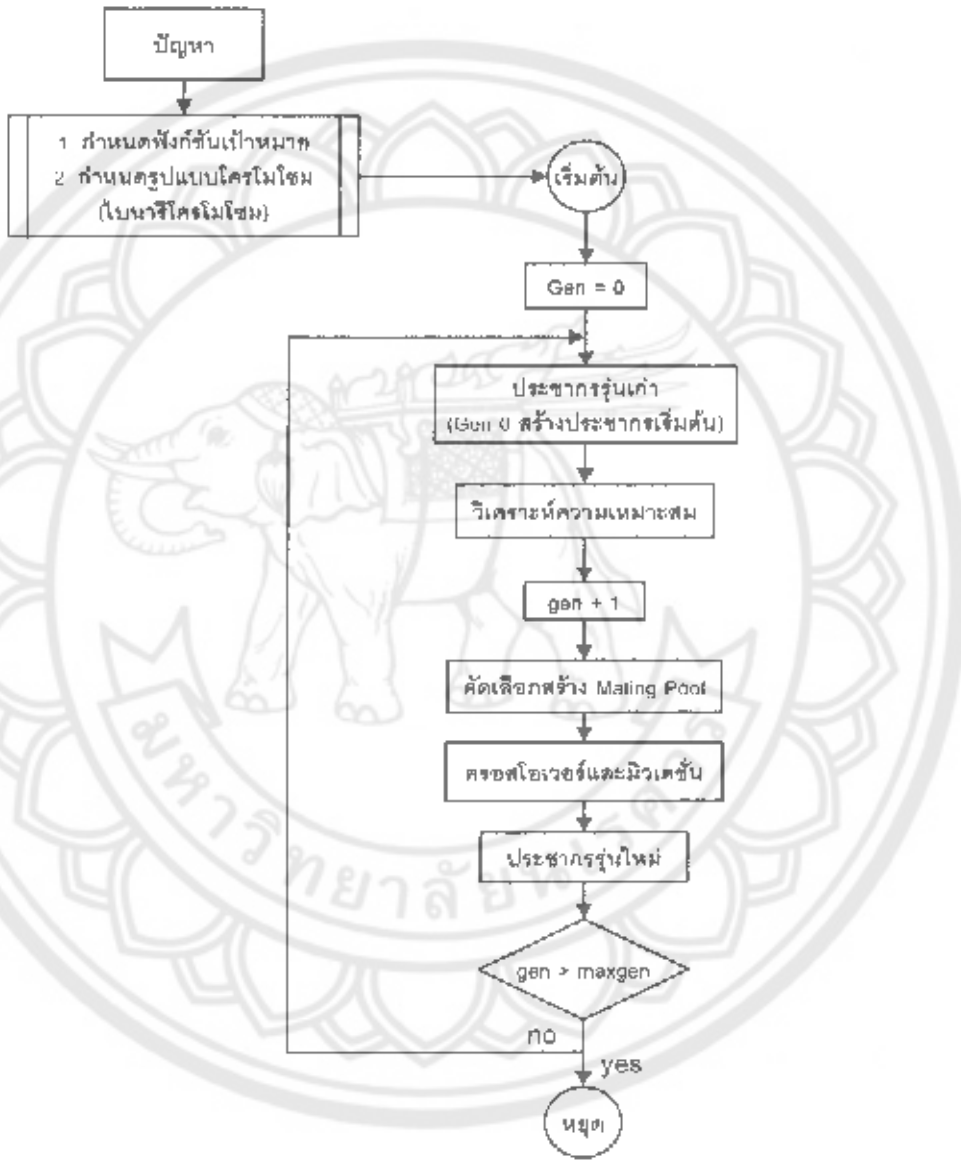


รูปที่ 3.6 จำลองการทำงานของ Roulette Wheel

Roulette Wheel คือ ล้อที่มีฟันสำหรับรองรับก้อนกลมที่ทำหน้าเป็นตัวชี้คัดเลือกจากการสุ่มของ Roulette Wheel ซึ่งในการคัดเลือกนี้ได้สมมุติจำลองให้จำนวนฟันเริ่มจาก ค่าต่ำสุดไปสูงสุดคือ 0-1 ซึ่งค่าความเหมาะสมที่คำนวณได้จะถูกนำค่ามาแทนลงในตำแหน่งของช่องบน Roulette ซึ่งการหมุนในแต่ละรอบ มีโอกาสที่จะตกไปในแต่ละช่องไม่เท่ากัน แต่โอกาสจะตกไปในช่วงของค่าโครโมโซมที่ช่วงของค่า Fitness ที่มากกว่า ย่อมมีโอกาสมากที่สุดเช่นเดียวกัน

