การลดการสูญเสียวัตถุดิบในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวม (ไอซี)

นายสฤษดิ์ วรวิบูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-9836-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MATERIAL LOSS REDUCTION IN PRODUCTION LINE OF INTEGRATED CIRCUIT PRODUCTS(ICs)

Mr.Salid Worawibool

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002
ISBN 974-17-9836-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดการสูญเสียวัตถุดิบในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวม (ไอซี)
โดย	นายสฤษดิ์ วรวิบูล
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม (ถ้ามี)	นายสมชัย นนทสิทธิชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม (ถ้ามี)
(นายสมชัย นนทสิทธิชัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สฤษดิ์ วรวิบูล : การลดการสูญเสียวัตถุดิบในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวม (ไอซี). (MATERIAL LOSS REDUCTION IN PRODUCTION LINE OF INTEGRATED CIRCUIT PRODUCTS(ICs)) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : สมชัย นนทสิทธิชัย 321 หน้า. ISBN 974-17-9836-9.

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อลดปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิตของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวม (ไอซี) เฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์สมัยใหม่ โดยมีขอบเขตการศึกษาเพียงสองผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม การสูญเสียของวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ได้ประเมินออกมาในรูปของผลรวมมูลค่าโดยเฉลี่ยของจำนวนแพดที่เหลือบนสตริปและมูลค่าสตริปดัมมี่ที่ต้องใช้เพิ่มต่อคำสั่งผลิต โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลองได้แก่ การทดลองที่ 1 ทดสอบเปลี่ยนค่าขนาดล็อตในการผลิตเพียงอย่างเดียว การทดลองที่ 2 ทดสอบเปลี่ยนทั้งค่าจำนวนแพดต่อสตริปและค่าขนาดล็อตในการผลิต และ การทดลองที่ 3 ทดสอบการโหลดงานแบบโหลดทั้งคำสั่งผลิตเพียงครั้งเดียวและแบบแบ่งการโหลดหลายๆครั้ง หลักการที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 3 ใช้วิธีประเมินทุกทางเลือก ส่วนการทดลองที่ 2 ใช้หลักการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองโดยใช้กลไกหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึมและการสุ่มเลือกคำตอบ

จากการวิจัยพบว่ามีคำตอบที่เป็นไปได้ที่ช่วยลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยคือ การทดลองที่ 1 ผลิตภัณฑ์ A ขนาดล็อตในการผลิตเท่ากับ 8712 ได/ล็อต มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำกว่าปัจจุบัน 3.4366 % ผลิตภัณฑ์ B ขนาดล็อตในการผลิตเท่ากับ 6384 ได/ล็อต มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำกว่าปัจจุบัน 2.3392% การทดลองที่ 2 ผลิตภัณฑ์ A จำนวนแพดต่อสตริป เท่ากับ 596 และขนาดล็อตเท่ากับ 9536 ได/ล็อต มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำกว่าปัจจุบัน 4.8958% ผลิตภัณฑ์ B จำนวนแพดต่อสตริป เท่ากับ 212 และขนาดล็อตเท่ากับ 5088 ได/ล็อต มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำกว่าปัจจุบัน 2.1504% นอกจากนี้ ในการทดลองที่ 2 ยังพบว่าเจเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบได้ดีกว่าการสุ่มเลือกคำตอบ ส่วนการทดลองที่ 3 พบว่าการโหลดงานแบบครั้งเดียวกับแบบแบ่งโหลดหลายครั้งสำหรับแต่ละคำสั่งผลิต ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม.....

4470589321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: MATERIAL LOSS REDUCTION / SIMULATION BASED OPTIMIZATION / GAs / RS / XXX

SALID WORAWIBOOL : THESIS TITLE. (MATERIAL LOSS REDUCTION IN PRODUCTION LINE OF INTEGRATED CIRCUIT PRODUCTS (ICs)) THESIS ADVISOR : PROF.DR.SIRICHAN THONGPRASERT, THESIS COADVISOR : SOMCHAI NONTHASITHICHAI, 321 pp. ISBN 974-17-9836-9.

The objective of this research is to reduce material loss of new product family of integrated circuit products(ICs). Only two products in the product family are studied. The material loss in this research is defined as the average of the sum of PAD loss and Dummy strip loss in each production order. The experiments are devided into 3 parts; Experiment#1: Varying production lot size of studied products, Experiment#2: Varying both PAD per strip and production lot size, and Experiment#3: Evaluating single loading method and multiple loading method of each order. The principle used in Experiment#1 and #3 is a completed enumeration method. In Experiment#2,it is the principle of simulation based optimization which algorithms used are Genetic Algorithms (GAs) and Random Search (RS)

The results of the research show that there are solutions which can reduce the average of material loss per production order as the following details. In Experiment#1, the lot size for product A is 8712 dies/lot resulted in 3.4366% reduction compared to the current operating, and the lot size for product B is 6384 dies/lot resulted in 2.339% reduction compared to the current operating. In Experiment#2, PAD per strip of product A is 596 and its lot size is 9536 dies/lot. That combination can reduce 4.8958% compared to the current operating. For product B, its PAD per strip is 212 and its lot size is 5088 dies/lot. That combination can reduce 2.1504%. Moreover the experiment#2 shows that GAs can find the solution better than RS does. In Experiment#3, the result is no difference of the two methods at the confidence level 95%.

Department Industrial Engineering Student's signature.....

Field of study Industrial Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2002 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคุณสมชัย นนทสิทธิชัย ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ที่คอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆจนผู้วิจัยสามารถผ่านอุปสรรคต่างๆมาได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.จรูญ มหิทธาฟองกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาชี้แนะต่างๆ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ปารเมศ ชุติมา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาชี้แนะและเอื้อเฟื้อเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจเสมอมา พี่สาว พี่ชาย และเพื่อนๆทุกคนที่ได้ให้กำลังใจเสมอมาเช่นกัน จนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญภาพ.....ฎ
สารบัญตาราง.....ต

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....5
1.4 ลักษณะของปัญหา.....8
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....15
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....16
1.7 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย.....16

บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยในด้านการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์.....18
2.2 งานวิจัยในด้านการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม.....19
2.3 งานวิจัยในด้านการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง.....21

บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับหลักการหาค่าที่เหมาะสม.....27
3.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเจเนติกอัลกอริทึม.....30
3.3 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการจำลองแบบปัญหา.....48
3.4 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง.....50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

บทที่ 4 เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบ

4.1 ลักษณะของปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิต.....53

4.2 โครงสร้างของเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบ.....55

4.3 ขั้นตอนการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม.....56

4.4 วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม.....59

4.5 วิธีการสุ่มเลือกคำตอบ.....70

บทที่ 5 การทดสอบพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึม

5.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....72

5.1.1 การระบุปัญหา.....72

5.1.2 การเลือกตัวแปรตัวสนอง.....73

5.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับปัจจัย.....73

5.1.4 การพิจารณาผลกระทบร่วมของระดับปัจจัย.....77

5.2 การออกแบบการทดลอง.....78

5.2.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลสำหรับแต่ละชุดการทดลอง.....78

5.2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง.....78

5.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....80

5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....80

5.3.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ A.....82

5.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ B.....91

5.4 สรุปผลการทดลอง.....100

บทที่ 6 การจำลองแบบปัญหา

6.1 การกำหนดปัญหา และการให้คำจำกัดความของระบบงาน.....101

6.2 การสร้างแบบจำลอง.....105

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

6.3 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง.....115
6.3.1 เวลาผลิตสำหรับแต่ละขั้นตอน.....115
6.3.2 เวลาห่างระหว่างคำสั่งผลิต.....123
6.3.3 เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักรเสีย.....124
6.3.4 ตารางการปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิต.....124
6.3.5 เวลาของการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน.....125
6.3.6 เวลาในการจัดการล็อตกรณีเกิดปัญหายีลด์ต่ำ.....125
6.4 การแปรรูปแบบจำลอง.....126
6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....128
6.5.1 การพิสูจน์ยืนยัน (Verification).....128
6.5.2 การทดสอบความถูกต้อง (Validation).....132
6.6 การวางแผนใช้งานแบบจำลอง.....137
6.7 สรุป.....138

บทที่ 7 การเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมกับแบบจำลอง

7.1 เครื่องมือที่ใช้เพื่อเชื่อมต่อโปรแกรมกับแบบจำลอง.....140
7.2 ลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมของตัวหาค่าที่เหมาะสม กับจำลอง.....143

บทที่ 8 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

8.1 การทดลองที่ 1.....147
8.2 การทดลองที่ 2.....152
8.3 การทดลองที่ 3.....158

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

บทที่ 9 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผล……..163

9.2 ข้อเสนอแนะ……..165

9.3 อุปสรรคในการวิจัย……..168

รายการอ้างอิง……...169

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เวลาในการผลิตของแต่ละขั้นตอน…….....171

ภาคผนวก ข เวลาห่างระหว่างคำสั่งผลิตแต่ละครั้ง.....188

ภาคผนวก ค เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร.....190

ภาคผนวก ง เวลาของการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน…….....194

ภาคผนวก จ เวลาเวลาในการจัดการล็อตกรณีเกิดปัญหายีลด์ต่ำ.....197

ภาคผนวก ฉ การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเจเนติกอัลกอริทึม…….....199

ภาคผนวก ฉ-1 ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)……200

ภาคผนวก ฉ-2 ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)……207

ภาคผนวก ช แบบจำลองของระบบงาน.....214

ภาคผนวก ช-1 โปรแกรม ARENA ส่วนที่ทำหน้าที่สร้าง Entity……..215

ภาคผนวก ช-2 โปรแกรม ARENA ส่วนที่ทำหน้าโหลดงานเข้าสู่สายการผลิตตามขนาดกำลังการผลิตที่รองรับได้……..217

ภาคผนวก ช-3 โปรแกรม ARENA ส่วนของ Assembly Line…….219

ภาคผนวก ช-4 โปรแกรม ARENA ส่วนของ EOL……221

ภาคผนวก ช-5 โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก (VBA: Visual Basic for Application) ที่ใช้ในโปรแกรม ARENA และเป็นชุดคำสั่งในการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆในแบบจำลอง……..223

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ซ-6 โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก (VBA: Visual Basic for Application) ที่ใช้ในโปรแกรม ARENA และเป็นชุดคำสั่งในการรับค่าจากโปรแกรม Optimizer……..……253

ภาคผนวก ซ โปรแกรมเปลี่ยนค่า Lot size สำหรับการทดลองที่ 1 .....…..259

ภาคผนวก ฌ โปรแกรม Simulation Based Optimization สำหรับการทดลองที่2..264

ภาคผนวก ฌ-1 การติดตั้งโปรแกรมและเมนูคำสั่ง……265

ภาคผนวก ญ การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม……..287

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……324

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไอซียุคดั้งเดิมซึ่งสัดส่วนของไดต่อพื้นที่ลำตัวน้อยมาก.....2
รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไอซียุคใหม่ซึ่งสัดส่วนของไดต่อพื้นที่ลำตัวมากขึ้น.....2
รูปที่ 1.3 แสดงภาพตัดขวางของตัวไอซีทั้งยุคดั้งเดิมและยุคใหม่.....3
รูปที่ 1.4 แสดงตัวอย่างลีดเฟรมของตัวไอซีทั้งยุคดั้งเดิมและยุคใหม่.....4
รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของปัญหาที่พบ.....6
รูปที่ 1.6 แสดงแผนภาพของการทดลองที่ 1.....7
รูปที่ 1.7 แสดงแผนภาพของการทดลองที่ 2.....7
รูปที่ 1.8 แสดงแผนภาพของการทดลองที่ 3.....8
รูปที่ 1.9 แสดงภาพของหน้าโมล์ดหรือแม่แบบซึ่งจะต้องโมล์ดลีดเฟรมครั้งละ 2 แผ่น.....11
รูปที่ 1.10 แสดงลักษณะลีดเฟรมของล็อต ABC.6 ที่มีจำนวนแพดเหลือเท่ากับ 168 แพด.....13
รูปที่ 2.1 แสดงการประสานงานระหว่าง Optimizer กับ Simulation model.....24
รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการของการวิจัยดำเนินงาน.....28
รูปที่ 3.2 แสดงจุด Local minimum (จุด B) Global minimum (จุด A).....30
รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบลักษณะระหว่างเจเนติกอัลกอริทึมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์.....31
รูปที่ 3.4 แสดงผังงานของ SGA.....36
รูปที่ 3.5 แสดงกราฟของฟังก์ชันในตัวอย่าง.....38
รูปที่ 3.6 แสดงการรีโปรดักชันอย่างง่ายด้วยวงล้อรูลเล็ท.....41
รูปที่ 3.7 แสดงข้อมูลของ Initial population.....41
รูปที่ 3.8 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1-Point และการแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยเลือกตำแหน่งไขว้แบบสุ่ม.....42
รูปที่ 3.9 สรุปการคำนวณจำนวน 5 เจนเนอเรชันของตัวอย่าง SGA.....43
รูปที่ 3.10 แสดงค่าความเหมาะสมที่มีการลดลงเรื่อยๆซึ่งในกราฟนี้เป็นการแสดงค่าต่ำสุดในแต่ละเจนเนอเรชัน.....45
รูปที่ 3.11 แสดง Space คำตอบของปัญหาใดๆ.....47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 3.12 แสดง Pareto front ของเซตคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำโดยคำตอบอื่นๆ.....47
รูปที่ 3.13 แสดงความแตกต่างระหว่างระบบตายตัวและระบบที่ไม่แน่นอน.....49
รูปที่ 3.14 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองปัญหา.....51
รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะของแบบจำลองปัญหา.....51
รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบงาน.....54
รูปที่ 4.2 แสดงผังงานของเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....58
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการใส่รหัสคำตอบกับกระบวนการอื่นๆ.....60
รูปที่ 4.4 วงล้อรูเล็ต.....64
รูปที่ 4.5 แสดงผังงานของ Random Search.....71
รูปที่ 5.1 ผลที่ได้จากการทำ Pilot run สำหรับปัญหาของผลิตภัณฑ์ A.....73
รูปที่ 5.2 ผลที่ได้จากการทำ Pilot run สำหรับปัญหาของผลิตภัณฑ์ B.....74
รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับผลิตภัณฑ์ A.....80
รูปที่ 5.4 แสดง Main Effect Plot เมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง.....80
รูปที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA จากโปรแกรม MiniTab เมื่อใช้ผลตอบสนองเป็นลำดับที่ของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่ดีที่สุด.....83
รูปที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA จากโปรแกรม MiniTab เมื่อใช้ผลตอบสนองเป็นเวลาที่ใช้ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด.....84
รูปที่ 5.7 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Crossover types (ผลิตภัณฑ์ A).....85
รูปที่ 5.8 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Crossover probability-Pc (ผลิตภัณฑ์ A).....86
รูปที่ 5.9 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Mutation probability-Pm (ผลิตภัณฑ์ A).....87
รูปที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA เมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B).....89
รูปที่ 5.11 แสดงกราฟ Main Effect ของปัจจัยต่างๆเมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง.....90
รูปที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยต่างๆเมื่อใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B).....91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 5.13 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับปัจจัยต่างๆเมื่อใช้ค่าเวลาที่ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B).....93
รูปที่ 5.14 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Pm โดยไม่คิดที่ Pm = 0.3 (ผลิตภัณฑ์ B).....94
รูปที่ 5.15 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Pc เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B).....95
รูปที่ 5.16 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Crossover types เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B).....96
รูปที่ 6.1 แสดงขั้นตอนการผลิตแผงวงจรรวม (ส่วนของ Assembly line).....101
รูปที่ 6.2 แสดงขั้นตอนการผลิตแผงวงจรรวม (ส่วนของ EOL: End of Line).....102
รูปที่ 6.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic).....105
รูปที่ 6.4 แสดงกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาทำงาน เครื่อง Marking.....116
รูปที่ 6.5 แสดงผลการวิเคราะห์หาการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับค่าเวลาการทำงานของเครื่อง Marking หรือเครื่องพิมพ์รหัสลงบนตัวไอซี.....116
รูปที่ 6.6 แสดงการทดสอบ ANOVA ของค่า Processing time สำหรับเครื่อง Wire bond.....117
รูปที่ 6.7 แสดง Box plot ของค่า Processing time (หน่วย: นาทีต่อสตริป) ของเครื่อง Wire bond.....118
รูปที่ 6.8 แสดงโมดูลของสถานีงาน Wire bond.....118
รูปที่ 6.9 แสดงสถานีงาน Wire bond มีเครื่องจักร 25 เครื่อง.....119
รูปที่ 6.10 แสดงการทดสอบ ANOVA ของค่า Processing time สำหรับเครื่อง Singulation..119
รูปที่ 6.11 แสดง Box plot ของค่า Processing time (หน่วย: นาทีต่อสตริป) ของเครื่อง Singulation แต่ละเครื่อง (ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ B).....120
รูปที่ 6.12 แสดงตัวอย่าง Block ของโปรแกรม ARENA สำหรับขั้นตอน Saw.....126
รูปที่ 6.13 แสดงตัวอย่าง VBA Block ของโปรแกรม ARENA.....127

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 6.14 แสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรมภาษา Visual Basic ช่วยในการกำหนดค่า Attributes ของ Entities โดยผ่านทาง VBA block ของ ARENA 127
รูปที่ 6.15 แสดงการใช้คำสั่ง *STEP* โดยคำสั่ง *st* คือ การส่ง *Entity* ไปทีละบล็อกถัดไป ส่วนคำสั่ง *st 3* คือ การส่ง *Entity* ไปข้างหน้าจำนวน 3 บล็อกถัดไป.....128
รูปที่ 6.16 แสดงการใช้งานคำสั่ง *GO* แบบไม่มีค่าโอเปอแรนด์ (Operands) เมื่อจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิตเพียงสองผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B.....129
รูปที่ 6.17 แสดงการใช้คำสั่ง *GO UNTIL* เพื่อรันแบบจำลองและไปสิ้นสุด ณ. เวลาที่กำหนด.....130
รูปที่ 6.18 แสดงการใช้คำสั่ง *ASSIGN* กำหนดค่าให้ตัวแปร หน้าเครื่องหมายมากกว่า จะเป็นค่าเวลาปัจจุบันของแบบจำลอง(Current simulation time).....130
รูปที่ 6.19 แสดงปุ่มของโปรแกรม Visual Basic ในโปรแกรม ARENA.....131
รูปที่ 6.20 แสดงการเซต Break point ของโปรแกรมวิชวลเบสิกในโปรแกรม ARENA.....131
รูปที่ 6.21 แสดงการใช้คำสั่ง Watch ในการติดตามค่า Avg_flowTime ในโปรแกรม วิชวลเบสิกของโปรแกรม ARENA.....132
รูปที่ 6.22 แสดงแผนภาพการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับระบบงานจริง เพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....133
รูปที่ 6.23 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Flow time ระหว่างแบบจำลอง กับระบบงานจริง.....134
รูปที่ 6.24 แสดงการทดสอบความแตกต่างระหว่างสองประชากรด้วย วิธี Mann-Whitney test.....136
รูปที่ 6.25 แสดงกราฟ Cummulative average ของค่า Flow time ในแบบจำลอง (Pilot run).....137
รูปที่ 6.26 แสดงกราฟ Correlogram ของค่า Flow Time (Pilot run).....138

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 7.1 แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าป้อนค่า Lot size ให้กับแบบจำลองสำหรับการทดลองที่ 1……..……...…140
รูปที่ 7.2 แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อระหว่างตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) กับแบบจำลองสำหรับการทดลองที่ 2……..…141
รูปที่ 7.3 การกำหนดอ้างอิงของภาษาวิชวลเบสิกเพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรม Arena ได้……..142
รูปที่ 7.4 แสดง Winsock control ซึ่งเป็นคอมโปเนนต์ด้านการรับ-ส่งข้อมูล……..142
รูปที่ 7.5 แสดง Winsock control บนแถบคอมโปเนนต์ของภาษาวิชวลเบสิก……..143
รูปที่ 7.6 ผังงานโดยทั่วไปของโปรแกรมที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation based Optimization Application) ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบ Inter-Processโดยสมการเป้าหมาย (Objective function) จะเป็นแบบจำลองหรืออยู่ในแบบจำลอง……...144
รูปที่ 7.7 แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าที่ป้อนค่า Lot size ที่ต้องการประเมินให้กับแบบจำลอง สำหรับการทดลองที่ 1……..……145
รูปที่ 7.8 แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าที่หาคำตอบที่เหมาะสม (Optimizer) กับแบบจำลองสำหรับการทดลองที่ 2……..…146
รูปที่ 8.1 กราฟมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเมื่อเปลี่ยนขนาดล็อต (ผลิตภัณฑ์ A)….148
รูปที่ 8.2 กราฟเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบของขนาดล็อตต่างๆกับขนาดล็อตปัจจุบัน(ผลิตภัณฑ์ A)……149
รูปที่ 8.3 กราฟมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเมื่อเปลี่ยนขนาดล็อต (ผลิตภัณฑ์ B)…..150
รูปที่ 8.4 กราฟเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบของขนาดล็อตต่างๆกับขนาดล็อตปัจจุบัน(ผลิตภัณฑ์ B)……..151
รูปที่ 8.5 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Random Search เป็นตัว Optimizer(ผลิตภัณฑ์ A)……..153

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 8.6 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Genetic Algorithms เป็นตัว Optimizer (ผลิตภัณฑ์ A)……154
รูปที่ 8.7 กราฟเปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบระหว่าง GAs. และ RS (ผลิตภัณฑ์ A)…..155
รูปที่ 8.8 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Random Search เป็นตัว Optimizer(ผลิตภัณฑ์ B)……156
รูปที่ 8.9 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Genetic Algorithms เป็นตัว Optimizer(ผลิตภัณฑ์ B)……..157
รูปที่ 8.10 กราฟเปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบระหว่าง GAs. และ RS (ผลิตภัณฑ์ B)…158
รูปที่ 8.11 แสดง Model logic สำหรับการโหลดงานแบบ Single order loading……159
รูปที่ 8.12 แสดง Model logic สำหรับการโหลดงานแบบปัจจุบัน……160
รูปที่ 8.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ วิธีการโหลดงานในปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ A)……..……161
รูปที่ 8.14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ วิธีการโหลดงานในปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ B)……..……162
รูปที่ 9.1 แสดงข้อมูลบางส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง……..…167

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนไดในแต่ละล็อตที่จะผลิตภายใต้ขนาดล็อต 20000 ได (Dies) ต่อ ล็อต.....10
ตารางที่ 1.2 สรุปยอดการผลิตและลีดเฟรม(ทั้ง Production and dummy lead frame) ที่ต้องใช้.....14
ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และเจเนติกอัลกอริทึม.....32
ตารางที่ 3.2 แสดงประชากรเริ่มต้น(Initial population).....39
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความเหมาะสมของประชากรเริ่มต้น.....40
ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการสร้างวงล้อรูเล็ต.....64
ตารางที่ 5.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับ GAs ภายใต้โครงสร้างของปัญญาที่ศึกษา.....77
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Population size ด้วยวิธี Ducant's Multiple Range Test.....81
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Crossover types ด้วยวิธี Ducant's Multiple Range Test.....82
ตารางที่ 5.4 สรุประดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (ทั้ง ANOVA และ Ducant's multiple range test) สำหรับผลิตภัณฑ์ A.....88
ตารางที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Population size ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (ผลิตภัณฑ์ B).....90
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Pm เมื่อใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B).....92
ตารางที่ 5.7 สรุประดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (ทั้ง ANOVA และ Ducant's multiple range test) สำหรับผลิตภัณฑ์ B.....97
ตารางที่ 6.1 แสดงองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัว และกิจกรรมของระบบงานที่ศึกษา.....100
ตารางที่ 6.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในการคำนวณใน โปรแกรม ARENA.....108
ตารางที่ 6.3 แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในแต่ละขั้นตอน การทำงาน.....109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 6.4 แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร...112
ตารางที่ 6.5 แสดงตารางปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิตในหนึ่งวันทำงาน.....112
ตารางที่ 6.6 แสดงเวลาที่ใช้ในการขนย้ายระหว่างสถานีงาน.....113
ตารางที่ 6.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการจัดการล็อตที่เกิดปัญหายีลด์ต่ำ (Disposition time).....114
ตารางที่ 6.8 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (ผลิตภัณฑ์ B).....122
ตารางที่ 6.9 แสดงการทดสอบความแตกต่างระหว่างสองประชากรด้วย
วิธี Paired sample t- Test.....124
ตารางที่ 8.1 คำตอบของค่าขนาดล็อตในการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง (ผลิตภัณฑ์ A).....137
ตารางที่ 8.2 คำตอบของค่าขนาดล็อตในการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง (ผลิตภัณฑ์ B).....139
ตารางที่ 8.3 Paired-T test ของวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ
วิธีการโหลดงานปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ A).....149
ตารางที่ 8.4 Paired-T test ของวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ
วิธีการโหลดงานปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ B).....150

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

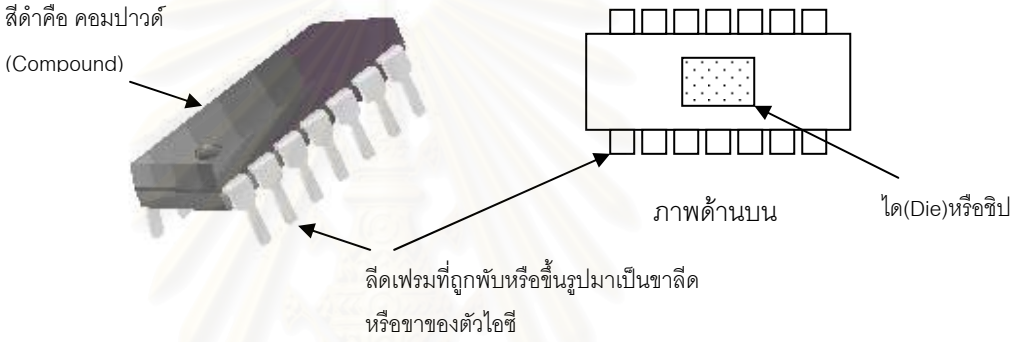
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอีเลกทรอนิกส์ ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งในอันดับต้นๆที่มีมูลค่าการส่งออกที่สูงมาก แต่เนื่องจากวิกฤตการณ์ทางด้านเศรษฐกิจหรือภาวะการซบเซาของเศรษฐกิจโลก ผนวกกับเหตุการณ์ก่อการร้ายในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีผลอย่างมากต่ออุตสาหกรรมประเภทนี้เพราะยอดการส่งออกหลักจะเป็นประเทศดังกล่าว ยังผลให้ธุรกิจในกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทนี้ซบเซาด้วย ดังนั้นการลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจในสภาวการณ์เช่นนี้ เนื่องจากอำนาจทางการตลาดเป็นของผู้ซื้อ ในโครงสร้างของต้นทุนการผลิต วัตถุดิบทางตรง (Direct material) ในอุตสาหกรรมประเภทนี้ราคาต่อหน่วยก็ค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การลดต้นทุนการผลิตในส่วนของวัตถุดิบทางตรงโดยการใช้วัตถุดิบที่คุณภาพต่ำลงนั้น ถือว่าเป็นไปไม่ได้เลย ดังนั้น ทางเลือกหนึ่งคือ การใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบให้มากที่สุด หรือ ลดความสูญเสียให้น้อยที่สุดนั่นเอง (Material loss reduction) ซึ่งก็เป็นที่มาของงานวิจัยนี้

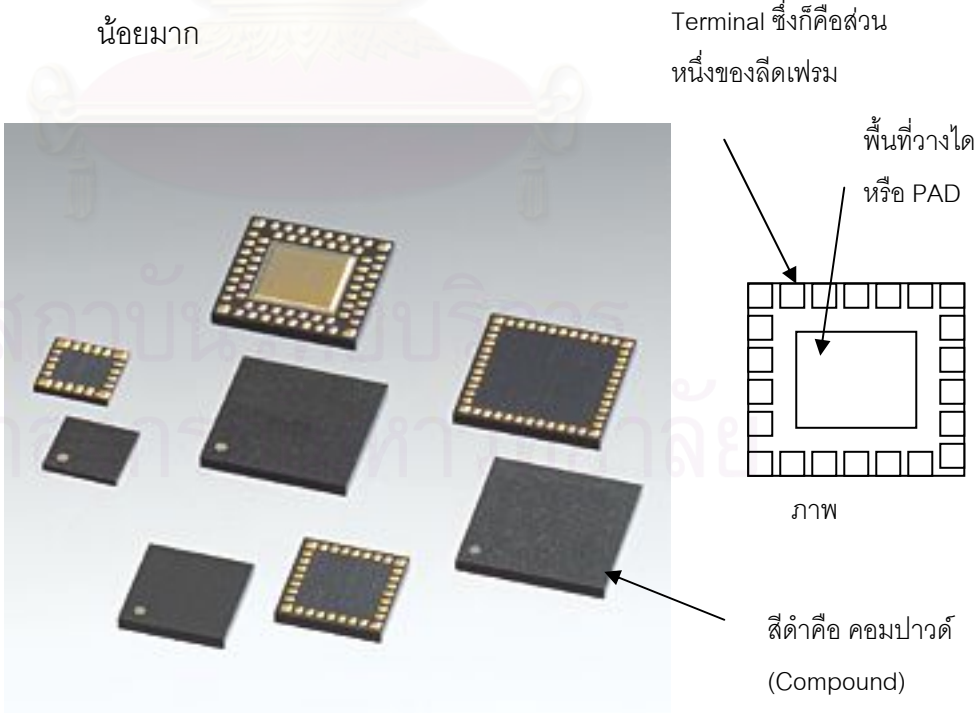
โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานประเภทรับช่วงผลิต (Subcontractor) ที่มีผลิตภัณฑ์เป็นแผงวงจรรวมหรือไอซี โดยมีผลิตภัณฑ์อยู่หลายตระกูล(Product Families) ตั้งแต่แผงวงจรรวมยุคดั้งเดิมหรือที่เรียกว่า แบบ *Lead inserted* จนถึงยุคใหม่ หรือที่เรียกว่า *Surface mount* (ดูรูปที่ 1.1 และ 1.2) และในงานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วนของแผงวงจรรวมยุคใหม่โดยจะเลือกมาศึกษาเพียงสองผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งผลิตมากที่สุด

ในกระบวนการผลิตแผงวงจรรวม (Integrated circuit) หรือไอซี มีวัตถุดิบทางตรง (Direct material) ที่สำคัญหลายชนิด (ดังรูปที่ 1.3 แสดงวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบหลักของตัวแผงวงจรรวม) ได้แก่ คอมปาวด์ (Compound) ลวดทอง (Gold wire) อีพรอกซี่ (Epoxy) ได(Dies)หรือ (Chips) และลีดเฟรม (Lead frame) เป็นต้น และลีดเฟรมก็เป็นวัตถุดิบทางตรงชนิดหนึ่งที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาด้านคุณภาพคุณสมบัติทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางกล อย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับกับแนวโน้มในการพัฒนาแผงวงจรรวมที่เป็นไปในทิศทางที่ต้องการให้ลำตัวทั้งหมด(Package body) ของไอซีมีขนาดเข้าใกล้หรือใกล้เคียงกับขนาดของไดหรือชิป(และขนาดของชิปเองก็ต้องการให้เล็กลงด้วย) ซึ่งเราเรียกผลิตภัณฑ์ไอซีในลักษณะนี้ว่า Chip scale package(CSP)

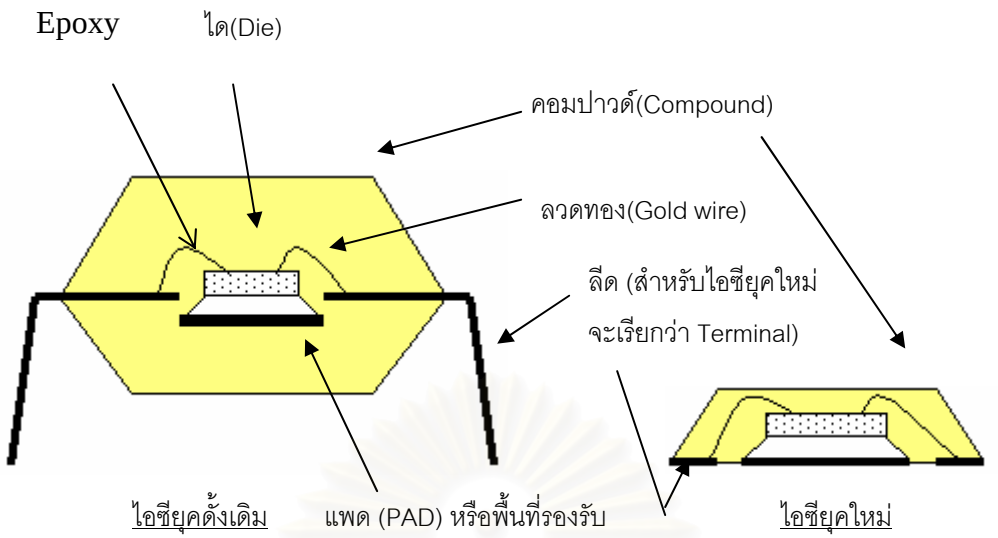
โดยต้องการให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น (High performance and reliability) และมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลได้รวดเร็ว (High speed) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค คอมพิวเตอร์มือถือ (Handheld computer or PDA) ดังนั้นจึงทำให้ราคาต่อหน่วยสำหรับลีดเฟรมปัจจุบันมีราคาสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วลีดเฟรมทำหน้าที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ การทำหน้าที่ในการรองรับได โดยลีดเฟรมทุกแผ่นจะมีส่วนที่ถูกออกแบบไว้เพื่อใช้เป็นพื้นที่วางไดหรือชิป ซึ่งเรียกว่า แพด *(PAD)* โดยบริเวณแพดจะมีการเคลือบด้วยโลหะเงินเป็นพิเศษ การทำหน้าที่เป็นตัวกลางนำสัญญาทางไฟฟ้าจากไดผ่านทางลวดทองไปสู่อุปกรณ์ใช้งาน และ การทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้ตัวไอซีเมื่อเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแล้ว



รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไอซียุคดั้งเดิมซึ่งสัดส่วนของไดต่อพื้นที่ลำตัวน้อยมาก



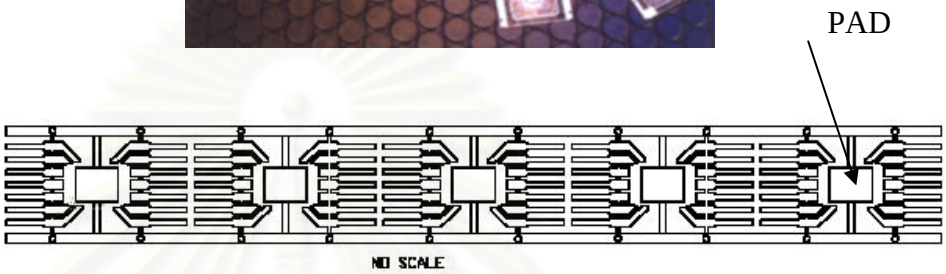
รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไอซียุคใหม่ซึ่งสัดส่วนของไดต่อพื้นที่ลำตัวมากขึ้น



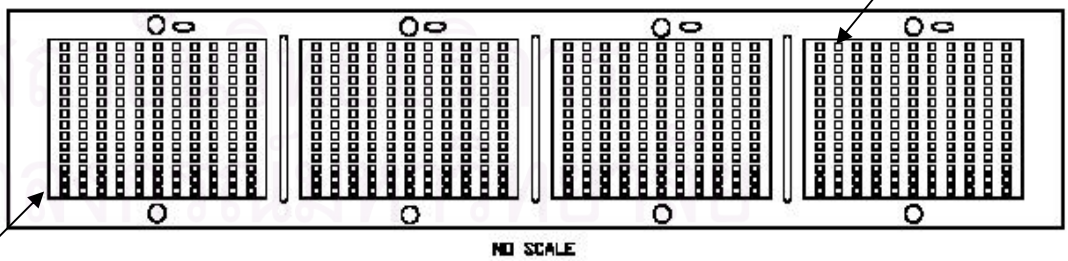
รูปที่ 1.3 แสดงภาพตัดขวางของตัวไอซีทั้งยุคดั้งเดิมและยุคใหม่

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อทั้งขนาดของแผงวงจรรวมและลำตัวของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของไอซี (Package) เล็กลงมากๆ ทำให้ความหนาแน่นของจำนวนแผงวงจรรวมหรือพื้นที่แพดต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งลีดเฟรมลักษณะที่สามารถบรรจุจำนวนไดได้จำนวนมากๆต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่น เรียก*ว่า ลีดเฟรมแบบเมตริกซ์* และมีแผงวงจรรวมหลายประเภทที่ใช้ลีดเฟรมชนิดนี้(ดูรูปที่ 1.4 แสดงลักษณะของลีดเฟรมตัวไอซียุคดั้งเดิมและลีดเฟรมสำหรับตัวไอซียุคใหม่หรือแบบเมตริกซ์) จากเดิมปัญหาสูญเสียลีดเฟรมหรือสัดส่วนการใช้ประโยชน์จากลีดเฟรมต่อแผ่นไม่เต็มที่ เกิดขึ้นน้อยมาก แต่แนวโน้มปัจจุบันทำให้ การใช้ลีดเฟรมแบบเมตริกซ์เพิ่มมากขึ้น ปัญหาดังกล่าวจึงเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้งเพียงแต่ว่าสัดส่วนความสูญเสียดังกล่าวจะมากหรือน้อย(ดูรูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของปัญหาที่พบ)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งไปที่การศึกษาปัญหาเพื่อลดการสูญเสียลีดเฟรม(หรือในทางตรงข้าม (Dual Problem) เป็นปัญหาเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้ประโยชน์บนสีดเฟรม)



ลีดเฟรมสำหรับไอซียุคดั้งเดิมหรือแบบ Lead inserted



ลักษณะลีดเฟรมสำหรับผลิตภัณฑ์ไอซีที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

รูปที่ 1.4 แสดงตัวอย่างลีดเฟรมของตัวไอซีทั้งยุคดั้งเดิมและยุคใหม่

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมยุคใหม่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาเพียงสองผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตมากที่สุด ในกลุ่มของแผงวงจรรวมยุคใหม่ซึ่งในการศึกษานี้จะเรียกว่า ผลิตภัณฑ์ A และ ผลิตภัณฑ์ B

1.3.2 ศึกษาเฉพาะในส่วนของ Assembly line และ EOL(End of Line) เท่านั้น

1.3.3 วัตถุดิบที่สูญเสียในงานวิจัย ประเมินเฉพาะลีดเฟรมเท่านั้น โดยวัดในรูปของการสูญแพดบนลีดเฟรม(PAD waste)และการใช้ลีดเฟรมดัมมี่ที่เพิ่มขึ้น (Dummy lead frame)

1.3.4 ดัชนีวัดสมรรถนะหลัก (Measure of performance) ในงานวิจัยนี้คือ ค่าคาดหวังของมูลค่าการสูญเสียลีดเฟรม (Expectation of material loss) ที่ใช้ในการผลิต โดยจะวัดในรูปมูลค่าของจำนวนแพดทั้งหมดและจำนวนสตริปดัมมี่ที่สูญเสียไปและดัชนีวัดสมรรถนะรอง คือ ค่า Average Flow Time ของแต่ละคำสั่งผลิต

1.3.7 ปัจจัยในระบบงานที่ศึกษาคือ

1.3.7.1 ขนาดของล็อตสำหรับการผลิต(Production lot size) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 สตริป/ล็อต เช่น ผลิตภัณฑ์ A ซึ่งมีจำนวนแพดต่อลีดเฟรมเท่ากับ 396 แพด ดังนั้น ค่าขนาดล็อตสำหรับผลิตภัณฑ์นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 7920 ─ 15840 ได/ล็อต และสำหรับผลิตภัณฑ์ B จะอยู่ในช่วง 3360 ─ 6720 ได/ล็อต

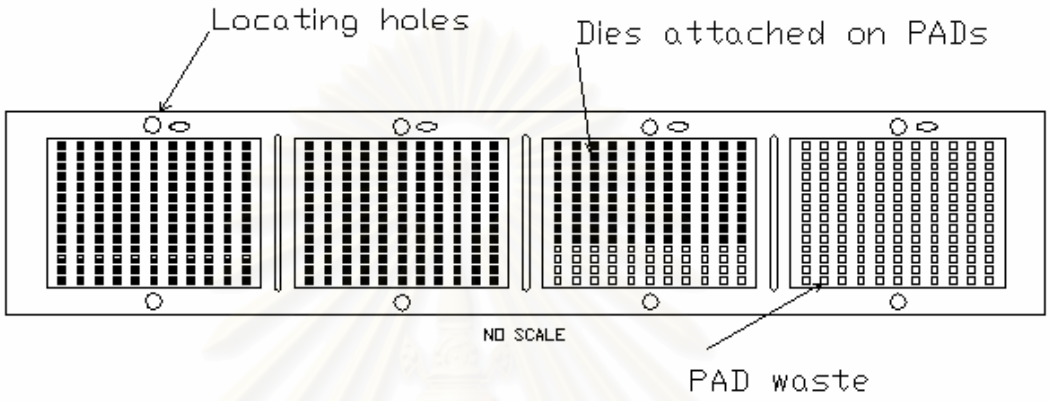
1.3.7.2 จำนวนแพดต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่น(PAD per strip)

1.3.7.2.1 ผลิตภัณฑ์ A มีค่าในช่วง 396-900 แพดต่อสตริป

1.3.7.2.2 ผลิตภัณฑ์ B มีค่าในช่วง 168-400 แพดต่อสตริป

1.3.7.3 วิธีจ่ายงานของฝ่ายควบคุมการผลิต (PC: Production Control) ได้แก่ วิธีที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน (Multiple loading) และ วิธีที่เสนอแนะ (Single order loading)

1.3.8 การดำเนินการทดลอง จะดำเนินการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยทั้งหมดในข้อที่ 1.3.7 ซึ่งทำให้ได้การทดลองทั้งหมด 3 การทดลองดังนี้



รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของปัญหาที่พบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

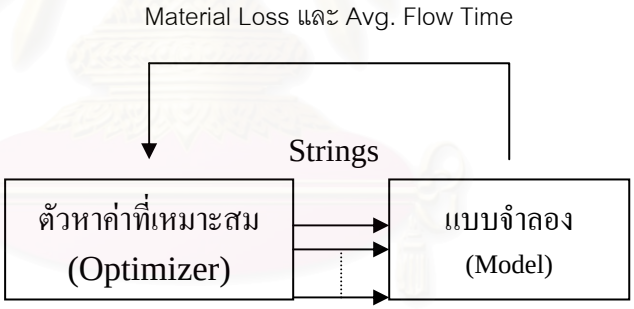
การทดลองที่ 1 หาค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิต(Production lot size) ที่มีการสูญเสียวัตถุดิบต่ำที่สุด

วิธีการทดลอง(Methodology):ประเมินทุกทางเลือก หรือ Complete enumeration

รูปที่ 1.6 แสดงแผนภาพของการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 หาค่าจำนวน PAD per strip และ ขนาดล็อตสำหรับการผลิต (Production lot size) ที่มีการสูญเสียวัตถุดิบต่ำที่สุด

วิธีการทดลอง(Methodology): Simulation based optimization



รูปที่ 1.7 แสดงแผนภาพของการทดลองที่ 2

เนื่องจากในการทดลองนี้มีการเปลี่ยนปัจจัย 2 ตัว คือ จำนวน PAD per strip และ ค่า Lot size ดังนั้นจึงทำให้เกิด Combination จำนวนมาก เช่น

ผลิตภัณฑ์ A : ช่วงของ PAD per strip x ช่วงของ Lot size

= (900-396)x(15840-7920)

= 3,991,680 Solutions

ผลิตภัณฑ์ B : ช่วงของ PAD per strip x ช่วงของ Lot size

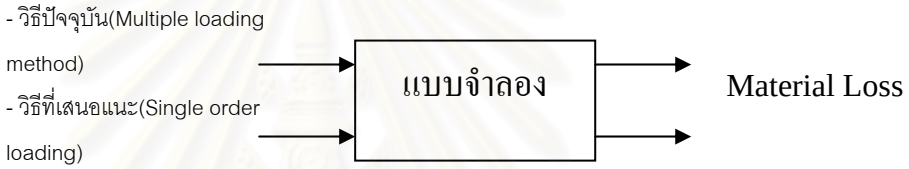
= (400-168)x(6720-3360)

= 779,520 Solutions

เนื่องจากช่วงคำตอบที่ต้องการค้นหา(Search space) มีจำนวนมาก ดังนั้น การทดลองนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธี Heuristic Search มาช่วยในการค้นหาตอบซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ Genetic Algorithms และ Random Search

การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบวิธีการจ่ายงาน(Loading) ของฝ่ายควบคุมการผลิต (PC: Production Control) ระหว่างวิธีปัจจุบันและวิธีที่เสนอแนะ

วิธีการทดลอง(Methodology): ประเมินทุกทางเลือก



รูปที่ 1.8 แสดงแผนภาพของการทดลองที่ 3

1.4 ลักษณะของปัญหา

1.4.1 เป็นปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบทางตรงซึ่งวัดในรูปของแพด (PAD) บนลีดเฟรมสำหรับการผลิต(Production lead frames) และสูญเสียลีดเฟรมดัมมี่ (Dummy Lead frames) เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องโมล์ดที่โมล์ดได้ครั้งละสองแผ่นของลีดเฟรม

1.4.2 ความสำคัญของขนาดล็อตเพื่อการผลิต(Production lot size) และจำนวนแพดต่อลีดเฟรม (PAD per strip)

เนื่องจากปริมาณไดในคำสั่งผลิตหนึ่งๆมีจำนวนมาก เช่น ลูกค้าอาจสั่งผลิตไอซี 100,000 ตัว เป็นต้น เพื่อให้การควบคุมการผลิตเป็นไปได้อย่างคล่องตัวและมีประสิทธิภาพ จึงได้กำหนดขนาดของงาน(Production lot size)ที่จะป้อนเข้าสู่สายการผลิตให้มีขนาดที่เหมาะสมและสะดวกในการขนส่งลำเลียงในระหว่างการผลิตในแต่ละจุดปฏิบัติงาน (Operations หรือ Workstations)นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถควบคุมรอบเวลาที่ต้องใช้ในการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายได้

ในส่วนของจำนวนแพดต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่น(PAD per strip)นั้น เนื่องจากการจำหน่ายลีดเฟรมจะอยู่ในรูปแผ่นหรือหน่วยในการขายคือ แผ่น(Strips) ดังนั้นเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากลีดเฟรมหนึ่งแผ่นเป็นไปอย่างเต็มที่ (Maximizing) ในทางปฏิบัติจึงได้ออกแบบให้ลีดเฟรมหนึ่งแผ่นนั้นสามารถบรรจุไดหรือชิปที่จะผลิตไอซีให้ได้มากที่สุดภายใต้ขนาดของลำตัว(Package body)ของไอซีแต่ละประเภท นอกจากนี้ การที่ลีดเฟรมหนึ่งแผ่นสามารถบรรจุไดได้มากขึ้น ยังสามารถช่วยปันส่วนต้นทุน(Cost allocation) ด้านการผลิตด้วย เช่น ต้นทุนคงที่และแปรผันเกี่ยวกับเครื่องจักร

1.4.3 ข้อมูลนำเข้า (Input) ประกอบด้วย ปริมาณไดของแต่ละคำสั่งผลิต วิธีการจ่ายงานของฝ่ายควบคุมการผลิต (PC-Production Control)และปริมาณไดที่จ่ายเข้าสู่สายการผลิต อัตราของเสียของโอเปอเรชั่น Die attach Wirebond Singulation และ QC ที่ FVI ข้อมูลจำนวนแพด (PADs) ต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่นของแต่ละผลิตภัณฑ์และขนาดของล็อตการผลิต (Production lot size)

1.4.4 มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบดังกล่าวสามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

<u>ตัวอย่างที่</u> 1 แสดงการคำนวณปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในงานวิจัย:

สมมติให้ลูกค้าต้องการสั่งผลิตไอซีจำนวน **114,100** ตัว ซึ่งตัวเลขนี้เป็นตัวเลขที่ทางโรงงานผู้ผลิตแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์เป็นผู้นับและระบุมาให้หรือในที่นี้จะเรียกว่า *ปริมาณได(Dies)ตามเอกสาร* และสมมติให้ขนาดล็อตสำหรับการผลิตของโรงงานตัวอย่างคือ **20000** ตัว/ล็อต โดยขนาดของลีดเฟรมที่ใช้คือ **616** PADs/Strip (ดูรูปที่ 1.4 หรือ 1.5 ประกอบ) PAD ก็คือที่รองไดนั่นเอง ดังนั้น ลีดเฟรมหนึ่งแผ่นจึงติดไดได้ 616 ตัว

คำถาม: ต้องการประเมินความสูญเสียของวัตถุดิบ(ในรูปของ PADs waste และ จำนวน Dummy lead frame ที่ต้องใช้เพิ่ม) ในการผลิตตามคำสั่งผลิตนี้

ขั้นตอน:

1. ฝ่าย PC จะออกเอกสาร PT สำหรับแต่ละล็อตที่จะผลิตและส่งให้ฝ่ายผลิตที่ Transfer-in Assy และ ตั๋วสำหรับเบิกไดหรือแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ที่ Die bankโดยมีรายะเอียดของแต่ละล็อตดังนี้

จำนวน Production lot = 114100/20000

= 5.7 หรือ 6 ล็อต

ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนไดในแต่ละล็อตที่จะผลิตภายใต้ขนาดล็อต 20000 ได (Dies) ต่อ ล็อต

Lot#	PT#	**จำนวนได(Dies)**
1	ABC.1	20000
2	ABC.2	20000
3	ABC.3	20000
4	ABC.4	20000
5	ABC.5	20000
6	ABC.6	14100 (เป็นล็อตเศษ)
	รวม	**114100**

2. หลังจากนั้นฝ่ายผลิตจะดำเนินการตรวจสอบคุณภาพที่ไลน์ 2/Opt ติดแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์กับเทปกาวที่ไลน์ Wafer mount แล้วตัดแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ที่ไลน์ Saw แล้วมาติดไดที่ไลน์ Die attach โดยก่อนที่จะติดได พนักงานจะเบิกลีดเฟรมมาจากสโตร์ ตามจำนวนที่ต้องใช้ในแต่ละล็อต

โดยที่ล็อตที่ 1-5 แต่ละล็อตจะมีจำนวนลีดเฟรมดังนี้

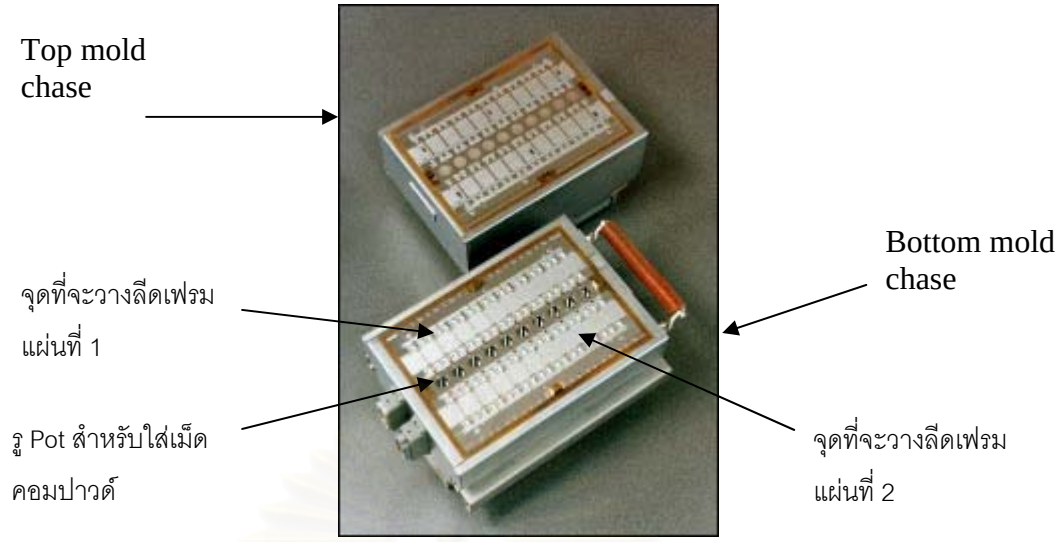
จำนวนลีดเฟรม = จำนวนไดในล็อตนั้นๆ/จำนวน PAD ต่อ ลีดเฟรมหนึ่งแผ่น

= 20000/616

= 32.4675 แผ่น หรือ 33 แผ่น/ล็อต

โดยแผ่นที่ 33 ของทุกล็อตจะถูกติดไดไม่เต็ม เนื่องจากเป็นลีดเฟรมแผ่นสุดท้ายของล็อต

และเนื่องจากในการผลิตมีเงื่อนไข(Constraint)ว่า การโมล์ดของเครื่อง Mold ที่ไลน์โมล์ดซึ่งอยู่ในส่วนของ EOL(End of Line) จะต้องทำการโมล์ดลีดเฟรมทีละคู่ หากจำนวนลีดเฟรมทั้งหมดในล็อตเป็นเลขคี่แล้ว ลีดเฟรมแผ่นสุดท้ายต้องถูกโมล์ดคู่กับแผ่น Dummy lead frame ซึ่งวัตถุดิบก็จะสูญเสียไปกับการใช้ลีดเฟรมดัมมี่นี้ เพราะลีดเฟรมดัมมี่ที่ถูกโมล์ดแล้วจะถูกทิ้ง



รูปที่ 1.9 แสดงภาพของหน้าโมล์ดหรือแม่แบบซึ่งจะต้องโมล์ดลีดเฟรมครั้งละ 2 แผ่น

ดังนั้นล็อตที่ 1 ถึง 5 จะใช้ Dummy lead frame ล็อตละ 1 แผ่นเพื่อให้สามารถโมล์ดที่เครื่องโมล์ดได้ ดังนั้น จำนวนลีดเฟรมดัมมี่ที่ต้องใช้ใน 5 ล็อตแรก เท่ากับ *5 แผ่น*และจำนวน PADs ที่เหลือใน 5 ล็อตแรกแต่ละล็อต สามารถคำนวณได้ดังนี้

จากสมการ

จำนวนสตริปที่ใช้ในล็อต = ขนาดล็อต/จำนวน ไดหรือPADs ต่อสตริป--------- (1)

สัดส่วนของไดบนลีดเฟรมที่เศษ = จำนวนสตริปที่ใช้ในล็อต — จำนวนสตริปที่ถูกติดไดเต็มแผ่น ----------(2)

จำนวน PADs ที่ถูกติดไดบนลีดเฟรมที่เหลือแผ่นสุดท้าย = สัดส่วนของไดบนลีดเฟรมที่เศษ x 616 ----------(3)

จำนวน PADs ที่เหลือบนลีดเฟรมที่เหลือแผ่นสุดท้าย = 616 — จำนวน PADs ที่ถูกติดบนลีดเฟรมที่เศษ ----------(4)

คำนวณตามสมการที่ 1 - 4

- จำนวนสตริปที่ใช้ในล็อต = 20000 / 616 = 32.4675 แผ่น หรือ 32 แผ่น(เต็ม) กับอีก 1 แผ่นที่ติดได(Dies) ไม่เต็ม หรือเรียกว่า *ลีดเฟรมเศษ*
- สัดส่วนของไดบนลีดเฟรมที่เศษ = 32.4675 — 32 = 0.4675
- จำนวน PADs ที่ถูกติดบนลีดเฟรมที่เศษ = 0.4675 x 616 = 287.98 หรือ 288 PADs ซึ่งต้องปัดให้เป็นจำนวนเต็ม

- จำนวน PADs ที่เหลือบนลีดเฟรมเศษ = 616 - 288 = 328 PADs ต่อ ล็อต

∴ จำนวน PADs ที่เหลือทั้งหมด = 5 ล็อต x 328 = 1640 PADs

หมายเหตุ: ลีดเฟรม 1 แผ่น ติดไดได้ 616 ตัว หรือมี PADs 616 อันสำหรับรองได

ส่วนล็อตที่ 6 หรือ ล็อตสุดท้าย เมื่อดำเนินการติดไดไปจนหมดพบว่ามีจำนวนไดทั้งหมดเท่ากับ 14000 *ซึ่งขาดไป/จำนวน 100 ตัว* นั่นคือ ค่า Count variance = *-100* ได(หากค่าเป็น*บวก* แสดงว่าค่าไดสุทธิหรือ Net dies จริงๆมากกว่าที่ทางโรงงานผู้ผลิตแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์นับและระบุมาให้) ส่วนจำนวนลีดเฟรม(Production lead frame) ในล็อตนี้ที่ต้องใช้จริงๆเท่ากับ 14000/616 = 22.727 แผ่น หรือ 22 แผ่น และแผ่นที่ 23 จะมี PAD เหลือหรือติดไดไม่เต็มอยู่จำนวนหนึ่งภายหลังจากการติดไดเสร็จ พร้อมกับต้องใช้ Dummy lead frame จำนวน 1 แผ่นด้วยเพื่อให้สามารถโมล์ดลีดเฟรมแผ่นที่ 23 ได้ รายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

จำนวนลีดเฟรมในล็อต = จำนวนไดในล็อตนั้นๆ/จำนวน PAD ต่อ ลีดเฟรมหนึ่งแผ่น

= 14000/616

= 22.727 แผ่น หรือ 23 แผ่น

คำนวณหาจำนวน PADs ที่เหลือบนลีดเฟรมแผ่นที่ 23 *ที่จะทราบค่าภายหลังการติดไดที่ไลน์ Die attach*ได้ดังนี้

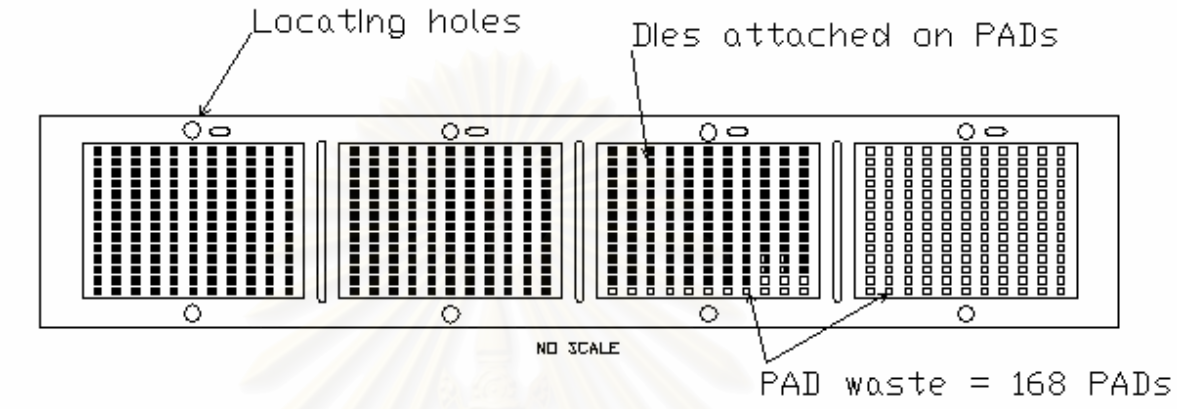
จำนวน PADs ที่ใช้บนลีดเฟรม = สัดส่วนของ Dies บนลีดเฟรมสุดท้าย x จำนวน PADs บนลีดเฟรม 1 แผ่น

= (22.727-22)*616

= 447.832 หรือ 448 PADs ปัดให้เป็นจำนวนเต็ม

ดังนั้น ลีดเฟรมแผ่นที่ 23 จะมีจำนวน PADs ที่เหลือเท่ากับ 616-448 = 168 PADs #

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.10 แสดงลักษณะลีดเฟรมของล็อต ABC.6 ที่มีจำนวนแพดเหลือเท่ากับ 168 แพด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2 สรุปยอดการผลิตและลีดเฟรม (ทั้ง Production and dummy lead frame) ที่ต้องใช้

ที่มา: ตัวเลขสมมติ

ล็อตที่	PT#	จำนวนได (Dies)ในล็อต	จำนวนสตริป/ล็อต (แผ่น)	จำนวน PADs ที่เหลือจากการติดได (แพด)	Yield(%)= output/input
1	ABC.1	20000	33+1Dummy	328	100
2	ABC.2	20000	33+1Dummy	328	100
3	ABC.3	20000	33+1Dummy	328	100
4	ABC.4	20000	33+1Dummy	328	100
5	ABC.5	20000	33+1Dummy	328	100
6	ABC.6	14000	23+1Dummy	168	100
รวม		114000			
Count variance		-100			
ใช้ Production lead frame			(33x5)+23 = 188 **แผ่น**		
ใช้ Dummy lead frame			**6 แผ่น**	1808 **แพด**	
Material loss			= (6x66 **บาท**)+ (1808 x 0.3571 **บาท**)= 1041.64 **บาท**		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินความสูญเสียวัตถุดิบในรูปของต้นทุน

จากการคำนวณในตัวอย่างที่ 1 เราจะเห็นว่าความสูญเสียด้านวัตถุดิบที่เกิดขึ้นคือ PADs ที่เหลือจากการติดไดที่ไลน์ Die attach (เนื่องจาก Production lead frames มีราคาค่อนข้างแพง) และ การใช้ Dummy lead frame (นอกจากนี้ยังต้องสูญเสียคอมปาวด์ให้กับลีดเฟรมดัมมี่อีกด้วย เนื่องการโมล์ดที่ไลน์โมล์ด) เพิ่มขึ้นสำหรับล็อตที่มีจำนวนลีดเฟรมเป็นจำนวนคี่ ทั้งนี้ การเกิดความสูญเสียดังกล่าวมีผลมาจาก ความไม่แน่นอนของปริมาณการสั่งผลิตหรือ Order quantity (ซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรสุ่ม) กับ ขนาดของล็อตการผลิตที่ใช้ (Lot size ซึ่งถือว่าเป็น ตัวแปรตัดสินใจหรือ Decision variable ในแบบจำลอง) โดยการใช้ข้อมูลจากตารางที่ 1.2 สามารถประเมินความสูญเสียด้านวัตถุดิบได้ดังนี้

Material loss = (ราคาต่อหน่วยของ PADs x จำนวน PADs ที่เหลือทั้งหมด)+(ราคาต่อแผ่นของ Dummy lead frame x จำนวนลีดเฟรมดัมมี่ที่ใช้)

= (0.3571 บาท x 1808 PADs)+(66 บาท x 6 แผ่น)

= **1041.64** บาท / คำสั่งผลิตหรือ order #

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1.5.1 ลีดเฟรมหรือสตริป (Lead frame/Strip) หมายถึง แผ่นโลหะที่ใช้รองรับไดหรือชิปและช่วยในการขนถ่ายลำเลียงชิ้นงาน ในกระบวนการผลิตแผงวงจรรวมหรือไอซี โดยทั่วไปจะมีลีดเฟรมอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่ใช้เป็นวัตถุดิบทางตรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่า *Production lead frame* และประเภทที่ใช้สำหรับการเซตอัพเครื่องจักรหรือใช้เสริมในการผลิตกรณีที่มีขีดจำกัดด้านเครื่องจักรที่เรียกว่า *Dummy lead frame* เช่น เครื่องโมล์ดต้องใช้ลีดเฟรมทีละสองแผ่นในการโมล์ดหรือฉีดพลาสติกหนึ่งครั้ง หากจำนวนลีดเฟรมในล็อตเป็นเลขคี่ต้องใช้ลีดเฟรมดัมมี่เสริมอีกหนึ่งแผ่น เป็นต้น

1.5.2 แพด (Pad) หมายถึง พื้นที่ส่วนหนึ่งของลีดเฟรม เป็นที่สำหรับรองรับอีพอกซี่เพื่อทำหน้าที่ยึดติดไดในกระบวนการติดได พื้นที่ส่วนนี้จะมีการฉาบด้วยโลหะเงิน

1.5.3 พาเนล (Panel) หมายถึง กลุ่มของแพดบนลีดเฟรม

1.5.4 ได (Dies) หมายถึง ซิลิคอนชิป (Silicon chips)

1.5.5 ล็อตเวเฟอร์ (Wafer lot) หมายถึง ล็อตที่บรรจุแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ที่ถูกจัดส่งมาจากโรงงานผลิตแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ (Wafer fabrication plant)

1.5.6 ล็อตการผลิต (Production lot) หมายถึง ขนาดกลุ่มของชิ้นงานในระหว่างการผลิตที่ถูกกำหนดขนาดให้สะดวกต่อการขนย้ายลำเลียงในกระบวนการผลิต ตลอดจนสะดวกต่อการบริหาร/ควบคุมในการผลิต

1.5.7 จำนวนไดสุทธิ (Net Dies) หมายถึง ปริมาณไดทั้งหมดที่มีจริงๆในล็อตเวเฟอร์ที่ถูกเบิกมาจากคลังจัดเก็บแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ (Die bank) เพื่อใช้ในการผลิต โดยจำนวนไดสุทธิจะทราบค่าได้เมื่อดำเนินการติดไดจนหมด สำหรับล็อตเวเฟอร์หนึ่งๆ

1.5.8 ตัวไอซี (Integrated circuit) หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของแผงวงจรรวม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้แนวทางในการดำเนินงานเพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบ

1.6.2 มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการประเมินผลกระทบด้านการสูญเสียวัตถุดิบในรูปของลีดเฟรมสำหรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มแผงวงจรรวมยุคใหม่

1.7 ขั้นตอนของการวิจัย

1.7.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7.2 ศึกษาระบบการทำงาน ระบบการผลิตที่เกี่ยวข้อง ปัญหาของการสูญเสียลีดเฟรม ตลอดจนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

1.7.3 พัฒนาแบบจำลองระบบงานที่ศึกษา (Computer simulation model)

1.7.3.1 ให้คำจำกัดความระบบงาน กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และค่าวัดสมรรถนะของแบบจำลอง (Measure of performance)

1.7.3.2 ศึกษารายระเอียดของระบบงาน

1.7.3.3 สร้างแบบจำลองสำหรับระบบงาน (Logic model)

1.7.3.4 วางแผน รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับแบบจำลอง

1.7.3.5 แปรรูปแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.7.3.6 พิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง (Verification)

1.7.3.7 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

1.7.3.8 วางแผนการทดลองขั้นสุดท้ายสำหรับแบบจำลอง

1.7.4 พัฒนาตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) โดยใช้ GAs และ RS

1.7.4.1 ออกแบบเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาที่ศึกษา

1.7.4.2 ดำเนินการเขียนโปรแกรม (Program coding)

1.7.4.3 พิสูจน์ยืนยันโปรแกรม (Verification)

1.7.4.4 ทดสอบความถูกต้องโปรแกรม (Validation)

1.7.5 ออกแบบการทดลอง (DOE: Design of Experiment) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึมภายใต้โครงสร้างของปัญหาที่ศึกษา(Structure of problem)

1.7.6 เชื่อมต่อ (Interface) ตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) เข้ากับแบบจำลอง (Computer simulation model)

1.7.7 ดำเนินการทดลอง

1.7.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.7.9 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.7.10 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาต่างๆ และ 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการค้นหาคำตอบของแบบจำลองหรือระบบงานที่มีความซับซ้อน

2.1 งานวิจัยในด้านการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation)

■ **Averill M. Law (2544)** ได้แนะนำขั้นตอนทั้งในหลักการและตัวอย่างเพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองได้น่าเชื่อถือและสามารถยอมรับได้ ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงจุดบกพร่องต่างๆที่อาจเกิดขึ้นและการหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเหล่านั้นในระหว่างการสร้างแบบจำลอง

■ **Lawrence Leemis (2544)** เป็นเอกสารแนะนำ (Tutorial) เกี่ยวกับวิธีการเตรียมและวิเคราะห์ข้อมูลที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input) สำหรับแบบจำลองประเภทที่ค่าตัวแปรของสถานะระบบมีค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete-event simulation) พร้อมได้เสนอแผนภูมิของการจัดแบ่งประเภทของข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง (Input modeling taxonomy)

■ **ปรีดี ตันติประภาส (2542)** งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยการจัดลำดับงาน (Dispatching rules) ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบการผลิตแบบโฟล์วชอป (Flow shop) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARENA 2.2 เป็นเครื่องมือในการจำลองแบบปัญหาโดยโรงงานตัวอย่างที่เลือกใช้คือ โรงหล่อ ดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพในงานวิจัยคือ เวลาที่งานอยู่ในระบบ (Flow time) เวลาส่งงานเสร็จไม่ทันตามกำหนด (Tardiness) อัตราส่วนจำนวนงานที่เสร็จเกินกำหนดส่งต่อจำนวนงานทั้งหมด (Proportion of job tardy) และอัตราการใช้เครื่องจักรของระบบ (System utilization) จากผลการทดลอง

สามารถสรุปได้ว่า กฎการจัดลำดับ มีผลต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตดังกล่าวที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และการใช้กฎการจัดลำดับที่ดีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตได้ โดยกฎการจัดลำดับงานที่มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงในปัญหาของกรณีศึกษาคือ

- LWKR (Least Work Remaining)
- SMT (Smallest value obtain by Multiplying processing by Total pressing time)
- SPT (Shortest Processing Time)

■ **สุรพล ราษฎร์นุ้ย** (2532) ได้เสนอผลการวางแผนการซ่อมทำ และการใช้พัสดุในการปรับซ่อมใหญ่ระดับขับเคลื่อนหลักของเรือยนต์เร็วโจมตีโดยการใช้ไมโคร-คอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองผลของปัญหาการจัดสรรแรงงาน และวางแผนการใช้พัสดุ จากการศึกษาพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบของการปรับซ่อมระดับขับเคลื่อน คือ การขาดการบริหารพัสดุในการซ่อมทำที่ดี (MRP : Material Requirement Planning) ทำให้การซ่อมทำเรือล่าช้า (เนื่องจากต้องรอพัสดุในการซ่อม) โดยที่ปริมาณแรงงานและเครื่องจักรกลที่มีอยู่ไม่ก่อให้เกิดการติดขัดภายในระบบ

ดังนั้น จึงได้เสนอให้ดำเนินการติดตั้งระบบการวางแผนความต้องการพัสดุและการจัดหาพัสดุซึ่งจะทำให้สามารถลดระยะเวลาในการซ่อมทำเรือในส่วนของระดับขับเคลื่อนหลักลงได้ ยังผลให้เกิดผลดีทางด้านยุทธการ กล่าวคือ เรือรบอยู่ในสภาพพร้อมรบตามแผนการที่วางไว้

2.2 งานวิจัยในด้านการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms)

■ **วราภรณ์ จิรเกษมสุข** (2544) ได้ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงานที่แผนกมีขนาดไม่เท่ากัน ด้วยการกำหนดรูปร่างลักษณะแผนกที่แน่นอน โดยค่าความเหมาะสม(Fitness) ได้พิจารณาทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพคือค่า TCR: Total Closeness Rating และเชิงปริมาณคือค่า Total cost ซึ่งเป็นปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ และดำเนินการแก้ปัญหาโดยการรวมฟังก์ชันโดยการให้น้ำหนักกับแต่ละวัตถุประสงค์ เพื่อบ่งบอกถึงความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้ได้ยืนยันความถูกต้องของการทำงานของ GAs โดยใช้ปัญหาทดสอบ (Test problems) จำนวน 9 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาผังโรงงานที่มี 6 แผนก 10 แผนก และ 20 แผนก โดยแต่ละปัญหาได้ถูกแบ่งออกเป็น

ปัญหาย่อยๆตามการให้ค่าน้ำหนักกับวัตถุประสงค์ซึ่งมี 3 ค่า คือ 0.25 ,0.5 และ 0.75 นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากเจเนติกอัลกอริทึมกับการสุ่ม ผลการทดสอบพบว่า เจเนติกอัลกอริทึมให้คำตอบที่ดีกว่า และเหมาะที่จะนำมาแก้ปัญหาการออกแบบผังโรงงานในงานวิจัยนี้ ในส่วนของกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น ช่วยในการออกแบบแผนผังโรงพยาบาลสัตว์ ผลการออกแบบพบว่า คำตอบที่ได้จากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมให้ค่าใช้จ่ายลดลง 17.28% และให้ค่า TCR ลดลง 6.63% เมื่อเทียบกับผังปัจจุบัน

■ **กรรณิกา ศิลานนท์** (2542) งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลของสายงานประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective genetic algorithms) โดยใช้วิธี Weighted sum approach ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบของการจัดงานให้กับแต่ละสถานีทำงานเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ 3 ประการพร้อมๆกัน คือ

- เพื่อให้สายงานประกอบมีจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด
- มีรอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด
- มีความแปรปรวนของภาระงานในแต่ละสถานีการทำงานน้อยที่สุด

พร้อมทั้งได้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึมด้วย โดยพารามิเตอร์เหล่านั้นได้แก่ ขนาดของประชากร (Population size) ประเภทของการครอสโอเวอร์ (Crossover types) ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover probability: Pc) ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation probability: Pm) จากการทดลองพบว่าขนาดของประชากร วิธีการครอส-โอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการกลายพันธ์ เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึม และยังพบว่า MOGA มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า SGA และ COMSOAL สำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้

■ **ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์** (2541) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคำตอบและระยะเวลาในการหาคำตอบของปัญหาการจัดผังโรงงานโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม (GAs) รวมทั้งศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการหาคำตอบและเวลาในการหาคำตอบของ เจเนติกอัลกอริทึม โดยในการศึกษาได้นำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมาผสมผสานกับวิธีฮิวริสติกไปใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังโรงงาน โดยจัดสรรแผนกงานต่างๆจำนวน n บล็อกลงในพื้นที่ m บล็อก (n<m) โดยแผนกต่างๆมีขนาดเท่ากันคือ 1 หน่วย พิจารณาข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพแต่สมการเป้าหมายเป็นแบบ

วัตถุประสงค์เดียว (Single Objective) ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพด้านความเร็วในการหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึมเพิ่มขึ้นได้ หากใช้คำตอบที่ดีจากวิธีอิมพรู๊ฟเม้นฮิวริสติกมาเป็นประชากรเริ่มต้นของ GAs และพบว่าปัจจัยที่มีความไวต่อคำตอบที่ได้และเวลาในการหาคำตอบคือ จำนวนประชากรและความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของโอเปอเรเตอร์ต่างๆจะแตกต่างกันไปสำหรับปัญหาที่แตกต่างกัน

■ **Ting Kuo,and Shu-Yuen Hwang (2536)** ได้เสนอวิธีคัดเลือกสรรแบบใหม่ที่เรียกว่า Disruptive selection ซึ่งตามหลักการของดาร์วินแบบสมัยใหม่ได้แบ่งวิธีคัดเลือกสรรเพื่อให้เกิดวิวัฒนาการเป็น 3 ประเภทคือ

■ Stability selection หรือ Normalization selection ซึ่งการคัดเลือกสตริงแบบนี้ มีแนวโน้มที่จะกำจัดสตริงที่มีค่าความเหมาะสม(Fitness) ต่างจากกลุ่มมากๆออกไป

■ Directional selection การคัดเลือกสรรแบบนี้มีผลกระทบต่อการเพิ่มหรือลดค่าเฉลี่ยของประชากรแต่จะเป็นไปในทิศทางเดียวและการพัฒนา GAs ในยุคต้นๆก็ใช้การคัดเลือกที่อยู่บนพื้นฐานแบบนี้

■ Disruptive selection มีแนวโน้มที่จะกำจัดสตริงที่มีค่าความเหมาะสมอยู่ระดับกลางๆออกไป และยอมให้สตริงที่มีค่าความเหมาะสมที่ไม่ดี มีโอกาสถูกถ่ายทอดไปสู่รุ่นถัดไป ดังนั้นค่าความเหมาะสมสำหรับสตริงในประชากรของการคัดเลือกแบบใหม่นี้จะมีค่าหลากหลายกว่า

จากผลการศึกษาพบว่าการคัดเลือกสตริงแบบ Disruptive ช่วยให้ GAs หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในฟังก์ชันที่หาคำตอบยากๆเหมือนการหาเข็มในกองฟาง (Needle-in-a-haystack function) ได้อย่างง่ายดาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 งานวิจัยในด้านการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation based optimization)

■ **Michael C. Fu และ Robert H. Smith (2544)** ได้เสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมของแบบจำลองโดยนำเสนอในรูปแบบของ Q&A หรือการถาม-ตอบ โดยเริ่มต้นแต่ความหมายของ Simulation optimization, ความแตกต่างระหว่าง Stochastic optimization กับ Simulation optimization, ตัวอย่างปัญหาทาง

ธุรกิจที่ได้นำวิธีการนี้ไปแก้ปัญหา ไม่ว่าจะเป็นด้าน Manufacturing, Supply chain, Call center, Financial, Single server queue, Inventory control เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้เสนอเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการทำ Optimization ได้แก่ Ranking and Selection, Response Surface Methodology(RSM), Random Search, Deterministic optimization search strategies(ที่นิยมได้แก่ GAs,Tabu search,Simulated annealing) ตลอดจนชื่อซอฟท์แวร์ต่างๆที่เริ่มนำเอาตัวหาค่าที่เหมาะสมหรือ Optimizer เข้ามาช่วยในการหาคำตอบสำหรับแบบจำลอง

■ **Jay April, Fred Glover, James Kelly และ Manuel Laguna (2544)** ได้เสนอหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation optimization) และในส่วนของตัว Optimizer ได้กล่าวถึงการนำเอา Tabu Search, Scatter Search, Mixed Integer Programming และ Neural Networks มาใช้ในผลิตภัณฑ์ชื่อ OptQuest ซึ่งเป็นตัวหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในวัตถุประสงค์ทั่วๆไป (General purpose optimizer) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาด้าน Project portfolio optimization และ Customer Relationship Management (CRM)

■ **Berna Dengiz และ Cigdem Alabas (2543)** ได้ประยุกต์ใช้ Tabu search (TS) ในการหาจำนวนคัมบัง (Kanbans) ของระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (JIT: Just In Time) ที่ทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานต่ำที่สุด และมีรอบเวลาการผลิตไปขัดกับเงื่อนไขที่ระบุด้วย การหาค่าผลตอบสนองของระบบการผลิต ได้แก่ รอบเวลาการผลิต (Cycle time) เวลาที่ใช้ในการผลิต(Makespan)ของแต่ละคำสั่งผลิต จะได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์(Simulation model) ส่วนการหาค่าจำนวนคัมบังที่เหมาะสม (หรือตัว Optimizer) จะใช้ Tabu search และ Random search(RS) ในการสร้างชุดตอบให้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และดำเนินการประเมินผลต่อไป โดยผลการศึกษาพบว่า TS ให้คำตอบที่มีต้นทุนต่ำกว่า RS โดยที่ TS มีสัดส่วนของการค้นหาคำตอบ(Fraction searched) เพียง 0.249% จากคำตอบทั้งหมด(Search space) ในขณะที่ RS ใช้สัดส่วนในการค้นหาคำตอบที่มากกว่า คือ 6.842% จากคำตอบทั้งหมด ดังนั้นจึงสรุปว่า TS เหมาะสมในการใช้หาคำตอบในงานวิจัยนี้มากกว่า RS

■ **Averill M.Law และ Michael G. McComas (2543)** ได้นำเสนอตัวอย่างและแนวทางการศึกษาปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ตัวอย่างในกรณีศึกษา

เป็นการหาจำนวนเครื่องจักรในแต่ละสถานีงาน(Work stations) และจำนวนตำแหน่งในจุดสำรองงาน (Buffers) ทั้งหมด ในส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตที่มีสถานีงานอยู่ 4 จุด และมีจุดสำรองงานอยู่ 3 จุดซึ่งอยู่ระหว่างสถานีงานเหล่านั้น เพื่อให้ได้กำไรมากที่สุด โดยมีสมการเป้าหมายคือ

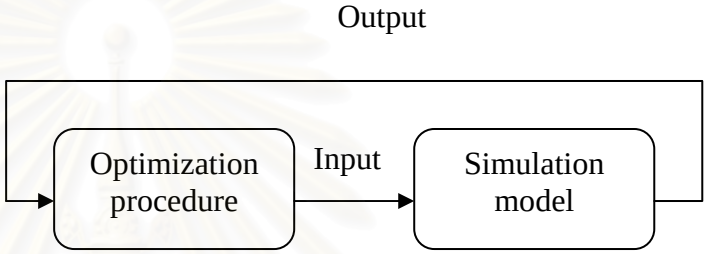
f = ($200*Throughput)-($25000*n_machines)-($1000*n_position)

โดยที่ค่า Throughput จะได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์(Computer Simulation Model) ส่วนค่าจำนวนเครื่องจักรหรือ n_machine และ จำนวนตำแหน่งจุดสำรองงานหรือ n_position จะสร้างจากตัวหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(ตัว Optimizer) ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ OptQuest(Glover et al.1999) ที่ถูกใช้ในโปรแกรม ARENA และ WITNESS (Lanner 1998) ขั้นตอนในการหาคำตอบเริ่มต้นที่การหาจำนวเครื่องจักรที่เหมาะสมโดยใช้ OptQuest และกำหนดคำตอบนั้นให้คงที่ในแบบจำลอง แล้วใช้ WITNESS หาค่า n_position ที่เหมาะสม จากผลการศึกษาทำให้ได้ค่า System configuration หรือจำนวนเครื่องจักรและจำนวนตำแหน่งจุดสำรองงานที่เหมาะสม

■ **Jose' A. Diaz, และ lieana G. Pe'rez (2543)** จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อระบุจุดที่เป็นคอขวด (Bottlenecks) ในกระบวนการขนส่งต้นอ้อยหลังฤดูการเก็บเกี่ยวของประเทศคิวบา (Cuba) จัดเตรียมคำตอบหรือแนวทางการแก้ไขปัญหาสำหรับจุดทำเป็นคอขวดเหล่านั้น และพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ มีค่าผลตอบสนองคือ ปริมาณอ้อยที่สามารถขนส่งได้ และ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละรอบ ตัวแปรในการตัดสินใจได้แก่ 'จำนวนเครื่องตัด จำนวนรถเทรคเตอร์ จำนวนรถบรรทุก จำนวนรถเทลเลอร์ และความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุกที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ใช้วิธี RSM (Response Surface Methodology)

■ **Fred Glover, James P. Kelly และ Manuel Laguna (2542)** ได้นำเสนอที่มาและหลักการทั่วไปของวิธีหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ว่าวิธีการจำลองแบบปัญหาแบบเดิมยังขาดกลไกในการหาค่าที่เหมาะสม ในขณะที่วิธีการ Optimization แบบเดิมส่วนมากก็ใช้กับฟังก์ชันที่มีรูปแบบหรือมีสมการที่เด่นชัด (Explicit function) หากปัญหาเป็นแบบซับซ้อน (Complexities) มากๆและสภาวะของระบบไม่คงที่แน่นอน (Uncertainties) แล้ว วิธีการแบบเดิมเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งก็ยากในการที่จะหาค่าที่

เหมาะสม แต่เมื่อได้มีความก้าวหน้าอย่างมากในสาขา Metaheuristic (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในงานด้าน Optimization ที่ได้เพิ่มเติมกลไกทางด้านปัญญาประดิษฐ์หรือ AI เข้าไปช่วยในการหาวิเคราะห์ปัญหา) ซึ่งก่อให้เกิดการผสมผสานระหว่างเทคนิคทั้งสองอย่างเข้าด้วยกัน (Simulation กับ Optimization) ซึ่งวิธีการใหม่ที่เกิดขึ้นสามารถช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนได้เพื่อขึ้น โดยตัวที่ทำหน้าที่หาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) จะมองระบบที่ถูกจำลองหรือแบบจำลองเป็นกล่องดำ (Black Box) อันหนึ่งที่มันจะไม่รู้กลไกต่างๆภายในของแบบจำลองนั้น เพียงแต่มันจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนั้น มาประเมินเพื่อหาคำตอบที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.1 แสดง



รูปที่ 2.1 แสดงการประสานงานระหว่าง Optimizer กับ Simulation model

■ **Farhad Azadivar (2542)** ได้นำเสนอขอบข่ายงานด้านการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองที่เอกสารอื่นๆอาจจะยังไม่ครอบคลุม โดยเริ่มต้นที่การชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่าง Simulation optimization กับ Mathematic programming โดยทั่วๆไป, การสร้างโมเดลของปัญหาเบื้องต้น ตลอดจนการจำแนกคลาสของปัญหาด้าน Simulation optimization นี้

■ **Farhad Azadivar และ J.Victor Shu (2541)** งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเลือกนโยบายการซ่อมบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าระดับการให้บริการ (Service level) สูงที่สุดโดยค่าระดับการให้บริการจะวัดในรูปของ เปอร์เซ็นต์งานที่ถูกจัดส่งตรงตามกำหนดส่ง ตัวแปรในการตัดสินใจได้แก่ นโยบายของการซ่อมบำรุงรักษาซึ่งมีอยู่ 5 ประเภทที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การซ่อมบำรุงตามการพยากรณ์ (Predictive maintenance policy) การซ่อมบำรุงรักษาแบบตอบสนองหรือเสียแล้วซ่อม (Reactive maintenance policy) การซ่อมบำรุงตามช่วงเวลากำหนด (Time based preventive policy) การซ่อมบำรุงโอกาสเหมาะสม (Opportunistic maintenance policy) การซ่อมบำรุงตามค่า

MTBF (MTBF based preventive policy) และขนาดของ Buffer ในกระบวนการผลิต ตัวหาค่าที่เหมาะสม(Optimizer) ที่ใช้คือ GAs และ Random search (RS) ลักษณะโอเปอเรเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้คือ การเข้ารหัสแบบไบนารี, รูเลตวีล, อิลิติลิส (Elitilist), การครอสโอเวอร์แบบ 1-Point, และ การมิวเตชั่นแบบสลับบิท ผลการศึกษาพบว่า GA ให้คำตอบที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้และยืดหยุ่นสำหรับการแก้ปัญหานี้ซึ่งตัวแปรตัดสินใจอยู่ในรูปเชิงปริมาณ (Quantitative) และ เชิงคุณภาพ (Qualitative)

■ **RoyCe O. Bowden และ John D. Hall (2541)** ได้เสนอกรอบแนวคิดเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือและการวิจัยในอนาคตสำหรับงานด้านการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation based optimization หรือ Simulation optimization หรือ Simulation via optimization) ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นว่ามีควรพิจารณางานในด้านไหนบ้าง โดยได้เสนอในรายละเอียดดังนี้

■ Problem formulation เป็นการพิจารณาเกี่ยวกับขั้นตอนการสร้างสมการเป้าหมายและเงื่อนไขต่างๆให้แต่ตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) เพราะหากปัญหาถูกสร้างขึ้นอย่างไม่เหมาะสมแล้วสามารถลดประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ดีที่สุดได้ หรือใช้คำกล่าวง่ายๆว่า การใช้เครื่องมือที่ดีที่สุดไปแก้ปัญหาที่ผิดก็ย่อมได้ผลลัพธ์ที่ไม่มีประโยชน์ ดังนั้น งานวิจัยด้านนี้จึงเป็นการพิจารณา/ศึกษาเพื่อสร้างเครื่องมือที่จะช่วยให้ผู้ใช้งาน(Users) ใช้ในการสร้างสมการเป้าหมายและเงื่อนไขให้มีความถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น

■ Classification เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และจำแนกปัญหาที่กำลังจะหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งการจำแนกประเภทของปัญหาดังกล่าวให้มีความถูกต้องมีผลต่อการเลือกวิธีการและกลยุทธ์ (Strategies) ในการดำเนินงานให้เหมาะสม การจำแนกประเภทของปัญหาดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับประเภทของตัวแปรตัดสินใจว่าเป็นประเภทอะไร ได้แก่ จำนวนเต็ม (Integer),จำนวนจริง (Real) หรือ ตรรกะ (Logical) เป็นต้น ตลอดจนจำนวนของตัวแปรตัดสินใจ , ลักษณะของพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) , ความแปรปรวนของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง และ จำนวนรอบของการรันแบบจำลอง

■ Strategy และ Tactics โดย Strategy หรือกลยุทธ์นั้นเกี่ยงข้องกับกรเลือกใช้วิธีการ Optimization ให้เหมาะสมกับคลาส (Class) ของปัญหา

ส่วน Tactical เป็นการเลือกใช้เทคนิคสนับสนุนต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ได้แก่ การลดความแปรปรวน การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบแบบพหุ เป็นต้น

- Intelligence เป็นการพิจารณาด้านการนำเอาองค์ความรู้มาใส่ให้ตัวที่ทำหน้าที่แก้ปัญหา(Solver) เพื่อใช้ในการเลือกกลยุทธ์ที่จะใช้ในการแก้ปัญหา
- Interfaces หรือส่วนเชื่อมการติดต่อ เกี่ยวข้องทั้งการอินเตอร์เฟสระหว่างตัว Optimizer กับ User และ ตัว Optimizer กับ Simulation model ทั้งนี้เพราะ เครื่องมือทางด้านการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ควรถูกออกแบบสำหรับผู้ใช้งานทั่วๆไปที่เกี่ยวข้องกับด้านการจำลองปัญหาด้วย

- **Sigrun Andradottir (2541)** ได้นำเสนอเทคนิคที่ใช้ในการหาค่าที่ เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง โดยได้แบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ
  - Continuous decision parameters หรือกลุ่มที่ค่าตัวแปรตัดสินใจมีค่าต่อเนื่อง ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในกลุ่มนี้จะอยู่บนพื้นฐานของการประมาณค่า Gradient
  - Discrete decision parameters หรือกลุ่มที่ค่าตัวแปรตัดสินใจมีค่าไม่ต่อเนื่อง วิธีการที่ใช้ในกลุ่มนี้จะอยู่บนพื้นฐานของ Random search

- **Yolando Carson และ Anu Maria (2540)** เอกสารนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้และซอฟท์แวร์ในงานการจำลองแบบปัญหาที่ได้มีการเพิ่มโมดูลเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมเข้าไปแล้ว ได้แก่ ProModel, AutoMold, Micro Saint, LayOPT, FactoryOPT เป็นต้น

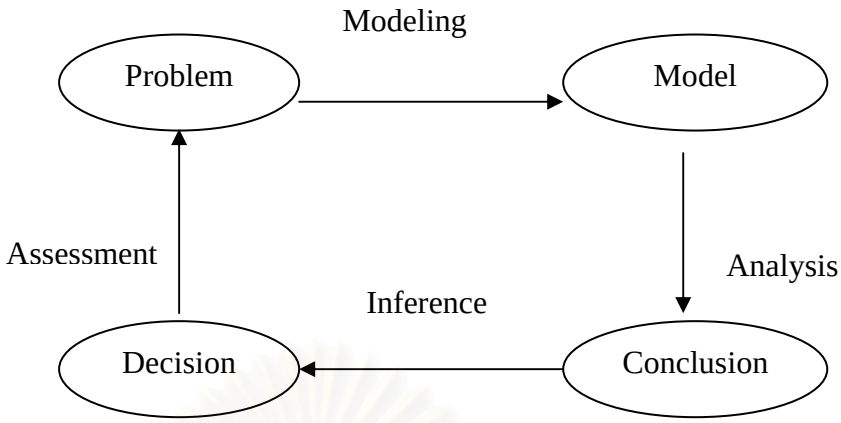
บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งแบ่งได้ 4 ส่วน คือ 1. ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับหลักการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) 2. ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) 3. ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Modeling) 4. ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation Based Optimization)

3.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับหลักการหาค่าที่เหมาะสม

ในการดำเนินงานทางธุรกิจ การบริหารทรัพยากรที่อยู่ในรูปต่างๆที่มีจำนวนอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของการดำเนินงาน ปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยกรเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจแทบทั้งสิ้น หรือที่เรียกว่า Decision problem ดังนั้น การได้มาซึ่งคำตอบหรือกลยุทธ์ (Strategies) ที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ภายใต้ขีดจำกัดต่างๆเพื่อใช้ในการตัดสินใจดำเนินงานจึงมีความสำคัญและมีผลกระทบต่อการดำเนินงานทางธุรกิจอย่างมาก อย่างไรก็ตามการได้มาซึ่งคำตอบหรือกลยุทธ์ที่เหมาะสมเหล่านั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการวิจัยดำเนินงานทั้งนี้เพราะบางครั้ง เราไม่สามารถเข้าไปทดลองหรือทดสอบกับตัวปัญหาหรือระบบที่มีปัญหาโดยตรงได้ ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถวิเคราะห์และทดสอบได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง (Models) และแบบจำลองในงานวิจัยดำเนินงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแบบจำลองคณิตศาสตร์ เมื่อมีแบบจำลองแล้วเราก็สามารถประยุกต์วิธีการ ทักษะ เทคโนโลยี หรือความรู้อื่นๆในการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น เพื่อเรียนรู้ว่าแบบจำลองกำลังบอกอะไรกับเรา และ ข้อสรุปที่ได้อนุมานจากแบบจำลองนั้นคือ อะไร แต่มีข้อควรตระหนักว่าขณะนี้เรากำลังทดสอบกับแบบจำลอง *ไม่ใช่*กับระบบของปัญหาจริงๆที่เรากำลังสนใจ



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการของการวิจัยดำเนินงาน (Ronald L.Rardin,1998)

แบบจำลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม (Optimization model) ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเรียกว่า Mathematical programs ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ตัวแปรตัดสินใจ เงื่อนไขต่างๆ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ แล้วดำเนินการหาค่าตัวแปรตัดสินใจที่ทำให้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด (Maximum)หรือน้อยที่สุด (Minimum) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและช่วงของค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ หรือ

Optimization = Feasible + (Minimum or Maximum)

รูปแบบมาตรฐานสำหรับแบบจำลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization model) สามารถเขียนได้ดังนี้

Min or Max (Objective function(s))
Subject to:
Main constraints
Variable-type constraints

หรือสามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้คือ

$$Min_or_Max.f(x_1, x_2, ..., x_n)$$
$$ST:$$
$$g_j(x_1, x_2, ..., x_n)\begin{Bmatrix}\leq\\=\\\geq\end{Bmatrix}b_j,\ j = 1,2,...,m$$
$$x_i \geq 0, i = 1,2,...,n$$

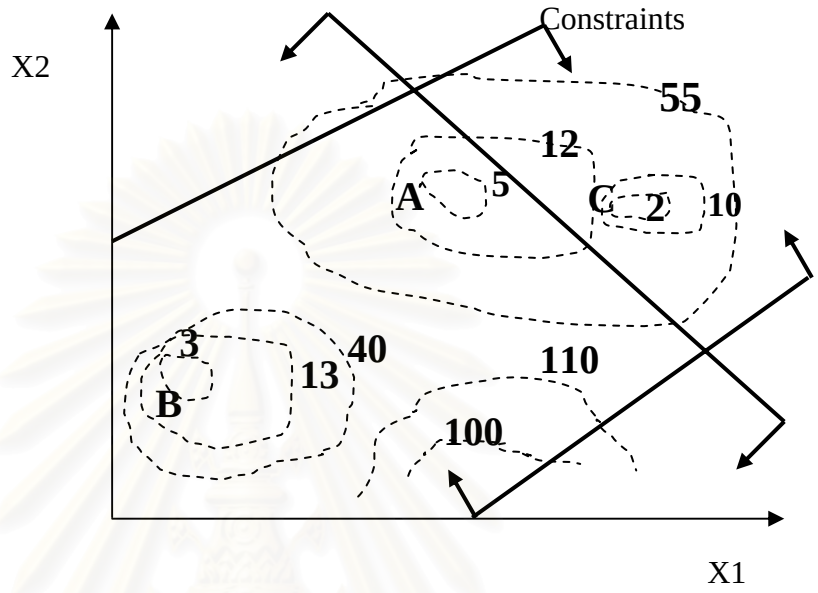
เมื่อ $f, g_1, g_2, \ldots g_m$ เป็นฟังก์ชันสำหรับตัวแปรตัดสินใจ $x_1, x_2, \ldots, x_n$ และ $b_1, b_2, \ldots, b_m$ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับ Optimization

- คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) คือ ทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับตัวแปรตัดสินใจโดยที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขต่างๆที่กำหนด และมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อย่างน้อยเท่ากับค่าของตัวแปรตัวอื่นๆ
- ค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal value) คือ ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดใดๆ
- คำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ (Local optimum) คือ คำตอบที่เป็นไปได้และมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับคำตอบในบริเวณใกล้เคียงในพื้นที่พิจารณาแคบๆ (Small neighborhoods) สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่าต่ำที่สุดจะเรียกว่า Local minimum สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงที่สุด จะ เรียกว่า Local maximum
- คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Global optimum) คือ คำตอบที่เป็นไปได้และไม่มีคำตอบใดๆที่จะมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เหนือกว่า
- คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแท้จริง (Exact optimal solution) คือ คำตอบที่เป็นไปได้สำหรับ Optimization model ที่สามารถพิสูจน์ได้ว่าเหมาะสมที่สุด
- คำตอบที่เหมาะสมโดยประมาณ (Heuristic หรือ approximation optimum) คือ คำตอบที่เป็นไปได้ที่ถูกหามาจากวิธีการวิเคราะห์ที่ถูกกำหนดไว้เป็นขั้นตอนซึ่งไม่รับประกันว่าจะให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแท้จริง (Exact optimum)

ข้อสังเกต

- Global optima อาจจะเป็น Local optima ก็ได้หาก Constraints เปลี่ยนไป เช่น จุด A กับ C
- Local optima จะไม่เป็น Global optima

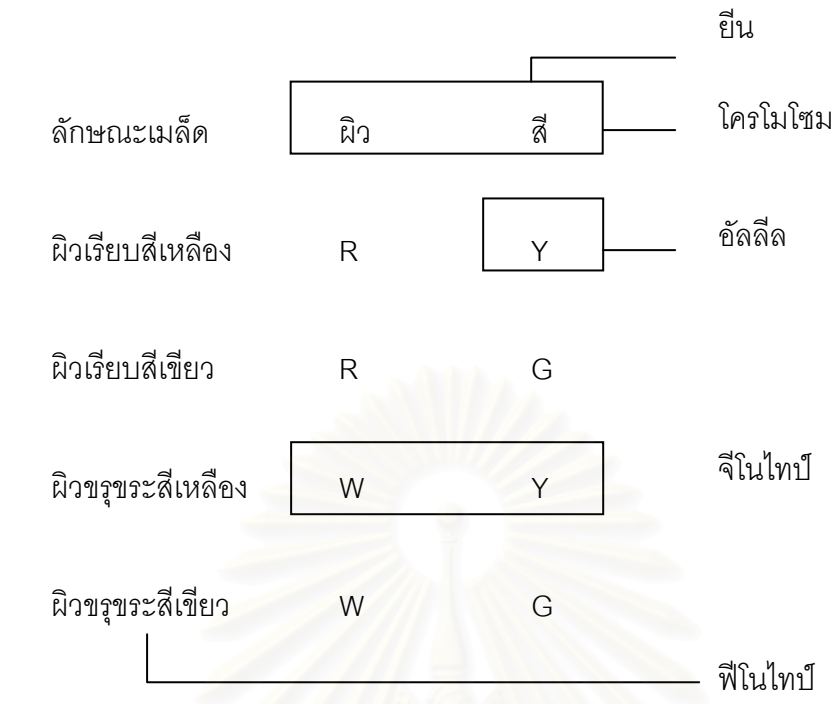


รูปที่ 3.2 แสดงจุด Local minimum (จุด A) Global minimum (จุด B)

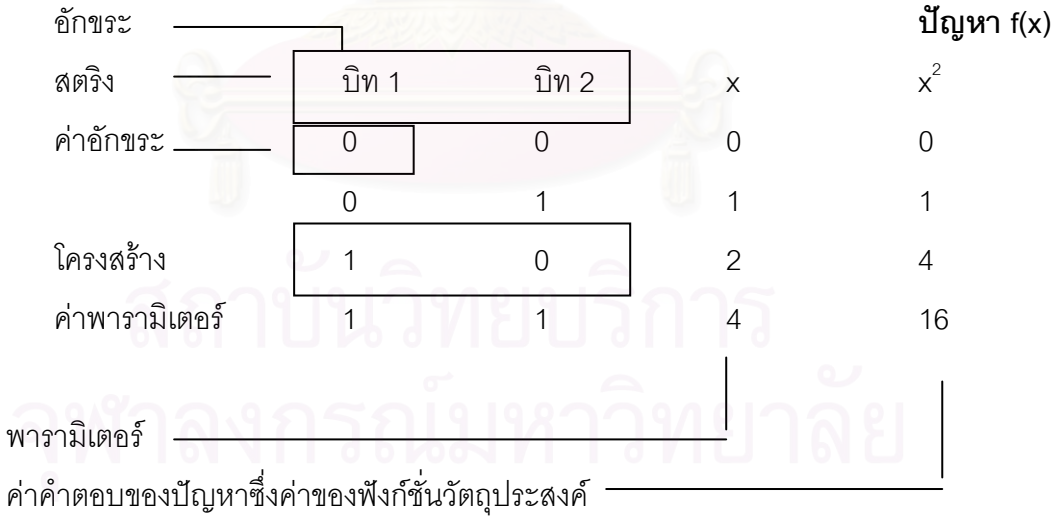
3.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเจเนติกอัลกอริทึม

3.2.1 พันธุศาสตร์กับเจเนติกอัลกอริทึม

อวัยวะของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดประกอบไปด้วยเซลล์ ในแต่ละเซลล์จะประกอบไปด้วยชุดของโครโมโซมโดยโครโมโซมประกอบด้วยยีนหลายๆยีน (ยีนคือ แถบของดีเอ็นเอ-DNA) และในแต่ละยีนก็จะมีโปรตีนซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว หรือกล่าวได้ว่า ยีนทำให้เกิดลักษณะเฉพาะตัว (Traits) เช่น สีของตา เป็นต้น ชุดของลักษณะเฉพาะตัวหรือลักษณะย่อยของยีนที่เป็นไปได้จะเรียกว่า อัลลีล (Allele) และ ยีนแต่ละตัวจะมีตำแหน่งของตัวเองบนโครโมโซม เรียกตำแหน่งดังกล่าวว่า โลกัส (Locus) แต่ละแบบของชุดยีน เรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) และลักษณะทางภายนอกที่ปรากฏ เรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype) เช่น เชาว์ปัญญา สีของตา เป็นต้นดังรูปที่ 3.3 ก. แสดงตัวอย่างองค์ประกอบต่างๆ



ก) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของโครโมโซมควบคุมลักษณะของเมล็ดถั่ว ซึ่งมียีนลักษณะของผิวเมล็ดคือ มีลักษณะผิวเรียบ (R) หรือขรุขระ(W) และยีนลักษณะสีของเมล็ดคือมีสีเหลือง (Y)และสีเขียว (G)



ข) ลักษณะทางเจนเนติกแสดงถึงการแก้ปัญหาในการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง [0,4] และค่าของ x ถูกแปลงให้อยู่ในรูป ไบนารี่สตริง

รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบลักษณะระหว่างเจเนติกอัลกอริทึมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์

การแก้ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม พารามิเตอร์ต่างๆจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง (String) หรือโครโมโซมซึ่งประกอบด้วยอักขระ (Character) หรือ (Bit) แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระหรือค่าของบิทที่แสดงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่ให้คำตอบของปัญหาแตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.3ข ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม กับการแก้ปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x อยู่ในช่วง [0,4] และสามารถสรุปความหมายทางพันธุศาสตร์เทียบกับเจเนติกอัลกอริทึมได้ดัง ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และเจเนติกอัลกอริทึม

พันธุศาสตร์	เจเนติกอัลกอริทึม
โครโมโซม (Chromosomes)	สตริง (String)
ยีน (Gene)	คุณลักษณะ,บิท (Character,bit)
อัลลีล (Allele)	ค่าของคุณลักษณะ,ค่าบิท(Character value,bit value)
โลกัส (Locus)	ตำแหน่ง(String position)
จีโนไทป์ (Genotype)	โครงสร้าง (Structure)
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	โครงสร้างคำตอบ (A decoded structure)

(Darwin, 1859) ได้เสนอแนวคิดการเกิดสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิต (The Origin of Species) โดยนำเสนอหลักการของวิวัฒนาการที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ แม้ในตอนแรกทฤษฎีจะเป็นที่โต้แย้งกันมากต่อมาก็ได้เป็นที่ยอมรับในหมู่นักวิทยาศาสตร์

- สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่จะถ่ายทอดลักษณะของตัวเองไปสู่ลูกหลาน
- ธรรมชาติทำให้สิ่งมีชีวิตมีลักษณะต่างๆกัน
- สิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสม มีลักษณะที่เหมาะสม จะมีแนวโน้มที่จะมีลูกหลานมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะไม่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ประชากรอยู่รอดต่อไป
- เมื่อระยะเวลาผ่านไปยาวนาน จะเกิดการกลายพันธุ์ (Mutation) ขึ้นและเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ที่มีลักษณะเหมาะสมกับระบบนิเวศน์นั้น

3.2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ GAs

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีในการค้นหาคำตอบโดยอยู่บนพื้นฐานของกลไกการเลือกสรรทางธรรมชาติและการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยสิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสมที่มากกว่าจะมีโอกาสในการอยู่รอดหรือถ่ายถอดยีนไปสู่รุ่นต่อไปได้มากกว่าสิ่งมีชีวิตที่ด้อยกว่า เจเนติกอัลกอริทึมถูกพัฒนาโดย John Holland และคณะในปี 1962 โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยของเขาคือ 1) เพื่อดึงเอากลไกและอธิบายกระบวนการปรับตัวของระบบทางธรรมชาติให้ถูกต้องที่สุด 2) เพื่อออกแบบซอฟแวร์ของระบบเทียมที่ยังคงรักษาไว้ซึ่งกลไกสำคัญของระบบทางธรรมชาติ จากการศึกษาของเขาดังกล่าว นำไปสู่การค้นพบที่สำคัญทั้งทางธรรมชาติและศาสตร์ของระบบเทียม (Artificial systems)หลายๆอย่างต่อมา

- **เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย** (SGA: Simple Genetic Algorithms)
  - **คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเจเนติกอัลกอริทึม**
    - ยีนส์ (Genes) เป็นหน่วยย่อยของคำตอบในเจนเนติกอัลกอริทึมซึ่งใช้แทนคุณสมบัติที่ทำให้สตริงคำตอบใดๆต่างกัน
    - โครโมโซม (Chromosomes)- แต่ละจุดคำตอบในพื้นที่ของการค้นหา (Search space) โดยทั่วไปโครโมโซมจะถูกแทนด้วยสตริงของบิท (ประกอบด้วย 0 หรือ 1) ที่มีค่าความยาวจำกัดซึ่งสามารถใช้ทำหน้าที่แทนค่าพารามิเตอร์ของปัญหาที่ศึกษาได้ ตัวอย่างเช่น สตริงคำตอบมีความยาว 10 บิท สตริงของบิทคือ 1011000101
    - ประชากร (Population)- ชุดของโครโมโซม จำนวนของโครโมโซมคือ จำนวนของประชากรในเจเนติกอัลกอริทึม และจำนวนประชากรยิ่งมาก ความหลากหลายของคำตอบก็จะมากขึ้น แต่อาจส่งผลต่อความเร็วในการคำนวณ แต่หากค่าจำนวนประชากรน้อยเกินไปก็เสี่ยงต่อการได้คำตอบที่ไม่ดี
    - พ่อ-แม่ (Parents)- ในเจเนติกอัลกอริทึมจะหมายถึงโครโมโซมตัวที่มาแลกเปลี่ยนยีนกันหรือมาผสมกัน(Mated)
    - ลูกหลาน (Offspring)- โครโมโซมตัวใหม่ที่ถูกสร้างจากการแลกเปลี่ยนยีนส์ของ Parents