3.1.6 การวนรอบการคำนวณ

ค่าที่สามารถยอมรับได้จากเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่นๆ ที่ผ่านการสุ่มมาด้วยกันจะเกิดได้ดี จะต้องมีการเน้นปริมาณการสุ่มให้มาก ซึ่งก็จะถูกกำหนดได้จากค่าของการวนลูปในกระบวนการ



รูปที่ 3.7 การทำงานของ เจเนติกอัลกอริทึม แบบง่าย

(**ที่มาภาพ:** กาญจนี วงศ์วิภาพร, 2541)

(**ที่มา:** http://dusithost.dusit.ac.th/~santi_sou/thesis/progress/Ch2.pdf)

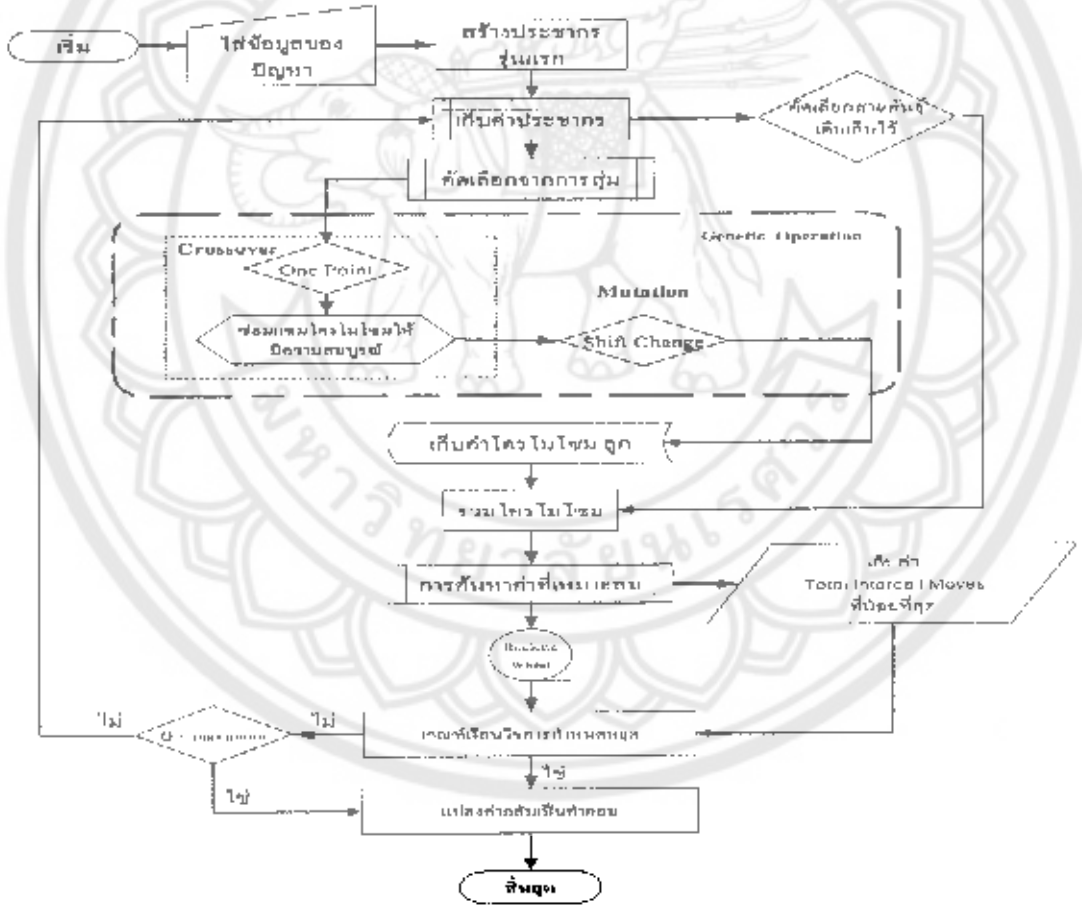
3.1.7 **การหยุด** (Terminate)