- ค่าความเหมาะสม (Fitness)- ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายดั้งเดิมหรือที่ถูกแปลงค่าแล้ว เช่น ในปัญหา Minimization จะต้องแปลงค่าฟังก์ชันเป้าหมายเดิมไปเป็นค่าใหม่ก่อนการเข้าสู่กระบวนการรีโปรดักชัน (Reproduction)
- การเข้ารหัสพารามิเตอร์ (Encoding)- เป็นขั้นตอนแรกของเจเนติกอัลกอริทึม โดยการแปลงค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปของสตริงของอักขระ การเข้ารหัสแบ่งออกได้ 2 แบบคือ แบบ Binary และแบบ Non-binary
- การถอดรหัสพารามิเตอร์ (Decoding)- เป็นการแปลงสตริงกลับมาเป็นค่าพารามิเตอร์ซึ่งอาจได้ค่าเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้
- สคีมมา (Schema)- เป็นชุดของยีนที่ประกอบเป็นส่วนหนึ่งของคำตอบ สคีมมาในที่นี้เป็นสตริงที่ประกอบด้วยตัวอักขระสามตัวคือ “1”, “0” และ “ *” โดยที่เครื่องหมายดอกจันทร์นี้

  ใช้แทนอักขระอะไรก็ได้ ตัวอย่าง โครโมโซม 1011000101 สัมพันธ์กับ สคีมมา 101*

■ โอเปอเรเตอร์พื้นฐานของ GAs

- รีโปรดักชัน (Reproduction)- เป็นกระบวนการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสมในการสร้างสตริงของรุ่นถัดไป (Next generation) โดยวิธีในการเลือกสรรมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ Fitness-Proportionate Selection with “Roulette Wheel”, Sigma scaling, Linear scaling, Ranking, Tournament selection เป็นต้น
- Crossover เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนยีนของสตริงพ่อ-แม่ สำหรับการเข้ารหัสแบบไบนารี่แล้วในทางปฏิบัตินิยมใช้การครอสโอเวอร์อยู่สามแบบคือ 1- Point crossover, 2-Point crossover และ Uniform crossover

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Mutation เป็นกระบวนการปรับปรุงโคโมโซมแบบสุ่ม โดยมีการปรับปรุงได้ทั้งในระดับบิท (Flip bit) และ ระดับสตริง (Flip string) แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้ Flit bit

- **ขั้นตอนของเจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย** (SGA: Simple Genetic Algorithms)

1) **(Start)** เริ่มต้น ให้สร้างประชากรขึ้นมาอย่างสุ่มจำนวน Pop_size ตัว(Old population) ซึ่งควรให้มีขนาดเหมาะสมกับปัญหานั้นๆ

2) **(Fitness)** คำนวณค่าความเหมาะสม f(x) ของแต่ละโครโมโซม x ในประชากร

3) **(New population)** สร้างประชากรใหม่โดยทำตามขั้นตอนต่อไปนี้ จนกว่าจะได้จำนวนประชากรครบตาม Pop_size

3.1) *Selection* - ให้เลือกโครโมโซมมาจำนวน 2 ตัว หรือ Parent chromosome จากประชากรโดยการเลือกให้เลือกสัมพันธ์กับค่าความเหมาะสมสำหรับแต่ละโครโมโซมนั้นๆ

3.2) *Crossover*- ภายใต้ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) หากต้องครอสโอเวอร์ให้แลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซมที่เลือกมาและกำหนดค่าโครโมโซมใหม่ให้ Offspring หากไม่ต้องครอสโอ-เวอร์ให้คัดลอกโครโมโซมของ Parent ไปให้ Offspring

3.3) *Mutation*- หรือการกลายพันธ์ ภายใต้ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน(Pm) หากต้องมิวเตชันให้เปลี่ยนบิทของโครโมโซม จาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0

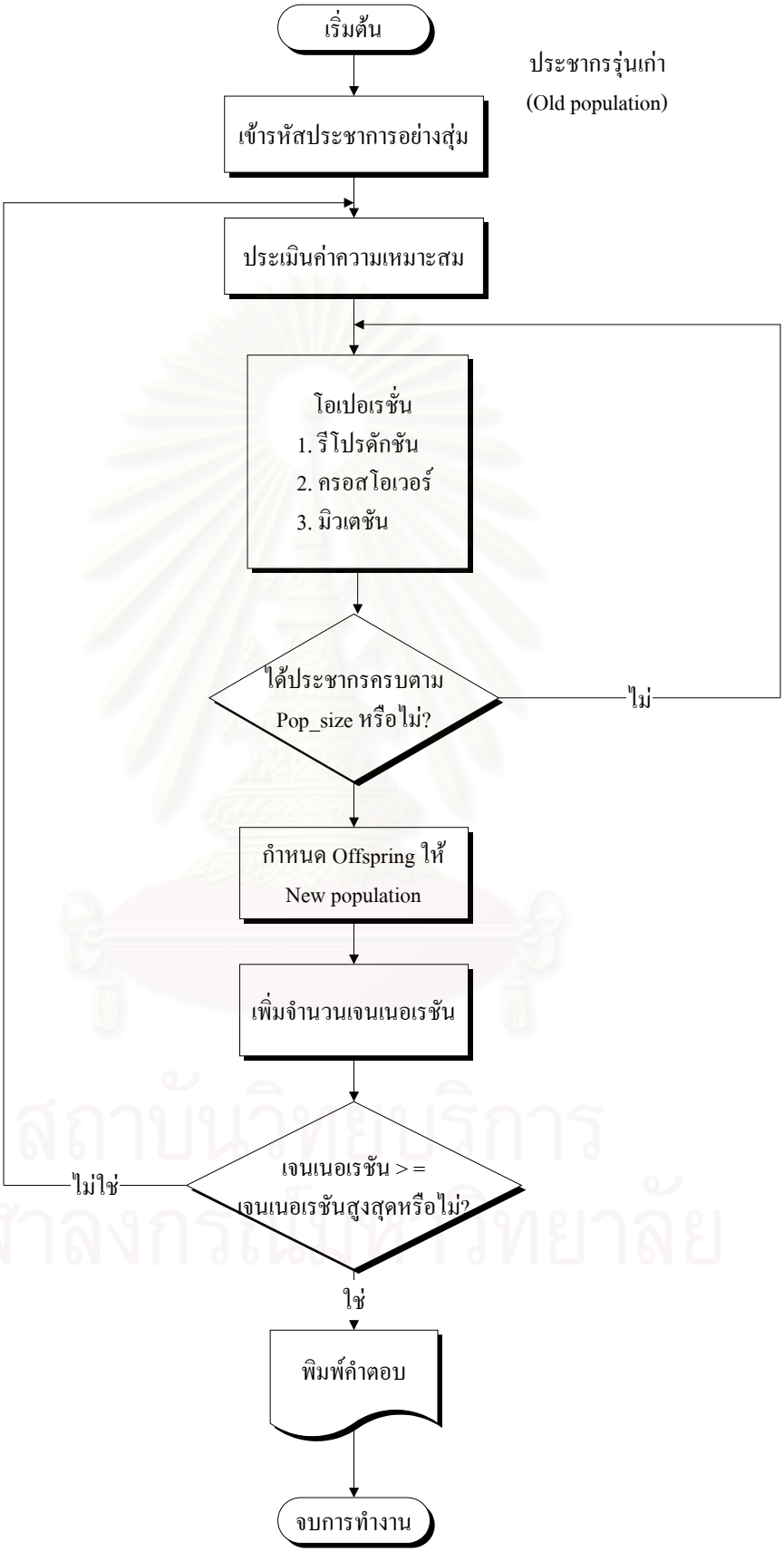
3.4) *Accepting*- กำหนด Offspring ใหม่ที่ได้ทั้งหมดให้เป็นประชากรชุดใหม่(New population)

4) **(Replace)** กำหนดประชากรชุดใหม่ให้ประชากรชุดเก่า

5) **(Test)** ถ้าเงื่อนไขของการหยุดถูกต้องให้หยุดการคำนวณและเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุด หากยังไม่สิ้นสุด ไปขั้นที่ 6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6) (Loop) กลับไปขั้นที่ 2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 แสดงผังงานของ SGA

3.2.3 ข้อแตกต่างระหว่าง GAs กับวิธีการค้นหาคำตอบหรือการทำ Optimization แบบอื่นๆ

- GAs จะทำงานโดยการเข้ารหัสสตริงเป็นชุดพารามิเตอร์
- GAs เป็นการค้นหาคำตอบจากทั้งประชากรไม่ใช่เพียงตำแหน่งๆเดียว
- GAs จะใช้ข่าวสารที่เป็นผลลัพธ์(ฟังก์ชันเป้าหมาย)โดยไม่ได้ใช้อนุพันธ์หรือความรู้อื่นๆ
- GAs เป็นวิธี Probabilistic ไม่ใช่ Deterministic
- โอเปอเรเตอร์ต่างๆของ GAs ได้แก่
  - รีโปรดักชัน(Reproduction)
  - ครอสโอเวอร์(Crossover)
  - มิวเตชัน(Mutation)
- พารามิเตอร์ต่างๆของ GAs ได้แก่ จำนวนประชากร (Population size)จำนวนเจนเนอเรชัน(Generation) ความน่าจะเป็นของการครอสโอ-เวอร์(Pc) ความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน(Pm)

3.2.4 เงื่อนไข (Constraints) สำหรับ เจเนติกอัลกอริทึม

เนื่องจากการค้นหาคำตอบของ GAs จะเป็นการค้นหาภายใต้ปัญหา Optimization model แบบไม่มีเงื่อนไขหรือที่เรียกว่า Unconstraint optimization แต่ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่จะปัญหาแบบมีเงื่อนไข ซึ่งทำให้การค้นหาคำตอบบางครั้งอาจได้คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ดังนั้น จึงได้มีการประยุกต์ใช้หลักการเพิ่มค่าปรับ หรือ Penalty method เพื่อลดค่าความเหมาะสม (Fitness) ของคำตอบใดๆที่ขัดแย้ง (Violation) กับเงื่อนไขที่ระบุไว้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Goldberg,1989)

ตัวแบบของปัญหาเดิม

$$Min.g(x)$$

$$ST.$$

$$h_i(x) \geq 0, i = 1,2,...,n$$

เมื่อ x เป็นเวคเตอร์ขนาด m

ตัวแบบของปัญหาใหม่ในรูปแบบ Unconstrainted

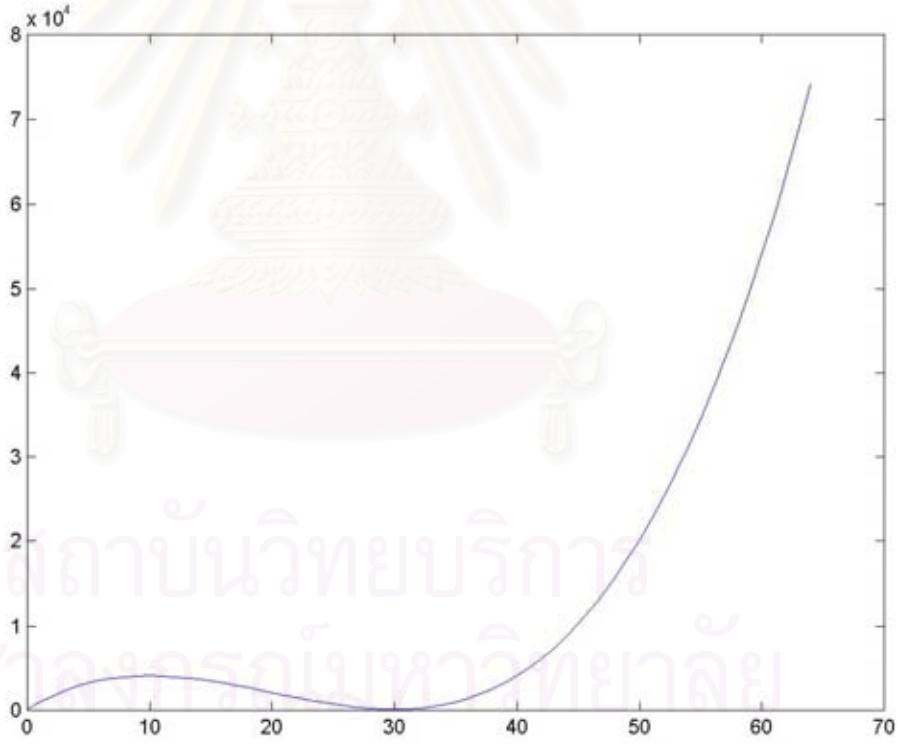
$$Min.g(x) + r\sum_{i=1}^{n}\Phi[h_i(x)]$$

เมื่อ Φ คือ ฟังก์ชัน Penalty

r. คือ สัมประสิทธิ์ค่าปรับ (Penalty coefficient)

3.2.5 ตัวอย่างการใช้เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย (SGA: Simple Genetic Algorithms) ในการหาคำตอบ

ตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นการหาค่าต่ำที่สุด(Minimization)สำหรับฟังก์ชัน ดังต่อไปนี้ $y = x^3 - 60x^2 + 900x + 100$ เมื่อค่า x อยู่ในช่วง [0,64]



รูปที่ 3.5 แสดงกราฟของฟังก์ชันในตัวอย่าง

จากกราฟจะเห็นว่าค่าต่ำสุดในช่วง [0,64] คือ x เท่ากับ *0* และ *30* โดยมีค่าของฟังก์ชันเท่ากับ *100* แต่ในที่นี้เราจะแสดงการใช้ GAs ในการหาคำตอบ ขนาดของประชากรที่ใช้ในที่นี้เท่ากับ 4 ความยาวสตริงเท่ากับ 6 บิท ดังนั้นค่า x มากที่สุดที่เป็นไปได้คือ 64

ขั้นที่ 1 *การเข้ารหัสค่าพารามิเตอร์*ให้อยู่ในรูปที่มีค่าความยาวที่แน่นอน โดยในที่นี้จะเข้ารหัสแบบไบนารี่ และต่อจากนั้นคือ การสร้างประชากรชุดแรก (Initial population) ขึ้นมาอย่างสุ่ม โดยประชากรเริ่มแรกนี้จะได้มาจากการโยนเหรียญ 24 ครั้ง หรือ ความยาวสตริงคูณจำนวนประชากร = 6x4 = 24 กล่าวคือ การได้ค่าบิทมาแต่ละบิทได้จากการโยนเหรียญหนึ่งครั้งนั่นเอง หากโยนได้หัว ค่าคือ 1 และหากโยนได้ก้อย ค่าก็คือ 0 ดังนั้น สตริงคำตอบหนึ่งตัวซึ่งมีความยาวเป็น 6 ก็ต้องโยนเหรียญทั้งหมด 6 ครั้งนั่นเอง โดยสตริงที่ได้มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงประชากรเริ่มต้น(Initial population)

No#	String	x	Raw Fitness
1	010110	22	1508
2	111000	56	37956
3	100100	36	1396
4	001001	9	4069

เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาการหาค่าที่ต่ำที่สุด ดังนั้นต้องทำการแปลงค่าฟังก์ชันเป้าหมายให้อยู่ในรูปแบบการหาค่าที่สูงที่สุดของ Fitness function เสียก่อน ดังสมการที่ (1)

$$f(x_i) = \left(\sum_{i=1}^{Pop_size} x_i \right) - x_i \quad \text{----------(1)}$$

หลังจากนั้นค่า Fitness ใหม่จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการรีโปรดักชันต่อไป สำหรับสมการที่ (1) เราสามารถใช้ค่าตัวตั้งเป็น ค่าผลรวมทั้งหมดในเจนเนอเรชันนั้นๆ ค่ามากที่สุดในเจนเนอเรชัน ค่ามากที่สุดของเจนเนเรชันสุดท้าย หรือ ค่ามากที่สุดในปัญหานั้นที่สามารถเป็นไปได้ (Goldberg,1989)

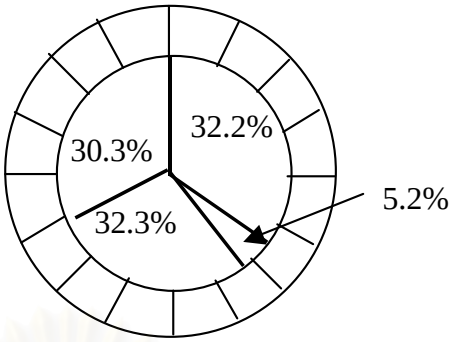
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความเหมาะสมของประชากรเริ่มต้น

No#	String	Raw fitness	Fitness ใหม่จากสมการ (1) f_i	Pselect $f_i/\sum f_i$	% โดยรวม	Expected Count f_i/f	Actual count
1	010110	1508.00	43421	0.322	32.2	1.29	2
2	111000	37956.00	6973	0.052	5.2	0.21	0
3	100100	1396.00	43533	0.323	32.3	1.29	0
4	001001	4069.00	40860	0.303	30.3	1.21	2
รวม		44929.00	134787	1.000	100.00	4.00	4
เฉลี่ย			33696.75	0.25	25	1.00	1.00
Max			43533	0.323	32.3	1.29	2

จากตารางข้างต้นนี้ จะเห็นว่าสตริงที่ 2 มีค่าความเหมาะสมต่ำที่สุดคือ 5.2% ดังนั้น จึงมีโอกาสน้อยที่จะถูกเลือกไปเข้า Mating pool จะเห็นได้จาก Actual count เป็นศูนย์

ขั้นที่ 2 *กระบวนการรีโปรดักชัน* คือ กระบวนการคัดเลือกสตริงที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปสร้างประชากรรุ่นถัดไป โดยค่าความเหมาะที่ว่านี้จะคำนวณได้จากสมการที่ (1) ข้างต้นนี้ ตัวปฏิบัติการนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติตามทฤษฎีผู้อยู่รอดที่มีความเหมาะสม (Survival of Fittest) ของ ชาร์ส ดาวิน ประชากรที่มีความเหมาะสมในธรรมชาติจะมีความสามารถในการต่อสู้กับภัยพิบัติต่างๆและสามารถอยู่รอดได้ ตัวปฏิบัติการนี้สามารถสร้างขึ้นได้หลายวิธี วิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่งคือ สร้างจากวงล้อรูลเล็ทที่มีจำนวนช่องเท่ากับจำนวนประชากรสตริง และขนาดของช่องก็เป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสม ดังรูปที่ 3.6 แสดง



รูปที่ 3.6 แสดงการรีโปรดักชันอย่างง่ายด้วยวงล้อรูลเล็ท

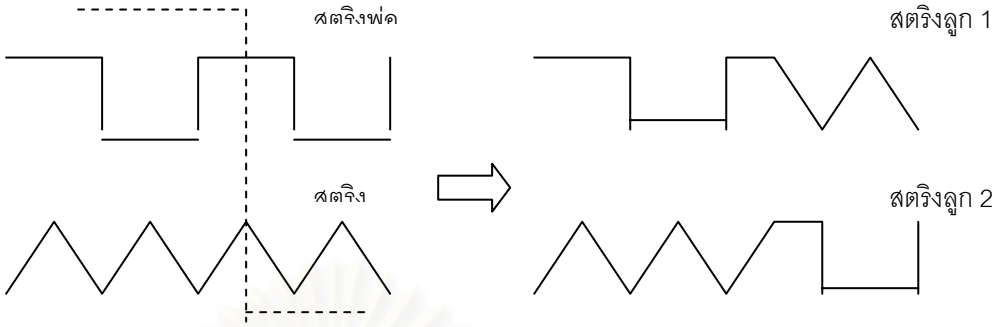
ค่าความเหมาะสมทั้งหมดโดยรวมจะได้ 134787 ในการทำรีโปรดักชันจะทำการหมุนวงล้อเป็นจำนวน 4 ครั้งหรือเท่ากับจำนวนสตริง โดยสตริงหมายเลข 1 มีความเหมาะสมเท่ากับ 43421 หรือคิดเป็น 32.2% ของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังนั้นเมื่อหมุนรูลเล็ทหนึ่งครั้งก็จะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกเท่ากับ 0.322 การหมุนวงล้อรูลเล็ทแต่ละครั้งจะได้ตัวแทนในการสืบพันธุ์ เมื่อได้สตริงเป็นที่แน่นอนแล้วจะถูกส่งเข้าไปเมทติ้งพูล (Mating pool) เพื่อที่จะผ่านกระบวนการของตัวปฏิบัติการอื่นต่อไป ในที่นี้สมมติว่าได้เลือกสตริงที่ 1 จับคู่กับ 4 และ 4 จับคู่กับ 1 ดังรูปที่ 3.7 แสดงในคอลัมภ์ Parent

Initial Pop (Gen# 0)						Gen# 1		
Pop#	String	x	fitness	Parent	x_site	String	x	fitness
1	010110	22.00	1508.00	(1,4)	4	010101	21.00	1801.00
2	111000	56.00	37956.00	(1,4)	4	001010	10.00	4100.00
3	100100	36.00	1396.00	(4,1)	2	000110	6.00	3556.00
4	001001	9.00	4069.00	(4,1)	2	011001	25.00	725.00

For Gen#1,Min = 725.000, Max = 4100.000, Avg = 2545.500, Std = 1560.564

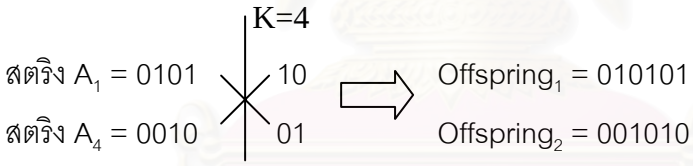
รูปที่ 3.7 แสดงข้อมูลของ Initial population

ขั้นที่ 3 *การครอสโอเวอร์* จะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนยีนของคู่สตริงที่ผสมกัน ณ ตำแหน่งหลังจุดครอสโอเวอร์ หรือ *x_site*



รูปที่ 3.8 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1-Point และการแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยเลือกตำแหน่งไขว้แบบสุ่ม

การเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ จะทำโดยการสุ่มค่าที่เป็นจำนวนเต็มตำแหน่งที่ k ช่วงของสตริงที่เลือกจะอยู่ในช่วง [1,t-1] โดยที่ t คือ ตำแหน่งสุดท้ายสตริงและสตริงใหม่ทั้งสองก็จะมีการสลับอักขระตั้งแต่ตำแหน่งที่ k+1 จนถึง t ยกตัวอย่างเช่น สตริงตัวที่ 1 และ 4 จับคู่กันและมีการแลกเปลี่ยนบิทที่ตำแหน่ง k = 4



ขั้นที่ 4 *การมิวเตชัน* ซึ่งเป็นการปรับปรุงโครโมโซมอย่างสุ่มโดยคุณภาพอาจจะดีขึ้นหรือเลวลงก็ได้ มิวเตชันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเจเนติกอัลกอริทึม ถึงแม้ว่าการรีโปรดักชันและการครอสโอเวอร์จะช่วยให้การค้นหาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในบางครั้งก็มีการสูญเสียส่วนที่สำคัญไป (ค่า 1 หรือ 0 ในบางตำแหน่ง) ในบางครั้งการหาคำตอบของ SGA คำตอบที่ได้อาจเป็นค่า Local optima การมิวเตชันในอัตราที่เหมาะสมจะสามารถช่วยปรับปรุงคำตอบให้หลุดจากตำแหน่ง Local optima ได้ การทำงานของโอเปอเรเตอร์นี้จะเริ่มจากการสุ่มว่าจะมิวเตชันหรือไม่ หากต้องมิวเตชันแล้วจะสุ่มหาตำแหน่งบิทที่ต้องการสลับค่า หากเป็นการเข้ารหัสพารามิเตอร์แบบไบนารี่จะมิวเตชันโดยการสลับค่าบิทจาก 1 เป็น 0 หรือ จาก 0 เป็น 1 หรือเรียกว่า *Flip bit* หรือเป็นการมิวเตชันระดับบิทนั่นเอง ดังนั้นการนับจำนวนครั้งของการเกิดมิวเตชันจะนับในหน่วยของ*บิท* ในขณะที่การนับจำนวนครั้งของการครอสโอเวอร์จะนับในหน่วยของ*คู่สตริง* การคำนวณค่าคาดหมายของการเกิดมิวเตชันสามารถหาได้ดังนี้

ค่าคาดหมาย = จำนวนประชากร x ความยาวสตริง x จำนวนเจนเนอเรชัน x ค่าความน่าจะเป็นของมิวเตชัน(Pm)

เช่น ขนาดประชากร = 4, ความยาวสตริง = 6, จำนวนเจนเนอเรชัน = 5, Pm = 0.05

ค่าคาดหมาย = (4)(6)(5)(0.05) = 6 บิท #

แต่ในตัวอย่างนี้ใช้ Pm = 0 เนื่องจากต้องการแสดงการครอสโอเวอร์

	Generation# 0				Generation# 1		
Pop#	String	x	fitness	Parent	x_site	String	x	fitness
1	010110	22.00	1508.00	(1,4)	4	010101	21.00	1801.00
2	111000	56.00	37956.00	(1,4)	4	001010	10.00	4100.00
3	100100	36.00	1396.00	(4,1)	2	000110	6.00	3556.00
4	001001	9.00	4069.00	(4,1)	2	011001	25.00	725.00

For Gen#1,Min = 725.000, Max = 4100.000, Avg = 2545.500, Std = 1560.564

	Generation# 1				Generation# 2		
Pop#	String	x	fitness	Parent	x_site	String	x	fitness
1	010101	21.00	1801.00	(4,1)	3	011101	29.00	129.00
2	001010	10.00	4100.00	(4,1)	3	010001	17.00	2973.00
3	000110	6.00	3556.00	(3,1)	3	000101	5.00	3225.00
4	011001	25.00	725.00	(3,1)	3	010110	22.00	1508.00

For Gen#2,Min = 129.000, Max = 3225.000, Avg = 1958.750, Std = 1435.648

	Generation# 2				Generation# 3		
Pop#	String	x	fitness	Parent	x_site	String	x	fitness
1	011101	29.00	129.00	(1,3)	1	000101	5.00	3225.00
2	010001	17.00	2973.00	(1,3)	1	011101	29.00	129.00
3	000101	5.00	3225.00	(4,2)	2	010001	17.00	2973.00
4	010110	22.00	1508.00	(4,2)	2	010110	22.00	1508.00

For Gen#3,Min = 129.000, Max = 3225.000, Avg = 1958.750, Std = 1435.648

	Generation# 3				Generation# 4		
Pop#	String	x	fitness	Parent	x_site	String	x	fitness
1	000101	5.00	3225.00	(3,4)	5	010000	16.00	3236.00
2	011101	29.00	129.00	(3,4)	5	010111	23.00	1227.00
3	010001	17.00	2973.00	(1,2)	3	000101	5.00	3225.00
4	010110	22.00	1508.00	(1,2)	3	011101	29.00	129.00

For Gen#4,Min = 129.000, Max = 3236.000, Avg = 1954.250, Std = 1540.359

รูปที่ 3.9 สรุปการคำนวณจำนวน 5 เจนเนอเรชันของตัวอย่าง SGA

	Generation# 4					Generation# 5		
Pop#	String	x	fitness	Parent	x_site	String	x	fitness
1	010000	16.00	3236.00	(1,3)	3	010101	21.00	1801.00
2	010111	23.00	1227.00	(1,3)	3	000000	0.00	100.00
3	000101	5.00	3225.00	(2,1)	3	010000	16.00	3236.00
4	011101	29.00	129.00	(2,1)	3	010111	23.00	1227.00

For Gen#5,Min = 100.000, Max = 3236.000, Avg = 1591.000, Std = 1304.569

รูปที่ 3.9 (ต่อ) สรุปการคำนวณจำนวน 5 เจนเนอเรชันของตัวอย่าง SGA

หมายเหตุ

- ประชากรเริ่มแรกทั้งสี่ตัว บิทของแต่ละตัว(String)ได้มาจากการโยนเหรียญอย่างสุ่มจำนวน 6 ครั้ง
- ค่าสถิติของประชากรเริ่มแรกคือ

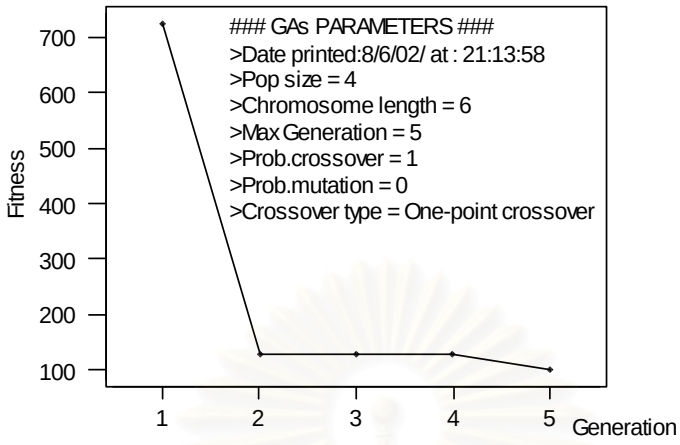
  Init.Population max fitness = 37956

  Init.Population min fitness = 1396

  Init.Population avg fitness = 11232.25

  Init.Population sum of fitness = 44929
- การรีโปรดักชันได้จากการหมุนวงล้อรูลเล็ท
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ในที่นี้กำหนดให้ Pc = 1.0
- ความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในที่นี้กำหนดให้ Pm = 0 ทั้งนี้เพื่อให้เห็นการทำงานของครอสโอเวอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 แสดงค่าความเหมาะสมที่มีการลดลงเรื่อยๆซึ่งในกราฟนี้เป็นการแสดงค่าต่ำสุดในแต่ละเจนเนอเรชัน

จากรูปที่ 3.9 และ 3.10 จะเห็นได้ว่าทั้งค่าเฉลี่ยและค่าต่ำที่สุดในแต่ละเจนเนอเรชันลดลงเรื่อยๆแต่ช่วงแรกจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงค่าต่ำสุดคือ 100 คำตอบที่ได้คือ x = 0 ในเจนเนอเรชันสุดท้าย และในการรันครั้งต่อไป(Next run) ก็อาจจะได้ x = 30 เป็นคำตอบเนื่องจากปัญหามีคำตอบที่เหมาะสมสองค่าในช่วงที่พิจารณา

3.2.6 **เจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์** (Multiobjective Genetic Algorithms)

ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม ในโลกของความเป็นจริง ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาแบบมีหลายวัตถุประสงค์ที่ผู้ตัดสินใจต้องการบรรลุพร้อมๆกัน แต่โดยธรรมชาติแล้ววัตถุประสงค์เหล่านั้นจะขัดแย้งซึ่งกันและกัน กล่าวคือ เราไม่สามารถที่จะหาคำตอบหนึ่งเดียวที่จะทำให้ค่าของทุกวัตถุประสงค์ดีที่สุดได้ ดังนั้น ในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์นี้ เราจึงต้องนิยามคำว่า “Optimization” ใหม่ โดยแทนที่เราจะมุ่งไปที่การหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ใดวัตถุประสงค์หนึ่ง แต่เราจะพยายามสร้างชุดของคำตอบที่โดยรวมแล้วดีที่สุด(เมื่อพิจารณาทุกๆค่าวัตถุประสงค์ประกอบกันและเทียบกับคำตอบอื่นๆแล้ว) และการตัดสินใจก็ขึ้นกับผู้ตัดสินใจว่าต้องการให้น้ำหนักที่วัตถุประสงค์ไหนมากที่สุด

แนวคิดของการประยุกต์ใช้วิธีการทางด้าน Evolutionary algorithms สำหรับแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์นี้ได้ถูกริ่เริมโดย Rosenberg ในช่วงปี 1960-1969 ซึ่งในภายหลังงานวิจัยด้านนี้ถูกเรียกว่า Evolutionary Multi-Objective Optimization หรือ EMOO

ดังนั้น คำจำกัดความของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ คือ ปัญหาที่มุ่งไปที่การค้นหาเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจที่ไม่ขัดต่อทุกๆเงื่อนไขและทำให้เวคเตอร์ของฟังก์ชัน(ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ย่อยๆหลายตัวอีกทีหนึ่ง) มีค่าที่เหมาะสมที่สุด เราสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

Vector function: $f(x) = [f_1(x), f_2(x),..., f_k(x)]^T$

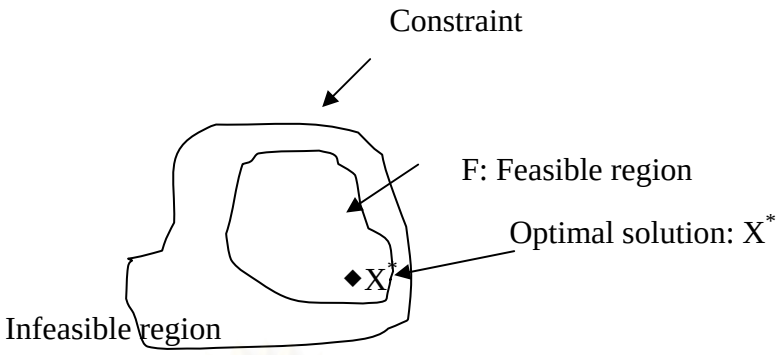
Constraints:

$$g_i(x) \geq 0, i = 1,2,..., m$$
$$h_i(x) = 0, i = 1,2,..., p$$

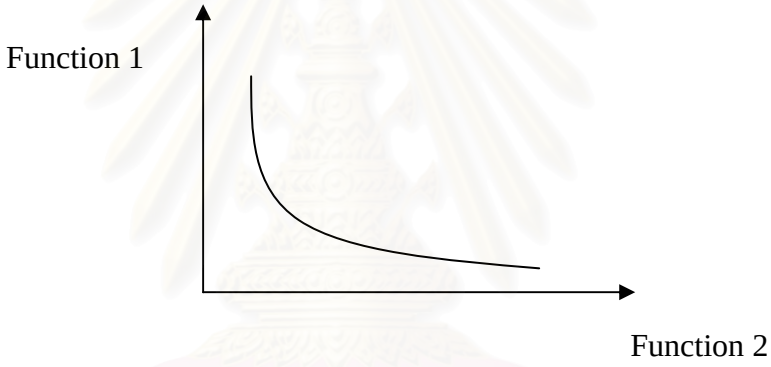
Solution vector: $x^* = [x_1^*, x_2^*,..., x_n^*]^T$

โดยที่ Vector of decision variables : $x = [x_1, x_2,..., x_n]^T$

หากเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ $x^* \in F$ เราจะเรียกว่า *Pareto optimal* ถ้าหากว่าไม่มีค่าอื่นๆอีก หรือ $x \in F$ ที่ทำให้ $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ สำหรับทุกๆค่าของ i = 1,2,...,k และ $f_j(x) < f_j(x^*)$ อย่างน้อยสำหรับค่า j ใดๆ และเนื่องจากว่าค่าคำตอบที่เหมาะสมหรือ Pareto optimal จะไม่ได้มีค่าเดียวแต่จะมีเป็นเซตของคำตอบ จึงเรียกว่า Pareto optimal set และเวคเตอร์ของ x^* ที่อยู่ใน Pareto optimal set เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า *Nondominated* และกราฟค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายๆค่าของเวคเตอร์คำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ(Nondominated) นั้น เรียกว่า *Pareto front* ดังรูปที่ 3.12 แสดง



รูปที่ 3.11 แสดง Space คำตอบของปัญหาใดๆ



รูปที่ 3.12 แสดง Pareto front ของเซตคำตอบที่ไม่ถูกข่มโดยคำตอบอื่นๆ

วิธีการที่นำมาใช้แก้ปัญหา EMOO มีหลายวิธีได้แก่

- Aggregating functions
- Vector Evaluated Genetic Algorithms (VEGA)
- Multi-Objective Genetic Algorithms (MOGA)
- Nondominated Sorting Genetic Algorithms (NSGA)
- Niched Pareto Genetic Algorithms (NPGA) เป็นต้น

ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกันไป ดังนั้น ในการนำไปประยุกต์ใช้ต้องศึกษาและเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหา

3.3 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการจำลองแบบปัญหา

คำจำกัดความของการจำลองแบบปัญหา (Shannon,1975) คือ “กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real system) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อจำกัดที่วางไว้”

(Banks,2000) การจำลองแบบปัญหา คือ การเลียนแบบการดำเนินงานของระบบงานจริงภายในช่วงเวลาต่างๆ และโดยไม่คำนึงถึงว่า จะจำลองแบบปัญหาด้วยมือเปล่าหรือใช้คอมพิวเตอร์ การจำลองแบบปัญหานั้นเกี่ยวข้องกับการก่อกำเนิดข้อมูลในอดีตของระบบอย่างเทียม แล้วสังเกตข้อมูลเหล่านั้นเพื่ออนุมานข้อสรุปเกี่ยวกับลักษณะการดำเนินการของระบบงานจริง

(ศิริจันทร์,2537) ระบบงาน หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ(Elements) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ความหมายของระบบงานบอกเฉพาะลักษณะว่าระบบงานมีลักษณะอย่างไรโดยไม่ได้บอกรูปร่างหน้าที่แน่ชัด ดังนั้น เมื่อเวลาที่จะทำการศึกษาระบบงานใดระบบงานหนึ่ง จึงจำเป็นที่จะต้องบอกรูปร่างหน้าตาที่ชัดเจนของระบบงานที่กำลังศึกษา การบอกรูปร่างหน้าตาที่แจ้งชัดของระบบงานมักจะบอกโดยการกำหนดขอบเขตของระบบงานที่กำลังศึกษา (System boundaries) ซึ่งก็คือ การกำหนดองค์ประกอบของระบบ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ และการกำหนดองค์ประกอบอื่นๆที่อยู่นอกระบบแต่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ องค์ประกอบนอกระบบนี้ เรียกโดยรวมว่า สิ่งแวดล้อมระบบงาน (System environment) องค์ประกอบต่างๆทั้งภายในและภายนอกระบบงานจะมีลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ที่ทำให้เกิดกิจกรรม (Activites) และกิจกรรมเหล่านี้ภายใต้เงื่อนไขบางประการจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงาน (System status) ดังนั้น นอกจากการกำหนดขอบเขตของระบบงานแล้วยังต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัวขององค์ประกอบ กิจกรรมที่จะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบเหล่านั้น และการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงานอันเนื่องมากจากกิจกรรมขององค์ประกอบ

ประเภทของระบบงาน

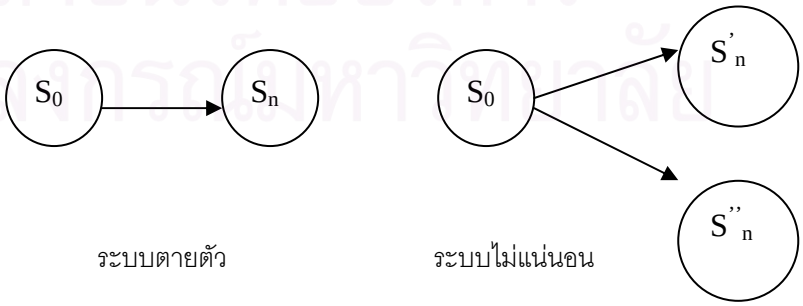
การจำแนกประเภทของระบบงานอาจจำแนกได้หลายแบบแล้วแต่การนำไปใช้งาน ในการจำลองแบบปัญหา การจำแนกระบบงานเพื่อความสะดวกในการใช้งานนั้นมักจะจำแนกโดยอาศัยลักษณะการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเป็น 4 ประเภทดังนี้

- ระบบต่อเนื่องหรือระบบเป็นช่วง (Continuous versus Discrete system)

  โดยพิจารณาจากพฤติกรรมในการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเทียบกับเวลา ถ้าการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเป็นการเปลี่ยนไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็จะเป็นระบบต่อเนื่อง แต่ถ้าการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเกิดขึ้นที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งไม่ต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็เป็นระบบเป็นช่วง

- ระบบตายตัวหรือระบบไม่แน่นอน (Deterministic versus Stochastic system)

  ระบบตายตัว หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพที่ระดับใหม่สามารถบอกได้จากสถานะภาพและกิจกรรมของระบบที่ระดับก่อน ส่วนระบบไม่แน่นอน หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนสถานะภาพเป็นแบบสุ่มและในบางกรณีสามารถหาค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของการเปลี่ยนสถานะภาพ ถ้าให้ S_i หมายถึง สถานะภาพของระบบ



รูปที่ 3.13 แสดงความแตกต่างระหว่างระบบตายตัวและระบบที่ไม่แน่นอน

แนวทางการสร้างแบบจำลอง (ศิริจันทร์,2537)

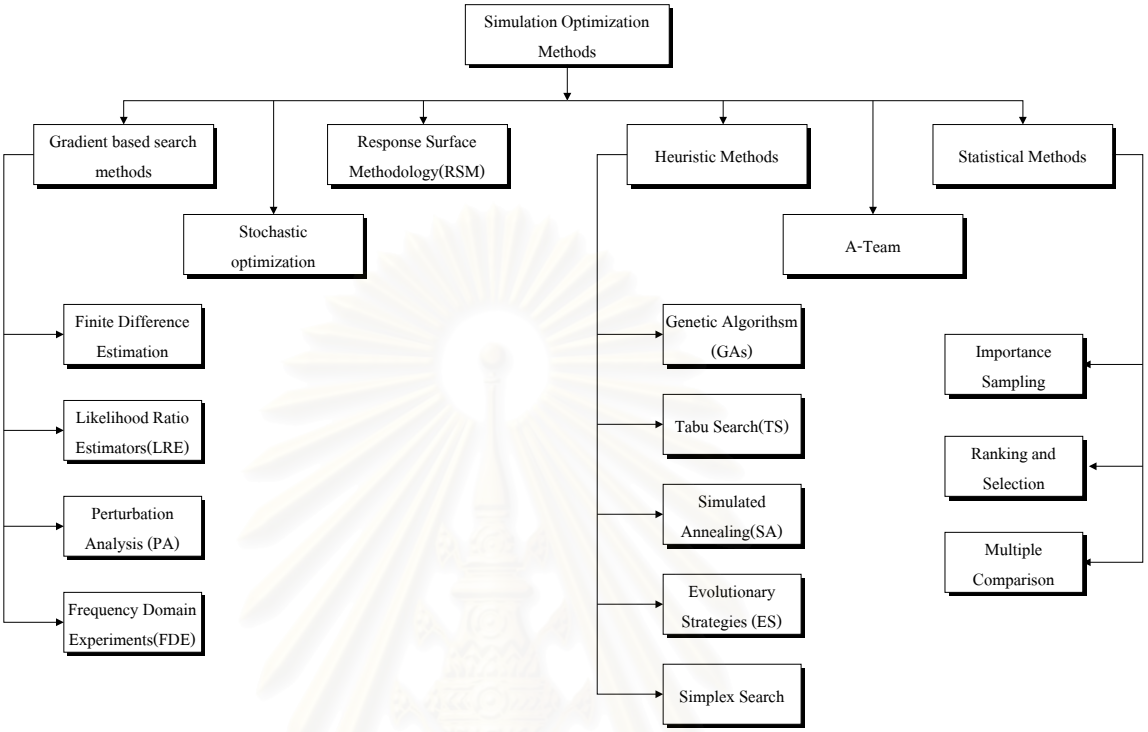
1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน
2. การสร้างแบบจำลอง
3. การจัดเตรียมข้อมูล
4. การแปรรูปแบบจำลอง
5. การทดสอบความถูกต้อง
6. การออกแบบการทดลอง
7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง
8. การดำเนินการทดลอง
9. การตีความผลการทดลอง
10. การนำไปใช้งาน
11. การจัดทำเป็นเอกสารใช้งาน

3.4 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง

เฉพาะวิธีการจำลองแบบปัญหาโดยตัวของมันเองแล้วยังมีข้อด้อยตรงที่การขาดเทคนิคในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (หรือตัว Optimizer) สำหรับแบบจำลองของระบบงานที่กำลังศึกษา ซึ่งปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อค่าของตัวแปรตัดสินใจหรือค่ากำหนดของระบบ (System configurations) หรือเกณฑ์กำหนด (Criteria) ที่ต้องการศึกษานั้นมีจำนวนมากๆ ตัวอย่างเช่น ขนาดของความจุของจุดสำรองงาน (Buffer size) ที่เหมาะสมที่สุดที่ให้เวลาที่ใช้ในการผลิตจนเสร็จงาน (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด ปัญหาด้านการควบคุมวัสดุคงคลัง ปัญหากฎการกระจายงาน (Dispatching rules) หรือ ปัญหาด้านการกำหนดนโยบายต่างๆในส่วนการผลิต การวางแผนซ่อมบำรุงรักษา เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าการทดสอบค่าตัวแปรหรือเกณฑ์กำหนดต่างๆแบบหนึ่งค่าต่อครั้ง (One at a time) ของการรันแบบจำลองหนึ่งครั้งจะมีความลำบากในการวิเคราะห์ผลมากเนื่องจากต้องเก็บข้อมูลผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยไว้ทดสอบเปรียบเทียบกัน แต่ถ้าการวิเคราะห์ระบบงานดังกล่าวมีเครื่องมือในการประเมินค่าในแต่ละระดับของปัจจัยหรือตัวแปรให้ก็จะช่วยให้การวิเคราะห์ระบบงานสะดวกยิ่งขึ้น

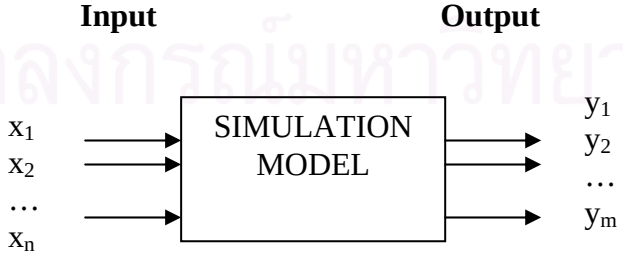
จากเหตุและผลดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการประยุกต์เทคนิคในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization methods) ต่างๆมาช่วยในการประเมินและหา

ผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหา (Simulation model) ซึ่งเทคนิควิธีการต่างๆสรุปได้ดังรูปที่ 3.14 และเรียกวิธีการนี้ว่า *Simulation based optimization* หรือ *Simulation optimization* หรือ *Simulation via optimization*



รูปที่ 3.14 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองปัญหา (Yolanda,1997)

รูปแบบโดยทั่วไปของแบบจำลองปัญหาจะประกอบด้วย ตัวแปรตัดสินใจหรือตัวแปรนำเข้าจำนวน n ตัว หรือ $(x_1,x_2,\ldots,x_n)$ และมีค่าผลลัพธ์ m ค่า คือ $f(x_1),f(x_2),\ldots,f(x_n)$ หรือ $y_1,y_2,\ldots,y_m$



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะของแบบจำลองปัญหา

ส่วนวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่นำมาใช้ จะทำหน้าที่หาค่าตัวแปรนำเข้า $x_1,x_2,\ldots,x_n$ ที่ทำให้ค่าผลลัพธ์ (Outputs) เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 2.1

แต่เนื่องจากว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จาก Simulation model เป็นค่าไม่แน่นอน (Stochastic) ดังนั้น ค่าผลลัพธ์ที่จะถูกนำเข้ามาเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับตัว Optimizer จึงต้องประเมินอยู่ในรูปของค่าคาดหมายหรือค่าคาดหวัง (Expected value) ของตัวแปรสุ่ม $y_1,y_2,\ldots,y_m$ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบปัญหาของ Simulation based optimization สามารถเขียนให้อยู่ในรูปดังต่อไปนี้

$$Min_or_Max.E[f(x_1,x_2,...,x_n)]$$
$$ST:$$
$$g_j(x_1,x_2,...,x_n)\begin{Bmatrix}\leq\\=\\\geq\end{Bmatrix}b_j,\ j=1,2,...,m$$
$$l_i \leq x_i \leq u_i$$
$$x_i \geq 0, i=1,2,...n$$

โดยที่ l และ u คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของตัวแปรตัดสินใจหรือตัวแปรนำเข้า

E คือ ค่าคาดหมายของตัวแปรสุ่มของฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือผลลัพธ์

สรุปลักษณะของปัญหาแบบ Simulation based optimization

- ลักษณะของ Optimization model จะไม่เด่นชัด (Implicit function) และอยู่ในรูปแบบที่ไม่แน่นอน (Stochastic)
- ตัวแปรตัดสินใจหรือตัวแปรนำเข้ามีจำนวนมาก กล่าวคือ มีพื้นที่ของคำตอบ (Search space) กว้างมาก ดังนั้น จึงนิยมใช้วิธีทางฮิวริสติกมาช่วยหาคำตอบ
- ใช้ทรัพยากรในการหาคำตอบสูงกว่าปัญหาที่สามารถหาคำตอบได้โดยการวิเคราะห์ (Analytical function) มาก ไม่ว่าจะเป็นด้านเวลาการคำนวณและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์

บทที่ 4

เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบ

เจเนติกอัลกอริทึมถือได้ว่าเป็นวิธี Heuristic optimization วิธีหนึ่ง เนื่องจาก และโดยส่วนใหญ่แล้วจะถูกนำมาใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาที่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากสูงๆ หรือเรียกว่า ปัญหา NP-Hard ซึ่งจะอยู่ในรูป Time complexity function ดังนั้น การแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ด้วยวิธีการตรงไปตรงมาหรือวิธีวิเคราะห์โดยทั่วๆไป (Analytical methods) จึงไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตามวิธีการของ Heuristic optimization ก็ไม่รับประกันว่าคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Global optima) แต่ในทางปฏิบัติแล้วก็ถือว่าได้คำตอบที่ดี (Good solutions) ในระยะเวลาที่เหมาะสม

สำหรับการทดลองที่ 2 (ดังรายละเอียดในบทที่ 1)ในงานวิจัยนี้ มีค่าที่ต้องประเมินค่าจำนวนมาก (Search space) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการประยุกต์เจเนติกอัลกอริทึมช่วยในการค้นหาคำตอบ โดยมีค่าวัตถุประสงค์คือ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยต่อคำสั่งผลิต เป็นวัตถุประสงค์หลัก

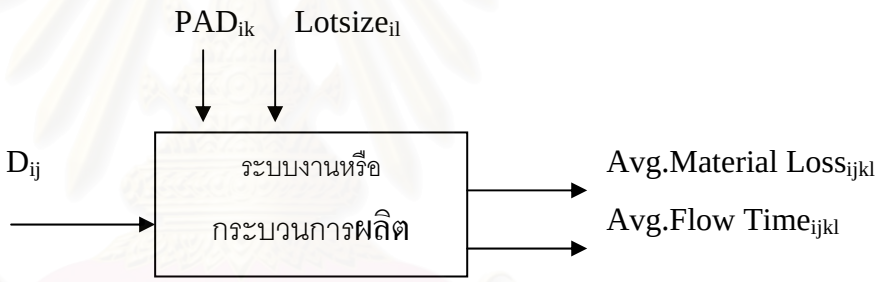
4.1 ลักษณะของปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิต (Material Loss)

ปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิตในงานวิจัยนี้จะทราบขนาดของปัญหาเมื่อดำเนินการติดได (Dies) ที่ขั้นตอน Die Attach แล้ว เพราะเมื่อดำเนินการติดไดเสร็จเราก็จะทราบว่าบนลีดเฟรมแผ่นสุดท้ายของล็อตนั้นมีแพดเหลือ (PAD waste) จำนวนกี่อัน จะการศึกษาระบบงานพบปัญหามีลักษณะดังนี้

- เป็นปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในรูปของลีดเฟรมโดยหน่วยของวัตถุดิบที่สูญเสียคือ แพด (PADs) และ ลีดเฟรมดัมมี่ (Dummy lead frames)
- จะพบปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบนี้เมื่อดำเนินการติดไดที่ขั้นตอน Die Attach
- อัตราของเสียการเกิดของเสียของขั้นตอนการผลิตไม่ผลต่อการเกิดปัญหาสูญเสียวัตถุดิบนี้
- เป็นปัญหาที่จะเกิดกับล็อตสุดท้ายของแต่ละคำสั่งผลิต ภายใต้ขนาดของล็อตที่โรงงานตัวอย่างใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อกำหนดในการผลิตคือ ดำเนินการติดไดให้ครบในล็อตแรกๆก่อนส่วนไดที่เหลือของคำสั่งผลิตจะติดในล็อตสุดท้าย

- สมการเป้าหมาย (Objective function) ของการสูญเสียวัตถุดิบนี้ไม่สามารถเขียนในรูปของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจนได้ ดังนั้น จึงอธิบายเป็นขั้นตอนการคำนวณแทน ดังเช่น ตัวอย่างการคำนวณในบทที่ 1 ข้อ 1.4.4
- ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Input) ได้แก่ ปริมาณคำสั่งผลิตในแต่ละครั้ง (Order quantity) ช่วงของขนาดของล็อตสำหรับการผลิตที่ต้องการออกแบบ (Production lot size) ช่วงของจำนวนแพด (PAD) ต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่นที่ต้องการออกแบบ
- รูปแบบของปัญหาที่จะพิจารณาในบทนี้จะเป็นแบบ Deterministic model ก่อน กล่าวจะพิจารณาเพียง หนึ่งคำสั่งผลิต และไม่ได้พิจารณาผลกระทบข้างเคียง (Side effect)ในเรื่องของรอบเวลาการผลิต (Cycle time หรือ Flow time) เมื่อขนาดล็อต และจำนวนแพดต่อลีดเฟรมเปลี่ยนไป

เพื่อความเข้าใจระบบงานมากยิ่งขึ้นกรุณาดูรูปที่ 4.1 ประกอบ



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบงาน

เมื่อ

D_{ij} คือ ปริมาณไดที่สั่งผลิตครั้งที่ j สำหรับผลิตภัณฑ์ i.

PAD_{ik} คือ ค่าจำนวนแพดต่อลีดเฟรมหนึ่งแผ่น k สำหรับผลิตภัณฑ์ i.

$Lotsize_{il}$ คือ ขนาดของล็อตในการผลิต l สำหรับผลิตภัณฑ์ i.

$Avg.Material\ Loss_{ijkl}$ คือ มูลค่าสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ย สำหรับผลิตภัณฑ์ i. คำสั่งผลิตที่ j. โดยลีดเฟรมหนึ่งแผ่นมีแพดจำนวน k แพด และใช้ขนาดล็อตในการผลิตที่มีจำนวนไดเท่ากับ l ได ต่อล็อต

เนื่องจากเมื่อขนาดของล็อตในการผลิตถูกเปลี่ยนแปลงอาจส่งผลกระทบต่อค่า Flow time ของล็อตนั้นๆได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เพิ่มดัชนีวัดสมรรถนะอีกหนึ่งตัวคือ Average flow time ดังรายละเอียดต่อไปนี้

$Avg.Flow\ Time_{ijkl}$ คือ เวลาที่ล็อตต่างๆอยู่ในระบบโดยเฉลี่ยของคำสั่งผลิต ที่ j สำหรับผลิตภัณฑ์ i. โดยลีดเฟรมหนึ่งแผ่นมีแพดจำนวน k อัน และใช้ขนาดล็อตในการผลิตที่มีจำนวนไดเท่ากับ l ได ต่อล็อต

โดยที่

i. = 1,2 (ในงานวิจัยนี้เลือกมาศึกษาเพียง 2 ผลิตภัณฑ์ จากทั้งหมด 18 ผลิตภัณฑ์)

j. = 1,2,3,....

k. = 396-900 สำหรับผลิตภัณฑ์ A (จำนวนแพด/สตริป)
= 168-400 สำหรับผลิตภัณฑ์ B (จำนวนแพด/สตริป)

l. = 7920-15840 สำหรับผลิตภัณฑ์ A (ขนาดล็อต: ได/ล็อต)
= 3360-6720 สำหรับผลิตภัณฑ์ B (ขนาดล็อต: ได/ล็อต)

และ i.> 0,j.> 0,k.> 0,l.> 0

4.2 โครงสร้างของเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบ

4.2.1 โครงสร้างหลัก ประกอบด้วย 5 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. Initialization เป็นกระบวนการใส่รหัสคำตอบและสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Initial population)
2. Reproduction เป็นกระบวนการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม (Fitness) ของสตริงแต่ละตัว ในกระบวนการนี้แบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่
   - 2.1 Decoding เป็นขั้นตอนแปลงค่าสตริงออกมาเป็นคำตอบ
   - 2.2 Evaluation เป็นการคำนวณหาค่าความเหมาะสม (Fitness) ซึ่งบางครั้งอาจจะไม่ได้คำนวณจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของสมการเป้าหมายโดยตรง
   - 2.3 Selection เป็นกระบวนการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสมมากกว่าตัวอื่นๆ

3. Crossover เป็นกระบวนการสร้างสตริงคำตอบใหม่ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนยีนส์ระหว่างสตริงสองตัว
4. Mutation เป็นกระบวนการสร้างสตริงคำตอบใหม่ด้วยการสลับค่าในบางตำแหน่งของสตริงตั้งต้น
5. Elite Preserve Strategy เป็นกระบวนการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละเจนเนอเรชันโดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่าความเหมาะสมของสตริงตัวใหม่กับค่าที่ดีที่สุดที่มีอยู่เดิม

4.3 ขั้นตอนการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม

4.3.1 Data Input รับข้อมูลเข้าต่างๆ ได้แก่ พารามิเตอร์ต่างๆของเจเนติกอัลกอริทึม ช่วงของจำนวนแพดต่อลีดเฟรม ช่วงของขนาดล็อต ที่ต้องการออกแบบ และปริมาณไดในคำสั่งผลิต

4.3.2 Representation และ Initialization เป็นกระบวนการเข้ารหัสคำตอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบ Binary encoding นำข้อมูลต่างๆมาสร้างประชากรเบื้องต้น(Initial population) แบบสุ่มจำนวน Pop_size ตัว

4.3.3 Decoding เป็นการนำรหัสคำตอบของประชากรเบื้องต้นทุกตัวมาถอดรหัสคำตอบเพื่อให้สามารถนำค่าที่ได้ไปดำเนินการหาค่าที่เหมาะสม (Fitness) ต่อไปได้

4.3.4 Evaluation เป็นการคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness) ในงานวิจัยนี้ คือ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ ซึ่งสตริงคำตอบใดที่มีค่าต่ำก็จะมีความเหมาะสมมากกว่าสตริงอื่นๆ

4.3.5 Initial Elite Preserve Strategy เป็นขั้นตอนเก็บคำตอบที่ดีที่สุดจากเจนเนอเรชั่นแรก โดยคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะถูกเก็บว่าในตัวแปร Elite Preserve Solution

4.3.6 Selection เป็นขั้นตอนการเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสมเข้า Mating pool เพื่อเตรียมทำการแลกเปลี่ยนยีนส์กัน

4.3.7 Crossover เป็นขั้นตอนแลกเปลี่ยนยีนส์กันระหว่างสตริงสองตัวที่เลือกมาจาก Mating pool โดยมีการเลือกตำแหน่งในการแลกเปลี่ยนอย่างสุ่ม ด้วยความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนกันเท่ากับ Pc

4.3.8 Post-Crossover Elite Preserve Strategy เป็นขั้นตอนการหาค่าที่ดีที่สุดโดยเปรียบเทียบค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบที่ผ่านการครอสโอเวอร์มาแล้วกับค่า Elite Preserve Solution ที่เก็บอยู่ปัจจุบัน หากค่าความเหมาะสมของสตริงคำ

ตอบที่ผ่านการครอสโอเวอร์นั้นดีกว่า ก็จะเก็บค่านั้นแทนค่า Elite Preserve Solution ที่มีอยู่เดิม

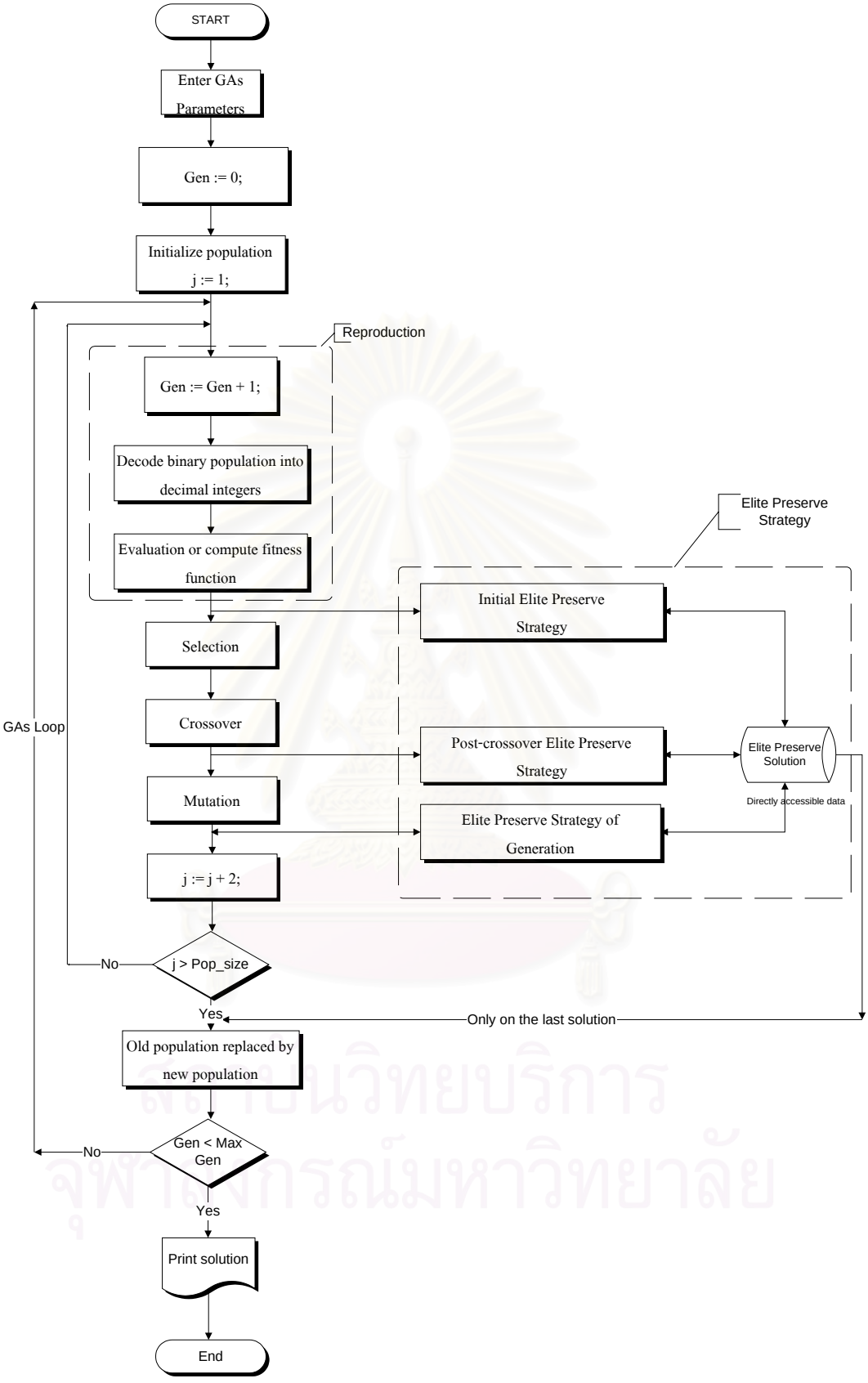
4.3.9 Mutation เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าของสตริงซึ่งมีผลทำให้สตริงมีค่าความเหมาะสมดีขึ้นหรือลดลงก็ได้ โดยความน่าจะเป็นในการเกิดมิวเตชันเท่ากับ Pm

4.3.10 Elite Preserve Strategy of Generation เป็นขั้นตอนการหาคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละเจนเนอเรชันหรือภายหลังการเกิดมิวเตชันแล้ว โดยการนำค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบที่ผ่านการมิวเตชันมาแล้ว เทียบกับ ค่า Elite Preserve Solution ค่าปัจจุบัน หากพบว่าค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบที่ผ่านการมิวเตชันดีกว่า ก็จะเก็บค่านั้นแทนที่ค่า Elite Preserve Solution ที่มีอยู่เดิม แต่หากค่า Elite Preserve Solution ดีกว่า ก็ให้แทนที่คำตอบที่แย่ที่สุดจากการมิวเตชันด้วย Elite Preserve Solution

4.3.11 GAs-Loop เป็นขั้นตอนตรวจสอบว่า ค่าจำนวนเจนเนอเรชันปัจจุบันมากกว่าจำนวนเจนเนเรชันสูงสุดหรือไม่ หากยังน้อยกว่าก็ให้ย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 4.3.6-4.3.10 หากมากกว่าก็ให้ไปทำขั้นตอนที่ 4.3.12

4.3.12 Stop หรือหยุดกระบวนการของเจเนติกอัลกอริทึม และพิมพ์ค่า Elite Preserve Solution มาเป็นคำตอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงผังงานของเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม

4.4.1 การใส่รหัสคำตอบ (Chromosome representation/Encoding)

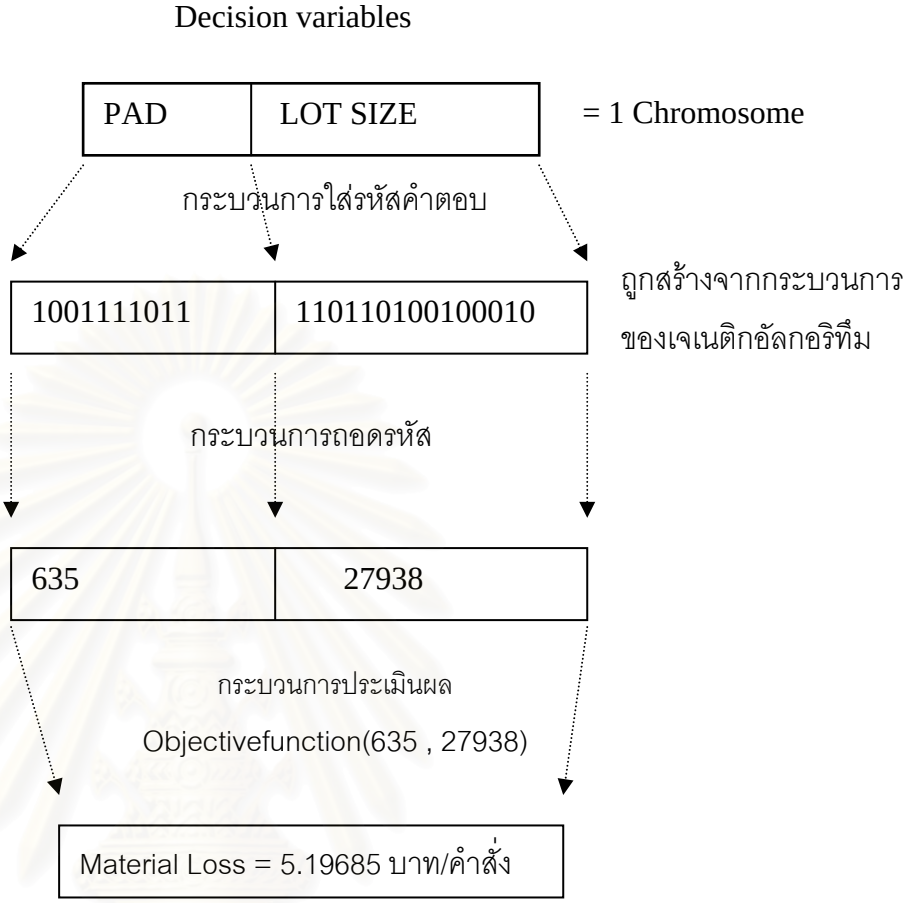
การใส่รหัสคำตอบนี้หมายถึง การเปลี่ยนคำตอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของสตริงคำตอบหรือที่เรียกว่า Chromosome ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งประเภทของการใส่รหัสคำตอบได้ 2 ประเภทคือ แบบ Binary string และแบบ Non-Binary string เนื่องจากคำตอบของปัญหาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น จึงเลือกการเข้ารหัสคำตอบแบบ Binary string ส่วนความยาวของสตริงคำตอบนั้นก็ขึ้นกับค่าของตอบที่เป็นจำนวนเต็มนั้นมีค่ามากหรือน้อยเท่าใด และมีจำนวนของตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) จำนวนเท่าใด ดังตัวอย่างการหาความยาวของโครโมโซมที่จะใช้ในวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

สมมติ
- ค่าจำนวนแพดต่อลีดเฟรมที่ต้องการออกแบบ (x_1) คือ 168-300
- ค่าขนาดล็อตที่ต้องการออกแบบ (x_2) คือ 3360-6720

จากข้อมูลข้างต้นนี้ ค่ามากที่สุดของค่าแพดคือ 300 ซึ่งเมื่อแปลงเป็นเลขฐานสอง จะได้เท่ากับ 100101100 ซึ่งมีทั้งหมด 9 หลัก ส่วนค่ามากที่สุดของขนาดล็อตคือ 6720 ซึ่งเมื่อแปลงเป็นเลขฐานสอง จะได้เท่ากับ 1101001000000 ซึ่งมีทั้งหมด 13 หลัก แต่เนื่องจากในโครโมโซมหนึ่งตัวจะประกอบไปด้วยตัวแปรตัดสินใจทั้งสองตัว คือ ค่า PAD และ ค่า Lotsize ดังเช่นในรูปที่ 4.3 ข้างล่างนี้ ดังนั้น ความยาวของโครโมโซมทั้งสิ้นจะเท่ากับ 22 บิต ดังนี้ 1001011001101001000000 สตริงคำตอบในงานวิจัยนี้จึงมีลักษณะดังนี้ คือ

1. คำตอบหนึ่งคำตอบจะแทนด้วย 1 Chromosome
2. ใน 1 Chromosome เมื่อถูกถอดรหัสออกมาแล้วจะได้ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) จำนวน 2 ตัว คือ ค่าจำนวน PAD ต่อ สตริปหนึ่งแผ่น และ ค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการใส่รหัสคำตอบกับกระบวนการอื่นๆ

4.4.2 **การสร้างประชากรเริ่มต้น** (Initial Population)

การสร้างประชากรเริ่มต้น คือ การสร้างสตริงหรือโครโมโซมของคำตอบเริ่มต้นขึ้นมาจำนวน Pop_size ตัว อย่างสุ่ม โดยในการสร้างสตริงหนึ่งตัวหรือโครโมโซมหนึ่งตัวนั้นจะมีการสร้างบิตขึ้นมาก่อน บิตแต่ละบิตจะถูกสร้างขึ้นมาอย่างสุ่มเช่นกัน ซึ่งบิตก็คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของโครโมโซม ปกติแล้วจำนวนของสตริงคำตอบหรือประชาการเริ่มต้นนี้ก็เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกหนึ่งตัวที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึม

สำหรับปัญหาการลดการสูญเสียวัตถุดิบนี้ ประชากรหนึ่งตัวก็คือโครโมโซมหนึ่งตัวซึ่งในโคโมโซมนี้จะประกอบด้วยเลขฐานสอง คือ มีค่า 0 และ 1 เท่านั้น เนื่องจากเราเข้ารหัสปัญหาแบบ Binary strings ในขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้นนี้จะต้องสร้างประชากรให้มีความ

แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อความหลากหลายของคำตอบที่จะได้ และเป็นการป้องกันไม่ให้คำตอบติดอยู่กับค่า Local optima อีกวิธีหนึ่ง

■ ขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น

1. สุ่มค่า r ขึ้นมาจากตัวเลขสุ่มทางคอมพิวเตอร์ ถ้า r น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 แล้วให้ค่าบิตเป็นหนึ่ง แต่หากค่า r มากกว่า 0.5 แล้วให้ค่าบิตเป็น 0
2. เก็บค่าบิตที่สร้างขึ้นมาไว้ในตัวแปรที่ใช้แทนโครโมโซม (ส่วนใหญ่จะใช้ตัวแปรแบบอาร์เรย์)
3. ตรวจสอบว่าได้จำนวนบิตครบตามความยาวของโครโมโซม (Chromosome length) หรือไม่ หากไม่ ให้กลับไปคำนวณตามขั้นตอนที่ 1. และ 2. เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้ก็จะได้โครโมโซม 1 ตัว
4. ตรวจสอบว่าสร้างจำนวนโครโมโซมได้ตรบตามจำนวน Pop_size หรือไม่ หากไม่ให้กลับไปสร้างโครโมโซมตัวถัดไปตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 3

4.4.3 **การถอดรหัสคำตอบ** (Decoding)

เนื่องจากรหัสคำตอบยังอยู่ในรูปของเลขฐานสอง ดังนั้น ก่อนที่จะสามารถนำค่าคำตอบไปคำนวณในขั้นตอนต่อไปได้ เราต้องดำเนินการถอดรหัสคำตอบก่อน ซึ่งการถอดรหัสคำตอบในที่นี้ก็คือการแปลงตัวเลขจากฐานสองให้เป็นตัวเลขฐานสิบนั่นเอง ดังเช่นในรูปที่ 4.3 ข้างต้นแสดง

■ บิตชุดแรกของโครโมโซมคือ 1001111011 ซึ่งแปลงให้อยู่ในรูปฐานสิบได้ดังนี้

$= (1x2^{9})+(0x2^{8})+(0x2^{7})+(1x2^{6})+(1x2^{5})+(1x2^{4})+(1x2^{3})+$
$(0x2^{2})+(1x2^{1})+(1x2^{0})$

$= 635$

ดังนั้น จำนวนแพดต่อลีดเฟรมคือ 635

■ บิตชุดที่สองของโครโมโซมคือ 110110100100010 ซึ่งแปลงให้อยู่ในรูปฐานสิบได้ดังนี้

$= (1x2^{14})+(1x2^{13})+(0x2^{12})+(1x2^{11})+(1x2^{10})+(0x2^{9})$
$+(1x2^{8})+(0x2^{7})+(0x2^{6})+(1x2^{5})+(0x2^{4})+(0x2^{3})$
$+(0x2^{2})+(1x2^{1})+(0x2^{0})$

= 27938

ดังนั้น ขนาดของล็อตคือ 27938

4.4.4 การประเมินค่า (Evaluation)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสมของสตริงหรือโครโมโซมแต่ละตัวก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกสตริงที่เหมาะสมต่อไป ค่าความเหมาะสม (Fitness) นี้จะเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าสตริงตัวใดมีโอกาสที่ถูกเลือกไปผ่านกระบวนการถัดไปอน ได้แก่ กระบวนการครอสโอเวอร์ กระบวนการมิวเตชัน โดยสตริงตัวที่มีค่าความเหมาะสมมากกว่าก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกมากกว่าสตริงตัวที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ ค่าความเหมาะสมนี้จะเป็นค่าที่ถูกแปลงมาจากค่าของสมการเป้าหมายอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการหาคำตอบของปัญหาด้วยว่าเป็นปัญหาประเภท Maximizing หรือ Minimizing สำหรับปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิตนี้จะเป็นปัญหาแบบ Minimizing ที่ต้องการหาคำตอบที่ทำให้มูลค่าการสูญเสียต่ำที่สุด โดยมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ในที่นี้คือ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบในการผลิต (Material Loss) ซึ่งไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้อย่างชัดเจน ดังวิธีการคำนวณในหัวข้อ 1.4.4

เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาการหาค่าที่ต่ำที่สุด ดังนั้นต้องทำการแปลงค่าฟังก์ชันเป้าหมายให้อยู่ในรูปแบบการหาค่าที่สูงที่สุดของ Fitness function เสียก่อน ดังสมการที่ (1)

$$f(x_i) = \left(\sum_{i=1}^{Pop_size} x_i \right) - x_i \quad \text{----------(1)}$$

หลังจากนั้นค่า Fitness ใหม่จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการรีโปรดักชันต่อไป สำหรับสมการที่ (1) เราสามารถใช้ค่าตัวตั้งหรือพจน์แรกของสมการเป็น ค่าผลรวมทั้งหมดในเจนเนอเรชันนั้นๆ ค่ามากที่สุดในเจนเนอเรชัน ค่ามากที่สุดของเจนเนเรชันสุดท้าย หรือ ค่ามากที่สุดในปัญหานั้นที่สามารถเป็นไปได้ (Goldberg,1989) แต่ในที่นี้จะใช้ค่าผลรวมทั้งหมดในเจนเนอเรชันนั้นๆ

4.4.4 การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection)

กระบวนการคัดเลือกสตริงคำตอบเป็นกระบวนการเลือกสตริงคำตอบที่เหมาะสมจาก Mating pool เพื่อใช้ในการครอสโอเวอร์หรือการแลกเปลี่ยนยีนส์(ชุดของบิต) และการมิวเตชัน กันต่อไป วิธีการคัดสตริงคำตอบมีอยู่ด้วยการหลายวิธี แต่ในที่นี้จะเสนอวิธีดั้งเดิมเพียงวิธีเดียวคือ วิธี Roulette Wheel ดังตัวอย่างในหัวข้อที่ 3.2.5 ในการคัดเลือกสตริงจะทำครั้งละสองสตริง โดยการหาสตริงตัวแรกจะใช้การเลือกตามวิธีของ Roulette Wheel ส่วนสตริงตัวที่สองจะเลือกมาอย่างสุ่มจาก Mating pool ทั้งนี้เพื่อลดโอกาสที่สตริงตัวที่มีความเหมาะสมมากๆถูกเลือกอยู่ตลอดเวลา หรือเรียกว่า Take over ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการสร้าง Roulette wheel ได้ดังนี้

1. หาค่า Fitness รวมของสตริงคำตอบทั้งหมด Pop_size ตัว ดังสมการที่ (2)

$$F = \sum_{i=1}^{Pop_size} f(x_i) \quad \text{---------- (2)}$$

โดยที่ f(xi) = ค่า Fitness ของสตริงตัวที่ i

2. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก (Probability of selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการที่ (3)

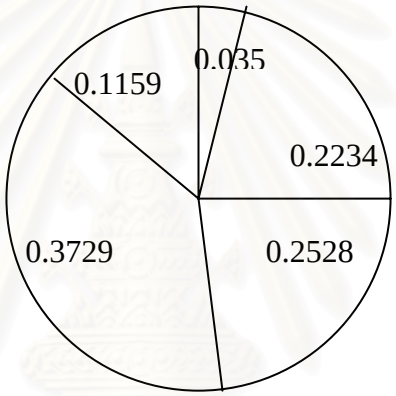
$$p_i = \frac{f(x_i)}{F}, i = 1,2,...Pop_size \quad \text{..... (3)}$$

3. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม (Cummulative Probability of selection) ของสตริงแต่ละตัว ตามสมการที่ (4)

$$q_i = \sum_{j=1}^{i} p_j, j = 1,2,....,i \quad \text{..... (4)}$$

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการสร้างวงล้อรูเล็ต

String No.	Fitness	p_i	q_i
1	345.714	0.0350	0.0350
2	2204.723	0.2234	0.2584
3	2493.756	0.2528	0.5112
4	3678.778	0.3729	0.8841
5	1142.429	0.1159	1.0000
รวม	9865.367	1.0000	



รูปที่ 4.4 วงล้อรูเล็ต

4.4.5 **การครอสโอเวอร์** (Crossover)

กระบวนการครอสโอเวอร์หรือการแลกเปลี่ยนยีนส์กันจะเกิดขึ้นกับสตริงหรือโครโมโซมที่เราได้คัดเลือกมาแล้วในขั้นตอนของการคัดเลือกสตริงคำตอบที่เหมาะสม การครอสโอเวอร์จะกระทำเพื่อสร้างสตริงคำตอบขึ้นมาใหม่โดยยังคงมีบางส่วนของสตริงคำตอบเดิมอยู่ ส่วนสตริงคำตอบตัวที่ไม่ได้รับการคัดเลือกจะยังคงสภาพเดิมและอยู่ใน Mating pool (เป็นประชากรของเจนเนเรชันนั้นๆต่อไป) การครอสโอเวอร์จะกระทำครั้งละคู่ของสตริงที่เลือกมา ผลจะการครอสโอเวอร์จะทำให้เกิดสตริงคำตอบใหม่ที่อาจจะมีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นหรือแย่ลงก็ได้ โอกาสที่สตริงสองสตริงจะแลกเปลี่ยนยีนส์ (หรือชุดของบิตในโครโมโซม) กัน มีค่าเท่ากับ Pc หากสตริงที่ถูกคัดเลือก

มาไม่ได้ทำการครอสโอเวอร์กันก็จะไม่ได้สตริงคำตอบใหม่แต่จะหมายถึง การแทนที่คู่ของสตริงคำตอบนั้นกลับเข้าสู่ Mating Pool อีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นประชากรของเจนเนอเรชันถัดไป

วิธีการครอสโอเวอร์มีอยู่ด้วยกันหลายแบบและยังแตกต่างกันเมื่อวิธีการเข้ารหัสคำตอบ (Encoding) แต่ต่างกันด้วย ในที่นี้จะได้นำเสนอเฉพาะวิธีที่นิยมใช้สำหรับการเข้ารหัสคำตอบแบบ Binary เท่านั้น ได้แก่ *การครอสโอเวอร์แบบ 1-Point การครอสโอเวอร์แบบ 2-Points* และ *การครอสโอเวอร์แบบ Uniform*

▪ **การครอสโอเวอร์แบบ** 1-Point หมายถึง วิธีการครอสโอเวอร์หรือแลกเปลี่ยนยีนส์กัน โดยมีจุดตั้งต้นในการแลกเปลี่ยนเพียงจุดเดียวเท่านั้น เป็นผลให้ชุดของบิตที่อยู่ภายหลังจากจุดแลกเปลี่ยนเกิดการแลกเปลี่ยนกันระหว่างสตริงที่จับคู่กันนั้น การครอสโอเวอร์แบบนี้ถือได้ว่าเป็นแบบดังเดิมของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ดังตัวอย่างดังนี้

สตริงที่ 1- 10101000010100110000010011
สตริงที่ 2- 10110110010011111010110001

สำหรับจุดที่จะเริ่มต้นแลกเปลี่ยนยีนส์กันจะเรียกว่า Crossover point หรือ Crossover site ซึ่งในที่นี้จะเรียกย่อว่า X-site สมมติจุดที่จะแลกเปลี่ยนยีนส์(ซึ่งได้จากการสุ่ม) คือ จุดที่ 10 ของโครโมโซม จะสังเกตได้ว่าค่าของตำแหน่ง X-site จะมีค่าน้อยกว่าความยาวของโครโมโซม (Chromosome length) อยู่หนึ่งค่า ดังตัวอย่างดังนี้ (ตัวอักษรทึบหมายถึง บิตที่จะแลกเปลี่ยนกัน)

สตริงที่ 1 (Parent#1) - 1010100001 | **010011000010011**
สตริงที่ 2 (Parent#2) - 1011011001 | **001111010110001**

สตริงลูก 1 (Child#1) - 1010100001**001111010110001**
สตริงลูก 2 (Child#2) - 1011011001**010011000010011**

จะเห็นได้ว่าเมื่อสตริงที่จับคู่กันแลกเปลี่ยนยีนส์กัน (ภายใต้ความน่าจะเป็น Pc) จะเกิดสตริงลูกขึ้นมาใหม่ 2 ตัว ซึ่งลักษณะของสตริงใหม่ที่เกิดขึ้นนี้จะยังคงมีส่วนที่เป็นลักษณะตั้งต้นหรือส่วนของบิตที่ไม่ได้แลกเปลี่ยนกันอยู่ ดังนั้น หากสตริงที่จับคู่กัน (Parent) เป็นสตริงที่มีค่าความเหมาะสมดีๆ โอกาสที่จะได้สตริงลูกที่ดีก็มีมากด้วย แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของแต่ละปัญหาด้วยว่ามีความซับซ้อนเพียงใด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

■ **การครอสโอเวอร์แบบ** 2-Point หมายถึง วิธีการครอสโอเวอร์ที่มีจุดแลกเปลี่ยน
ยีนส์ระหว่างโครโมโซมที่จับคู่กัน 2 จุด บนโครโมโซม แต่สตริงลูกที่เกิดขึ้นยังคงได้สตริงลูกเพียงสองตัวเช่นเดียวกับการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สตริงที่ 1- 10101000010100110000010011
สตริงที่ 2- 10110110010011110101100 01

สมมติจุดที่จะครอสโอเวอร์กันคือจุดที่ 12 และ 17 จะได้ว่า

สตริงที่ 1 (Parent#1) - 101010000101 **00110** 00010011
สตริงที่ 2 (Parent#2) - 101101100100 **11110** 10110001

ดังนั้น สตริงลูกที่จะได้คือ

สตริงที่ 1 (Child#1) - 10101000010**11110** 00010011
สตริงที่ 2 (Child#2) - 101101100100 **00110**10110001

จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการครอสโอเวอร์แบบนี้ มีโอกาสที่จะให้ค่าคำตอบ (Decision variables) ที่เมื่อถอดรหัสออกมาแล้วหลากหลายกว่าวิธีแรก แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่รับประกันว่าค่าความเหมาะสม (Fitness) ของการครอสโอเวอร์แบบนี้จะดีกว่าการครอสโอเวอร์แบบจุดแลกเปลี่ยนจุดเดียวเสมอ ทั้งเพราะยังมีพารามิเตอร์อีกหลายตัวของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการหาคำตอบ และยังขึ้นกับโครงสร้างของปัญหานั้นๆด้วย

■ **การครอสโอเวอร์แบบ** Uniform หมายถึง วิธีการครอสโอเวอร์ที่บิตแต่ละบิตในโครโมโซมมีโอกาสเท่ากันในการแลกเปลี่ยนกับบิตของโครโมโซมที่จับคู่ด้วย ในการครอสโอเวอร์แบบนี้จะเริ่มต้นด้วย การสร้างโครโมโซมเทียม ซึ่งเรียกว่า Mask ขึ้นมาก่อนหนึ่งตัว โดยการสร้างบิตแต่ละบิตของโครโมโซมเทียมตัวนี้จะใช้ค่า Crossover probability: Pc มาเป็นตัวกำหนดว่า ค่าของบิตตัวนั้นๆจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยค่าของ Mask ที่เป็น 1 หมายถึง ให้แลกเปลี่ยนบิตระหว่างโครโมโซมที่จับคู่กัน หากค่าของ Mask เป็น 0 จะหมายถึง ไม่มีการแลกเปลี่ยนบิต (Bit) ของโครโมโซม ดังขั้นตอนการสร้างโครโมโซมเทียมต่อไปนี้

ขั้นตอนการสร้างโครโมโซมเทียม

1. สุ่มตัวเลขสุ่ม r จากคอมพิวเตอร์ หาก r น้อยกว่าหรือเท่ากับ Pc แล้วให้กำหนดค่าของบิตเป็น 1 หากไม่ ให้กำหนดค่าของบิตเป็น 0
2. ตรวจสอบว่าได้สร้างบิตครบตามความยาวของโครโมโซม (Chromosome length) ที่ต้องการหรือไม่ หากไม่ให้ กลับไปทำข้อที่ 1. หากครบแล้ว ก็จะได้โครโมโซมเทียมหนึ่งตัว ข้อสังเกตคือ ความยาวของโครโมโซมเทียมต้องเท่ากับความยาวของโครโมโซมจริงด้วย

ตัวอย่าง การครอสโอเวอร์แบบ Uniform เมื่อใช้ค่า Pc = 0.7 มีดังนี้

Mask	011011001110111011101100
สตริงที่ 1(Parent#1)	101010000101001100001001**1**
สตริงที่ 2(Parent#2)	101101100100111101011000**1**
สตริงลูกที่ 1(Child#1)	1**0100100010111101001001**1
สตริงลูกที่ 2 (Child#2)	1**0111010010000110001100**1

โดยที่ หากค่า Mask เป็น 1 โครโมโซมจะมีการแลกเปลี่ยนบิตกัน ในทางตรงข้าม หากมีค่าเป็น 0 จะไม่มีการแลกเปลี่ยนบิตกัน

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ จะสังเกตเห็นว่าคำตอบที่ของสตริงที่เกิดจากการครอสโอเวอร์แบบนี้จะมีหลากหลายกว่าการครอสโอเวอร์สองแบบแรก แต่อย่างไรก็ตาม ก็ไม่เป็นการรับประกันว่าค่าความเหมาะสม (Fitness) ของสตริงที่ได้จากการครอสโอเวอร์แบบนี้จะให้ค่าที่ดีกว่าเสมอไป เนื่องจากปัจจัยอื่นๆดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.4.6 การมิวเตชั่น (Mutation)

กระบวนการมิวเตชัน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงหรือสลับค่าบิตในโครโมโซม ซึ่งวิธีการมิวเตชันจะแตกต่างกันไปตามวิธีเข้ารหัสคำตอบ (Encoding) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการมิวเตชันสำหรับการเข้ารหัสแบบ Binary โดยการมิวเตชันในที่นี้จะใช้วิธีสลับค่าบิต จาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Flip bits และแต่ละตำแหน่งบนโครโมโซม (Locus)จะถูกเลือกให้เกิดมิวเต

ชันเท่ากัน เพียงแต่โอกาสที่จะเกิดการสลับบิต ณ. ตำแหน่งนั้นๆจะเท่ากับ Mutation probability: Pm ดังขั้นตอนการทำให้เกิดมิวเตชันดังนี้

ขั้นตอนการทำให้เกิดมิวเตชัน

1. เริ่มต้นที่บิตที่ 1 ให้สุ่มค่า r จากคอมพิวเตอร์ หากค่า r น้อยกว่าหรือเท่ากับ Pm แล้วสลับค่าบิต (Bit) จาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0
2. ตรวจสอบว่าทำการมิวเตชันจนครบทุกบิตตลอดความยาวของโครโมโซม (Chromosome Length) หรือไม่ หากไม่ ให้กลับไปทำให้เกิดมิวเตชันในข้อที่ 1 อีกครั้งจนครบทุกบิตในโครโมโซม

ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติใช้ Pm = 0.1 และเกิดมิวเตชันที่ตำแหน่งบิตที่ 9 และ 15

ก่อนมิวเตชัน

สตริงที่ 1 1 0 1 0 1 0 0 0 **0** 1 0 1 0 0 **1** 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1

หลังมิวเตชัน

สตริงที่ 1 1 0 1 0 1 0 0 0 **1** 1 0 1 0 0 **0** 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1

เมื่อทำมิวเตชันเสร็จแล้ว สตริงคำตอบที่ผ่านการมิวเตชันและสตริงคำตอบอื่นๆที่ไม่ได้ถูกมิวเตชันจะถูกนำมารวมกันเพื่อเตรียมเข้าสู่เจนเนอเรชันถัดไป

4.4.7 **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด** (Elite Preserve Strategy)

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ผ่านการครอสโอเวอร์อาจทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิม แต่เมื่อการมิวเตชันแล้วอาจทำให้คำตอบแย่ลง หรืออีกกรณีคือ สตริงคำตอบที่ไม่ดีแต่ถูกมิวเตชันทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นแต่โครงสร้างของโครโมโซม (Schema) ที่ดีเหล่านั้นอาจสูญเสียไปในเจนเนเรชันต่อๆไป ดังนั้น จึงได้มีการใช้เทคนิคเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุด (Elite Preserve Solution)ไว้เปรียบเทียบกับสตริงคำตอบอื่นๆในแต่ละเจนเนอเรชันเมื่อผ่านกระบวนการ Reproduction หลักการของเทคนิคการเก็บสตริงที่ดีที่สุดนี้จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการทำงานของ GAs 3 ครั้ง คือ

1. **Initial Elite Preserve Strategy**

เป็นจุดเริ่มต้นจองเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดนี้ ซึ่งกระทำเพียงครั้งเดียวภายหลังจากการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Initial population) ในตอนต้นของกระบวนการ GAs และผ่านการถอดรหัสรวมทั้งการประเมิณค่าเรียบร้อยแล้ว ค่า Fitness ของสตริงแต่ละตัวที่ได้จากการปรเมินค่าจะถูกเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากที่สุดเท่านั้นที่จะถูกเลือกไปเป็น Elite Preserve Solution จากนั้นสตริงคำตอบทั้งหมดรวมทั้งตัวที่เลือกไปเป็น Elite Preserve Solution จะเข้าสู่ขั้นตอนต่างๆของ GAs ต่อไป

2. **Post-crossover Elite Preserve Strategy**

เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่จะถูกใช้ภายหลังกระบวนการครอสโอเวอร์แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากว่าสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์อาจเป็นคำตอบที่ดีกว่าคำตอบอื่นๆที่เคยพบมา เมื่อนำไปมิวเตชันแล้ว สตริงคำตอบนี้อาจจะเปลี่ยนไปและอาจให้คำตอบที่แย่ลง ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้สตริงคำตอบที่ดีที่ได้หลังกระบวนการครอสโอเวอร์สูญหายไป จึงต้องทำการถอดรหัสคำตอบและประเมิน (Evaluation) ค่าสตริงคำตอบภายหลังการครอสโอเวอร์ทั้งหมดทั้ง Pop_size ตัว แล้วนำสตริงคำตอบที่ดีทีสุดภายหลังการครอสโอเวอร์นี้ไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ถ้าหากสตริงคำตอบภายหลังการครอสโอเวอร์ดีกว่า ก็ให้เอาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดนั้นไปเป็น Elite Preserve Solution แทน แต่ถ้า Elite Preserve Solution ดีกว่า ก็ให้นำคำตอบภายหลังการครอสโอเวอร์ทั้งหมด Pop_size ตัวไปผ่านกระบวนการมิเตชันต่อไป

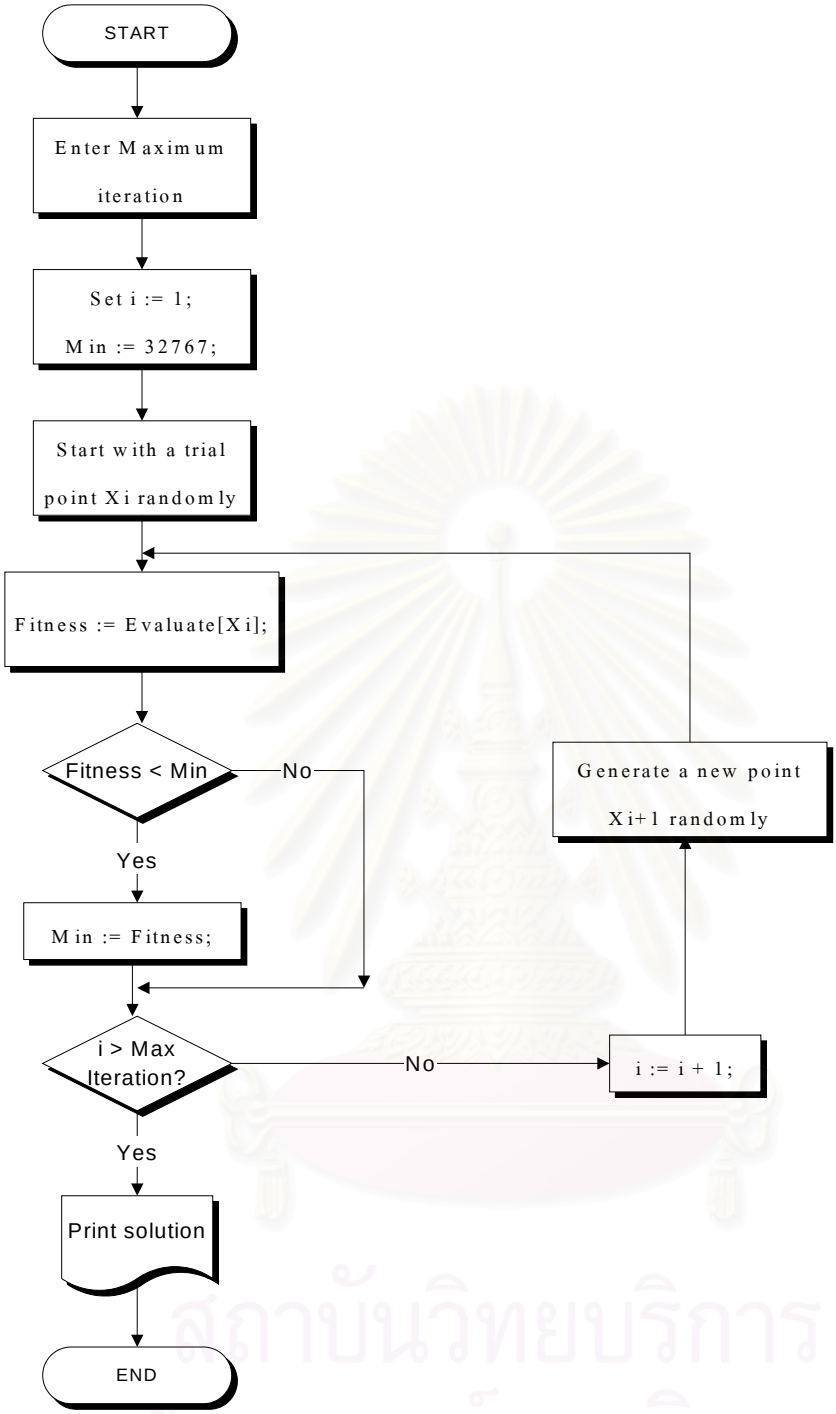
3. **Elite Preserve Strategy of Generation**

เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดภายหลังกระบวนการมิวเตชัน (Mutation) แล้ว ซึ่งในขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นการเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชันด้วย การเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชันจะช่วยให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่เคยปรากฏขึ้นมายังคงมีอยู่ในเจนเนอเรชันต่อไป การเก็บค่าในขั้นตอนนี้จะเก็บภายหลังจากการทำมิวเตชันเรียบร้อยแล้ว สตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการมิวเตชันทั้ง Pop_size ตัว จะถูกถอดรหัสและประเมินค่า Fitness จากนั้นก็ให้เอาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution เช่นเดียวกับในขั้นตอนของ Post-crossover Elite Preserve Strategy แต่แตกต่างกันตรงที่จะมีการนำเอา Elite Preserve Solution มาแทนที่คำตอบที่แย่ที่สุดในประชากรชุดปัจจุบันนี้ด้วยเมื่อ Elite Preserve Solution เป็นคำตอบที่ดีกว่าและสตริงคำตอบที่ได้จากขั้นตอนนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบพ่อแม่ที่แท้จริงในเจนเนอเรชันถัดไป

4.5 **วิธีการสุ่มเลือกคำตอบ** (Random Search)

เนื่องจากในการทดลองที่ 2 ของงานวิจัยนี้จะได้ประยุกต์ใช้วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม (GAs:Genetic Algorithms) ในการค้นหาคำตอบที่ต้องการ แต่เนื่องจากวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึมเองก็ถือได้ว่าเป็นวิธีการในรูปแบบของฮิวริสติก (Heuristic) ซึ่งถือกันว่าเป็นวิธีที่ไม่รับรองผลของคำตอบว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด (Global optima) แต่เนื่องจากเหตุผลของจำนวนทางเลือก (Alternatives) ที่ต้องการประเมิน (Evaluation) มีจำนวนมาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้วิธีการของฮิวริสติกมาช่วยในการค้นหาคำตอบ อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกวิธีการหนึ่งที่มีขั้นตอนการคำนวณที่ง่ายกว่าและได้ผลลัพธ์เร็ว แต่ก็ยังไม่รับรองผลของคำตอบว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด เช่นเดียวกัน วิธีการนั้นเรียกว่า การสุ่มเลือกคำตอบ หรือเป็นการสุ่มเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (RS:Random Search) และในงานวิจัยนี้จะได้ประยุกต์ใช้วิธีการสุ่มเลือกคำตอบด้วยเช่นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบระหว่างสองอัลกอริทึมนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงผังงานของ Random Search

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึม

การใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการหาตอบของแต่ละปัญหานั้นผู้ใช้งานจำเป็นจะต้องวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับปัญหานั้นโดยเฉพาะ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของตัวอัลกอริทึม เพราะโครงสร้างของแต่ละปัญหาย่อมแต่ต่างกันอีกทั้งยังมีช่วงของคำตอบ (Solution space) ที่เราต้องการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมกว้างมากน้อยต่างกันด้วย โดยในงานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองโดยยึดหลักการของ การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) โดยมีค่าผลตอบสนองที่ต้องการวัดอยู่ 3 ค่า ได้แก่

1. ความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยดูจากมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบที่ต่ำที่สุด
2. ความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ โดยดูจากค่าเฉลี่ยลำดับที่เจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในช่วงของเจนเนอเรชันสูงสุด (Maximum generation) ที่กำหนด
3. ความเร็วในการพบคำตอบที่ดีที่สุด โดยดูจากค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุดในช่วงของเจนเนอเรชันสูงสุด (Maximum generation)

5.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

5.1.1 การระบุปัญหา

เนื่องจากวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึมมีค่าพารามิเตอร์เกี่ยวข้องอยู่หลายตัวที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหาคำตอบ และค่าของพารามิเตอร์เหล่านั้นก็มีค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัญหาที่แตกต่างกันหรือที่เรียกว่า Problem-specific parameters ดังนั้นในปัญหาการลดมูลค่าความสูญเสียวัตถุดิบนี้ก็จำเป็นต้องหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหานี้ด้วย ทั้งนี้เพื่อหาว่าพารามิเตอร์ใดบ้างมีผลต่อคำตอบที่ได้ภายใต้โครงสร้างของปัญหานี้ และเมื่อเรารู้พารามิเตอร์ที่มีผล (Effect) แล้วในขั้นตอนต่อไปก็คือการหาค่าระดับ (Levels) ของพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญเหล่านั้น

จากการศึกษาในระบบการผลิตพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ ได้แก่ ค่าจำนวนแพดต่อสตริป ขนาดของล็อตเพื่อการผลิต และ ปริมาณการสั่งผลิตแต่ละครั้ง เนื่องจากขอบเขตในงานวิจัยนี้ได้เลือกมาศึกษาเพียงสองผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเจเนติกอัลกอริทึมจึงได้หาแยกกันระหว่างสองผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผลิตภัณฑ์ A

ช่วงจำนวนแพดต่อสตริปที่ต้องการออกแบบ	396-900	Dies/strip
ค่าขนาดของล็อตสำหรับการผลิตที่ต้องการออกแบบ	396-15840	Dies/lot
ยอดสั่งผลิต(ได้จากการสุ่มด้วยคอมพิวเตอร์ภายในช่วงของข้อมูลในอดีต)	146,999	Dies/order

ผลิตภัณฑ์ B

ช่วงจำนวนแพดต่อสตริปที่ต้องการออกแบบ	168-400	Dies/strip
ค่าขนาดของล็อตสำหรับการผลิตที่ต้องการออกแบบ	168-6720	Dies/lot
ยอดสั่งผลิต(ได้จากการสุ่มด้วยคอมพิวเตอร์ภายในช่วงของข้อมูลในอดีต)	34,301	Dies/order

5.1.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง

เนื่องคำตอบที่ดีที่สุดดูจากมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบที่ต่ำที่สุด ดังนั้น ตัวแปรตอบสนองตัวแรกที่เลือกมาทดสอบพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึมคือ มูลค่าเฉลี่ยการสูญเสียวัตถุดิบต่อการสั่งผลิตหนึ่งครั้ง มีหน่วยเป็น บาทต่อครั้งของการสั่งผลิต แต่อย่างไรก็ตาม กรณีที่เราใช้ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ เป็นตัวแปรตอบสนองแล้วยังไม่ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด เราก็จะเปลี่ยนตัวแปรตอบสนองเป็นลำดับที่ของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบ และ ค่าเวลาที่ใช้ในการหาตอบที่ดีที่สุด ตามลำดับ

5.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย

ในวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึมมีโอเปอเรเตอร์หลายตัวด้วยกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับแต่ละโอเปอเรเตอร์เหล่านั้นดังนี้

1) จำนวนประชากรในแต่ละรุ่น(Population size in a generation) โดยจำนวนประชากรก็จำนวนของชุดคำตอบทั้งหมดที่เราต้องการประเมิน (Evaluate) ภายใต้วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม ค่าจำนวนของประชากรในแต่ละเจนเนอเรชันมีผลตอนการหาคำตอบที่ดีที่สุด (แต่อาจจะยังไม่เป็น Global optimum) หากเราใช้ค่าจำนวนประชากรที่มากขึ้น โอกาสที่จะพบคำตอบที่ดีกว่า

ก็มากขึ้น แต่เวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณละประเมินก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ในทางปฏิบัติเราควรตัดสินว่าควรจะใช้จำนวนประชากรในช่วงใดถึงจะเหมาะสมทั้งในด้านการหาคำตอบที่เหมาะสมและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และสำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกค่าจำนวนประชากรเป็น 10 20 และ 30 สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

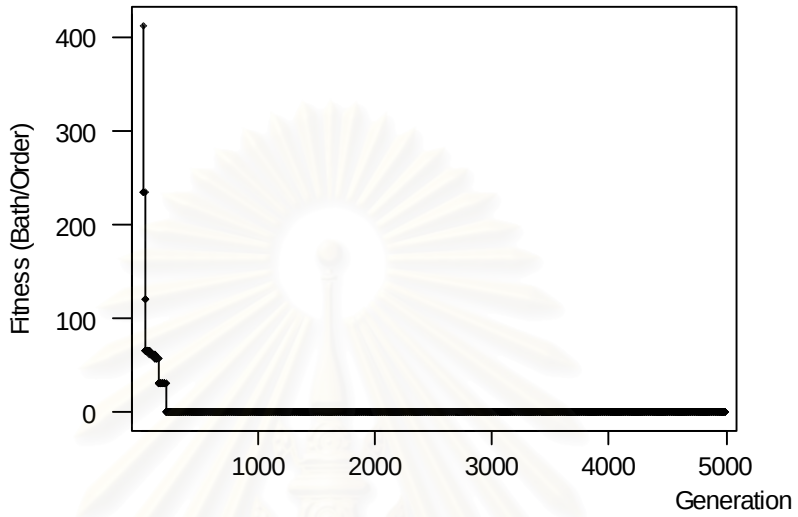
1.1 ผลิตภัณฑ์ A จะกำหนดจำนวนประชากร 3 ระดับ เป็น 10 20 และ 30

1.2 ผลิตภัณฑ์ A จะกำหนดจำนวนประชากร 3 ระดับ เป็น 10 20 และ 30 เช่นเดียวกัน

2) จำนวนเจนเนอเรชัน (Generation) โดยจำนวนเจนเนอเรชัน หมายถึงหนึ่งวงรอบการคำนวณตามระเบียบวิธีของเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งจะมีการดำเนินการของโอเปอเรเตอร์ต่างๆได้แก่ การคัดเลือกสตริง(Selection) การครอสโอเวอร์ (Crossover) การมิวเตชัน (Mutation) ทั้งนี้เพื่อดำเนินการสร้างสตริงตัวใหม่ของรุ่นถัดไป (New population) โดยคาดหวังว่าจะมีค่าความเหมาะสม (Fitness) ที่ดีกว่ารุ่นก่อนหน้า (Old population) ในการกำหนดจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุด (Maximum generation) หากเรากำหนดค่าน้อยเกินไป สำหรับบางปัญหาแล้ว คำตอบที่ได้ในเจนเนอเรชันสุดท้ายอาจจะยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่ก็ได้ ในขณะที่การกำหนดหรือใช้จำนวนเจนเนอเรชันมากเกินไปก็จะสูญเปล่าเวลาในการคำนวณโดยที่คำตอบที่ได้ไม่ดีไปกว่าเดิมนัก เนื่องจากยังไม่มีวิธีการโดยทั่วไปจะกำหนดได้ว่าควรจะใช้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดเท่าใดถึงจะเหมาะสม เนื่องจากในปัญหาที่ต่างกันแล้ว ความยากง่ายในการค้นหาคำตอบและเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมก็แตกต่างกัน ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงต้องทดลองทำ Pilot run สำหรับปัญหานั้นๆว่า ณ. จำนวนเจนเนอเรชันเท่าใดที่ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ระยะเวลาที่ใช้เหมาะสม ทั้งนี้เพราะบางปัญหายิ่งเราใช้จำนวนเจนเนอเรชันมากขึ้นเท่าใด คำตอบที่ได้ก็จะดีขึ้นกว่าเดิม แต่ส่วนต่างที่ดีขึ้นนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ต้องทำการคำนวณในเจนเนอเรชันสูงๆ ดังนั้น เราอาจจะตัดสินใจเลือกหยุดการคำนวณที่จำนวณเจนเนอเรชันที่ให้คำตอบที่พิจารณาแล้วว่าเพียงพอกับการนำไปใช้ในการตัดสินใจ ภายใต้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณที่ยอมรับได้

ในงานวิจัยนี้จะได้ทำ Pilot run เพื่อหาจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่จะใช้ในการทดสอบพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึมต่อไป โดยพารามิเตอร์ที่ใช้จะได้จากการ