เมื่อได้กลุ่มโครโมโซมชุดใหม่แล้วทำต่อไปเรื่อยๆตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5 แล้วหยุดทำโดยการหยุดนั้นจะพิจารณาจากสิ่งต่อไปนี้

ก. กำหนดไปว่าจะทำตามขั้นตอนของกระบวนการ กี่รุ่น (Generation)

ข. ทำตามขั้นตอนของกระบวนการ แล้วดูว่าเมื่อทำไปแล้วค่าที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงให้หยุดทำการคัดเลือกแล้วใช้ค่านั้นเป็นคำตอบของปัญหาที่ต้องการ ถ้าเกิดว่าในรอบใหม่นั้นให้ค่าที่สูงกว่าค่าเดิมให้ตัดค่าที่สูงนั้นทิ้งแล้วทำใหม่ไปเรื่อยๆจนกว่าได้ค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากพอแล้วจึงหยุด

3.2 **ศึกษา** Flow Chart



รูปที่ 3.8 Flow Chart แสดงขั้นตอนโปรแกรมแอปพลิเคชั่น เจเนติกอัลกอริทึม

3.3 ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้แก้ปัญหาการสร้างเซลล์ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

การใช้ เจเนติกอัลกอริทึม เข้าแก้ปัญหาต้องมีข้อมูลทั้งหมดที่เป็นตัวแปรในการแก้ปัญหา โดยทำการกำหนดข้อมูลตัวแปรปัญหาให้ชัดเจน และครบถ้วน เพื่อให้ข้อมูลของโครโมโซมใน เจเนติกอัลกอริทึม ย้อนกลับเป็นคำตอบของ CMS ได้

ขั้นตอนที่ 1 การกรอกข้อมูลดิบของปัญหา เช่น จำนวนเซลล์ที่ต้องการกำหนด จำนวนเครื่องจักร จำนวนชิ้นส่วน และลำดับการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 แทนคำตอบของปัญหาในรูปโครโมโซมของจำนวนเซลล์และเครื่องจักร ตามข้อมูลดิบที่ได้

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขนาดของประชากรและเงื่อนไขในการหยุดการทำงาน

ขั้นตอนที่ 4 สร้างประชากรตามขนาดที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 5 เก็บค่าประชากรที่ได้จากการสร้าง พร้อมทำการคัดเลือกประชากรที่ให้ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด เอาไว้

ขั้นตอนที่ 6 คัดเลือกข้อมูลเข้าสู่กระบวนการเจเนติกอัลกอริทึม Crossover ด้วยวิธี one point Crossover Mutation ด้วยวิธีการ สุ่มเลือกจุดเพื่อปรับเปลี่ยนยีน

ขั้นตอนที่ 7 เก็บค่าประชากรรุ่นลูกที่ผ่านกระบวนการ เจเนติกอัลกอริทึม นำมารวมกับประชากรที่ถูกคัดเลือกเอาไว้แล้วในขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 8 การประเมินค่าความเหมาะสม มีการให้คะแนนความสำคัญแต่ละโครโมโซม พร้อมกับคัดเลือกโครโมโซม ที่ให้ค่า การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดเอาไว้

ขั้นตอนที่ 9 คัดเลือกโครโมโซมจากการประเมินค่าความเหมาะสม ด้วยวิธีของ Roulettes wheel

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อได้ค่าจากขั้นตอนที่ 9 แล้วให้กลับไปทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ตามลำดับทุกขั้นตอน จนกว่าจะเป็นไปตามเกณฑ์การหยุดที่ได้ กำหนดเอาไว้ในขั้นที่ 3

3.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการดำเนินงาน

จุดประสงค์เพื่อที่จะต้องการทราบว่าผลลัพธ์ของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมที่ได้ทำการคำนวณออกมาของโปรแกรมว่ามีค่าน้อยที่สุดหรือไม่ จึงได้นำเอาผลลัพธ์ของงานวิจัยที่ทำปัญหาอย่างเดียวกันแต่ใช้โปรแกรมไม่เหมือนกัน คือ โปรแกรม Simulated Annearling **นำมาเปรียบเทียบเพื่อดูความแตกต่างของผลลัพธ์**