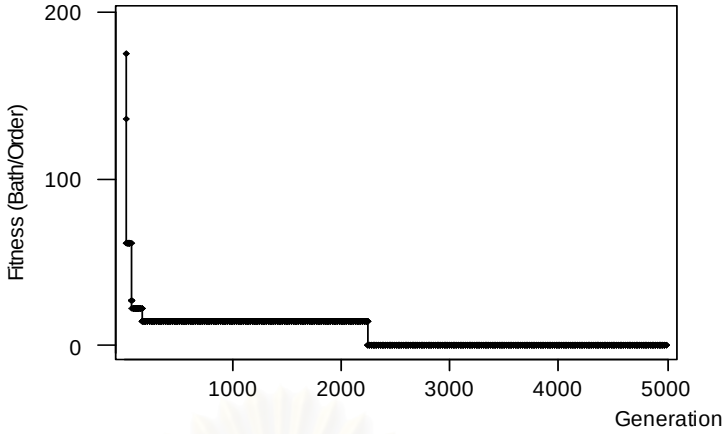
สุ่ม แต่จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่ใช้รันจะใช้ที่ 5000 เจนเนอเรชัน และจะแยกรันระหว่างปัญหาของสองผลิตภัณฑ์ที่ได้เลือกมาศึกษา



รูปที่ 5.1 ผลที่ได้จากการทำ Pilot run สำหรับปัญหาของผลิตภัณฑ์ A

จากรูปที่ 5.1 ข้างต้นนี้ ได้ค่า Fitness ที่ต่ำที่สุดคือ 0.314 บาท/คำสั่งผลิต ที่เจนเนอเรชัน 2366 ดังนั้น ในการทดสอบพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึม เราจะกำหนดค่าเจนเนอเรชันสูงสุดที่ 2500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ผลที่ได้จากการทำ Pilot run สำหรับปัญหาของผลิตภัณฑ์ B

จากรูป 5.2 ข้างบนนี้ ค่า Fitness ที่ต่ำที่สุดคือ 0.56 บาท/คำสั่งผลิต โดยพบคำตอบที่เจนเนอเรชันที่ 2235 ดังนั้น ในการทดสอบพารามิเตอร์จะเลือกใช้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่ 2500

3) วิธีการคัดเลือกสตริง(Selection method) ในงานวิจัยนี้จะเสนอวิธีการคัดเลือกสตริงเพียงวิธีเดียวคือ วิธี Roulette wheel ดังนั้น จึงไม่ได้นำวิธีการคัดเลือกสตริงมากำหนดเป็นปัจจัยในการทดลอง

4) วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover methods) ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการครอสโอเวอร์สำหรับการเข้ารหัส (Encoding) ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี่ ไว้ 3 แบบ คือ 1-Point crossover, 2-Point crossover และ Uniform crossover

5) วิธีการมิวเตชัน (Mutation method) ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการมิวเตชันสำหรับการเข้ารหัสตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี่ไว้เพียงวิธีเดียวคือ Flip bit method หรือ การสลับบิทของสตริง จาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 เมื่อมีการมิวเตชันเกิดขึ้น

6) ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์(Crossover probability: Pc) ในทางทฤษฎีเราสามารถกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 0-1.0 ในทางปฏิบัตินิยมใช้ค่าสูงๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหาคำตอบของ GAs ให้ดียิ่งขึ้น (De Jong's,1975) และในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ 4 ระดับ คือ 0.7 0.8 0.9 และ 1.0

7) ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation probability: Pm) ค่านี้ก็สามารถกำหนดได้ตั้ง 0-1.0 เหมือนกับค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ แต่การกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการเกิดมิวเตชันต่ำๆจะทำให้ประสิทธิภาพของGAsดีขึ้น (DeJong's,1975) นอกจากนี้การกำหนดค่ามิวเตชันที่สูงมากๆก็อาจมีผลให้การทำงานของ GAs คล้ายกับ Random search มากขึ้นด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ระดับปัจจัยของการเกิดมิวเตชันที่ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4

5.1.4 การพิจารณาผลกระทบร่วมกันของระดับปัจจัย

ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) เกิดขึ้นเมื่อผลตอบสนองในแต่ละระดับของปัจจัยหนึ่งๆมีค่าไม่เท่ากันเมื่ออีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนระดับ การเกิดผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยชี้ให้เห็นถึงผลของปัจจัยหนึ่งที่มีต่ออีกปัจจัยหนึ่ง

ผลกระทบร่วมที่อาจเกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้หลายระดับได้แก่

1) ผลกระทบร่วมระดับที่หนึ่ง (1^{st} Level Interaction) หมายถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ผลกระทบร่วมของปัจจัย จำนวนประชากร-วิธีการครอสโอเวอร์ หรือ วิธีการครอสโอเวอร์-ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน

2) ผลกระทบร่วมระดับที่สอง (2^{st} Level Interaction) หมายถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 3 ปัจจัย เช่น ผลกระทบร่วมของปัจจัย จำนวนประชากร*วิธีการครอสโอเวอร์*Pc หรือ วิธีการครอสโอเวอร์*ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน*Pc

3) ผลกระทบร่วมระดับที่สาม (3^{st} Level Interaction) หมายถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 4 ปัจจัย เช่น ผลกระทบร่วมของปัจจัย จำนวนประชากร*วิธีการครอสโอเวอร์*Pc*Pm ซึ่งเป็นผลกระทบร่วมระดับสูงที่สุดในการทดลองที่มี 4 ปัจจัยนี้

แต่เนื่องจากว่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยในระดับสูงๆจะไม่ค่อยนำมาพิจารณา (Montgomery,DC.,1997) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยในระดับที่หนึ่งเท่านั้น ได้แก่

- ผลกระทบร่วมระหว่าง จำนวนประชากร(Population size) กับ วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover methods)
- ผลกระทบร่วมระหว่าง จำนวนประชากร(Population size) กับ วิธีความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover Probability: Pc)
- ผลกระทบร่วมระหว่าง จำนวนประชากร(Population size) กับ วิธี

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation Probability: Pm)

- ผลกระทบร่วมระหว่าง วิธีการครอสโอเวอร์(Crossover methods) กับ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover Probability: Pc)
- ผลกระทบร่วมระหว่าง วิธีการครอสโอเวอร์(Crossover methods) กับ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation Probability: Pm)
- ผลกระทบร่วมระหว่าง ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover probability: Pc) กับ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation Probability: Pm)

5.2 การออกแบบการทดลอง

5.2.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการสำหรับแต่ละชุดการทดลอง (Treatment combinations)

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการสำหรับแต่ละชุดการทดลองจำนวน 3 ค่า กล่าวคือ เป็นการรันโปรแกรมของ GAs ทั้งหมด 3 ครั้ง (Replication = 3)โดยในแต่ละครั้งจะได้ค่าผลตอบสนองที่ต้องการทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ(Material loss) ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบที่ดีที่สุด (Generation number) ภายใต้จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่กำหนด และ ค่าสุดท้าย คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้น (ในหน่วย: วินาที)

5.2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง

การทดลองที่ใช้เป็นการทดลองแบบ Full Factorial Design ซึ่งมีปัจจัยในการพิจารณาทั้งหมด 4 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีระดับของปัจจัยไม่เท่ากัน และมีค่าผลตอบสนอง 3 ประเภท คือ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบซึ่งจะใช้เป็นผลตอบสนองสำหรับการทดลองในขั้นที่ 1 ลำดับที่ของเจนเนอเรชันซึ่งจะใช้เป็นผลตอบสนองสำหรับการทดลองในขั้นที่ 2 และ ระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งจะใช้เป็นผลตอบสนองสำหรับการทดลองในขั้นที่ 3 ในกระบวนหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ GAs ภายใต้โครงสร้างของปัญญาที่ศึกษา

ปัจจัย	จำนวนระดับของปัจจัย	ค่าระดับของปัจจัย(ทั้งผลิตภัณฑ์ A และ B)
1. จำนวนประชากร (Population size)	3	10-20-30
2.วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover methods)	3	■ 1-Point crossover ■ 2-Point crossover ■ Uniform crossover
3. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	4	Pc = 0.7 Pc = 0.8 Pc = 0.9 Pc = 1.0
4. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Pm)	4	Pm = 0.1 Pm = 0.2 Pm = 0.3 Pm = 0.4

หมายเหตุ: ในการวิเคราะห์ด้วย Minitab version 11.12 จะใช้เลข 1-3 แทน วิธีการครอสโอเวอร์แบบต่างๆ

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 การทดลองใหญ่ๆ โดยแยกตามผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

การทดลองที่ 1 การหาพารามิเตอร์ของ GAs ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ A ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบสำหรับผลิตภัณฑ์นี้

- ค่าแพดต่อสตริป: 396 - 900
- ค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิต: 7920 - 15840 Dies/lot
- ยอดสั่งผลิต: 146,999 Dies/lot
- จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่ใช้ : 2500

ดังนั้น จำนวน Treatment combinations ทั้งหมด เท่ากับ 3x3x4x4 = 144 และมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด เท่ากับ จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด x จำนวนการทวนซ้ำ (Replicates) x จำนวนผลตอบสนอง = 144 x 3 x 3 = 1296 ข้อมูล

<u>การทดลองที่ 2</u> การหาพารามิเตอร์ของ GAs ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ B ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบสำหรับผลิตภัณฑ์นี้

- ค่าแพดต่อสตริป: 168 - 400
- ค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิต: 3360-6720 Dies/lot
- ยอดสั่งผลิต : 34,301 Dies/lot
- จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่ใช้ : 2500

ดังนั้น จำนวน Treatment combinations ทั้งหมด เท่ากับ 3x3x4x4 = 144 และมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด เท่ากับ จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด x จำนวนการทวนซ้ำ(Replicates) x จำนวนผลตอบสนอง = 144 x 3 x 3 = 1296 ข้อมูล

5.2.3 การเก็บรวบข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากทดลองสำหรับแต่ละชุดการทดลองจะถูกบันทึกไว้ในแบบฟอร์ม ดังเช่น ภาคผนวก ฉ

5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะแบ่งออกตามการทดลองที่ 1 และ 2 ของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยมีขั้นตอนของการวิเคราะห์ผล เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้

1. ใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ เป็นผลตอบสนอง(Response) ในขั้นที่ 1 การวิเคราะห์จะใช้วิธี ANOVA เพื่อวิเคราะห์ดูว่าความแปรปรวนของผลตอบสนองมีอิทธิพลมาจากปัจจัยต่างๆปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งที่เลือกมาทดลองหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองแล้ว จะดำเนินการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อโดยใช้วิธี Ducan's Multiple Range Test เพื่อวิเคราะห์ดูว่าระดับต่างๆของ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองนั้น มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ระดับมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับระดับอื่นๆในปัจจัยเดียวกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หากดำเนินการวิเคราะห์โดยวิธีดังกล่าวนี้แล้วพบว่า มีอยู่หลายระดับที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองไม่แตกต่างกัน หรือ กล่าวคือ ยังไม่มีระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพียงระดับเดียวแล้ว เราจะเลือกเฉพาะกลุ่มของระดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนองขั้นที่หนึ่งไปดำเนินการวิเคราะห์ต่อในขั้นที่สอง แต่จะเปลี่ยนผลตอบสนองเป็นลำดับที่ของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่ดีที่สุด (ภายใต้จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด)

2. ใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่ดีที่สุด เป็นผลตอบสนอง เมื่อยังไม่ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดได้ในขั้นที่หนึ่ง โดยจะใช้วิธีการวิเคราะห์ ANOVA และ Ducan's Multiple Range Test เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1

3. ใช้ค่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด เป็นผลตอบสนอง เมื่อยังไม่ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยจะใช้วิธีการวิเคราะห์ ANOVA และ Ducan's Multiple Range Test เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1

4. กรณีที่ยังไม่สามารถหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลเมื่อดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 2 และ 3 แล้ว การตัดสินใจขั้นสุดท้ายจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่ต่ำที่สุดเป็นสำคัญ เพราะในปัญหาแบบ Simulation based optimization นี้ ในเจนเนอเรชันหนึ่งๆของ GAs จะมีการเรียก Simulation model ให้รันและส่งผลลัพธ์กลับมาหลายครั้ง กล่าวคือ การประเมินค่า (Evaluate) ของสมการเป้าหมาย (Objective function) ของ GAs หนึ่งครั้ง จะหมายถึง การสั่งให้แบบจำลองรันหนึ่งครั้ง ซึ่งต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับ Run length และ Replication ของแบบจำลองนั้นๆด้วย ดังนั้น ระดับของปัจจัยที่ให้คำตอบที่เจนเนอเรชันต่ำๆจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากในด้านการลดเวลาในการประมวลผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

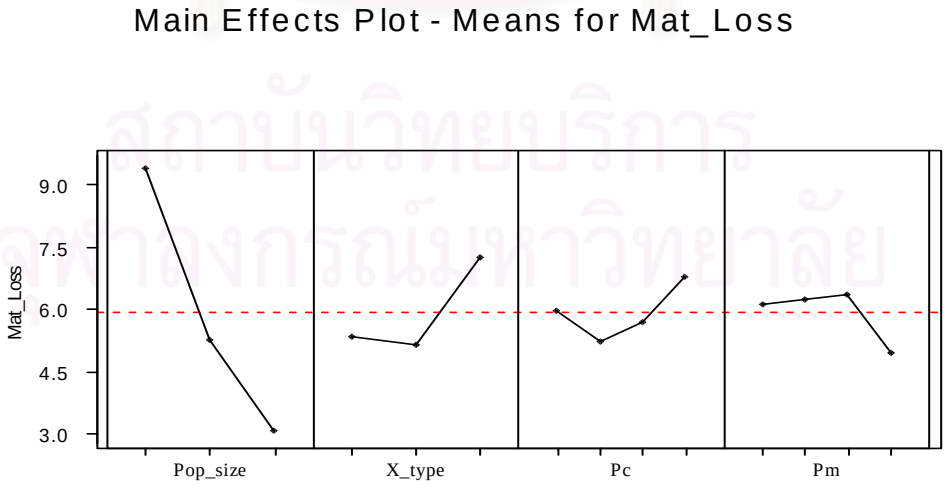
5.3.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ A

5.3.1.1 เมื่อใช้ค่า มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ(Material Loss) เป็นผลตอบสนอง

5.3.1.1.1 การวิเคราะห์ด้วย ANOVA โดยใช้โปรแกรม Minitab

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pop_size	2	2930.81	2930.81	1465.41	48.63	0.000
X_type	2	395.74	395.74	197.87	6.57	0.002
Pc	3	143.34	143.34	47.78	1.59	0.192
Pm	3	136.29	136.29	45.43	1.51	0.212
Pop_size*X_type	4	161.88	161.88	40.47	1.34	0.253
Pop_size*Pc	6	204.47	204.47	34.08	1.13	0.343
Pop_size*Pm	6	50.34	50.34	8.39	0.28	0.947
X_type*Pc	6	289.36	289.36	48.23	1.60	0.146
X_type*Pm	6	160.99	160.99	26.83	0.89	0.502
Pc*Pm	9	353.26	353.26	39.25	1.30	0.234
Error	384	11570.91	11570.91	30.13		
Total	431	16397.38				

รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับผลิตภัณฑ์ A



รูปที่ 5.4 แสดง Main Effect Plot เมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง

จากการวิเคราะห์ผลจากตาราง ANOVA ข้างต้นพบว่า Population size และ Crossover type มีอิทธิพลต่อมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ (Material Loss) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และพบว่าไม่มีอิทธิพลเนื่องจากผลกระทบร่วม (Interaction)

โดยการวิเคราะห์กราฟ รูปที่ 5.4 ข้างต้นนี้ เมื่อเราพิจารณาเฉพาะ Main Effect Plot ของ Population size และ Crossover type ซึ่งพบว่า เมื่อเราใช้ค่าจำนวนประชากรสูงขึ้นมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยจะต่ำลงมากกว่าเมื่อใช้จำนวนประชากรที่น้อยๆ ในการทดลองนี้ ขนาดประชากร เท่ากับ 30 ให้ค่าต่ำที่สุด ในส่วนของ Crossover type หรือ ประเภทของการครอสโอเวอร์นั้น พบว่า 2-Point crossover ให้ค่าผลตอบสนองที่ต่ำที่สุด

5.3.1.1.2 การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS 10.0

- สำหรับ Population size : จะได้ว่าที่ ขนาดของประชากรเท่ากับ 30 จะให้ค่าเฉลี่ยของมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำที่สุด ดังนั้น เราจึงเลือกใช้ค่า Population size = 30

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Population size ด้วยวิธี Ducant's Multiple Range Test

MAT_LOSS

Duncan[a]

POP_SIZE	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	144	3.1067		
20.00	144		5.2648	
10.00	144			9.3854
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 144.000.

- สำหรับประเภทของการครอสโอเวอร์ : พบว่าการครอสโอเวอร์แบบ 1-Point และ 2-Point ให้ค่าความเหมาะสมไม่ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่แบบ Uniform crossover ให้ค่าความเหมาะสมสูงที่สุด ดังนั้น จึงตัดออกจากการพิจารณา

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Crossover types ด้วยวิธี Ducant's Multiple Range Test

MAT_LOSS

Duncan[a]

X_TYPE	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2.00	144	5.1402	
1.00	144	5.3495	
3.00	144		7.2671
Sig.		.771	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 144.000.

5.3.1.2 เมื่อใช้ ลำดับที่ของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง

ระดับของปัจจัยที่เหลือในการพิจารณาในขั้นตอนนี้ได้แก่

Crossover type : 1-Point และ 2-Point

Pc : 0.7,0.8,0.9 และ 1.0

Pm : 0.1,0.2,0.3 และ 0.4

5.3.1.2.1 การวิเคราะห์ด้วย ANOVA โดยใช้โปรแกรม MiniTab

Analysis of Variance for Gen_no

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_type	1	85871	85871	85871	0.16	0.690
Pc	3	472912	472912	157637	0.29	0.830
Pm	3	911385	911385	303795	0.57	0.638
X_type*Pc	3	1262838	1262838	420946	0.78	0.504
X_type*Pm	3	2179241	2179241	726414	1.35	0.258
Pc*Pm	9	6790790	6790790	754532	1.40	0.186
Error	265	142394322	142394322	537337		
Total	287	154097358				

รูปที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA จากโปรแกรม MiniTab เมื่อใช้ผลตอบสนองเป็นลำดับที่ของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า Crossover type ไม่มีอิทธิพลต่อลำดับที่เจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำ Duncan's Multiple Range Test ต่อ

5.3.1.3 เมื่อใช้ ค่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเป็นผลตอบสนอง

ระดับของปัจจัยที่เหลือในการพิจารณาในขั้นตอนนี้ได้แก่

Crossover type : 1-Point และ 2-Point

Pc : 0.7,0.8,0.9 และ 1.0

Pm : 0.1,0.2,0.3 และ 0.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Analysis of Variance for Time_found

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_type	1	518.6	518.6	518.6	0.77	0.382
Pc	3	327.8	327.8	109.3	0.16	0.922
Pm	3	467.7	467.7	155.9	0.23	0.875
X_type*Pc	3	612.6	612.6	204.2	0.30	0.824
X_type*Pm	3	985.5	985.5	328.5	0.49	0.693
Pc*Pm	9	6106.9	6106.9	678.5	1.00	0.438
Error	265	179285.7	179285.7	676.5		
Total	287	188304.6				

รูปที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA จากโปรแกรม MiniTab เมื่อใช้ผลตอบสนองเป็นเวลาที่ใช้ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า Crossover type ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำ Duncan's Multiple Range Test ต่อ

อย่างไรก็ตามเรา จากการวิเคราะห์ข้างต้นเราก็ยังไม่สามารถหาระดับของปัจจัย Crossover type ที่เหมาะสมได้ ดังนั้น เราจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่มีค่าต่ำที่สุดซึ่งได้ผลสรุปดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าเฉลี่ยของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบ

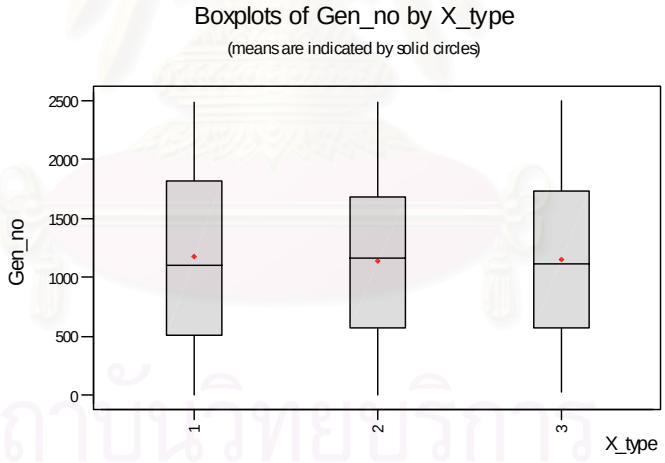
Crossover type:	1-Point	1179.7
	2-Point	1145.2 (เลือก)
	Uniform	1155.7

Individual 95% CIs For Mean

Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	--+---------+---------+---------+----
1	144	1179.7	779.5	(----------*----------)
2	144	1145.2	685.1	(----------*----------)
3	144	1155.7	716.0	(----------*----------)
				--+---------+---------+---------+----

Pooled StDev = 727.9 1040 1120 1200 1280



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Crossover types (ผลิตภัณฑ์ A)

ค่าเฉลี่ยของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบ

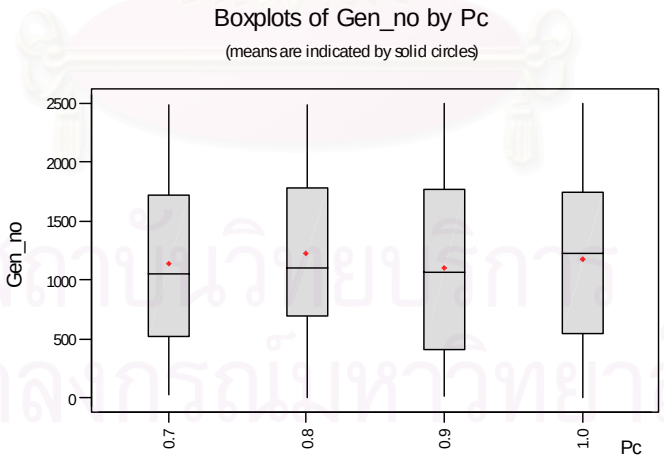
Crossover Probability:	Pc = 0.7	1135.8
	Pc = 0.8	1221.0
	Pc = 0.9	1105.3 (เลือก)
	Pc = 1.0	1178.8

Individual 95% CIs For Mean

Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	----------+---------+---------+------
0.7	108	1135.8	747.1	(----------*----------)
0.8	108	1221.0	692.6	(----------*----------)
0.9	108	1105.3	756.2	(----------*----------)
1.0	108	1178.8	712.7	(----------*----------)

Pooled StDev = 727.6 ----------+---------+---------+------ 1080 1200 1320



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Crossover probability-Pc (ผลิตภัณฑ์ A)

ค่าเฉลี่ยของเจนเนอเรชันที่พบคำตอบ

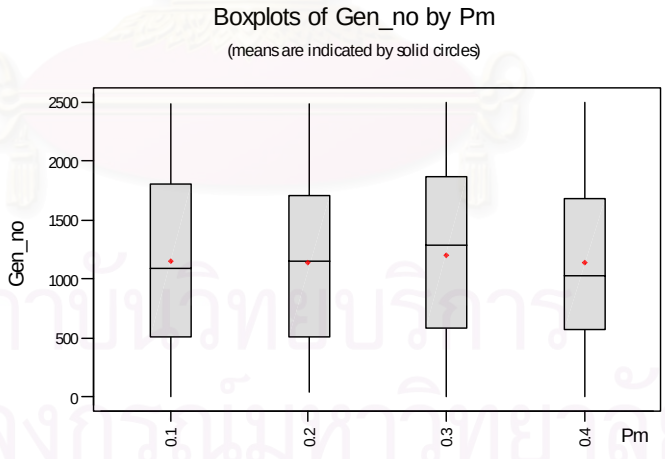
Mutation Probability:	Pm = 0.1	1147.9
	Pm = 0.2	1143.2 (เลือก)
	Pm = 0.3	1204.7
	Pm = 0.4	1145.1

Individual 95% CIs For Mean

Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	----------+---------+---------+------
0.1	108	1147.9	734.4	(----------*----------)
0.2	108	1143.2	693.8	(----------*----------)
0.3	108	1204.7	744.1	(----------*----------)
0.4	108	1145.1	740.5	(----------*----------)

Pooled StDev = 728.5 ----------+---------+---------+------ 1100 1200 1300



รูปที่ 5.9 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Mutation probability-Pm (ผลิตภัณฑ์ A)

ตารางที่ 5.4 สรุประดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (ทั้ง ANOVA และ Ducant's multiple range test) สำหรับผลิตภัณฑ์ A

ปัจจัย	**ระดับปัจจัยที่เหมาะสม**		
	มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ (บาท/คำสั่งผลิต) (การวิเคราะห์ขั้นที่ 1)	**เจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสม (Gen) (การวิเคราะห์ขั้นที่ 2)**	**เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสม (วินาที) (การวิเคราะห์ขั้นที่ 3)**
จำนวนประชากร	30	ไม่ทดสอบ	ไม่ทดสอบ
วิธีการครอสโอเวอร์	1-Point และ 2-Point	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์(Pc)	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Pm)	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล

สรุปพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายของ GAs สำหรับผลิตภัณฑ์ A

- จำนวนประชากร : 30
- วิธีการครอสโอเวอร์ : 2-Point Crossover (Avg.Generation = 1145.2)
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9 (Avg.Generation = 1105.3)
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.2 (Avg.Generation = 1143.2)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ B

5.3.2.1 เมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง

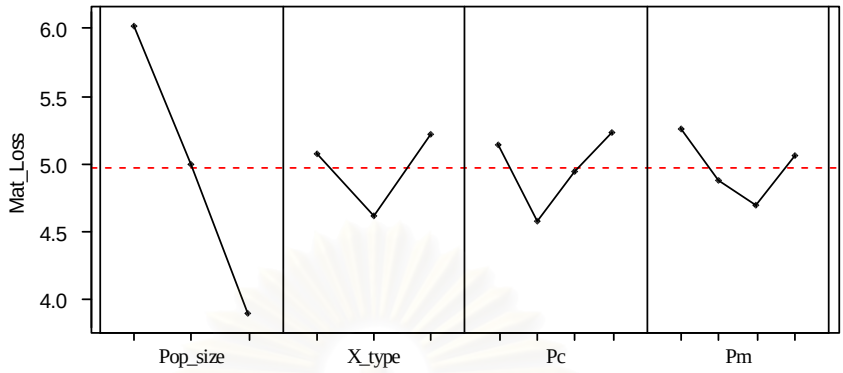
5.3.2.1.1 การวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้โปรแกรม MiniTab

Analysis of Variance for Mat_Loss

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pop_size	2	319.847	319.847	159.923	23.87	0.000
X_type	2	28.601	28.601	14.300	2.13	0.120
Pc	3	27.631	27.631	9.210	1.37	0.250
Pm	3	18.725	18.725	6.242	0.93	0.425
Pop_size*X_type	4	28.939	28.939	7.235	1.08	0.366
Pop_size*Pc	6	35.774	35.774	5.962	0.89	0.502
Pop_size*Pm	6	37.945	37.945	6.324	0.94	0.463
X_type*Pc	6	54.616	54.616	9.103	1.36	0.230
X_type*Pm	6	31.022	31.022	5.170	0.77	0.592
Pc*Pm	9	70.633	70.633	7.848	1.17	0.312
Error	384	2572.209	2572.209	6.698		
Total	431	3225.940				

รูปที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA เมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 แสดงกราฟ Main Effect ของปัจจัยต่างๆเมื่อใช้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นผลตอบสนอง

จากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA ข้างต้นนี้ พบว่า มีเพียงปัจจัย Population size เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

5.3.2.1.2 การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS 10.0 เพื่อหาว่าค่า Population size เท่าใดที่ให้ค่าผลตอบสนองต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Population size ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (ผลิตภัณฑ์ B)

MAT_LOSS

Duncan[a]

POP_SIZE	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
30.00	144	3.9080		
20.00	144		5.0027	
10.00	144			6.0152
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 144.000.

จากการวิเคราะห์ตาราง 5.5 ข้างต้นนี้ พบว่าค่า Population size = 30 ให้ค่าผลตอบสนองต่ำที่สุด ดังนั้น จึงเลือกค่านี้

5.3.2.2 เมื่อใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง

ในขั้นตอนนี้เราจะเหลือปัจจัยที่ต้องการทดสอบ คือ

Crossover type : 1-Point, 2-Point,Uniform

Pc : 0.7,0.8,0.9,1.0

Pm : 0.1,0.2,0.3,0.4

5.3.2.2.1 วิเคราะห์ ANOVA เมื่อใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง

Analysis of Variance for Gen_no

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_type	2	73333	73333	36667	0.07	0.932
Pc	3	2968590	2968590	989530	1.89	0.130
Pm	3	4562577	4562577	1520859	2.91	0.034
X_type*Pc	6	625263	625263	104211	0.20	0.977
X_type*Pm	6	4962734	4962734	827122	1.58	0.151
Pc*Pm	9	7244647	7244647	804961	1.54	0.132
Error	402	210255829	210255829	523024		
Total	431	230692973				

รูปที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยต่างๆเมื่อใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B)

จากการวิเคราะห์ ANOVA ข้างต้นนี้ พบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน(Pm) มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95%

5.3.2.2.2 การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS 10.0 เพื่อหาว่าค่า Pm เท่าใดที่ให้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุด น้อยที่สุด

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัย Pm เมื่อใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B)

GEN

Duncan [a]

PM	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
.10	108	930.0370	
.40	108	962.9167	
.20	108	1046.0093	1046.0093
.30	108		1195.9907
Sig.		.272	.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 108.000.

จากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่า ที่ระดับ Pm = 0.1,0.4 และ 0.2 ให้ค่าจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดไม่แตกต่างกัน ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น เราจึงตัด Pm = 0.3 ออกจากการพิจารณาในขั้นต่อไป

5.3.2.3 เมื่อใช้ค่าเวลาที่ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง

ในขั้นตอนนี้เราจะเหลือปัจจัยที่ต้องการทดสอบ คือ

Crossover type : 1-Point, 2-Point,Uniform

Pc : 0.7,0.8,0.9,1.0

Pm : 0.1,0.2,0.4

5.3.2.3.1 วิเคราะห์ ANOVA

Analysis of Variance for Time_found

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_type	2	878.7	878.7	439.4	1.36	0.258
Pc	3	877.9	877.9	292.6	0.91	0.438
Pm	2	317.3	317.3	158.7	0.49	0.612
X_type*Pc	6	862.1	862.1	143.7	0.45	0.848
X_type*Pm	4	487.4	487.4	121.9	0.38	0.825
Pc*Pm	6	2194.8	2194.8	365.8	1.13	0.343
Error	300	96812.0	96812.0	322.7		
Total	323	102430.3				

รูปที่ 5.13 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับปัจจัยต่างๆเมื่อใช้ค่าเวลาที่ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B)

จากการวิเคราะห์ ANOVA ข้างต้นนี้ พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีอิทธิพลต่อค่าเวลาที่ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

5.3.2.4 ใช้ค่าเฉลี่ยของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบที่เหมาะสมเป็นผลตอบสนอง

เนื่องจาก การวิเคราะห์ที่ผ่านมาเรายังไม่สามารถหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้ ดังนั้น เราจึงต้องพิจารณาค่าเฉลี่ยของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบที่เหมาะสมเป็นค่าตอบสนองในขั้นตอนสุดท้าย โดยมีปัจจัยที่เหลือดังนี้

Crossover type : 1-Point, 2-Point,Uniform

Pc : 0.7,0.8,0.9,1.0

Pm : 0.1,0.2,0.4

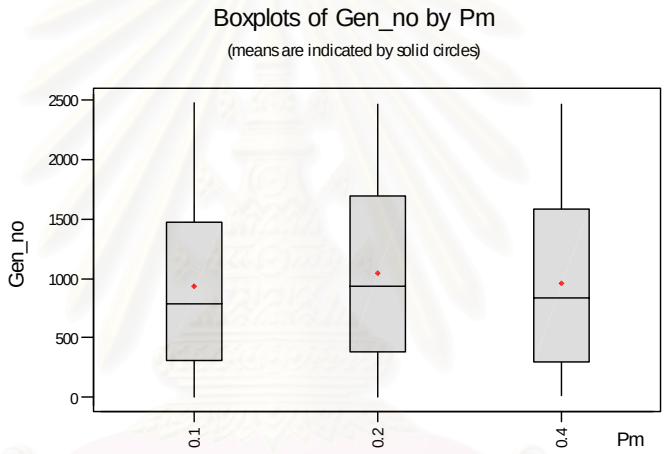
Individual 95% CIs For Mean

Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	----+---------+---------+---------+--
0.1	108	930.0	692.9	(----------*----------)
0.2	108	1046.0	747.2	(----------*----------)
0.4	108	962.9	719.3	(----------*----------)

----+---------+---------+---------+--

Pooled StDev = 720.1 840 960 1080 1200



รูปที่ 5.14 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Pm โดยไม่คิดที่ Pm = 0.3 (ผลิตภัณฑ์ B)

จากการวิเคราะห์ในรูปที่ 5.14 ข้างต้นนี้ เราเลือก Pm = 0.1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมต่ำที่สุด ที่ 930 เจนเนอเรชัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

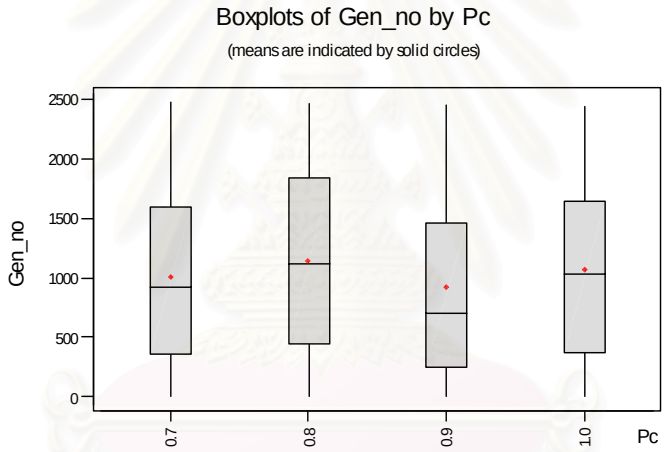
Individual 95% CIs For Mean

Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	---------+---------+---------+-------
0.7	108	1010.1	734.3	(--------*---------)
0.8	108	1146.1	726.9	(--------*---------)
0.9	108	917.4	730.2	(--------*--------)
1.0	108	1061.4	726.2	(--------*--------)

---------+---------+---------+-------

Pooled StDev = 729.4 900 1050 1200



รูปที่ 5.15 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Pc เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B)

จากการวิเคราะห์ในรูปที่ 5.15 ข้างต้นนี้ เราเลือก Pc = 0.9 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมต่ำที่สุด ที่ 917.4 เจนเนอเรชัน

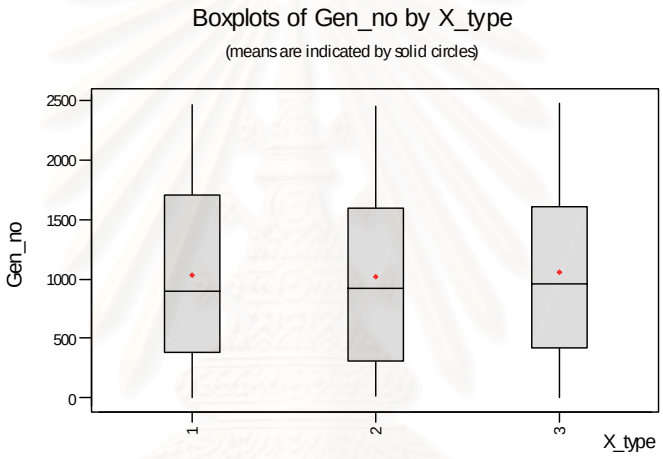
Individual 95% CIs For Mean

Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	--------+---------+---------+--------
1	144	1026.6	746.8	(--------------*--------------)
2	144	1022.6	744.7	(--------------*--------------)
3	144	1052.0	707.4	(--------------*--------------)

--------+---------+---------+--------

Pooled StDev = 733.2 960 1040 1120



รูปที่ 5.16 แสดงกราฟ Box plot สำหรับปัจจัย Crossover types เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมเป็นผลตอบสนอง (ผลิตภัณฑ์ B)

จากการวิเคราะห์ในรูปที่ 5.16 ข้างต้นนี้ เราเลือก 2-Point crossover ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสมต่ำที่สุด ที่ 1122.6 เจนเนอเรชัน

ตารางที่ 5.7 สรุประดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (ทั้ง ANOVA และ Ducant's multiple range test) สำหรับผลิตภัณฑ์ B

ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม		
	มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ (บาท/คำสั่งผลิต) (การวิเคราะห์ขั้นที่ 1)	**เจนเนอเรชันที่พบคำตอบที่เหมาะสม (Gen) (การวิเคราะห์ขั้นที่ 2)**	**เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสม (วินาที) (การวิเคราะห์ขั้นที่ 3)**
จำนวนประชากร	30	ไม่ทดสอบ	ไม่ทดสอบ
วิธีการครอสโอเวอร์	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์(Pc)	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล	ไม่มีอิทธิพล
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Pm)	ไม่มีอิทธิพล	Pm = 0.1 Pm = 0.2 Pm = 0.3 ถูกตัดออก Pm = 0.4	ไม่มีอิทธิพล

สรุปพารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายของ GAs สำหรับผลิตภัณฑ์ B

- จำนวนประชากร : 30
- วิธีการครอสโอเวอร์ : 2-Point Crossover (Avg.Generation = 1122.6)
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9 (Avg.Generation = 917.4)
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.1 (Avg.Generation = 930.0)

5.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้กับเจเนติกอัลกอริทึมข้างต้นสรุปได้ดังนี้ คือ

- **พารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายของ GAs สำหรับผลิตภัณฑ์ A**
  - จำนวนประชากร : 30
  - วิธีการครอสโอเวอร์ : 2-Point Crossover
  - ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9
  - ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.2
- **พารามิเตอร์ขั้นสุดท้ายของ GAs สำหรับผลิตภัณฑ์ B**
  - จำนวนประชากร : 30
  - วิธีการครอสโอเวอร์ : 2-Point Crossover
  - ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9
  - ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การจำลองแบบปัญหา

ในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการจำลองแบบปัญหามาประยุกต์ใช้ในการศึกษาระบบงานจริงซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly line) โดยโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตแผงวงจรรวมหรือไอซี มีผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มของไอซียุคใหม่ทั้งหมด 18 แบบ แต่ในที่นี้เลือกมาศึกษาเพียงสองผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ A และ ผลิตภัณฑ์ B โดยในแต่ละผลิตภัณฑ์จะใช้สายการผลิตเดียวกัน แต่ต่างกันที่ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร ขนาดหรือข้อกำหนดสำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และ เวลาในการผลิต (Processing time) เป็นต้น

สายการผลิตที่ดำเนินการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ใหญ่ๆคือ Assembly line และ EOL(End of Line)

6.1 การกำหนดปัญหา และการให้คำจำกัดความของระบบงาน

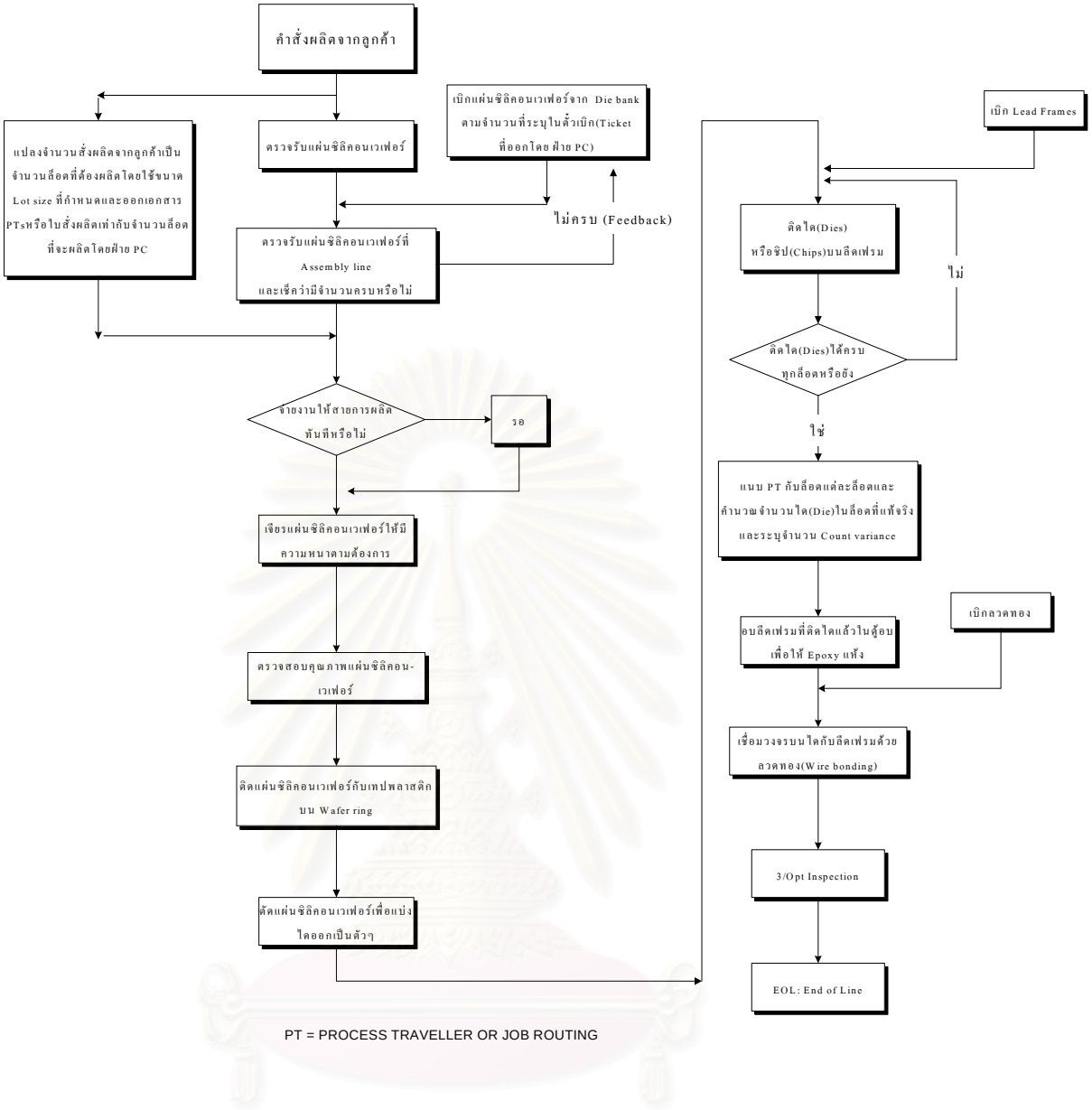
- จุดประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้ คือ การลดการสูญวัตถุดิบในรูปของลีดเฟรม
- ระบบงานที่ศึกษา คือ ส่วนของสายการประกอบ (Assembly line) และ ส่วนของ EOL (End of Line) โดยมีองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัว และกิจกรรมของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 6.1 นอกจากนี้ยังได้แสดงผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบงาน (Flow chart) ไว้ด้วย ดังรูปที่ 6.1 แสดง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 แสดงองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัว และกิจกรรมของระบบงานที่ศึกษา

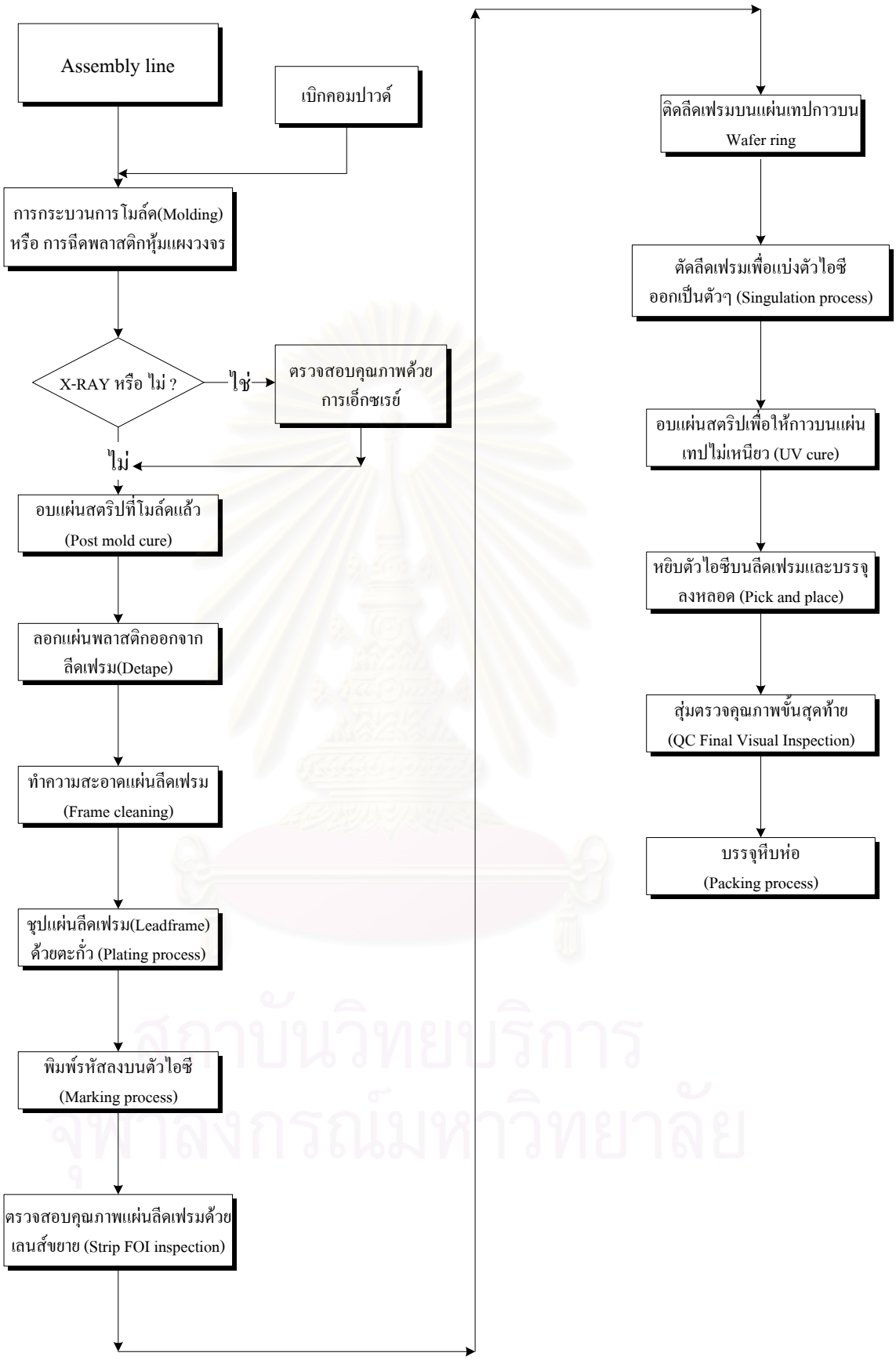
องค์ประกอบ	ลักษณะเฉพาะตัว	กิจกรรม
คำสั่งผลิต	ปริมาณสั่งผลิต สายการผลิต ประเภทของผลิตภัณฑ์ ขนาดของแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์(6 นิ้ว หรือ 8 นิ้ว)	คอย อยู่ระหว่างการผลิต (WIP)
ล็อต	หมายเลขล็อต จำนวนได(Dies) ในล็อต ค่า Flowtime ค่าการสูญเสียวัตถุดิบ (Material loss) จำนวนตัวไอซีที่มีข้อบกพร่อง	คอย ถูกผลิต
เครื่องจักร	ชนิดเครื่องจักร เวลาที่ใช้ในการผลิต เวลาที่เครื่องจักรเสีย(MTBF) เวลาที่ใช้ในการซ่อม(MTTR)	ทำงาน(Busy) ว่าง(Idle) เสีย (Failed)
พนักงานตรวจสอบ	เวลาในการตรวจสอบ	ทำงาน ว่าง
แถวคอย	จำนวนล็อตในแถว ลำดับความสำคัญ	มีล็อตในแถว ว่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 แสดงขั้นตอนการผลิตแผงวงจรรวม (ส่วนของ Assembly line)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

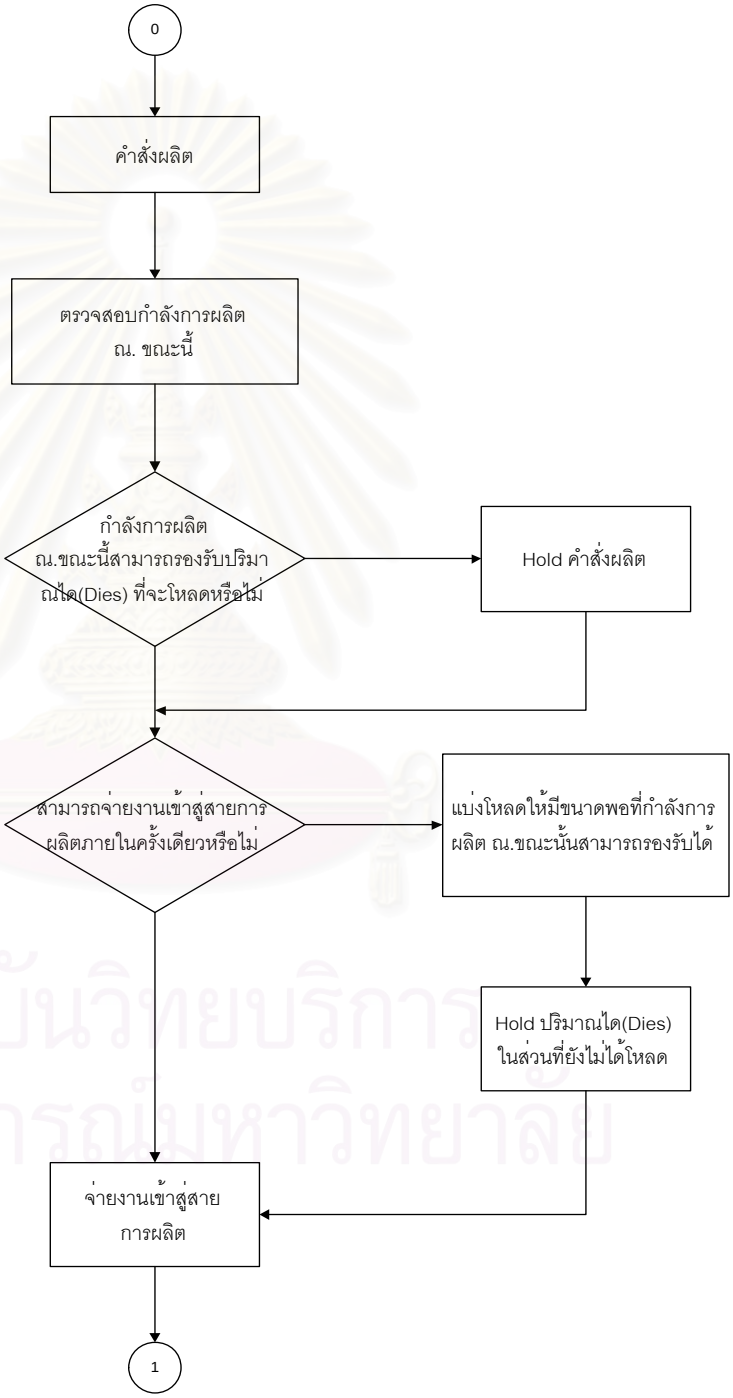


รูปที่ 6.2 แสดงขั้นตอนการผลิตแผงวงจรรวม (ส่วนของ EOL: End of Line)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

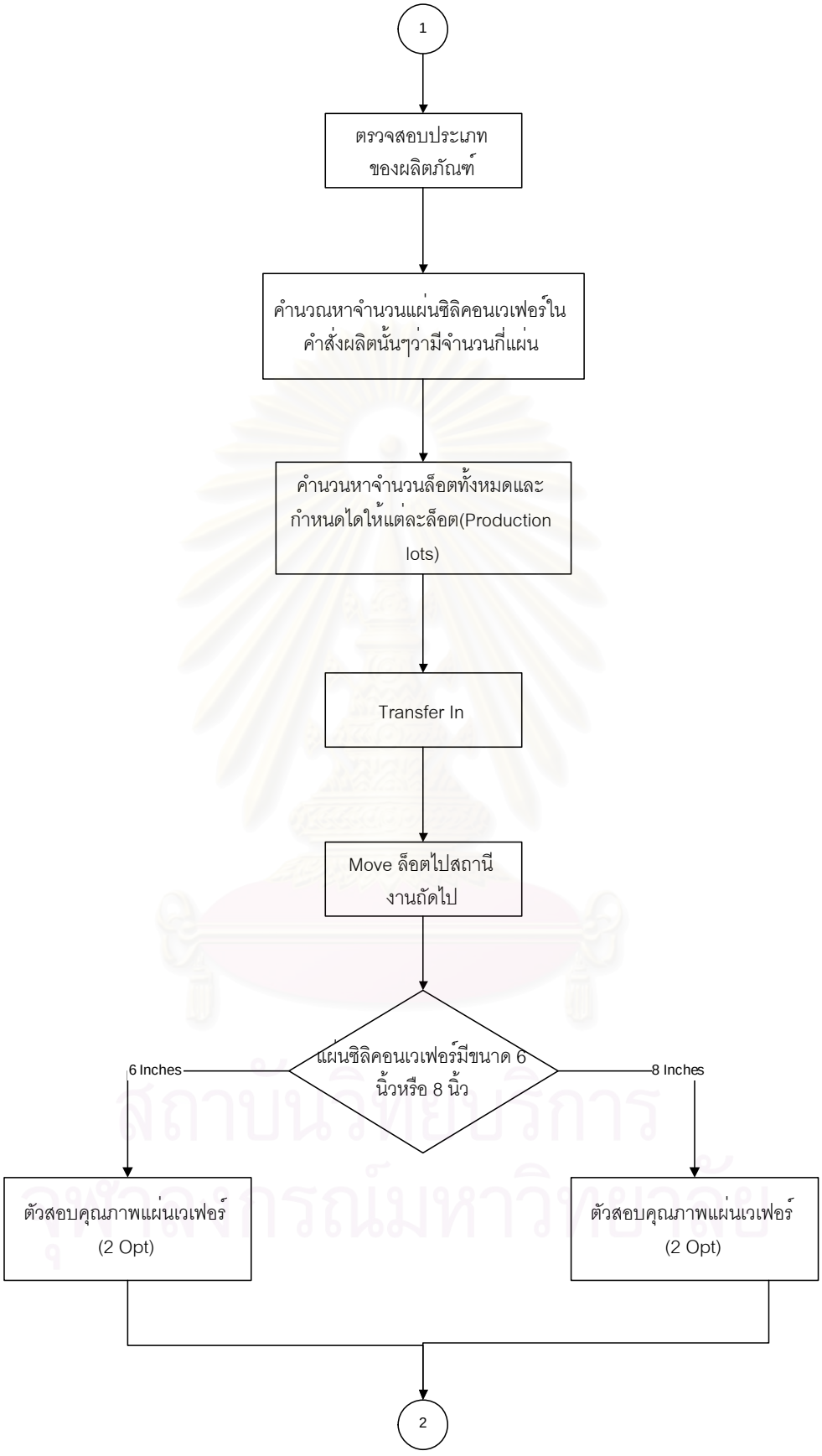
6.2 การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองในงานวิศวกรรมมีอยู่หลายประเภทแต่ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer simulation model) โดยมีผังงานการทำงานของระบบ (Model Logic) ดังนี้

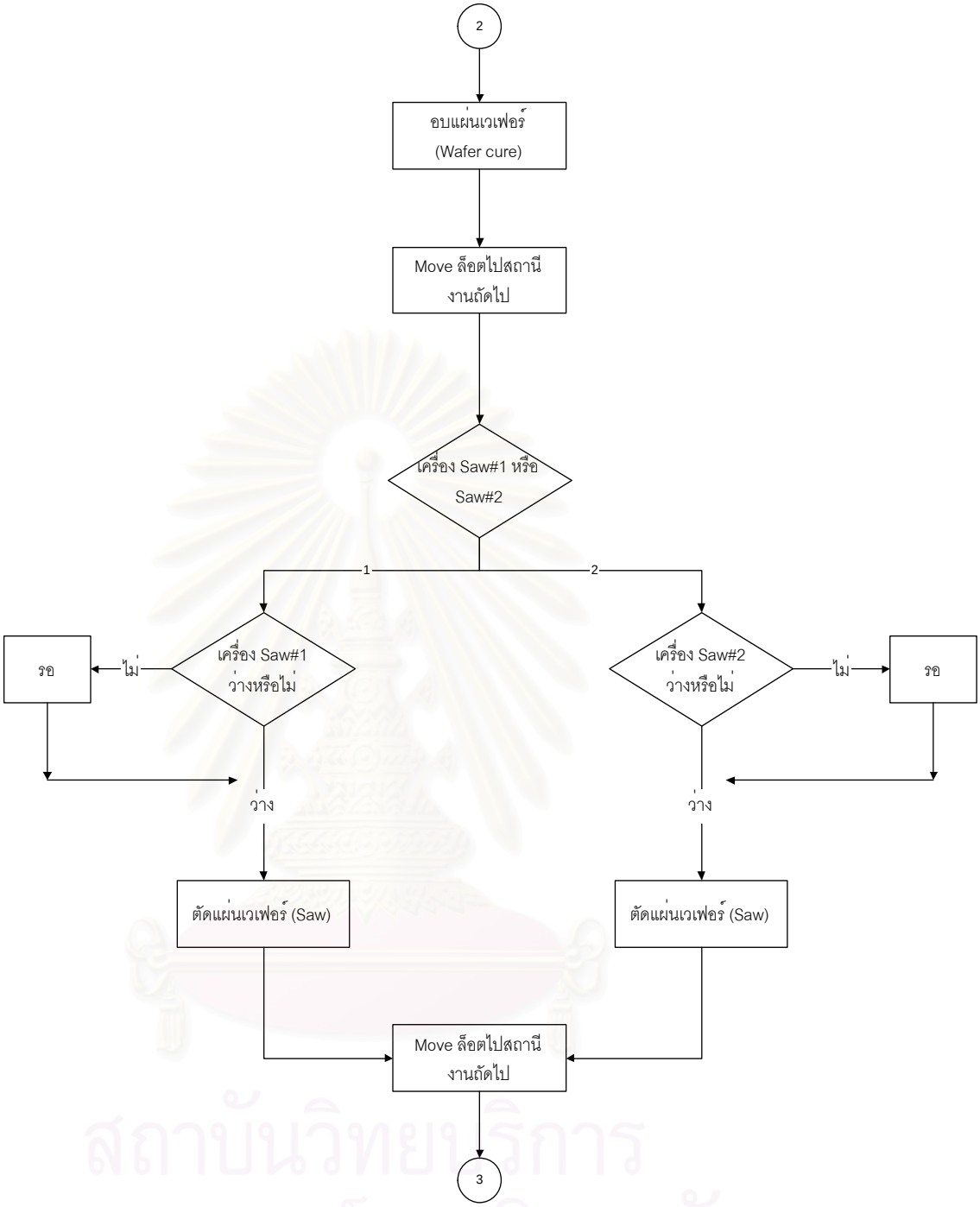


รูปที่ 6.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

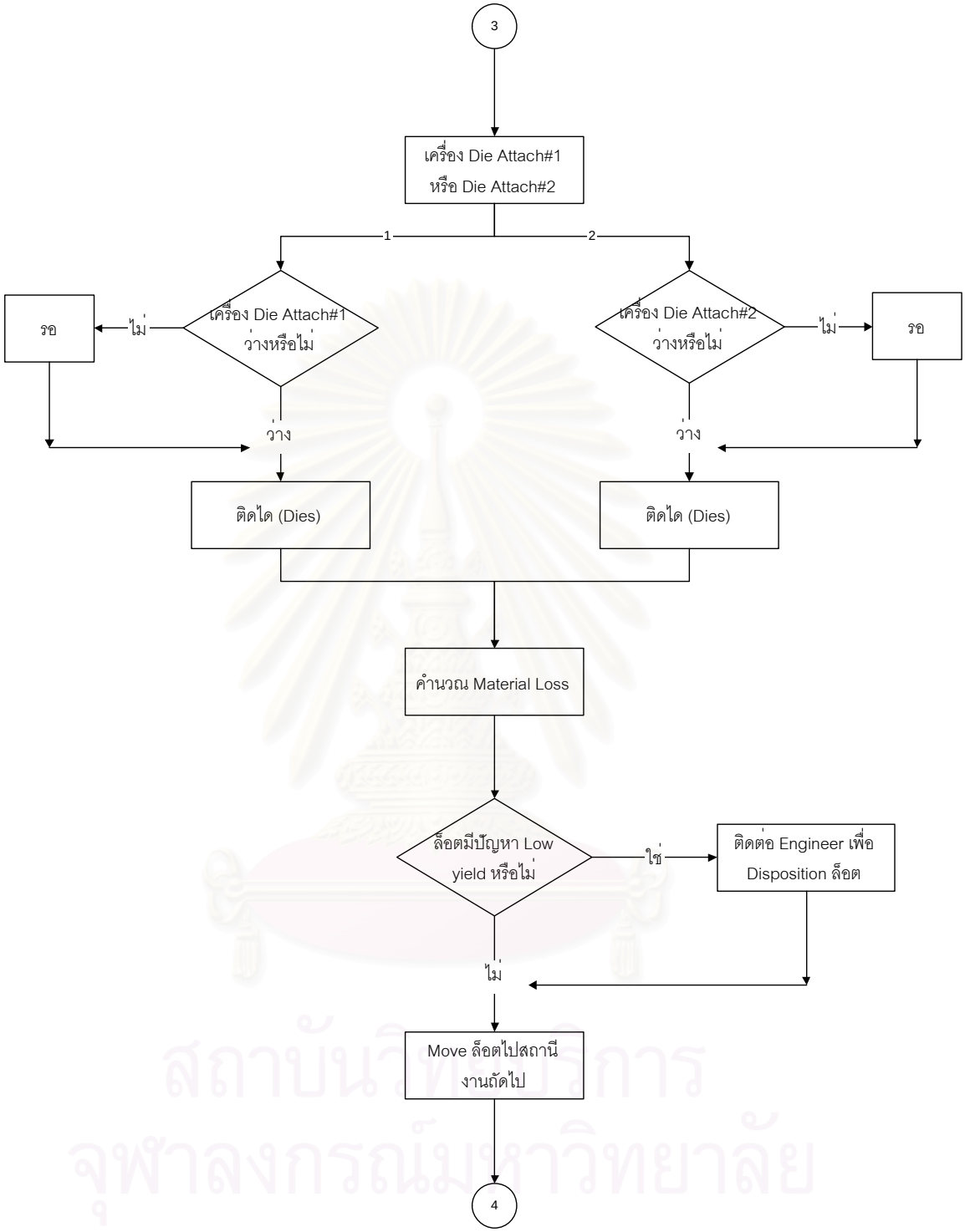


รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)



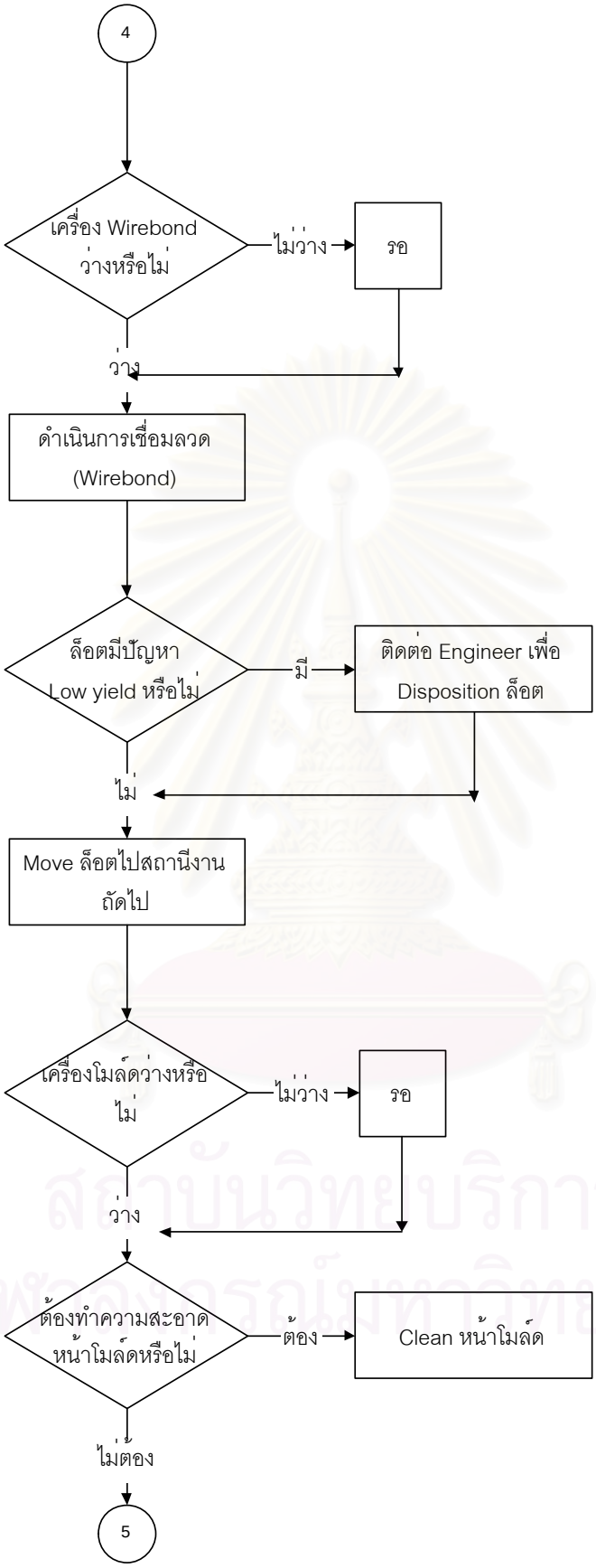
รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

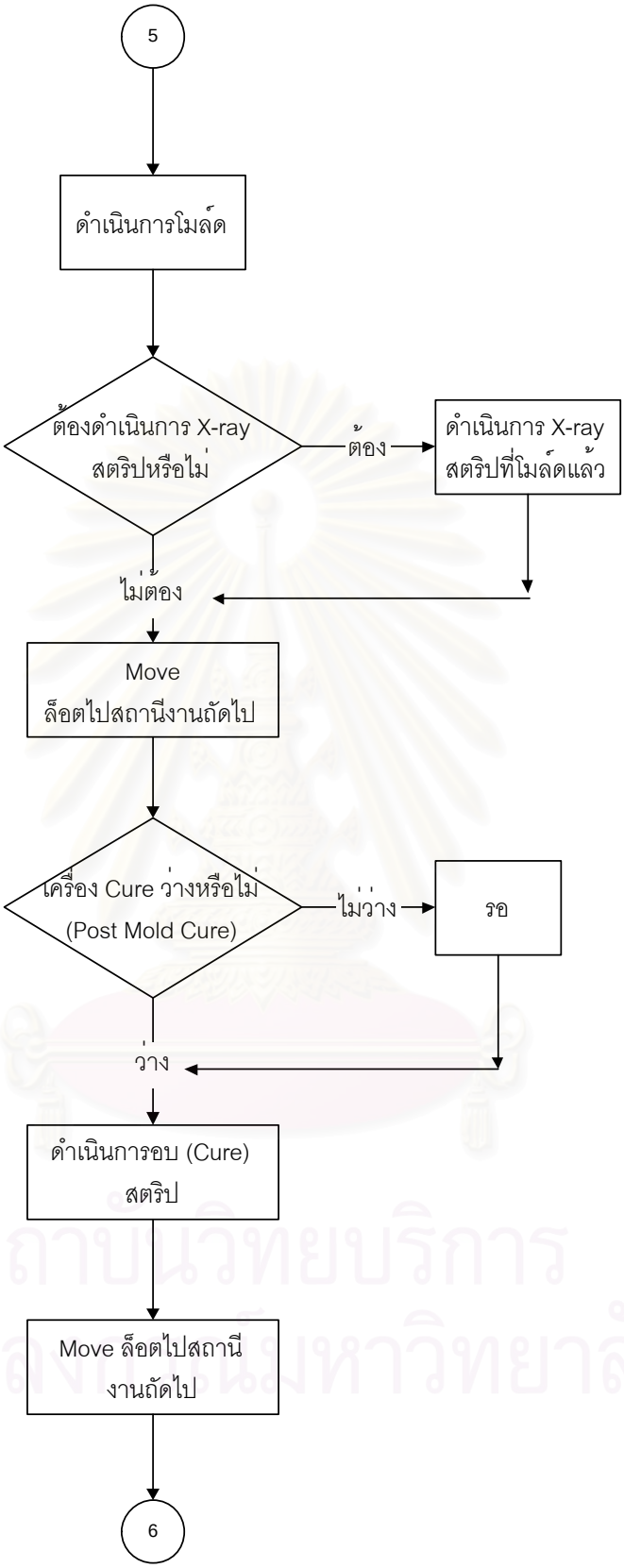


รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)

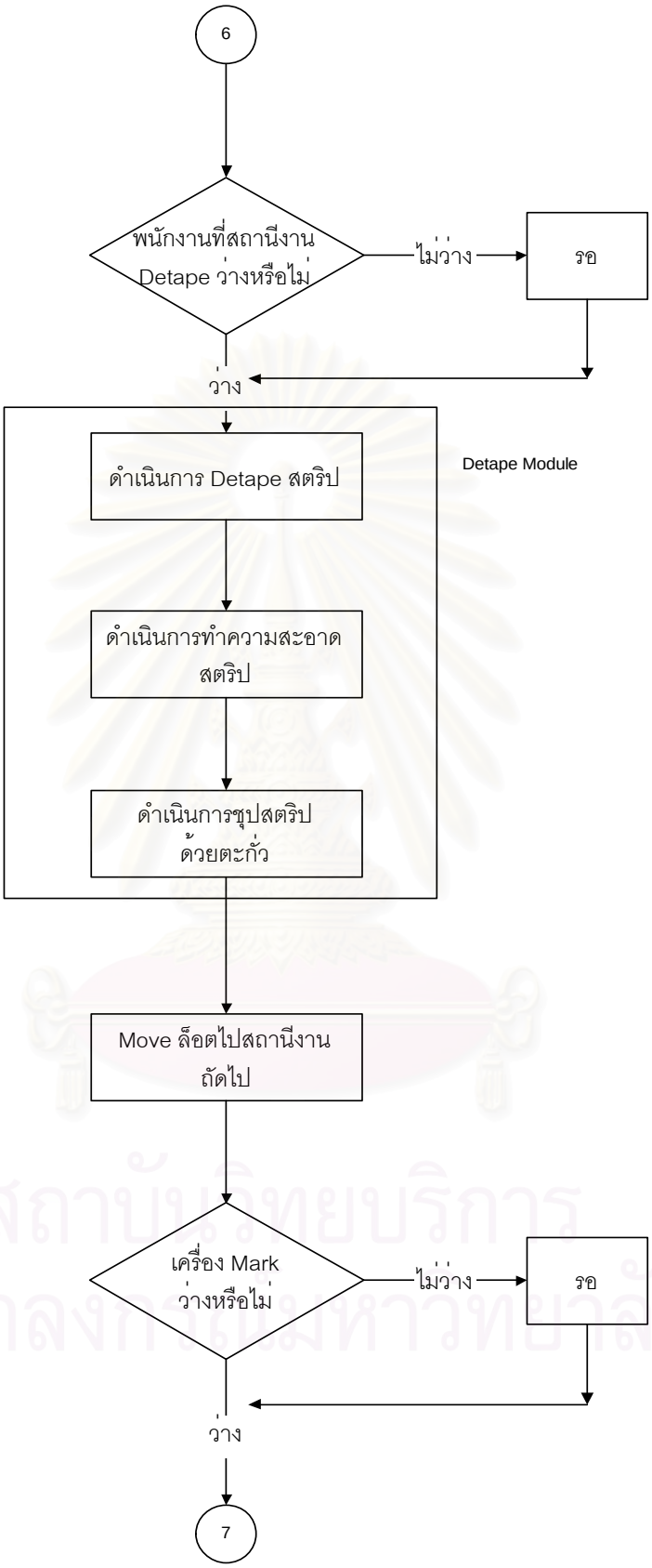
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



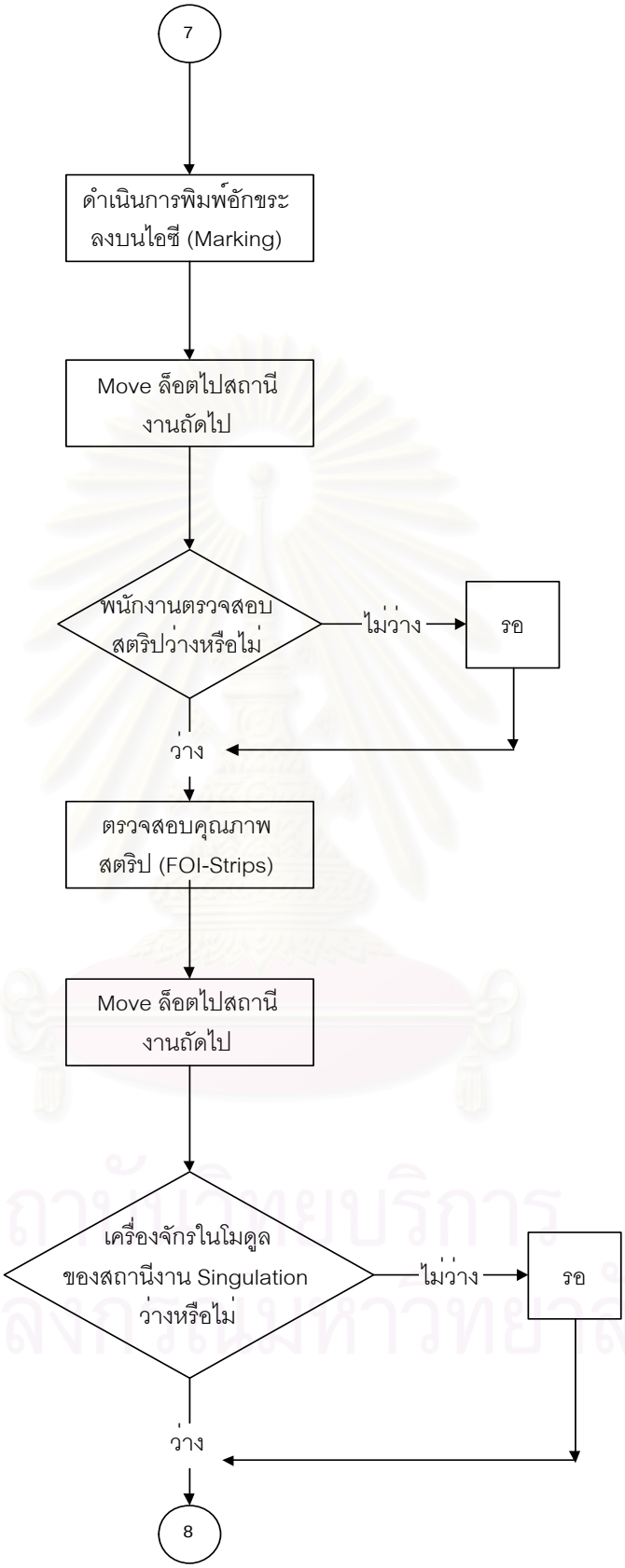
รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)



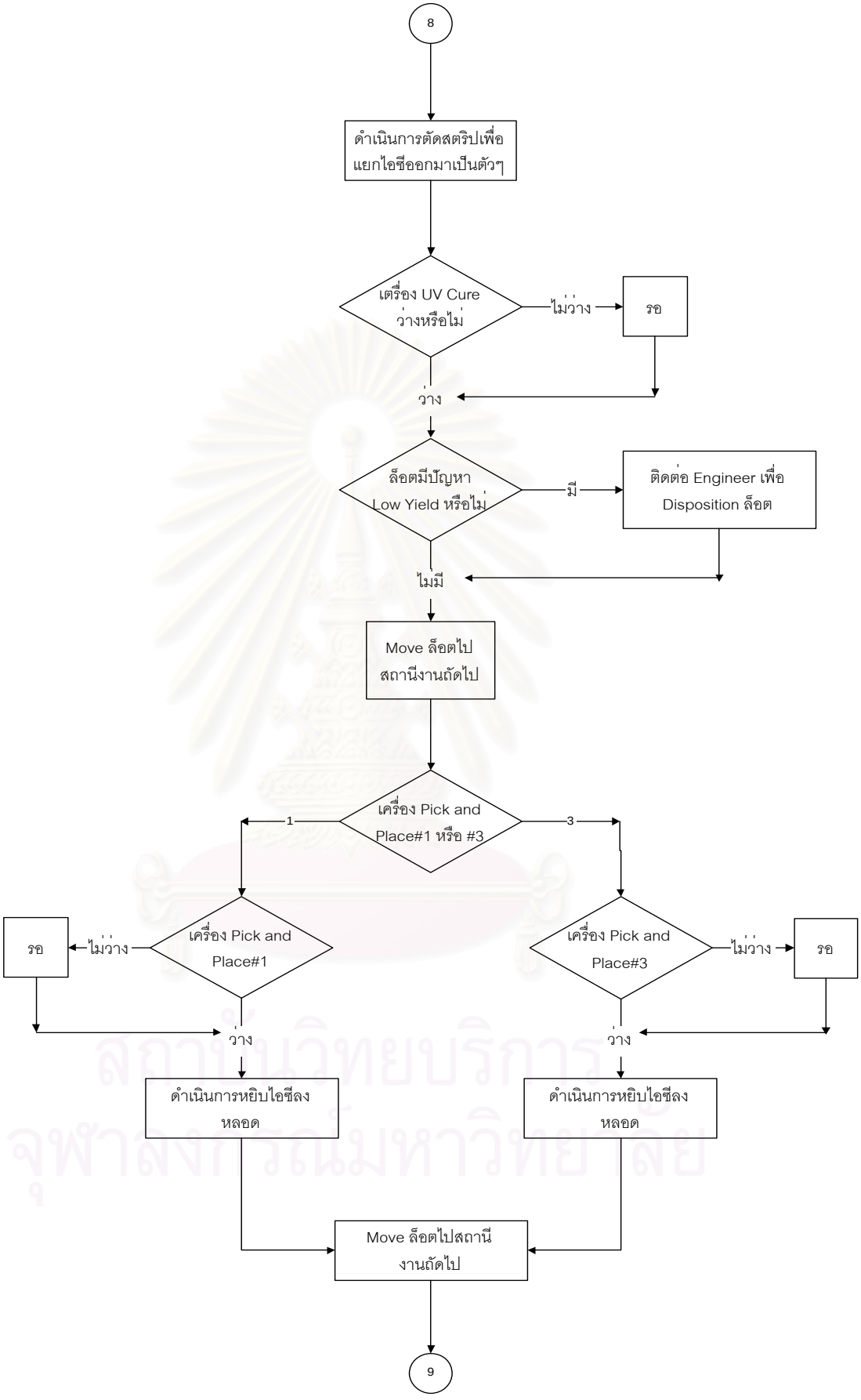
รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)



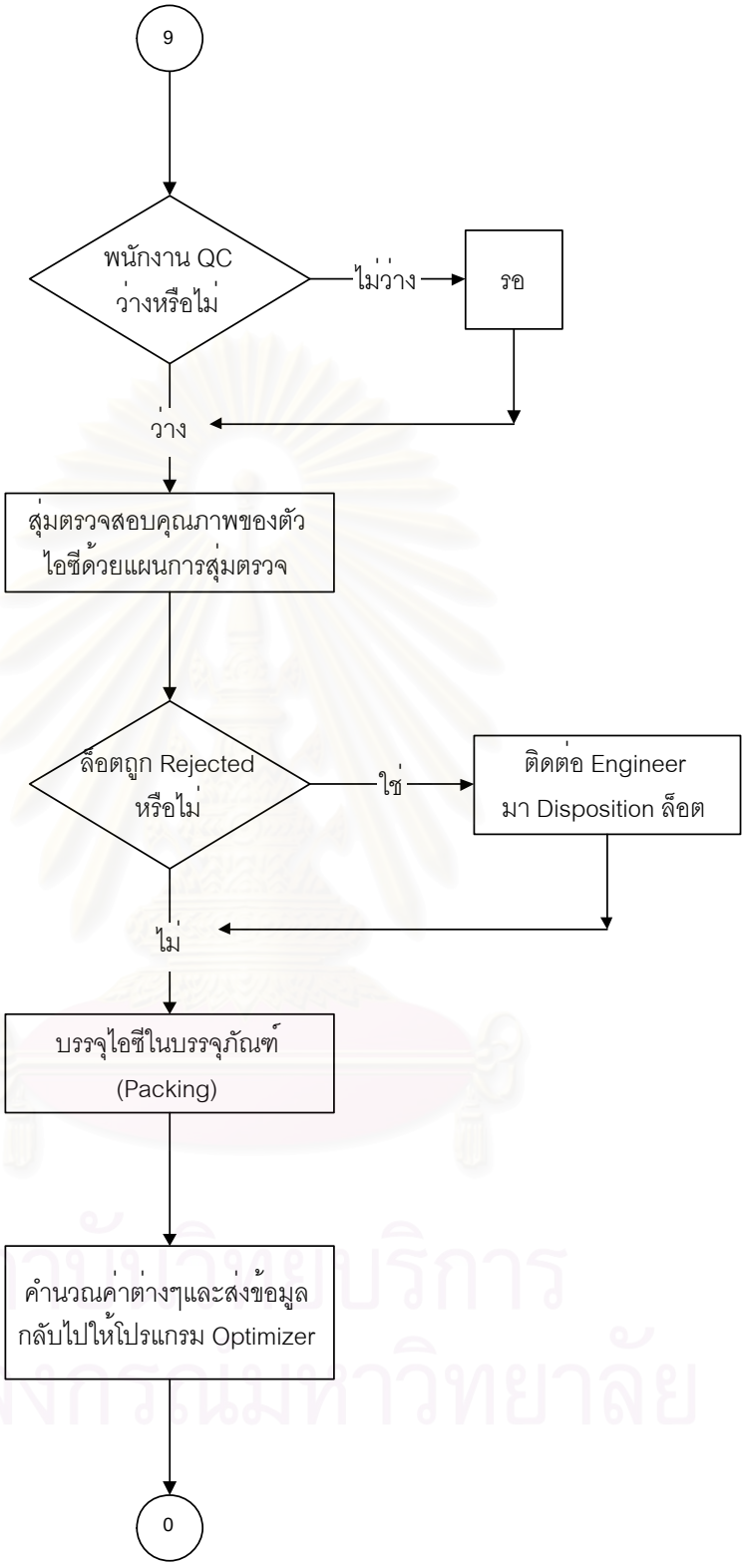
รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)



รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)



รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)



รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง (Model Logic)

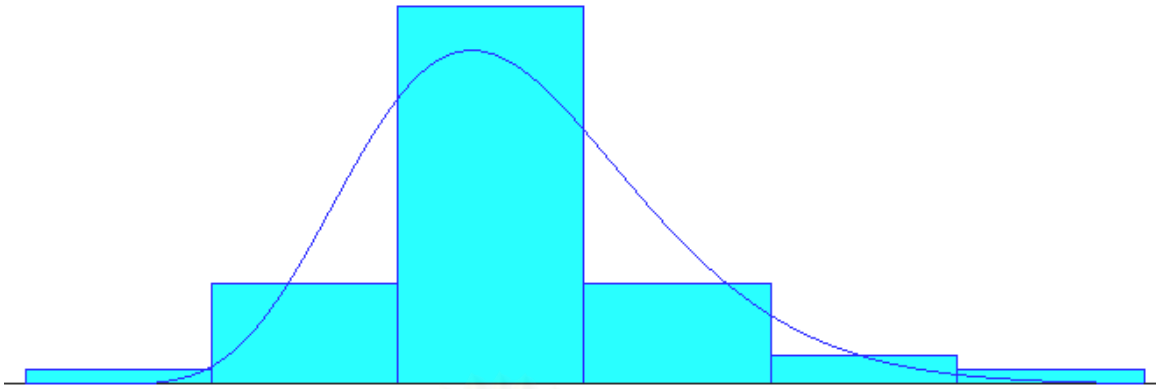
6.3 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง

การเตรียมข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองจะเป็นขั้นตอนของการกำหนดจุดประสงค์ในการใช้ข้อมูลก่อนแล้ว มาออกแบบหรือเลือกเครื่องมือในการช่วยเก็บข้อมูล ทั้งนี้ก็เพื่อให้การรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างสะดวก ไม่สับสน ขั้นตอนต่อไปก็คือ การนำข้อมูลมาวิเคราะห์ซึ่งได้แก่ การประมาณค่าพารามิเตอร์ การทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลต่างๆในระบบ ตลอดจนการเตรียมข้อมูลสำหรับการทดสอบความถูกต้องของผลที่จะได้จากแบบจำลองซึ่งเราเรียกขั้นตอนนี้ว่า Model validation หรือ การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้มีข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองได้แก่

6.3.1 เวลาผลิตในแต่ละขั้นตอน (Processing time)

ในกรณีศึกษานี้ของงานวิจัยนี้ เวลาผลิตในแต่ละขั้นตอน นอกจากจะแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนการผลิตแล้ว(Operations)ยังแตกต่างกันสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันด้วย (Product types) ดังนั้น ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต้องแยกเก็บสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีบางขั้นตอนการผลิตที่ใช้เวลาไม่แตกต่างกันเมื่อผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการทดสอบข้อมูลเพื่อหาการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Distribution) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลแต่ละชุดหรือแต่ละขั้นตอนการผลิตด้วยวิธีการทดสอบทางสถิติแบบ K-S และการทดสอบแบบไคร์สแควร์ ส่วนเครื่องมือที่นำมาช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลคือ โปรแกรม Input analyzer ซึ่งเป็นโปรแกรมเสริมอันหนึ่งของ โปรแกรม ARENA และในการพิจารณาเลือกรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูล จะพิจารณาจากค่า P-Value ที่ได้จากการทดสอบแบบ K-S หรือ แบบไคร์สแควร์ โดยค่า P-Value ควรมากกว่า 0.10 และต้องมีค่า Square error ต่ำที่สุด รูปที่ 6.3 ข้างล่างนี้จะเป็นตัวอย่างการวิเคราะห์หาการแจกแจงค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมกับข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.4 แสดงกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาทำงาน เครื่อง Marking

Distribution Summary

Distribution: Erlang

Expression: 0.68 + ERLA(0.00996, 11)

Square Error: 0.021286

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.114

Corresponding p-value > 0.15

รูปที่ 6.5 แสดงผลการวิเคราะห์หาการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับค่าเวลาการทำงานของเครื่อง Marking หรือเครื่องพิมพ์รหัสลงบนตัวไอซี

เนื่องจากในแต่ละสถานีงานหรือขั้นตอนการทำงานจะมีเครื่องจักรที่ทำหน้าที่เดียวกันหลายเครื่อง บางสถานีงานมีเครื่องจักรเพียงหนึ่งเครื่องหรือสองเครื่องผู้วิจัยก็จะสร้างโมเดลแยกกันระหว่างเครื่องจักรเหล่านั้น แต่บางสถานีงานได้แก่ สถานีงาน Wire bond และสถานีงาน Singulation มีเครื่องหลายเครื่องมากๆ และเนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรุ่นที่ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น (Academic version) จึงถูกจำกัดจำนวนบล็อกที่ใช้ได้ไม่เกิน 175 บล็อก ดังนั้น สำหรับสถานีงานที่มีเครื่องจักรหลายๆเครื่อง ผู้วิจัยจะใช้สมมติฐานว่าเครื่องจักรเหล่านั้นใช้เวลาในการผลิตไม่ต่างกัน หรือที่เรียกว่า Identical machine แต่ก่อนที่จะสามารถใช้สมมติฐานนี้ได้จำเป็นต้องทดสอบทางสถิติก่อนว่าเวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องต่างๆเหล่านั้นไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธีทางสถิติที่จะใช้ในการทดสอบดังกล่าวคือ One-way ANOVA ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ทดสอบข้อสมมติฐานเกี่ยวกับ Identical machine สำหรับสถานีงาน Wire bond

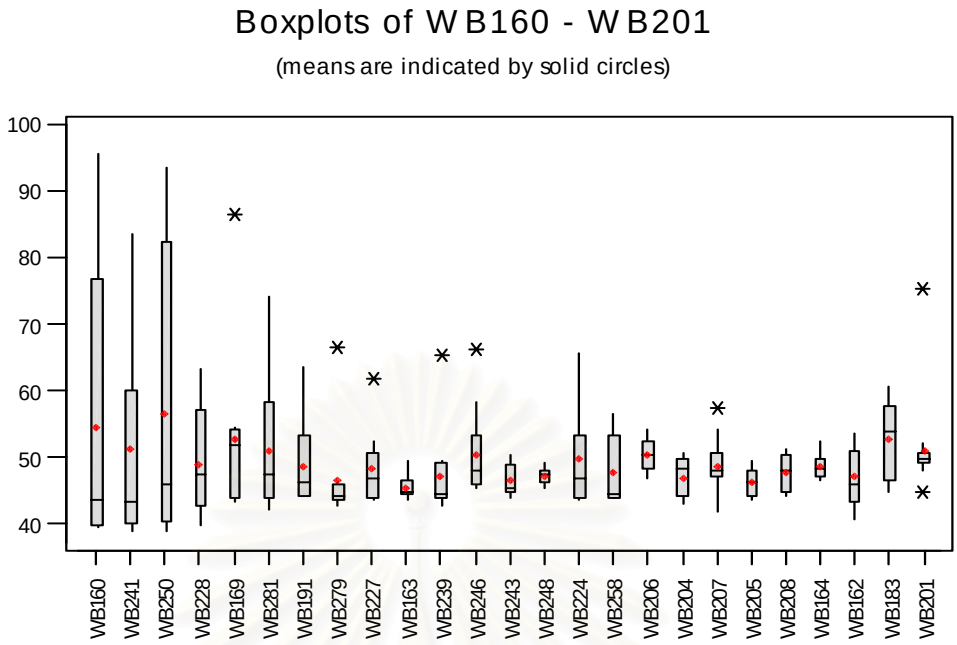
One-Way Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	24	2109.9	87.9	1.29	0.171
Error	282	19260.2	68.3		
Total	306	21370.1			

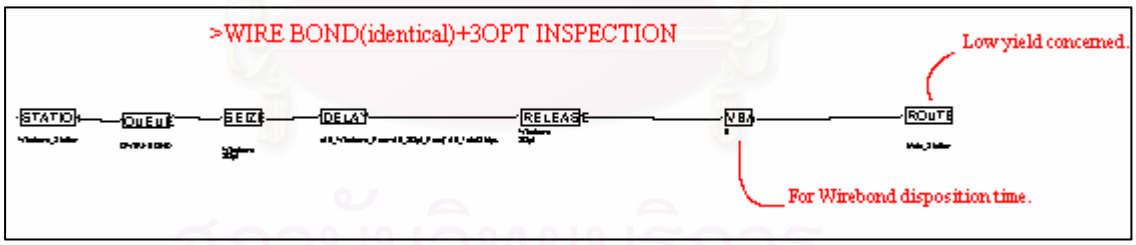
รูปที่ 6.6 แสดงการทดสอบ ANOVA ของค่า Processing time สำหรับเครื่อง Wire bond

จากการวิเคราะห์ผลตามรูปที่ 6.6 ข้างต้นนี้พบว่าไม่มีคู่ของเครื่อง Wire bond ใดเลยที่มี Processing time ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น ในการสร้างโมเดลสำหรับสถานีงาน Wire bond จะสร้างเพียงหนึ่งโมดูลแล้วใส่จำนวนเครื่องเป็น 25 เครื่อง แทนการสร้างทุกๆโมดูลสำหรับแต่ละเครื่อง(ซึ่งก็จะใช้บล็อกมากขึ้น)

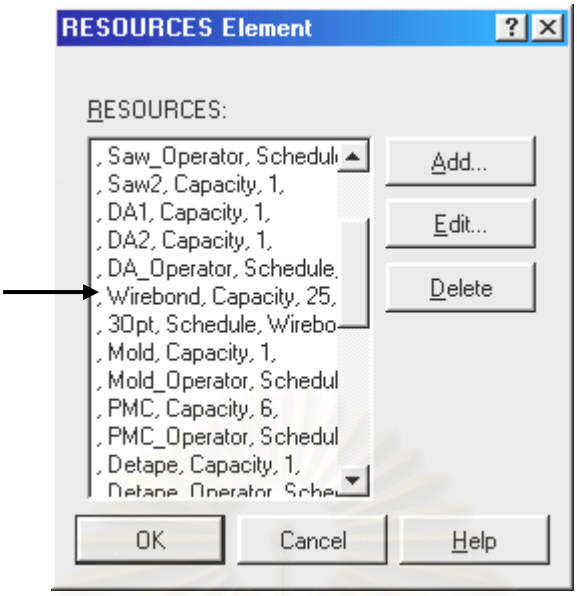
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.7 แสดง Box plot ของค่า Processing time (หน่วย: นาทีต่อสตริป) ของเครื่อง Wire bond แต่ละเครื่อง (ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ B)



รูปที่ 6.8 แสดงโมดูลของสถานีงาน Wire bond



รูปที่ 6.9 แสดงสถานีงาน Wire bond มีเครื่องจักร 25 เครื่อง

■ ทดสอบข้อสมมติฐานเกี่ยวกับ Identical machine สำหรับสถานีงาน Singulation

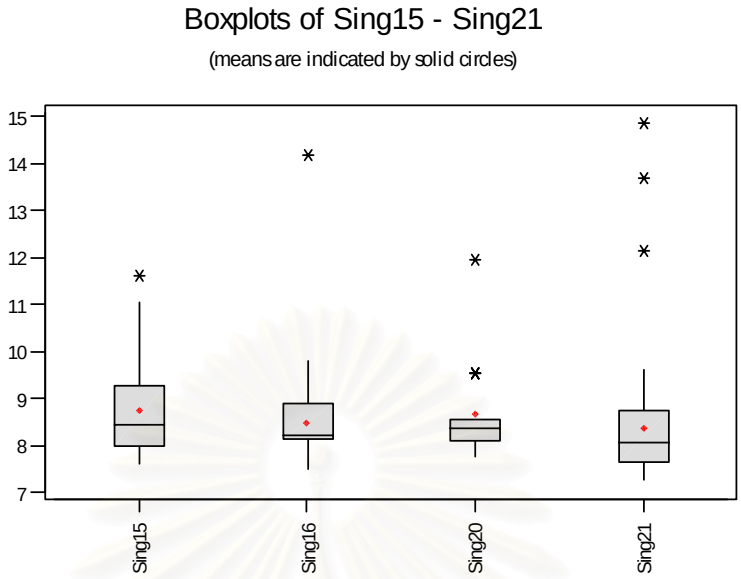
One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	4.76	1.59	1.46	0.228
Error	219	238.79	1.09		
Total	222	243.55			

รูปที่ 6.10 แสดงการทดสอบ ANOVA ของค่า Processing time สำหรับเครื่อง Singulation

จากการวิเคราะห์ผลตามรูปที่ 6.10 ข้างต้นนี้พบว่าไม่มีคู่ของเครื่อง Singulation ใดเลยที่มี Processing time ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น ในการสร้างโมเดลสำหรับสถานีงาน Singulation จะสร้างเพียงหนึ่งโมดูลเช่นกัน



รูปที่ 6.11 แสดง Box plot ของค่า Processing time (หน่วย: นาทีต่อสตริป) ของเครื่อง Singulation แต่ละเครื่อง (ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ B)

รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในโปรแกรม ARENA มีหลายประเภทดังนี้

ตารางที่ 6.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม ARENA

รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น(Prob. Distribution)	**คำย่อ**	**ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ**
Beta	BETA	(Alpha1,Alpha2)
Continuous	CONT	(CumP1,Val1,CumP2,Val2,...)
Discrete	DISC	(CumP1,Val1,CumP2,Val2,...)
Erlang	ERLA	(ExpoMean,K)
Exponential	EXPO	(Mean)
Gamma	GAMM	(Beta,Alpha)
Johnson	JOHN	(Gamma,Delta,Lambda,Xi)
Lognormal	LOGN	(Mean,StdDev)
Normal	NORM	(Mean,StdDev)

ตารางที่ 6.2 (ต่อ) แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม ARENA

รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น(Prob. Distribution)	**คำย่อ**	**ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ**
Poisson	POIS	(Mean)
Triangular	TRIA	(Min,Mode,Max)
Uniform	UNIF	(Min,Max)
Weibull	WEIB	(Beta,Alpha)

ตารางที่ 6.3 แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	**การแจกแจงความน่าจะเป็น (หน่วย: นาที)**	
	ผลิตภัณฑ์ A	**ผลิตภัณฑ์ B**
Transfer-In	19 + WEIB(141, 1.26)	
2Opt inspection	สำหรับ Wafer ขนาด 6 นิ้ว : TRIA(0.85, 1.6, 2.19)	
	สำหรับ Wafer ขนาด 8 นิ้ว : LOGN(0.57, 0.35)	
Wafer mount	สำหรับ Wafer ขนาด 6 นิ้ว : 0.999 + EXPO(0.593)	
	สำหรับ Wafer ขนาด 8 นิ้ว : 1.26 + LOGN(1.66, 0.984)	
Wafer cure	สำหรับ Wafer ขนาด 6 นิ้ว : 15	
	สำหรับ Wafer ขนาด 8 นิ้ว : 15	
Saw	เครื่อง Saw#1: 43.5 + LOGN(1.52, 1.07)	เครื่อง Saw#1: NORM(11.1, 1.8)
	เครื่อง Saw#2 : 45.9 + 1.38 * BETA(1.38, 1.42)	เครื่อง Saw#2: 9 + LOGN(2.12, 1.15)
Die attach	เครื่อง #1: NORM(10.1, 0.332) เครื่อง #2: 8.08 + WEIB(1.37, 6.47)	เครื่อง #1: 6 + LOGN(0.424, 0.306) เครื่อง #2: 6.23 + LOGN(0.67, 0.294)

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	**การแจกแจงความน่าจะเป็น (หน่วย: นาที)**	
	ผลิตภัณฑ์ A	**ผลิตภัณฑ์** B
Wire bond	NORM(33.9, 0.177)	CONT (0.000, 38.000, 0.042, 41.412, 0.313, 44.824, 0.550, 48.235, 0.785, 51.647, 0.879, 55.059, 0.912, 58.471, 0.941, 61.882, 0.951, 65.294, 0.964, 68.706, 0.964, 72.118, 0.971, 75.529, 0.974, 78.941, 0.984, 82.353, 0.987, 85.765, 0.993, 89.176, 0.993, 92.588, 0.993, 96.000)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3(ต่อ) แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	การแจกแจงความน่าจะเป็น (หน่วย: นาที)	
	ผลิตภัณฑ์ A	ผลิตภัณฑ์ B
Mold	เครื่อง #1 : CONT(0.000, 2.590,0.036, 2.639,0.089, 2.687, 0.625, 2.736,0.768, 2.784,0.893, 2.833, 0.946, 2.881,0.946, 2.930)	
X-ray	9 + ERLA(1.02, 1)	2.18 + 3.16 * BETA(3.1, 1.78)
Post mold cure	(28 + 5 * BETA(0.796, 0.774))+285	
Detape+Frame cleaning	75 + EXPO(56)	
Plating	4 + 18 * BETA(2.74, 1.7)	
Marking	เครื่อง #1 : 1.62 + 0.48 * BETA(7.19, 7.46)	เครื่อง #1 : 0.68 + ERLA(0.00996, 11)
Strip FOI	17 + 18 * BETA(0.795, 0.663)	
Singulation	TRIA(7, 15.1, 17)	7 + ERLA(0.508, 3)
UV Cure	NORM(7.43, 0.222)	
Pick and Place	เครื่อง#1: 7.1 + LOGN(2.19, 1.19) เครื่อง#2: 5.55 + LOGN(0.686, 0.38)	เครื่อง#1: 3 + WEIB(0.347, 1.5) เครื่อง#2: 5.55 + LOGN(0.686, 0.38)
QC FOI	11 + GAMM(23.3, 1.42)	
Packing	6 + 31 * BETA(1.15, 0.947)	

6.3.2 เวลาห่างระหว่างคำสั่งผลิต (Interarrival time of order)

- สำหรับผลิตภัณฑ์ A: 200 + EXPO(4.17e+003) หน่วย : นาที
- สำหรับผลิตภัณฑ์ B: 95 + WEIB(1.48e+003, 0.833) หน่วย : นาที

6.3.3 เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักรเสีย (Machine Breakdown)

สำหรับเวลาสูญเสียที่เกิดจากเครื่องจักรเสีย ในงานวิจัยนี้ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลเฉพาะเครื่องจักรที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อผลตอบสนองที่เลือกศึกษาเท่านั้นซึ่งก็คือ รอบเวลาการผลิต (Cycle time)

ตารางที่ 6.4 แสดงรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร

หน่วย : นาที

เครื่องจักร	MTBF (Mean Time Between Failure)	MTTR (Mean Time To Repair)
Wire bond	5 + EXPO(39.6)	GAMM(0.707, 1.76)
Saw	-0.001 + EXPO(164)	EXPO(0.782)
Die attach	8 + LOGN(18, 20)	LOGN(0.691, 0.564)
Mold	319 + EXPO(119)	10 + EXPO(46.2)
Mark	EXPO(17.8)	11 + 23 * BETA(1.05, 0.965)

6.3.4 ตารางการปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิต

ในโรงงานตัวอย่างมีการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีพนักงานในสายการผลิตทั้งหมด 4 กะ(Shift) โดยในหนึ่งวันทำงานจะมีกะทำงานอยู่ 3 กะๆละ 8 ชั่วโมง และในหนึ่งสัปดาห์แต่ละกะทำงาน 5 วันทำการ ช่วงเวลาของการทำงานแต่ละกะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.5 แสดงตารางปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิตในหนึ่งวันทำงาน

กะที่ (Shift#)	ช่วงเวลาปฏิบัติงาน	พักครั้งที่ 1	พักครั้งที่ 2
1	06:30-14:30	8:00-8:30	11:00-11:30
2	14:30-22:30	16:00-16:30	19:00-19:30
3	22:30-06:30	00:00-00:30	03:00-03:30
4	หยุดพักเป็นเวลา 2 วัน		

6.3.5 เวลาของการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน

เมื่อชิ้นงานในแต่ละล็อตถูกดำเนินการผลิต (Processed) เสร็จแล้ว ล็อตต่างๆเหล่านั้นจะถูกขนย้ายไปสถานีงานถัดไปโดยพนักงานที่ทำหน้าขนย้าย (MH: Material Handler) ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายระหว่างสถานีงานนี้จะได้จากการจับเวลา ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.6 แสดงเวลาที่ใช้ในการขนย้ายระหว่างสถานีงาน

หน่วย : นาที

สถานีงานหลัก (จาก-ไป)	การแจกแจงความน่าจะเป็น
Transfer In – 2Opt	1.23 + 1.77 * BETA(1.04, 0.833)
2Opt – Saw	0.06 + WEIB(0.179, 1.9)
Saw – Die attach	0.34 + LOGN(0.0516, 0.0334)
Die attach – Wire bond	TRIA(0.18, 0.236, 0.26)
Wire bond – Mold	0.3 + ERLA(0.00927, 6)
Mold – Post Mold Cure (PMC)	0.65 + 0.28 * BETA(1.32, 1.36)
Post Mold Cure (PMC)- Detape	0.56 + 0.28 * BETA(0.788, 1.1)
Detape-Mark	0.65 + 0.08 * BETA(1.66, 1.84)
FOI- Singulation	2 + LOGN(0.781, 0.778)
Singulation-Pick and Place	0.38 + LOGN(0.0192, 0.0069)
Pick and Place – QC FVI	4 + LOGN(1.77, 1.72)

6.3.6 เวลาในจัดการล็อตกรณีเกิดปัญหายีลด์ต่ำกว่าที่กำหนด (Disposition time)

ในหัวข้อที่ 6.3.5 นั้นเป็นเวลาในการขนย้ายล็อตหรือชิ้นงานไปสถานีงานถัดไปโดยเป็นเวลาของการเดินทาง (Movement) อย่างเดียว แต่ในบางกรณีที่ล็อตเกิดปัญหา เช่น กรณีที่พนักงาน QC สุ่มตรวจพบข้อบกพร่องในล็อต หรือเครื่องจักรผิดปกติทำให้ชิ้นงานมีข้อบกพร่อง (Defects) ซึ่งอาจยังผลให้ค่ายีลด์ (Yield) ของล็อตนั้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ล็อตนั้นๆจะต้องถูกกัก(Hold)ไว้รอให้วิศวกรมาดำเนินการวินิจฉัยและตัดสินใจว่าควรจะดำเนินการ หรือ เรียกว่า Disposition กับล็อตนั้นๆอย่างไรต่อไป ดังนั้น ค่ารอบการผลิต (Cycle time) ของล็อตนั้นจึงมากขึ้นตามไปด้วย โดยการคำนวณยีลด์จะใช้สูตรดังนี้

$$\text{ยีลด์ (Yield)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานภายหลังถูกผลิต (Quantity out)}}{\text{จำนวนชิ้นงานก่อนถูกผลิต (Quantity in)}} \times 100\%$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ล็อต ABC.1 มีจำนวนได (Dies) ในล็อตเท่ากับ 5040 ตัว เมื่อผ่านกระบวนการติดได (Die attach) แล้วพบว่าเกิดข้อบกพร่องบนไดจำนวน 100 ตัว ดังนั้น จำนวนไดในล็อตนี้จึงหรืออยู่ 4940 ตัว หรือ มีค่ายีลด์เท่ากับ

ยีลด์ = 4940/5040 = 98.015 %

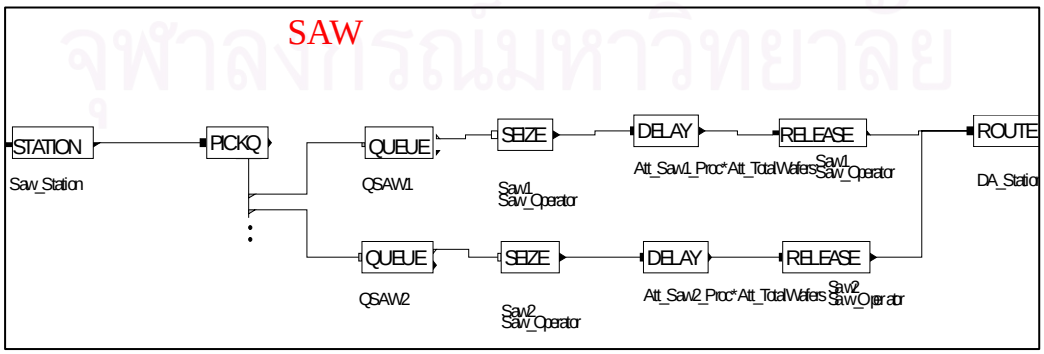
ตารางที่ 6.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการจัดการล็อตที่เกิดปัญหายีลด์ต่ำ (Disposition time)

หน่วย : นาที

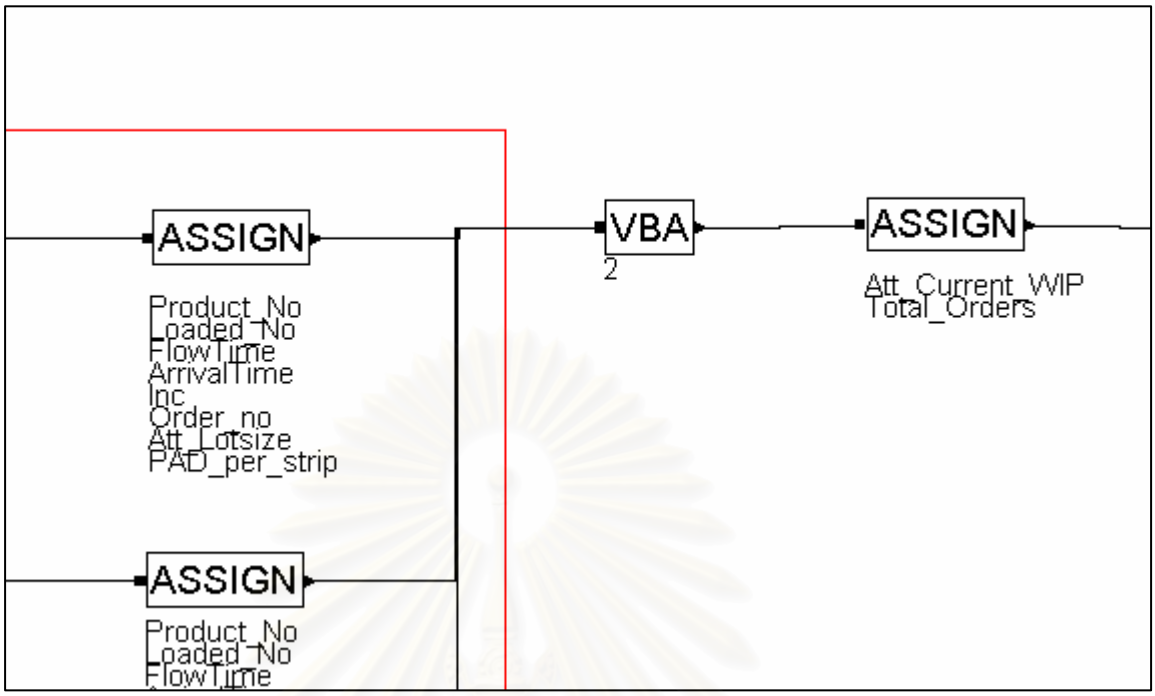
สถานีงาน	**การแจกแจงความน่าจะเป็นของ** Disposition time
Die attach	TRIA(110, 243, 600)
Wire bond	20 + WEIB(109, 1.05)
Singulation	30 + 330 * BETA(1.23, 1.12)
QC FVI	10 + 299 * BETA(0.565, 1.02)

6.4 การแปรรูปแบบจำลอง

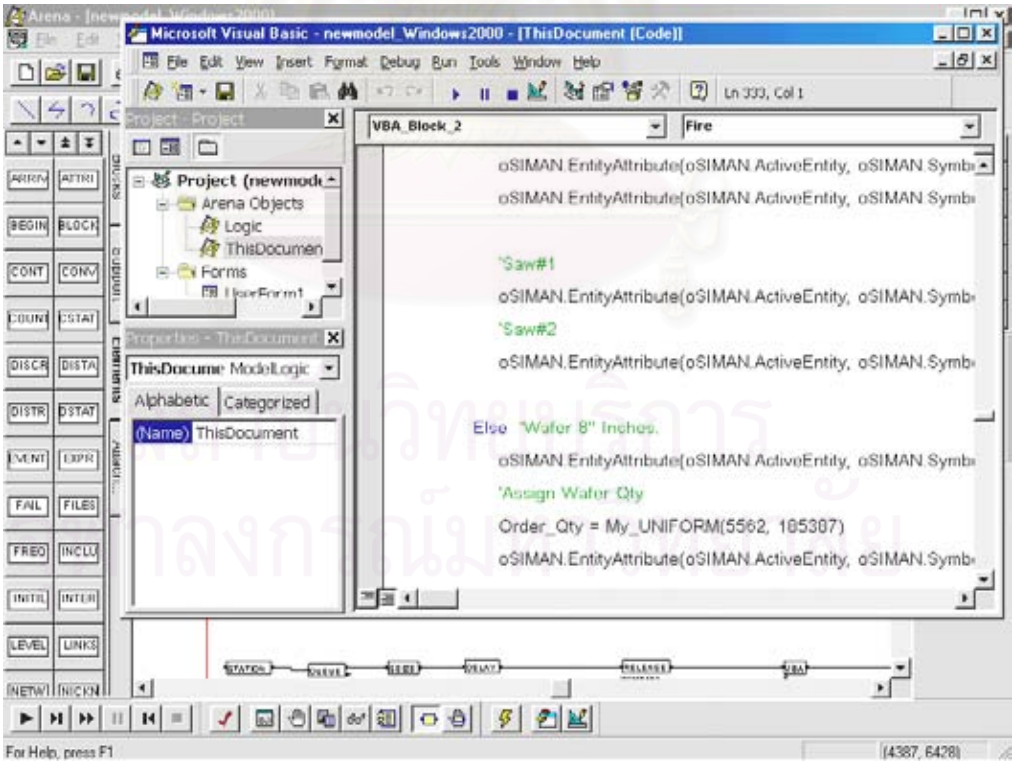
แบบจำลองของระบบงานในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARENA version 3.01 เป็นเครื่องมือช่วยในการจำลองระบบงาน ซึ่งการสร้างโมเดลในโปรแกรมเวอร์ชันนี้ จะต้องสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วน Experiment และ ส่วน block diagram และเนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรุ่นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ดังนั้น โปรแกรมจึงจำกัดจำนวน Block ที่จะใช้ ผู้ทำวิจัยจึงใช้การเขียนโปรแกรมในส่วนของ VBA (Visual Basic for Application) เข้าช่วยในการกำหนดค่าต่างๆด้วย โดยเรียกใช้ผ่านทาง VBA Block ของ ARENA



รูปที่ 6.12 แสดงตัวอย่าง Block ของโปรแกรม ARENA สำหรับขั้นตอน Saw



รูปที่ 6.13 แสดงตัวอย่าง VBA Block ของโปรแกรม ARENA



รูปที่ 6.14 แสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรมภาษา Visual Basic ช่วยในการกำหนดค่า Attributes ของ Entities โดยผ่านทาง VBA block ของ ARENA

6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

มีกระบวนการทดสอบอยู่ 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ Verification และ Validation

- Verification หมายถึง กระบวนการตรวจและแก้ไขความผิดพลาดเนื่องจากการแปลงแบบจำลองให้มาอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือ เป็นการทำดีบัก (Debug) นั่นเอง
- Validation หมายถึง เป็นกระบวนปรับแต่ง/ปรับแก้ (Calibration) ตัวแบบจำลอง เพื่อให้ได้แบบจำลองสามารถนำมาใช้แทน (Represent) ระบบงานจริงได้ ในระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้

6.5.1 การพิสูจน์ยืนยัน (Verification)

ในโปรแกรม ARENA จะมีคำสั่งของภาษา SIMAN ช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเลือกที่เมนู Run/Command ได้แก่

- คำสั่ง Step: เป็นคำสั่งในการส่ง Entity ให้เคลื่อนที่ผ่านบล็อกไปทีละบล็อก หรือ กี่บล็อกก็ได้ตามที่เราจะกำหนด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
Beginning replication 1 of 1


390.0>st

SIMAN Run Controller.

 *    1 0$              CREATE,1:95+WEIB(1.48e+003,0.833);


390.0>st 3

SIMAN Run Controller.

 *    4 8$              ASSIGN:
                            Att_Current_WIP=Die_WIP:
                            Total_Orders=Inc+Inc2+Inc3+Inc4;


390.0>
```

รูปที่ 6.15 แสดงการใช้คำสั่ง *STEP* โดยคำสั่ง *st* คือ การส่ง *Entity* ไปทีละบล็อกถัดไป ส่วนคำสั่ง *st 3* คือ การส่ง *Entity* ไปข้างหน้าจำนวน 3 บล็อกถัดไป

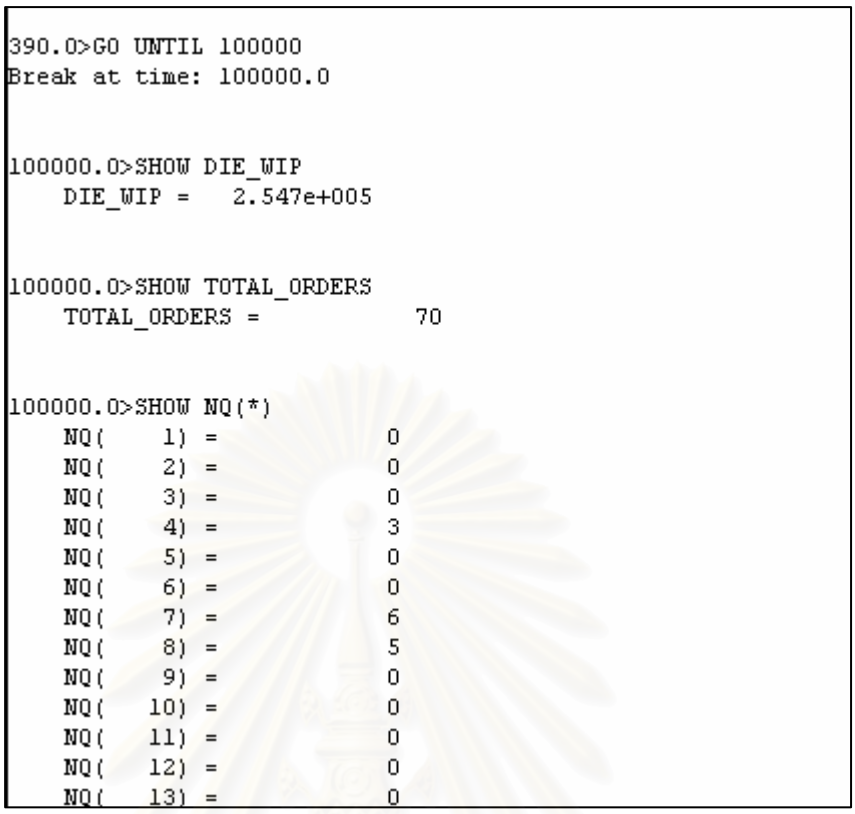
■ คำสั่ง Go: เป็นคำสั่งที่กำหนดให้แบบจำลองเริ่มรัน หากเราไม่ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับคำสั่งนี้ (ในภาษา SIMAN จะเรียกว่า Operands) แบบจำลองจะรันไปเรื่อยจนสิ้นสุด Run length แล้วโปรแกรมจะพิมพ์รายงานสรุปผล (Summary report) ออกมาให้ทันที

```
151139.0>go

                        ARENA Simulation Results
                    SALID WORAWIBOOL - License #9400000

                     Summary for Replication 1 of 1

Project:  PRODUCTION LOTSI                    Run execution date :   2/21/2003
Analyst:  SALID WORAWIBOOL                    Model revision date:   2/21/2003

Replication ended at time      : 300390.0

                              TALLY VARIABLES

Identifier              Average   Half Width  Minimum    Maximum   Observations
-------------------------------------------------------------------------------

TALLY FLOWTIME1          6890.4     783.23     1563.0     12366.        696
TALLY FLOWTIME2          9121.3     (Corr)     1740.0     12718.        487
TALLY FLOWTIME3              --         --         --         --          0
TALLY FLOWTIME4              --         --         --         --          0
```

รูปที่ 6.16 แสดงการใช้งานคำสั่ง *GO* แบบไม่มีค่าโอเปอแรนด์ (Operands) เมื่อจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิตเพียงสองผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B

■ คำสั่ง Go Until: เป็นคำสั่งที่กำหนดให้แบบจำลองเริ่มรันจนกระทั่งหยุดรัน ณ. เวลาที่เรากำหนด ประโยชน์ของคำสั่งนี้คือ เราสามารถสั่งให้แบบจำลองรันและไปหยุดที่เวลาที่เราต้องการ จากนั้นเราสามารถใช้คำสั่งอื่นๆ เช่น SHOW หรือ VIEW ตรวจสอบค่าตัวแปรหรือค่าคุณลักษณะ (Attributes) ต่างๆ ที่เราต้องการตรวจสอบได้

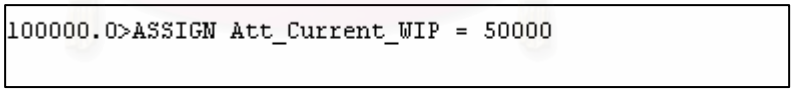
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



```
390.0>GO UNTIL 100000
Break at time: 100000.0


100000.0>SHOW DIE_WIP
    DIE_WIP =   2.547e+005


100000.0>SHOW TOTAL_ORDERS
    TOTAL_ORDERS =           70


100000.0>SHOW NQ(*)
    NQ(    1) =             0
    NQ(    2) =             0
    NQ(    3) =             0
    NQ(    4) =             3
    NQ(    5) =             0
    NQ(    6) =             0
    NQ(    7) =             6
    NQ(    8) =             5
    NQ(    9) =             0
    NQ(   10) =             0
    NQ(   11) =             0
    NQ(   12) =             0
    NQ(   13) =             0
```

รูปที่ 6.17 แสดงการใช้คำสั่ง *GO UNTIL* เพื่อรันแบบจำลองและไปสิ้นสุด ณ. เวลาที่กำหนด

- คำสั่ง Assign: เป็นคำสั่งที่กำหนดค่าให้กับตัวแปรหรือค่า Attributes ของ Entity ที่เราต้องการ ซึ่งคำสั่งนี้ก็เหมือนกับ ASSIGN Block ในแบบจำลอง



```
100000.0>ASSIGN Att_Current_WIP = 50000
```

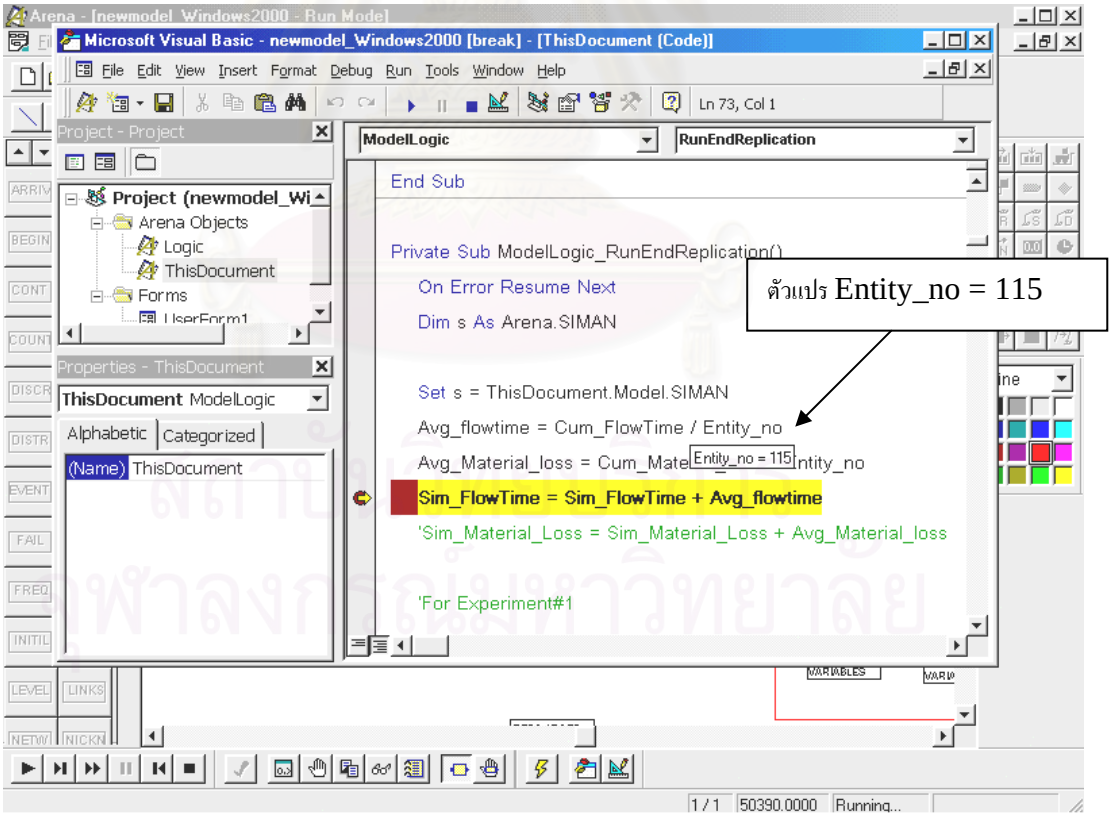
รูปที่ 6.18 แสดงการใช้คำสั่ง *ASSIGN* กำหนดค่าให้ตัวแปร หน้าเครื่องหมายมากกว่า จะเป็นค่าเวลาปัจจุบันของแบบจำลอง (Current simulation time)

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้การเขียนโปรแกรมภาษา Visual Basic ซึ่งอยู่ในส่วนของ VBA ของโปรแกรม ARENA ช่วยในการคำนวณและกำหนดค่าต่างๆ ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เราควรตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง (Codes) ในส่วนนี้ด้วย และการเข้าสู่โปรแกรม Visual Basic ในโปรแกรม ARENA นี้สามารถทำได้โดยเลือกที่เมนู Tool/Show Visual Basic Editor หรือเราสามารถเลือกที่ปุ่มดังนี้

รูปที่ 6.19 แสดงปุ่มของโปรแกรม Visual Basic ในโปรแกรม ARENA

คำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง (Debug tools) ของ Visual Basic มีดังนี้

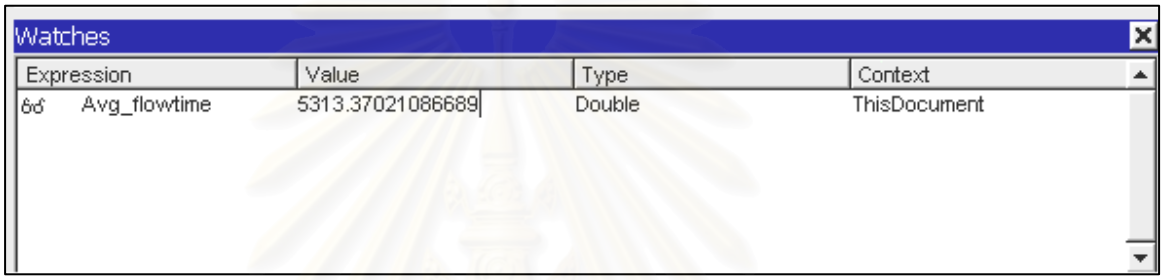
■ **คำสั่ง Break point (กด F9)** : เป็นคำสั่งที่กำหนดบรรทัดของชุดคำสั่งที่เราต้องการให้หยุด เพื่อให้สะดวกในการตรวจค่าตัวแปรต่างๆ ณ. ขณะนั้นว่ามีค่าเท่าใด ตลอดจนเพื่อตรวจสอบการคำนวณของสมการ (Expression) ต่างๆด้วย ส่วนวิธีการใช้งานนั้น ให้เปิดโปรแกรม Visual Basic (ในโปรแกรม ARENA) แล้วกด F9 ในบรรทัดที่เราต้องการให้โปรแกรมหยุดรัน เสร็จแล้วให้ปิดโปรแกรมวิชวลเบสิกนั้นเสีย แล้วกลับไปที่โปรแกรม ARENA และกดรัน หรือ กด F5 ในโปรแกรม ARENA



รูปที่ 6.20 แสดงการเซต Break point ของโปรแกรมวิชวลเบสิกในโปรแกรม ARENA

เมื่อโปรแกรมได้รันมาถึง Break point แล้วโปรแกรมก็จะหยุด จากนั้นเราสามารถเลื่อนเมาส์ไปหยุดเหนือตัวแปรที่เราต้องการทราบค่าก็จะมีหน้าต่างแสดงค่าขึ้นมา

- **คำสั่ง** Watch : ใช้ในการติดตามค่าของตัวแปรว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง แต่อย่างไรก็ตาม ค่าของตัวแปรต่างในแบบจำลองนั้น เราสามารถอ่านค่าได้ในขณะที่แบบจำลองยังรันอยู่เท่านั้น หากแบบจำลองหยุดรันแล้ว (Model End) โปรแกรม ARENA จะลบค่าต่างๆออกจากหน่วยความจำ

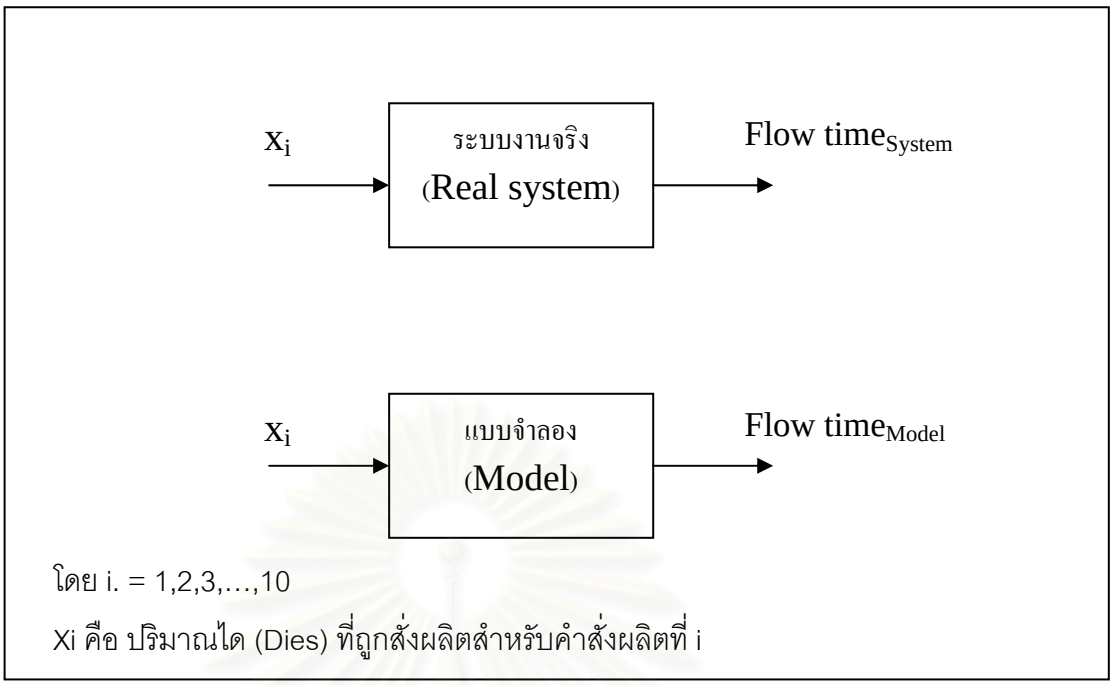


รูปที่ 6.21 แสดงการใช้คำสั่ง Watch ในการติดตามค่า Avg_flowTime ในโปรแกรมวิชวลเบสิกของโปรแกรม ARENA

6.5.2 **การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง** (Validation)

การทดสอบความถูกต้องสำหรับแบบจำลองนั้นเป็นกระบวนการพิสูจน์ความสมเหตุสมผลว่าแบบจำลองที่เราสร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ระบบงานจริง (Real system) ได้หรือไม่ แต่ไม่ได้หมายความว่าแบบจำลองต้องเหมือนกันทุกประการกับระบบงานจริง ทั้งนี้เพราะระดับของรายละเอียด (Level of details) ของแบบจำลองจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของทีมงานซึ่งรวมทั้ง ผู้สร้างแบบจำลอง ผู้ใช้งานแบบจำลอง ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ว่าต้องการในระดับใด เนื่องจากการสร้างแบบจำลองให้มีความละเอียดมากๆเกินความจำเป็นอาจทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อนมากขึ้น ใช้เวลาในการสร้างมากขึ้น การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล ก็ต้องมากขึ้นตามไปด้วย

ในส่วนของการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองกับค่าจริงของระบบงาน ภายใต้ชุดของตัวแปรนำเข้า (Input set) ชุดเดียวกัน ดังรูปต่อไปนี้



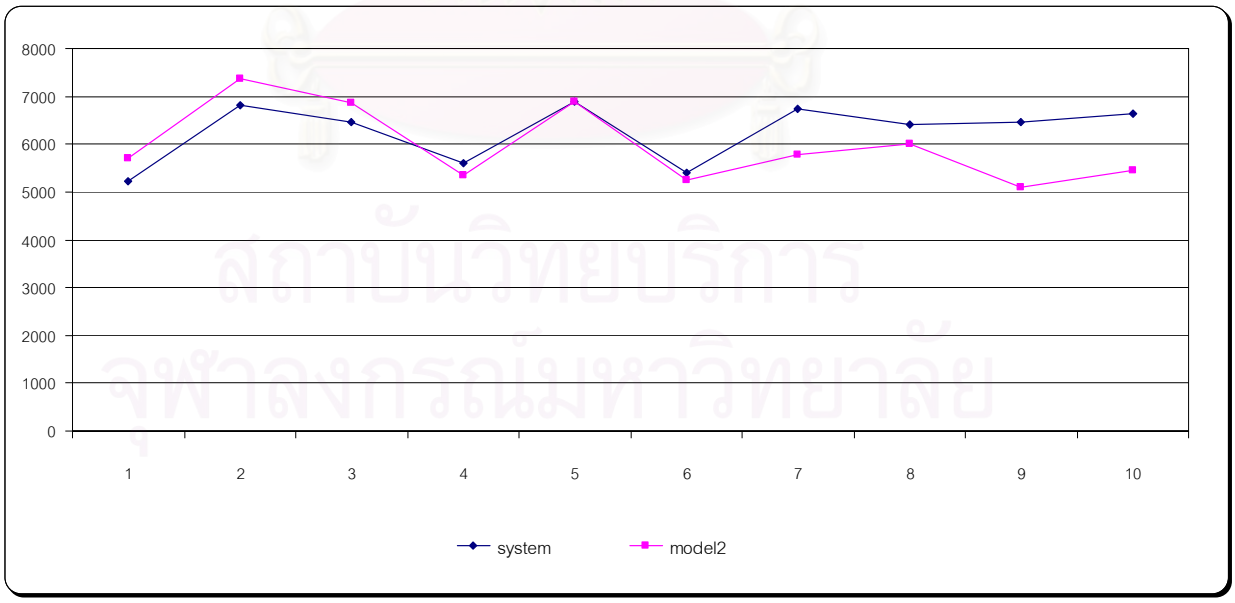
รูปที่ 6.22 แสดงแผนภาพการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับระบบงานจริงเพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

จากรูปที่ 6.22 ข้างบนนี้ ค่า Flow time ที่ได้จะเป็นค่าที่ถูกเก็บหลังจากแบบจำลองรันผ่านช่วง Warm-up ไปแล้วซึ่งอยู่ที่ 100,000 นาที โดยการเก็บข้อมูลจะใช้วิธี Replication กล่าวคือ จะดำเนินการรันแบบจำลองทั้งหมด 10 รอบ (Replicates) สำหรับค่า Xi แต่ละค่า และจะเริ่มเก็บข้อมูลของแต่ละรอบเมื่อระบบผ่านสภาวะ Warm-up ไปแล้ว สำหรับข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองถูกแสดงไว้ในตาราง 6.8 ข้างล่างนี้ ส่วนการหาสภาวะคงตัวจะได้กล่าวในหัวข้อที่ 6.6 ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (ผลิตภัณฑ์ B)

คำสั่งผลิตที่ (Order#)	ปริมาณ (Quantity) หน่วย: ได (Dies)	แบบจำลอง (Model)		ระบบงานจริง (Real system)	
		จำนวนล็อต (Total lots)	ค่ารอบการผลิตโดยเฉลี่ย (Avg.Flow time): นาที	จำนวนล็อต (Total lots)	ค่ารอบการผลิตโดยเฉลี่ย (Avg.Flow time): นาที
1	24917	5	5700	5	5224.694
2	23708	5	7380	5	6825.37
3	6773	2	6860	2	6462.017
4	20271	5	5340	5	5604.7045
5	13979	3	6890	3	6893.460
6	13473	3	5260	3	5412.190
7	23069	5	5780	5	6730.69
8	23582	5	6000	5	6404.84
9	22556	5	5110	5	6471.134
10	22418	5	5440	5	6627.094



รูปที่ 6.23 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Flow time ระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง

การวิเคราะห์ความเท่ากันระหว่างค่ารอบการผลิตที่ได้จากแบบจำลองกับที่ได้จากระบบงานจริงโดยใช้ข้อมูลในตาราง 6.8 ข้างบนนี้ จะใช้การวิเคราะห์ 2 วิธีคือ วิธีวิเคราะห์ความแตกต่างทีละคู่ (Paired sample t-Test) และ Mann-Whitney Test

■ วิธีวิเคราะห์ความแตกต่างทีละคู่ (Paired sample t-Test)

$$d_i = FlowTime_Model_i - FlowTime_System_i$$

โดยมีสมมติฐานในการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_d = 0$$
$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

สถิติสำหรับทดสอบคือ

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}}$$

โดยที่

$$S^2{}_d = \frac{1}{K-1}\sum_{i=1}^{K}(d_i - \bar{d})^2$$

K = จำนวนคู่ของข้อมูล ในที่นี้เท่ากับ 10

เพื่อความรวดในการวิเคราะห์ผลจึงได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 10.11 ช่วยในการคำนวณซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 6.9 แสดงการทดสอบความแตกต่างระหว่างสองประชากรด้วยวิธี Paired sample t-test

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				95% Confidence Interval of the Difference				
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1 SYSTEM - MODEL2	289.6193	689.2793	217.9693	-203.4614	782.7001	1.329	9	.217

จากวิเคราะห์ตารางที่ 6.9 ข้างต้นนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองและระบบงานจริงไม่แตกต่างกันด้วยความเชื่อมั่น 95%

■ Mann-Whitney Test สำหรับการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม MiniTab 11.12 ช่วยในการวิเคราะห์ผล ซึ่งได้ผลดังนี้

Mann-Whitney Confidence Interval and Test

system N = 10 Median = 6466.6

model2 N = 10 Median = 5740.0

Point estimate for ETA1-ETA2 is 374.8

95.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-419.0,1131.1)

W = 114.0

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.5205

Cannot reject at alpha = 0.05

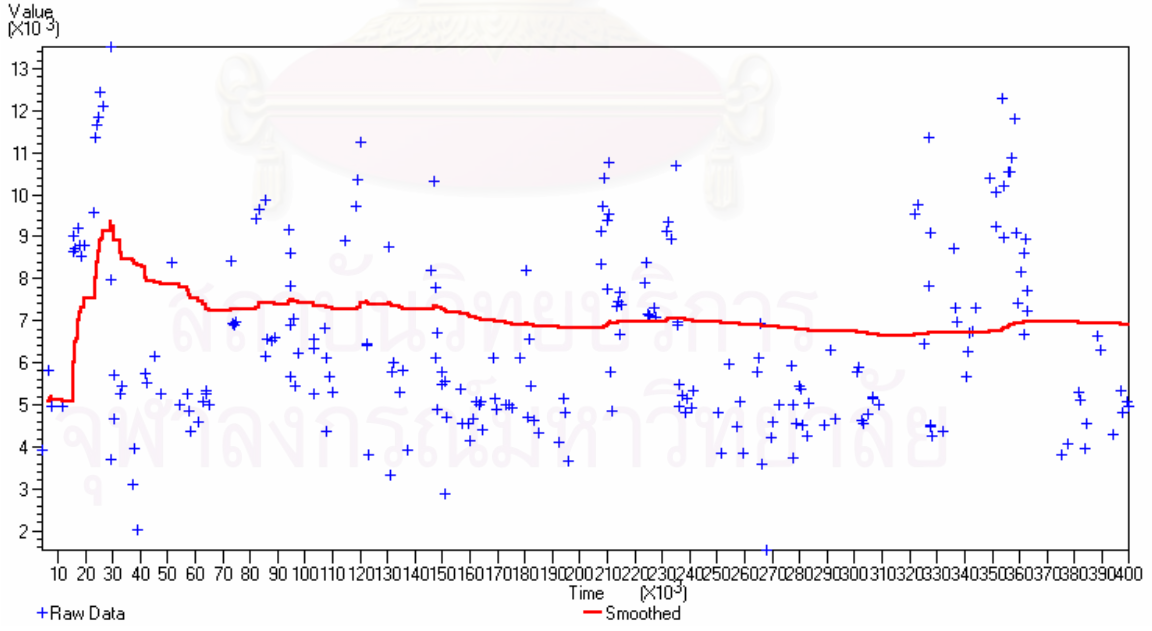
รูปที่ 6.24 แสดงการทดสอบความแตกต่างระหว่างสองประชากรด้วยวิธี Mann-Whitney test

จากการวิเคราะห์รูปที่ 6.24 ข้างบนนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับระบบงานจริงไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

6.6 การวางแผนใช้งานแบบจำลอง

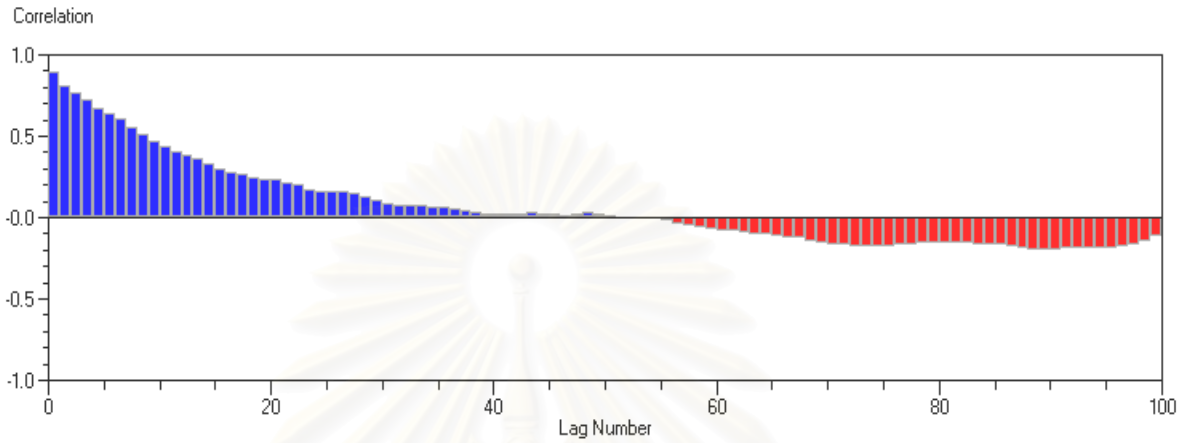
เนื่องจากแบบจำลองในระบบงานที่กำลังศึกษาอยู่นี้เป็นแบบ Non-terminating system ซึ่งเราจะให้ความสนใจค่าตัวแปรต่างๆในระบบที่สภาวะคงตัว (Steady state) ดังนั้นขั้นตอนการวางแผนการใช้งานแบบจำลองนี้คือ เป็นการทดลองหาสภาวะคงตัวของระบบว่าเกิดขึ้นที่เวลาใด และการเก็บข้อมูลเราควรเก็บจำนวนเท่าใดจึงจะไม่มีผลกระทบเนื่องจากข้อมูลก่อนหน้าข้อมูลปัจจุบันนี้ หรือ อัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) การหาสภาวะคงตัวในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีตัดช่วงสภาวะที่ไม่คงตัวทิ้ง (Warm up period) โดยการพิจารณาสภาวะคงตัวนั้นจะพิจารณาค่า Moving Average ของค่า Flow Time โดยที่สภาวะคงตัวนั้นค่า Flow time จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

- การดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะคงตัวในงานวิจัยนี้จะเริ่มด้วยการรันแบบจำลองเพียงหนึ่งรอบ (Replication) และใช้ช่วงเวลาในการรันเท่ากับ 400,000 นาที หรืออาจเรียกการรันแบบนี้ว่า Pilot run ดังแสดงในรูป 6.25 จากนั้นก็นำผลลัพธ์จากการรันมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Output analyzer ซึ่งเป็นโปรแกรมที่รันแยกจากโปรแกรม Arena อีกทีหนึ่ง จากการวิเคราะห์รูปที่ 6.25 เราพบว่าระบบงานเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว ณ. เวลา 100,000 นาที ดังนั้น ช่วง Warm-up ของระบบงานคือ 0-100,000 นาที



รูปที่ 6.25 แสดงกราฟ Cummulative average ของค่า Flow time ในแบบจำลอง (Pilot run)

■ การหาขนาดข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผล ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผล นอกจากจะเป็นข้อมูลที่ไม่มีความโน้มเอียง (Bias) แล้ว ข้อมูลนั้นต้องเป็นไปตามสมมติฐานของการเป็นตัวแปรสุ่มด้วยก่อนการใช้วิธีทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 6.26 แสดงกราฟ Correlogram ของค่า Flow Time (Pilot run)

จากการวิเคราะห์กราฟ Correlogram พบว่าที่ Lag เท่ากับ 55 ข้อมูลปัจจุบันจะไม่มีอิทธิพลเนื่องจากข้อมูลก่อนหน้า และจำนวนข้อมูลอย่างน้อยที่ควรจะเก็บเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเป็นอิสระกันคือ 10 เท่าของจำนวน Lag (โดยใช้กฎหัวแม่มือ-Rule of Thumb) ดังนั้น ในการทดลองนี้จำนวนข้อมูลอย่างน้อยที่ควรจะเก็บจากแบบจำลองคือ 550 ข้อมูลเป็นอย่างน้อย จากการทดสอบรันแบบจำลองที่ระยะเวลารันทั้งสิ้น (Run length) เท่ากับ 500000 นาที พบว่าได้ข้อมูลทั้งหมดประมาณ 800 ข้อมูล ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลารันแบบจำลองเท่ากับ 500000 นาที

6.7 **สรุป**

แบบจำลองในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer simulation model) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหาคือ โปรแกรม ARENA version 3.01และในการกำหนดค่าตัวแปร ค่าคุณลักษณะของ Entity และการคำนวณบางอย่าง ผู้วิจัยได้ใช้การเขียนโปรแกรมภาษา Visual Basic ช่วยในการคำนวณ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการจำลองแบบปัญหาเพื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบของเวลาเฉลี่ยที่ล็อตอยู่ในระบบ (Average Flow Time) เนื่องมาจากการเปลี่ยนขนาดของล็อตในการผลิต (Production lot size) จากการพิสูจน์ยืนยัน (Verification) และทดสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองพบว่าสามารถยอมรับเพื่อนำไปใช้แทน

ระบบงานจริงได้โดยทั้งนี้แบบจำลองอาจจะไม่เหมือนกับระบบงานจริงทุกประการ ส่วนพารามิเตอร์ในการใช้แบบจำลอง คือ ระยะเวลารันแบบจำลองเท่ากับ 500,000 นาที ที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 5 รอบ (Replications) ตัดสภาวะไม่คงตัว (Warm-up period) ที่ 100,000 นาที และจำนวนข้อมูลตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 550 ค่า จากนั้นก็นำผลการทดลองไป วิเคราะห์ สรุปผลการทดลองต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

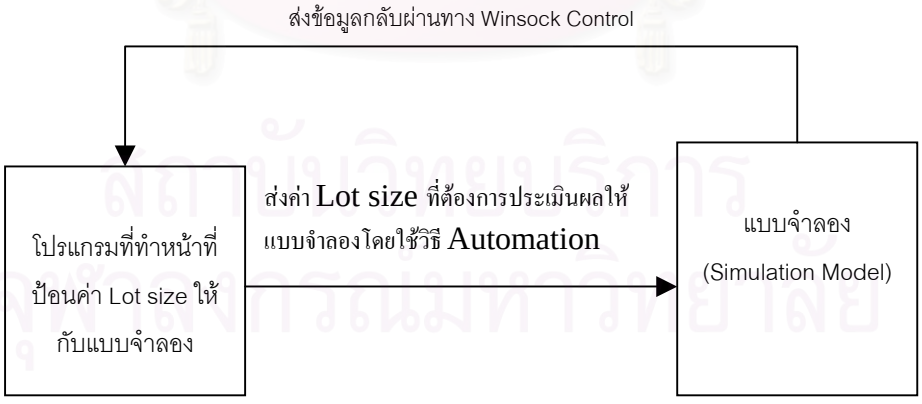
บทที่ 7

การเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมกับแบบจำลอง

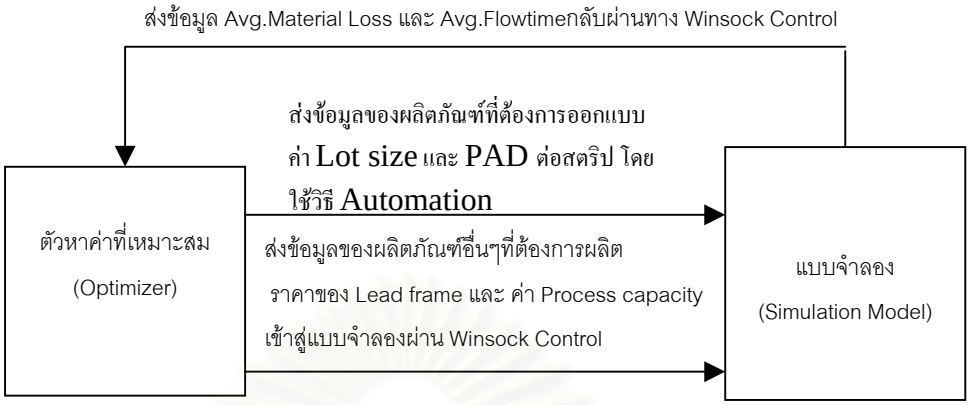
ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม (Application) กับแบบจำลอง ซึ่งรวมถึงโปรแกรมของตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) ด้วย ซึ่งวิธีการที่ใช้ในบทนี้จะถูกนำมาใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะ เนื่องจากในการทดลองทั้งสองมีค่าที่ต้องประเมิน (Evaluation) จำนวนมากดังนั้น จึงได้ใช้วิธีสร้างโปรแกรม (Application) แยกต่างหากจากแบบจำลองในการป้อนค่านำเข้า (Inputs) เข้าสู่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ สำหรับการทดลองที่ 1 นั้นใช้วิธีป้อนค่าขนาดล็อตในการผลิต (Production lot size) ให้แบบจำลองทีละค่า หรือ เรียกวิธีนี้ว่า Complete enumeration ส่วนการทดลองที่ 2 โปรแกรมที่ทำหน้าที่ป้อนค่าให้แบบจำลองจะป้อนค่าด้วยวิธีฮิวริสติกซึ่งได้แก่ วิธี เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) และการสุ่มเลือกค่า (Random search) ซึ่งโปรแกรมที่ใช้อัลกอริทึมทั้งสองนี้ ในที่นี้เรียกว่า Optimizer หรือตัวที่ทำหน้าที่หาคำตอบที่เหมาะสมตามสมการเป้าหมายที่กำหนด

7.1 เครื่องมือที่ใช้เพื่อเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมกับแบบจำลอง

ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ในการพัฒนาโปรแกรมคือ ภาษา Visual Basic รุ่นที่ 6.0 ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมต่อจึงเป็นเครื่องมือที่มีให้ในภาษาดังกล่าว ดังรูปข้างล่างแสดง



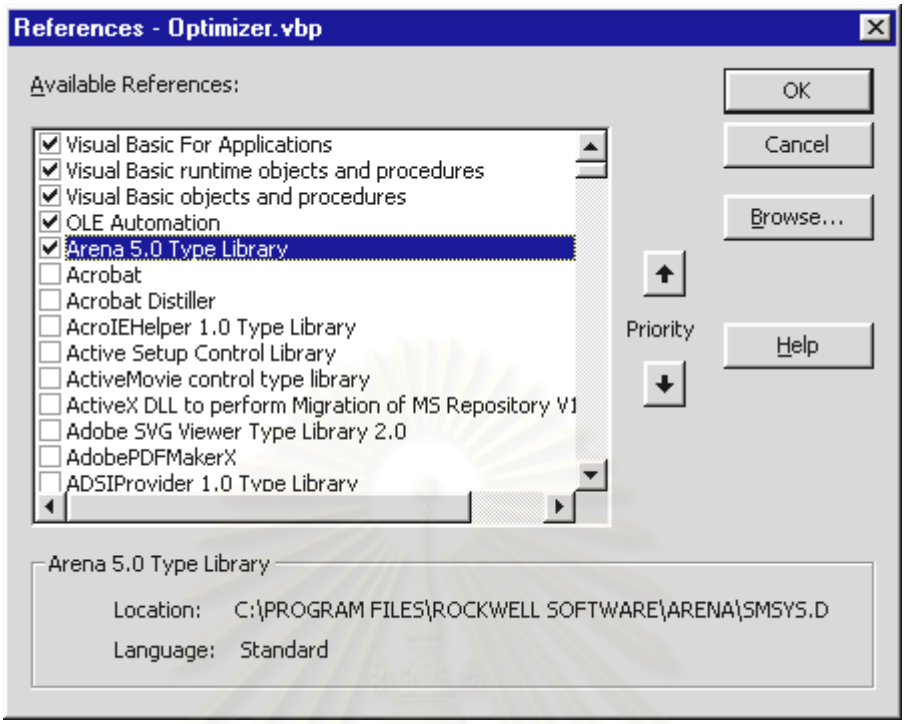
รูปที่ 7.1 แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าป้อนค่า Lot size ให้กับแบบจำลองสำหรับการทดลองที่ 1



รูปที่ 7.2 แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อระหว่างตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) กับแบบจำลองสำหรับการทดลองที่ 2

จากรูปที่ 7.1 และ 7.2 ข้างต้นนี้ก่อนที่จะสามารถเขียนโปรแกรมกำหนดค่าต่างๆในแบบจำลองซึ่งพัฒนาจากโปรแกรมสำเร็จรูป Arena จำเป็นต้องกำหนดการอ้างอิง (Reference) ก่อนเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิกสามารถเข้าถึง โปรแกรมย่อย (Methods) คุณสมบัติต่างๆของ Entity (Entity's attributes) ได้ สำหรับการควบคุมโปรแกรมตัวหนึ่งโดยโปรแกรมอีกตัวหนึ่งนั้น เรียกวิธีการนี้ว่า Automation

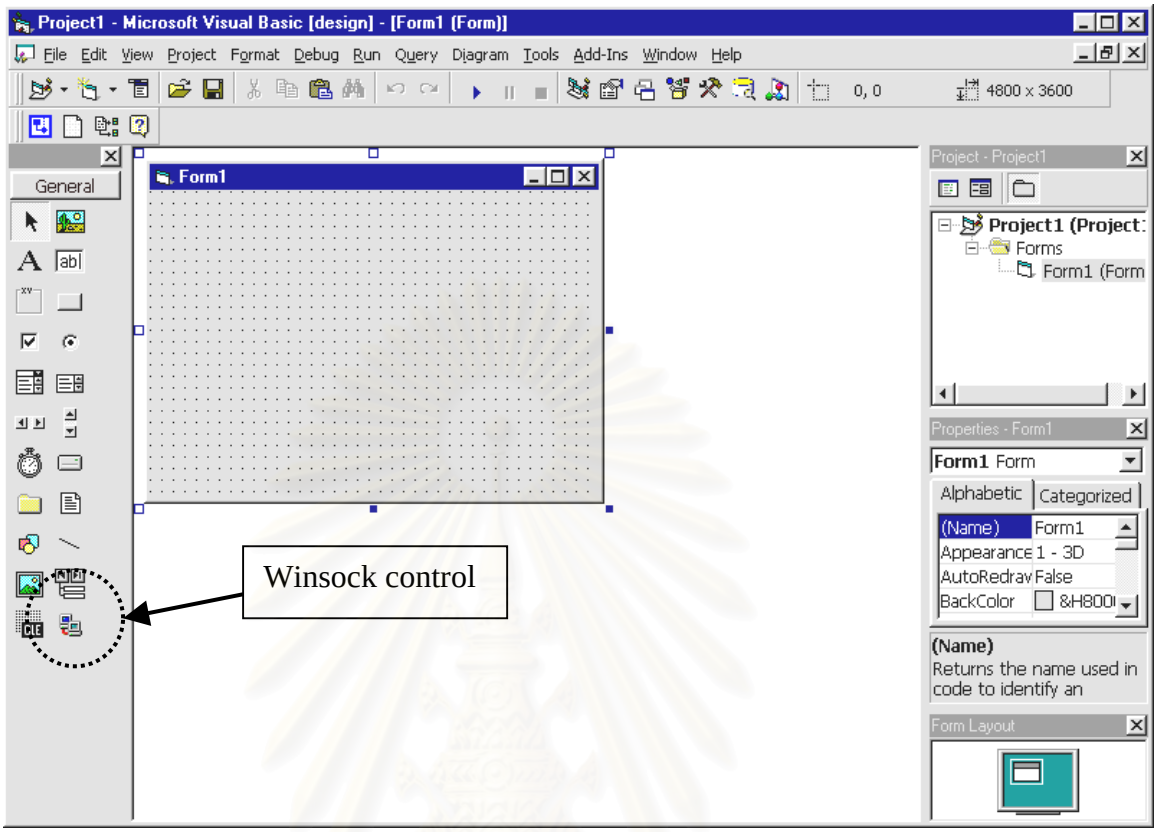
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.3 การกำหนดอ้างอิงของภาษาวิชวลเบสิกเพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรม Arena ได้

ส่วน Winsock control นั้นก็เป็นคอมโปเนนต์ตัวหนึ่งที่นิยมใช้ในงานด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เช่น การรับ-ส่งไฟล์บนเครือข่าย (File transfer application) โปรแกรมการสนทนา (Chat application) เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้จะได้ประยุกต์คอมโปเนนต์นี้ช่วยในการรับและส่งข้อมูลระหว่างแบบจำลองกับตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) โดยทั่วไปแล้ว Winsock control จะไม่ใช่คอมโปเนนต์พื้นฐานที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมทั่วๆไป ดังนั้น ก่อนที่จะสามารถเรียกใช้งานคอมโปเนนต์ตัวนี้ได้ต้องดำเนินการเพิ่ม (Add) เข้ามาในแถบของคอมโปเนนต์ก่อน

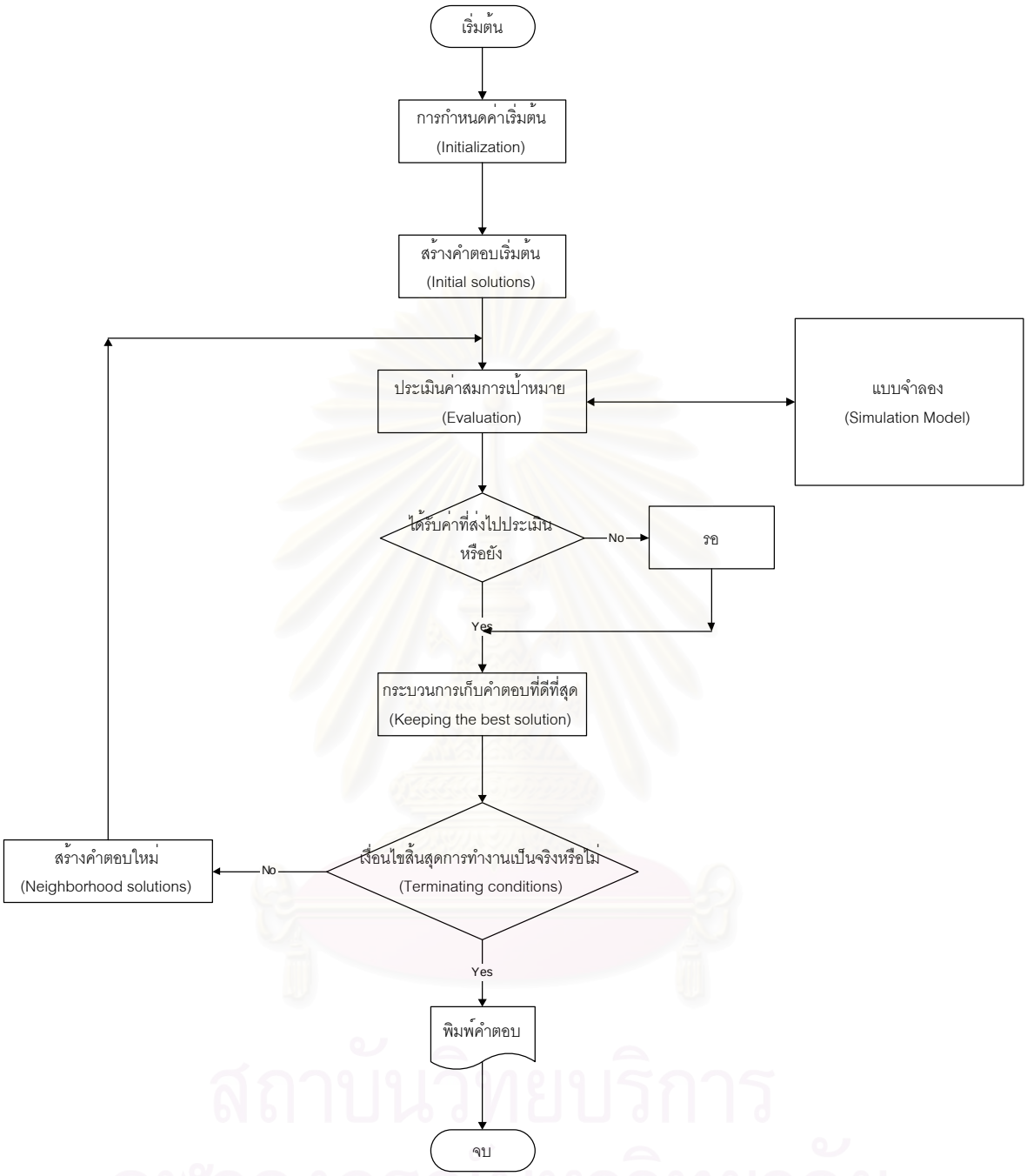
รูปที่ 7.4 แสดง Winsock control ซึ่งเป็นคอมโปเนนต์ด้านการรับ-ส่งข้อมูล



รูปที่ 7.5 แสดง Winsock control บนแถบคอมโปเนนต์ของภาษาวิชวลเบสิก

7.2 ลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมของตัวหาค่าที่เหมาะสมกับแบบจำลอง

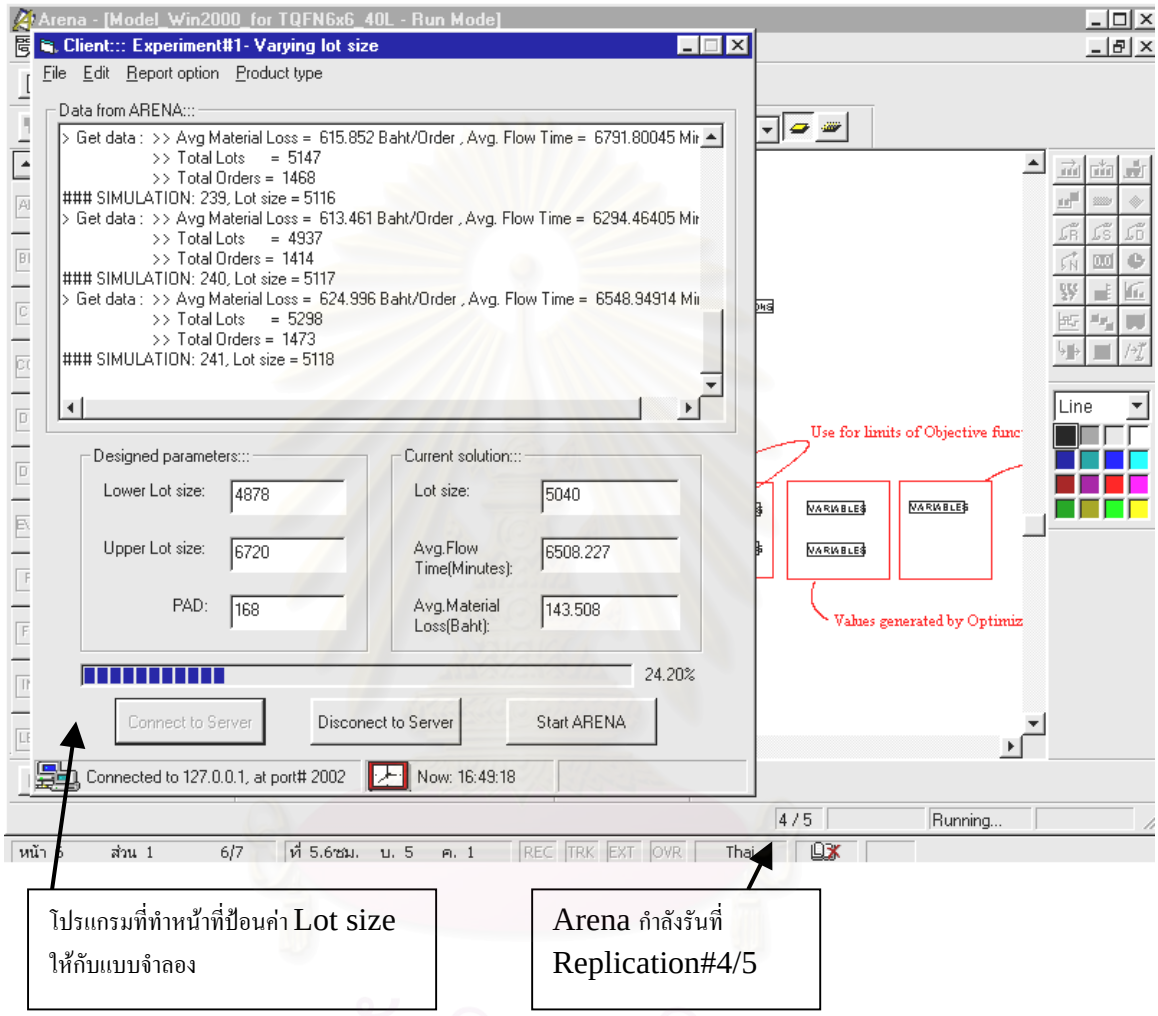
โดยทั่วไปแล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกนำมาใช้ในแก้ปัญหาด้านการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) จะมีสมการเป้าหมาย (Objective function) ที่ใช้ในการประเมินค่าคำตอบจะอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน โดยอาจอยู่ในรูปของโปรแกรมย่อยต่างๆซึ่งทำให้การคำนวณเพื่อประเมินค่าคำตอบ (Evaluation) เป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโปรแกรมไม่ได้ติดต่อหรือทำงานร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ โปรแกรมที่มีการทำงานลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า In-Process Application ส่วนโปรแกรมที่ต้องทำงานร่วมกับโปรแกรมอื่นโดยมีการรับ-ส่งข้อมูล หรือค่าตัวแปรต่างๆระหว่างกัน จะเรียกโปรแกรมที่ทำงานลักษณะนี้ว่า Out of Process Application หรือ Inter-Process Application และโปรแกรม Optimizer ที่จะถูกนำมาใช้ในการทดลองที่ 2 นี้ก็จะเป็นโปรแกรมประเภท Inter-Process Application ด้วยเช่นกัน



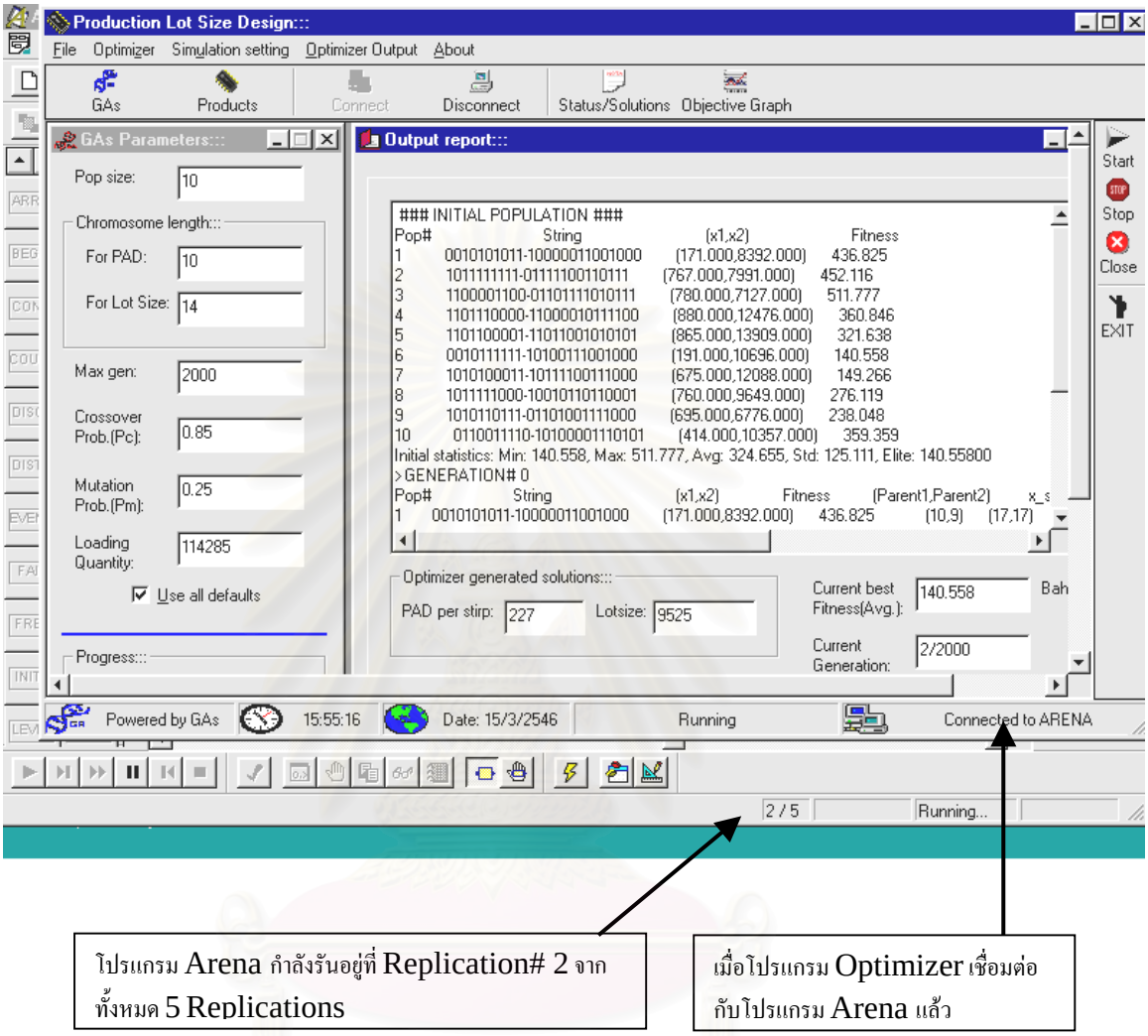
รูปที่ 7.6 ผังงานโดยทั่วไปของโปรแกรมที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation based Optimization Application) ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบ Inter-Process โดยสมการเป้าหมาย (Objective function) จะเป็นแบบจำลองหรืออยู่ในแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากในบทนี้ต้องการนำเสนอในภาพรวมของการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าที่ป้อนค่าหรือโปรแกรมที่ทำหน้าที่หาคำตอบที่เหมาะสมกับแบบจำลองเท่านั้น ดังนั้น จึงไม่ได้กล่าวในรายละเอียดของการเขียนโปรแกรมโดยละเอียด



รูปที่ 7.7 แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าที่ป้อนค่า Lot size ที่ต้องการประเมินให้กับแบบจำลอง สำหรับการทดลองที่ 1



รูปที่ 7.8 แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมที่ทำหน้าที่หาคำตอบที่เหมาะสม (Optimizer) กับแบบจำลองสำหรับการทดลองที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

การทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองตามขอบเขตในงานวิจัยนี้มีอยู่ด้วยกันทั้งหมดสามการทดลองซึ่งได้ใช้แบบจำลองทั้งสามการทดลองเพียงแตกต่างกันตรงที่ข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลองเท่านั้น โดยในการทดลองที่ 1 จะเป็นการคำนวณหาค่าขนาดของล็อตที่ใช้ในการผลิต (Production lot size) ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียวัตถุดิบต่อคำสั่งผลิตต่ำที่สุดซึ่งในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนค่าขนาดล็อตเพียงอย่างเดียว ส่วนการทดลองที่ 2 จะดำเนินการทดลองกับแบบจำลองโดยวิธีเปลี่ยนทั้งค่าขนาดล็อตและจำนวนแพดต่อสตริปหนึ่งแผ่น ซึ่งทั้งการทดลองที่ 1 และ 2 จะได้ใช้โปรแกรม (Application) ต่างหากที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นตัวป้อนข้อมูลให้แบบจำลอง ส่วนการทดลองที่ 3 จะเป็นการทดลองโดยรันแบบจำลองเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่น

8.1 การทดลองที่ 1

8.1.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง : หาค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิต (Production lot size) ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียวัตถุดิบต่อคำสั่งผลิตต่ำที่สุด

8.1.2 ปัจจัยที่ศึกษา : Production Lot Size

8.1.3 ระดับของปัจจัยที่ศึกษา :

เนื่องจากค่าของขนาดล็อตในการผลิตในช่วงที่เป็นไปได้มีค่าตั้งแต่ 1 สตริป ถึง 80 สตริป (1 สตริปของผลิตภัณฑ์ A มี 396 ไดหรือแพด และ ผลิตภัณฑ์ B มี 168 ไดหรือแพด) แต่เนื่องจากในการรันแบบจำลองใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างสูง ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงได้ลดช่วงของค่าขนาดล็อตในการผลิต ที่จะใช้ในการทดลองให้แคบลงอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 สตริปโดยกำหนดให้เป็นช่วงที่ครอบคลุมช่วงของขนาดล็อตที่เป็นไปได้ในแง่ของการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมช่วงของขนาดล็อตที่ใช้สำหรับงานด้านการทดลองต่างๆ (Engineering lots หรือ Qualification lots) ดังนั้น ช่วงของขนาดล็อตที่จะใช้ในการทดลองนี้คือ

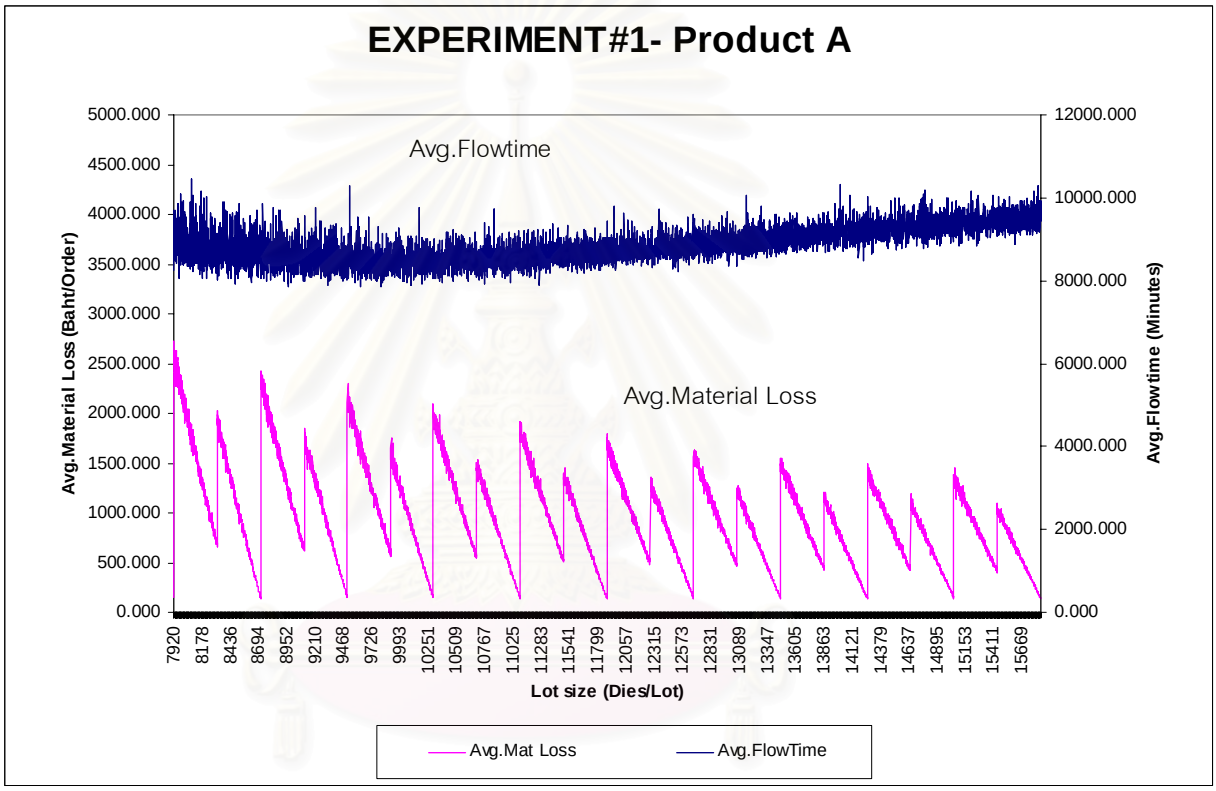
- ผลิตภัณฑ์ A : 7920 – 15840 ไดต่อล็อต (Dies/Lot)
- ผลิตภัณฑ์ B : 3360 – 6720 ไดต่อล็อต (Dies/Lot)

8.1.4 ปัจจัยคงที่ : จำนวนแพดต่อสตริป (PAD per Strip)

- ผลิตภัณฑ์ A : 396 แพดต่อสตริป
- ผลิตภัณฑ์ B : 168 แพดต่อสตริป

8.1.5 ผลการทดลอง

8.1.5.1 ผลิตภัณฑ์ A



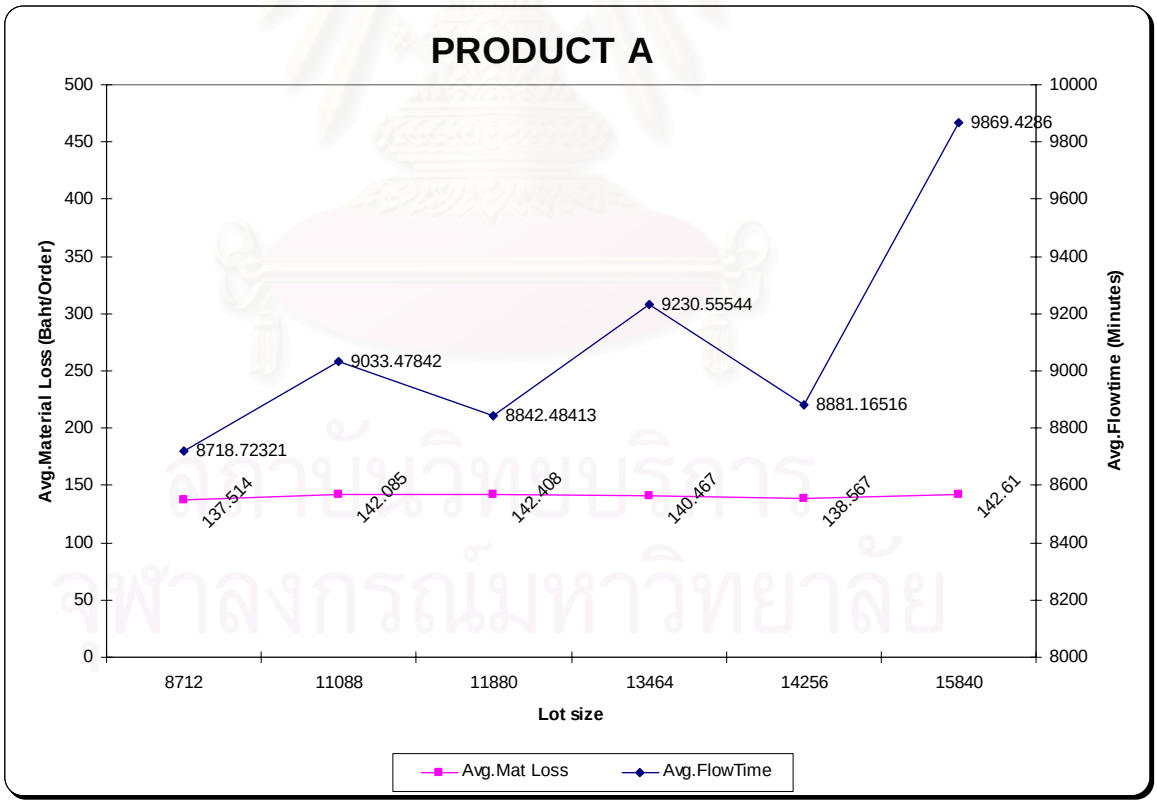
รูปที่ 8.1 กราฟมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเมื่อเปลี่ยนขนาดล็อต (ผลิตภัณฑ์ A)

คำตอบที่ได้จากแบบจำลองซึ่งในที่นี้จะแสดงเฉพาะคำตอบที่ดีกว่าค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Present Production Lot Size) ดังรายละเอียดในตารางที่ 8.1 ซึ่งมูลค่าการสูญเสียของวัตถุดิบโดยเฉลี่ยของขนาดล็อต 8712 ไดต่อล็อตให้ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 137.514 ซึ่งต่ำกว่าค่าขนาดล็อตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันประมาณ 3.4366 %

ตารางที่ 8.1 คำตอบของค่าขนาดล็อตในการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง (ผลิตภัณฑ์ A)

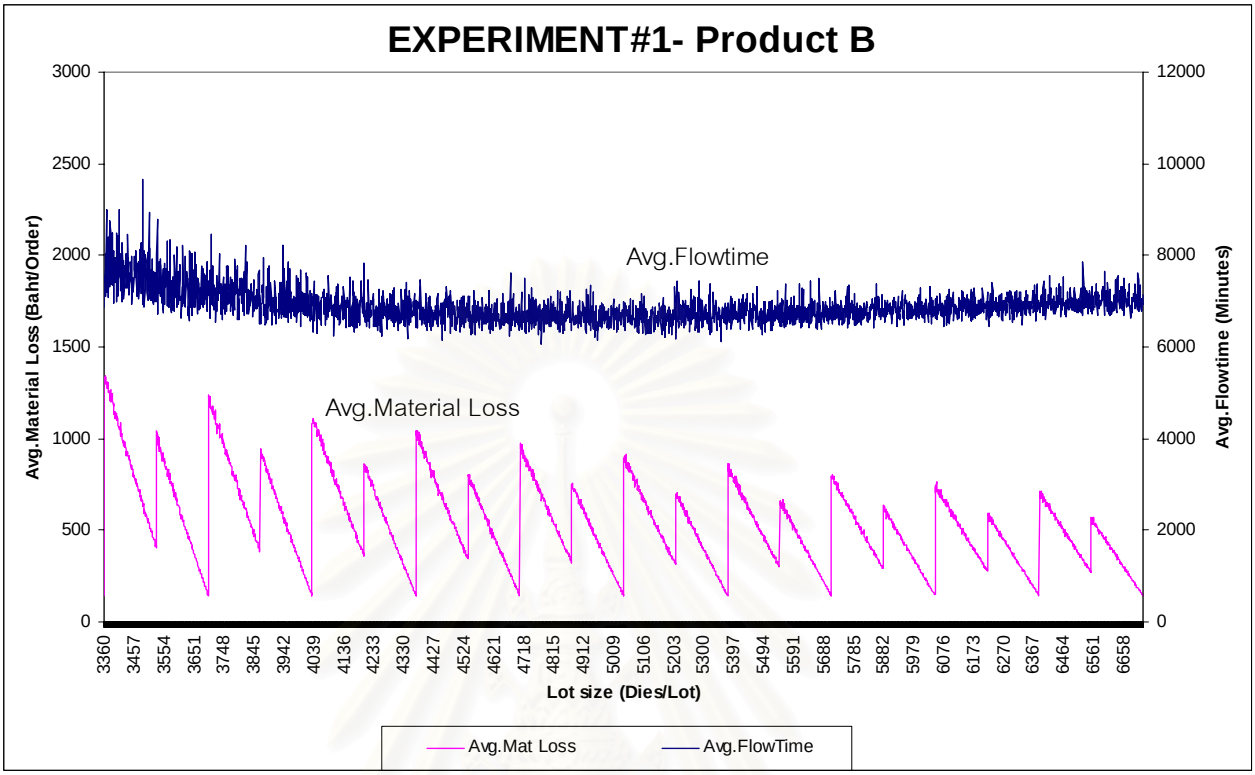
ที่	ขนาดล็อต	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียวัตถุดิบ (บาท/คำสั่งผลิต)	ค่าเฉลี่ย Flowtime (นาที)	จำนวนล็อตทั้งหมดที่ประเมิน	จำนวนคำสั่งผลิตทั้งหมดที่ประเมิน	หมายเหตุ
1	8712	137.514	8718.72321	5081	549	22 สตริปต่อล็อต
2	11088	142.085	9033.47842	4103	585	28 สตริปต่อล็อต
3*	11880	142.408	8842.48413	3839	569	30 สตริปต่อล็อต
4	13464	140.467	9230.55544	3411	589	34 สตริปต่อล็อต
5	14256	138.567	8881.16516	2811	532	36 สตริปต่อล็อต
6	15840	142.61	9869.42860	2914	582	40 สตริปต่อล็อต

หมายเหตุ : * คือ ขนาดล็อตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 8.2 กราฟเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบของขนาดล็อตต่างๆกับขนาดล็อตปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ A)

8.1.5.2 ผลิตภัณฑ์ B



รูปที่ 8.3 กราฟมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเมื่อเปลี่ยนขนาดล็อต (ผลิตภัณฑ์ B)

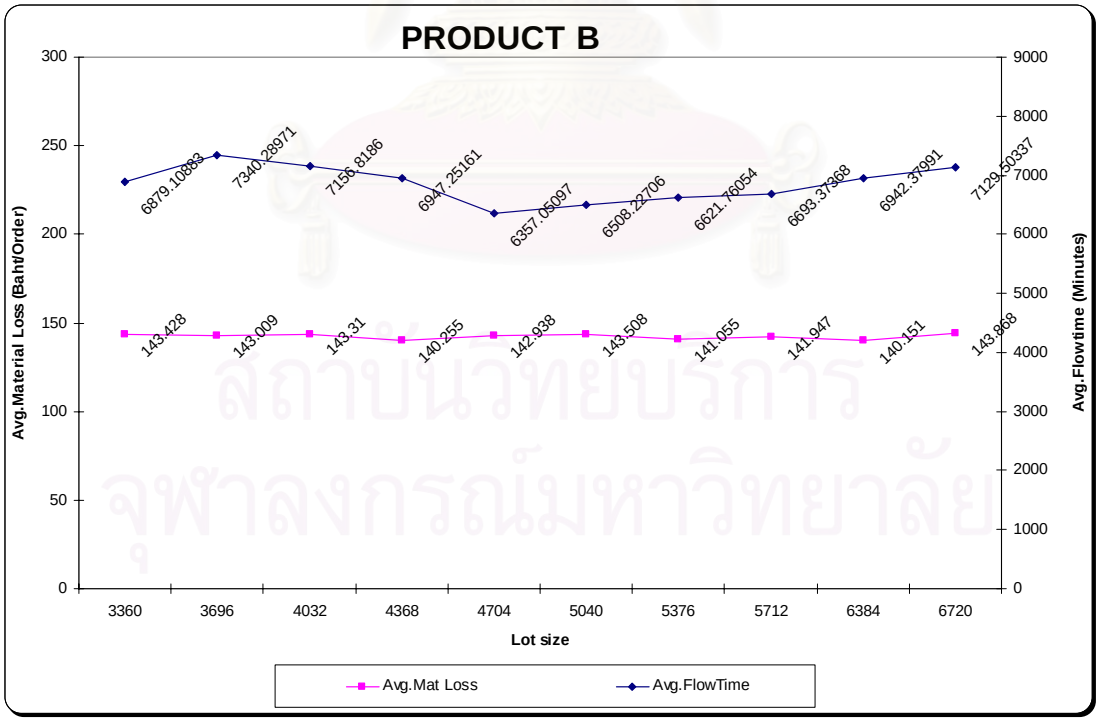
คำตอบที่ได้จากแบบจำลองซึ่งในที่นี้จะแสดงเฉพาะคำตอบที่ดีกว่าค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Present Production Lot Size) ดังรายละเอียดในตารางที่ 8.2 ซึ่งมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยของขนาดล็อต 6384 ไดต่อล็อตให้ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 140.151 ซึ่งต่ำกว่าค่าขนาดล็อตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันประมาณ 2.3392 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.2 คำตอบของค่าขนาดล็อตในการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง (ผลิตภัณฑ์ B)

ที่	ขนาดล็อต	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียวัตถุดิบ (บาท/คำสั่งผลิต)	ค่าเฉลี่ย Flowtime (นาที)	จำนวนล็อตทั้งหมดที่ประเมิน	จำนวนคำสั่งผลิตทั้งหมดที่ประเมิน	หมายเหตุ
1	3360	143.428	6879.10883	6718	1311	20 สตริปต่อล็อต
2	3696	143.009	7340.28971	7092	1475	22 สตริปต่อล็อต
3	4032	143.310	7156.81860	6425	1441	24 สตริปต่อล็อต
4	4368	140.255	6947.25161	5751	1414	26 สตริปต่อล็อต
5	4704	142.938	6357.05097	5367	1423	28 สตริปต่อล็อต
6*	5040	143.508	6508.22706	5055	1409	30 สตริปต่อล็อต
7	5376	141.055	6621.76054	4731	1391	32 สตริปต่อล็อต
8	5712	141.947	6693.37368	4822	1442	34 สตริปต่อล็อต
9	6384	140.151	6942.37991	4273	1425	38 สตริปต่อล็อต
10	6720	143.868	7129.50337	4319	1451	40 สตริปต่อล็อต

หมายเหตุ : * คือ ขนาดล็อตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 8.4 กราฟเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบของขนาดล็อตต่างๆกับขนาดล็อตปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ B)

8.2 การทดลองที่ 2

8.2.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง : หาค่าขนาดล็อตสำหรับการผลิต (Production lot size) และ จำนวนแพดต่อสตริปที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียวัตถุดิบต่อคำสั่งผลิตต่ำสุด

8.2.2 ปัจจัยที่ศึกษา : Production Lot Size และ PAD per Strip

8.2.3 ระดับของปัจจัยที่ศึกษา :

สำหรับการกำหนดระดับของปัจจัยด้านขนาดของล็อตที่ใช้ในการผลิตนั้นจะใช้เหตุผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้างต้น ส่วนจำนวนแพดต่อสตริปนั้น เนื่องจาก การขายสตริปจะขายเป็นแผ่น ดังนั้น เพื่อให้ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ต่ำลงจำเป็นจะต้องเพิ่มจำนวนแพดที่เป็นไปได้บนสตริปให้มากขึ้น ซึ่งการหาว่าจำนวนแพดต่อสตริปควรเป็นจำนวนเท่าไรนั้น บริษัทที่รับจ้างออกแบบสตริปหรือลีดเฟรมจะเป็นผู้ดำเนินการด้านการออกแบบและเมื่อออกแบบสตริปได้แล้วจะต้องมีการทดลองเพื่อให้มั่นใจว่าสตริปไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพตามมา (Quality related problems) และที่สำคัญยิ่ง การเปลี่ยนจำนวนแพดต่อสตริปให้มากขึ้นจะมีผลทำให้สตริปนั้นยาวขึ้นหรือกว้างขึ้นซึ่งก็จะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์จับยึดและเครื่องจักรต่างๆในวงกว้าง ดังนั้น การเปลี่ยนจำนวนแพดต่อสตริปจึงไม่สามารถกระทำได้บ่อยๆและมีผลกระทบข้างเคียง (Side effects) ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดล็อตในการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแนวโน้มในอนาคตจะมีการใช้งานสตริปที่มีจำนวนแพดมากขึ้นในหลายๆ ผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ในการทดลองที่ 2 นี้จะกำหนดช่วงของจำนวนแพดต่อสตริปโดยอาศัยการพิจารณาจากผู้ที่มีประสบการณ์และเกี่ยวข้องกับการตั้งข้อกำหนด (Specification) และใช้งาน สตริปนี้ เป็นผู้ประมาณจำนวนแพดต่อสตริปสูงสุดที่ควรจะเป็นให้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ผลิตภัณฑ์ A

จำนวนแพดต่อสตริป : 396 – 900 แพด

ขนาดล็อต : 7920 – 15840 ไดต่อล็อต

- ผลิตภัณฑ์ B

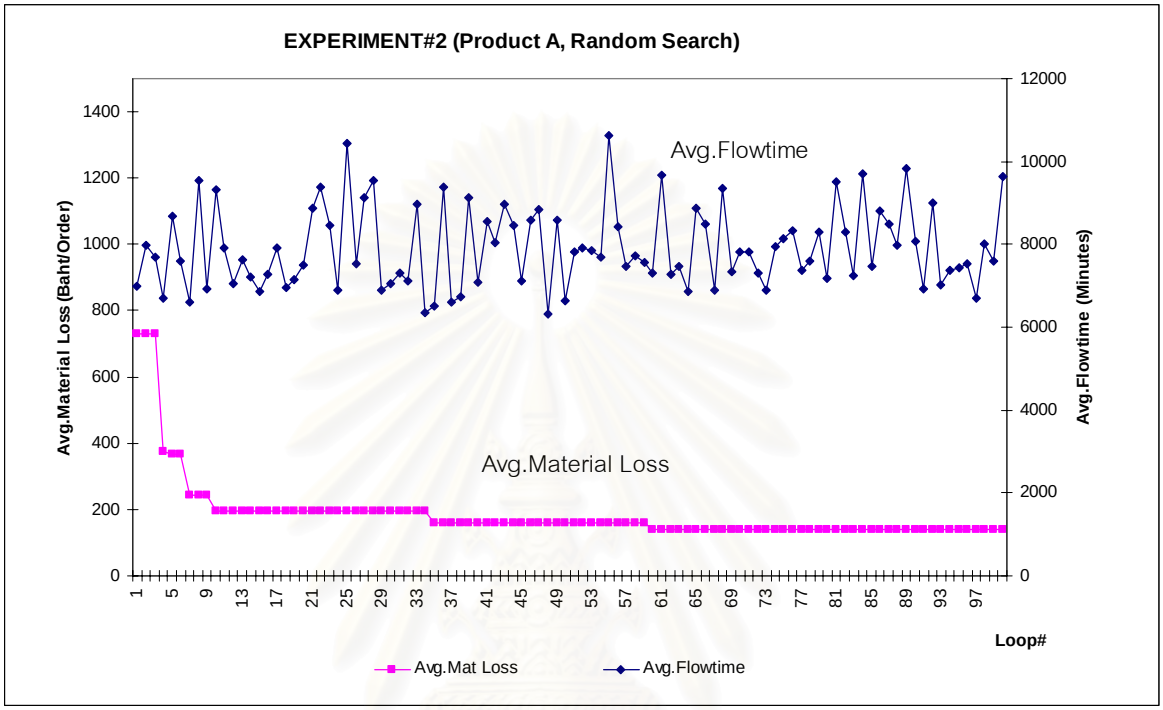
จำนวนแพดต่อสตริป : 168 – 400 แพด

ขนาดล็อต : 3360 – 6720 ไดต่อล็อต

8.2.4 ปัจจัยคงที่ : ไม่มี

8.2.5 ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ A

8.2.5.1 ผลิตภัณฑ์ A- กรณีใช้ Random Search เป็นตัวหาคำตอบ



รูปที่ 8.5 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Random Search เป็นตัว Optimizer (ผลิตภัณฑ์ A)

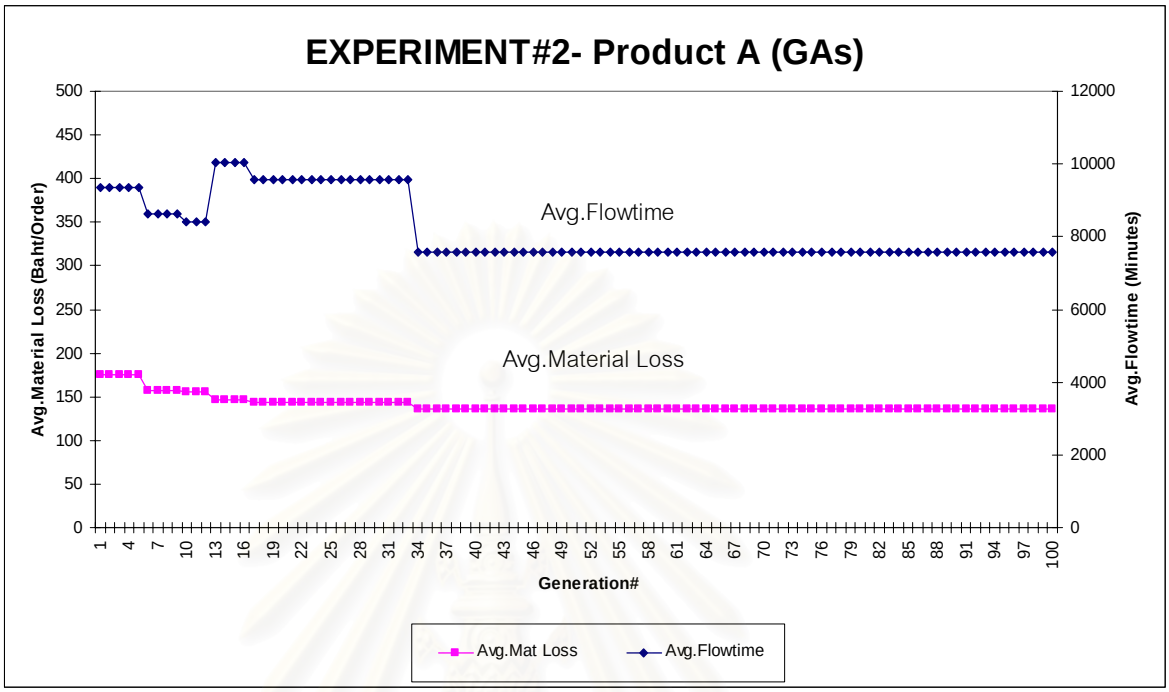
คำตอบที่ได้คือ

- จำนวนแพดต่อสตริป : 660 แพด
- ขนาดล็อต : 15840 ไดต่อล็อต
- มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ย : 140.817 บาท/คำสั่งผลิต
- Flowtime โดยเฉลี่ย : 9648.082 นาที

% ที่ลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ = ((142.408-140.817)/142.408)*100

= 1.1172 %

8.2.5.2 ผลิตภัณฑ์ A- กรณีใช้ Genetic Algorithms (GAs) เป็นตัวหาคำตอบ



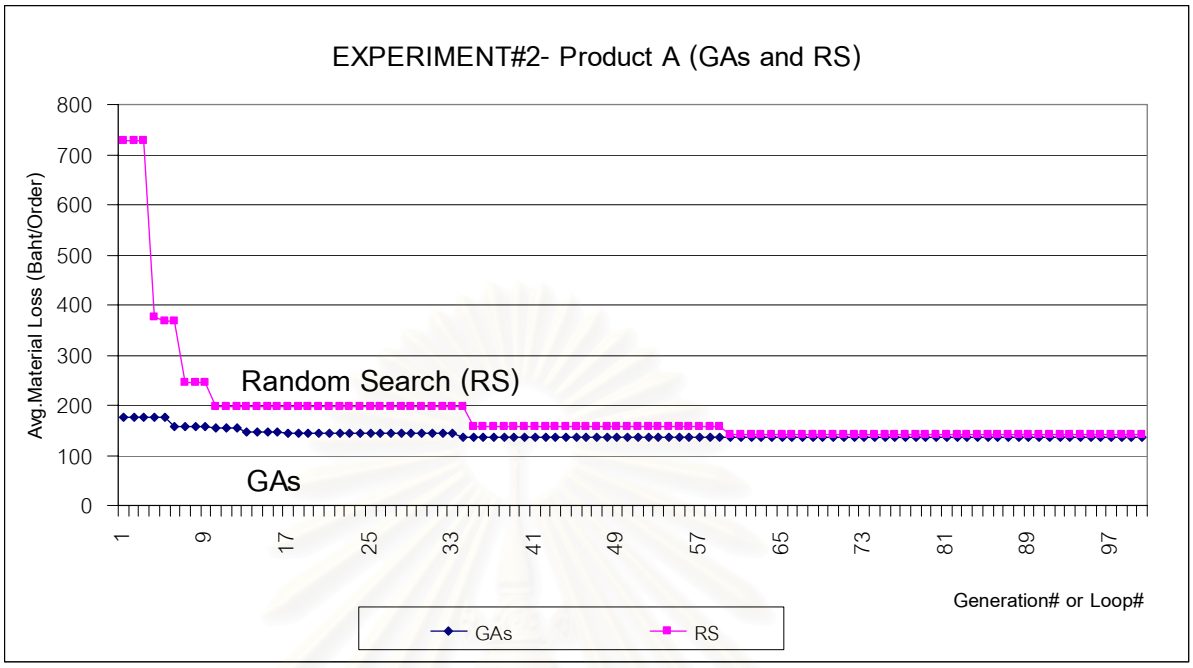
รูปที่ 8.6 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Genetic Algorithms เป็นตัว Optimizer (ผลิตภัณฑ์ A)

คำตอบที่ได้คือ

- จำนวนแพดต่อสตริป : 596 แพด
- ขนาดล็อต : 9536 ไดต่อล็อต
- มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ย : 135.436 บาท/คำสั่งผลิต
- Flowtime โดยเฉลี่ย : 7582.045 นาที

% ที่ลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ = ((142.408-135.436)/142.408)*100

= 4.8958 %



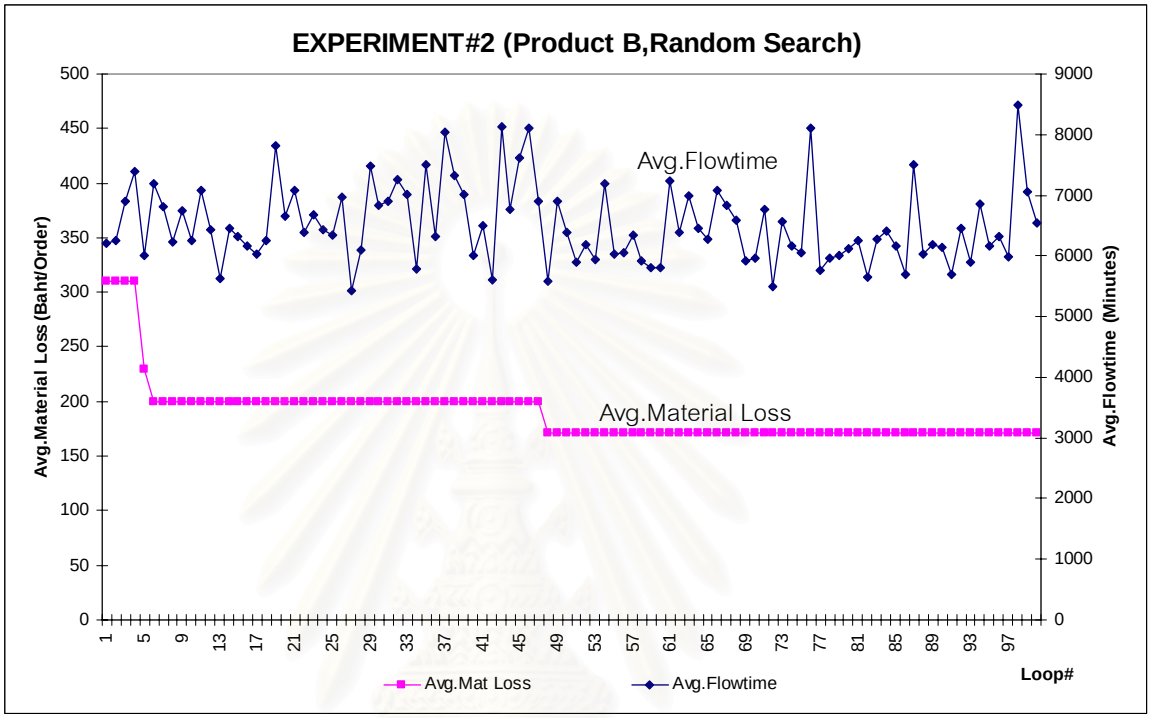
รูปที่ 8.7 กราฟเปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบระหว่าง GAs. และ RS (ผลิตภัณฑ์ A)

จากรูปที่ 8.7 ข้างต้นจะเห็นว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมีโอกาสในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดีกว่าวิธี Random Search

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.2.6 ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ B

8.2.6.1 ผลิตภัณฑ์ B- กรณีใช้ Random Search เป็นตัวหาคำตอบ



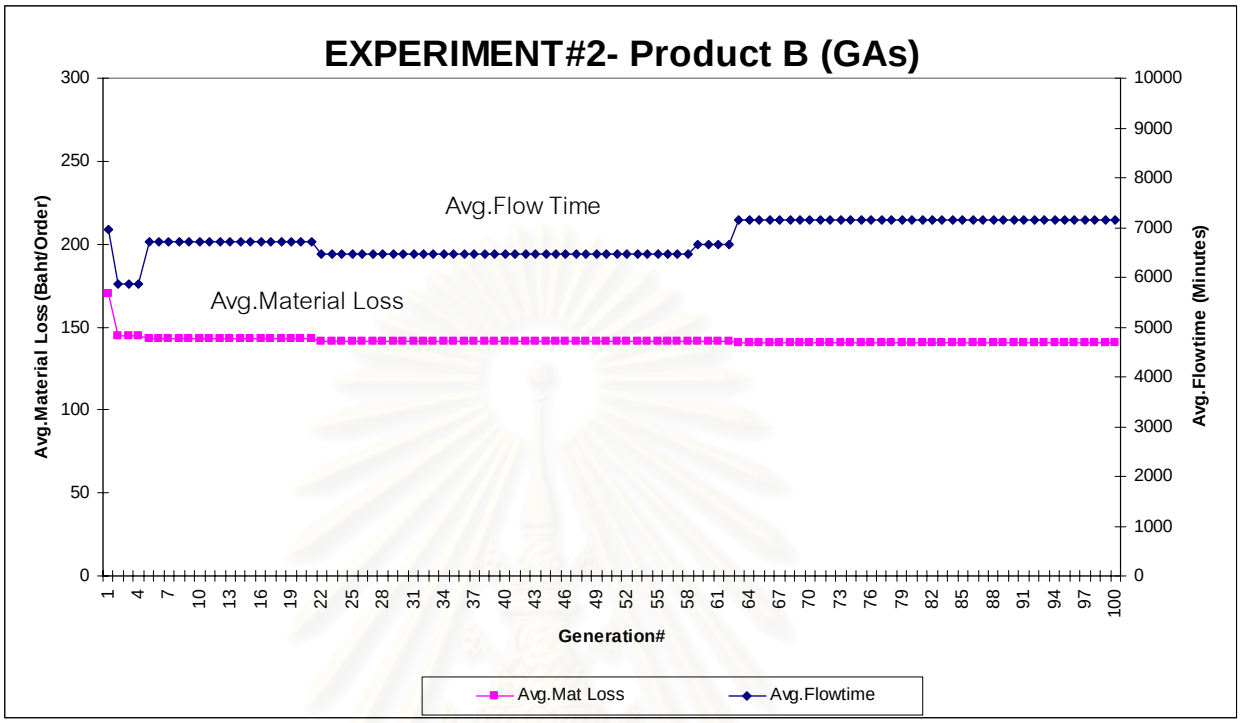
รูปที่ 8.8 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Random Search เป็นตัว Optimizer (ผลิตภัณฑ์ B)

คำตอบที่ได้คือ

- จำนวนแพดต่อสตริป : 372 แพด
- ขนาดล็อต : 6672 ไดต่อล็อต
- มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ย : 170.783 บาท/คำสั่งผลิต
- Flowtime โดยเฉลี่ย : 6554.304 นาที

% ที่ลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ = ไม่ต่ำไปกว่ามูลค่าการสูญเสียในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 143.508 บาทต่อคำสั่งผลิต

8.2.6.2 ผลิตภัณฑ์ B- กรณีใช้ Genetic Algorithms เป็นตัวหาคำตอบ



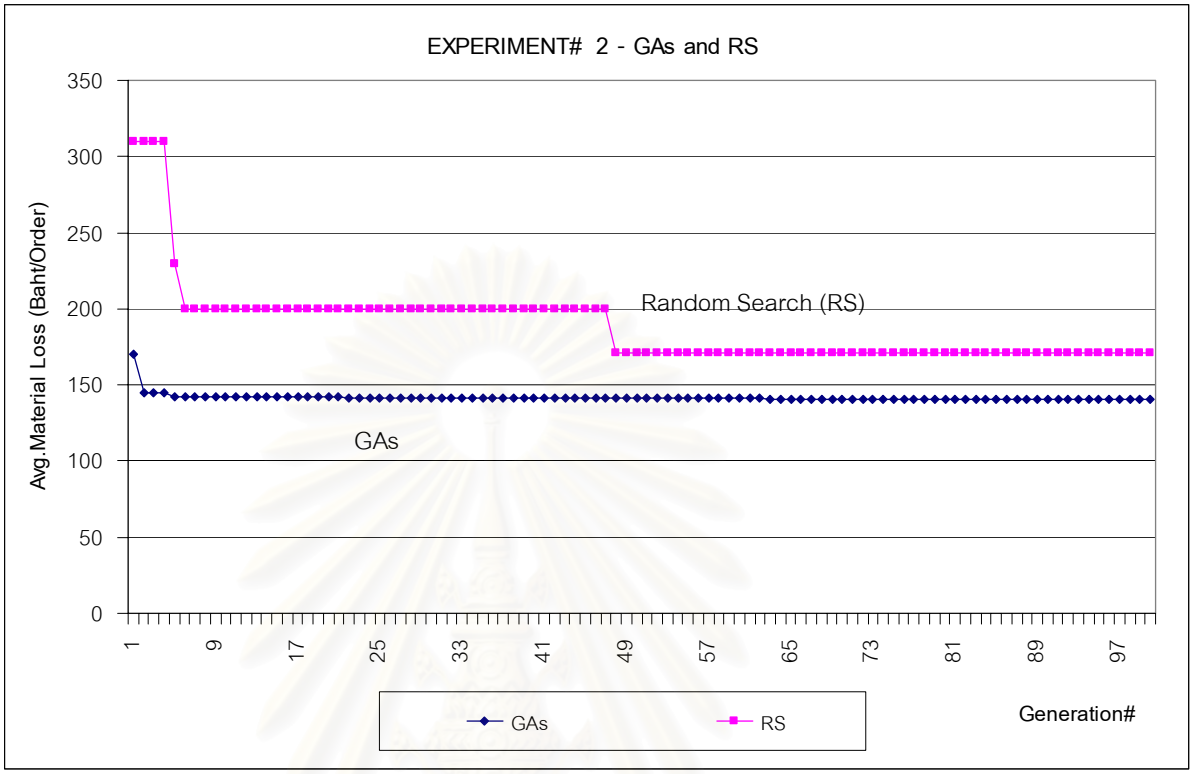
รูปที่ 8.9 กราฟค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อใช้ Genetic Algorithms เป็นตัว Optimizer (ผลิตภัณฑ์ B)

คำตอบที่ได้คือ

- จำนวนแพดต่อสตริป : 212 แพด
- ขนาดล็อต : 5088 ไดต่อล็อต
- มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ย : 140.422 บาท/คำสั่งผลิต
- Flowtime โดยเฉลี่ย : 7154.498 นาที

% ที่ลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ = ((143.508-140.422)/143.508)*100

= 2.1504 %



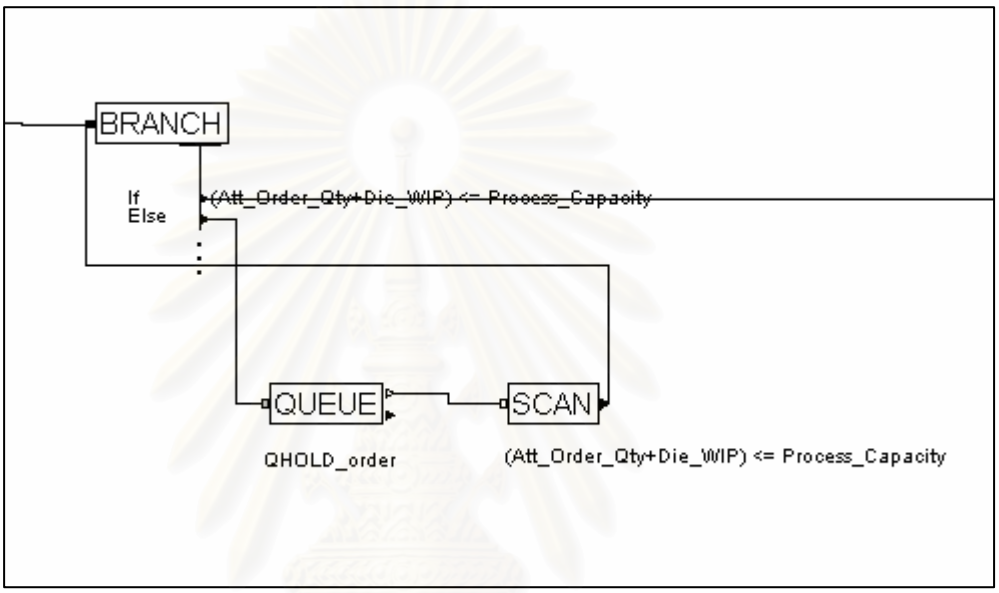
รูปที่ 8.10 กราฟเปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบระหว่าง GAs. และ RS (ผลิตภัณฑ์ B)

จากรูปที่ 8.10 ข้างต้นจะเห็นว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมีโอกาสในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้มากกว่าวิธี Random Search

8.3 การทดลองที่ 3

8.3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง : เพื่อทดสอบวิธีการโหลดงานแบบจ่ายโหลดครั้งเดียว (Single order loading) อย่างเดียว กับ วิธีการโหลดงานในปัจจุบันซึ่งมีทั้งการโหลดแบบ Single order loading (สำหรับกรณีที่ความกำลังการผลิตสามารถรองรับได้สามารถโหลดงานทั้ง Order ได้) และ Multiple loading (สำหรับกรณีที่กำลังการผลิต (Capacity) ของกระบวนการผลิตไม่สามารถโหลดงานทั้ง Order ได้) โดยจะรันแบบจำลองจำนวน 100 รอบ (Replications)

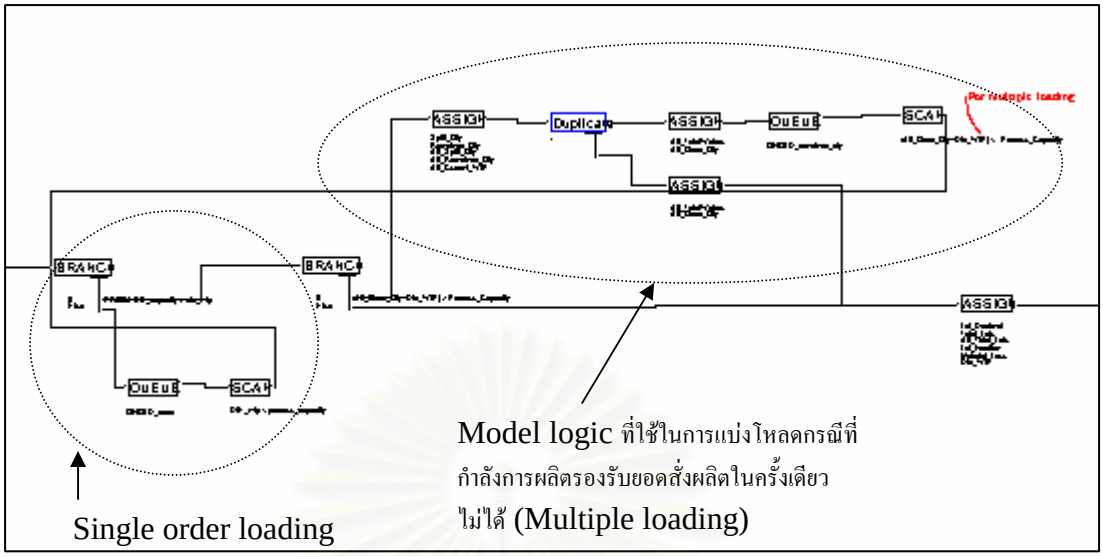
8.3.1.1 วิธีโหลดงานแบบ Single order หมายถึง การผลิตตามจำนวนในยอดสั่งผลิตให้เสร็จภายในครั้งเดียวโดยไม่ได้แบ่งผลิตหลายครั้ง ซึ่งการโหลดงานแบบนี้จะทำได้เมื่อกำลังการผลิต (Process Capacity) มีมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณที่ต้องการผลิต หากไม่เป็นเช่นนี้แล้ว คำสั่งผลิตนั้นจะต้องรอจนกว่าความสามารถของกระบวนผลิตจะสามารถรองรับได้



รูปที่ 8.11 แสดง Model logic สำหรับการโหลดงานแบบ Single order loading

8.3.1.2 วิธีโหลดงานแบบปัจจุบัน หมายถึง การผลิตที่สามารถแบ่งได (Dies) ของหนึ่งคำสั่งผลิตเพื่อผลิตหลายครั้งได้ กล่าวคือ เป็นการผลิตตามกำลังการผลิตที่สามารถรองรับได้ ณ. ขณะนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.12 แสดง Model logic สำหรับการโหลดงานแบบปัจจุบัน

8.3.2 ปัจจัยที่ศึกษา : วิธีการจ่ายโหลดแบบ Single order loading และ วิธีการจ่ายโหลดแบบปัจจุบัน

8.3.3 ระดับของปัจจัยที่ศึกษา : ไม่มี

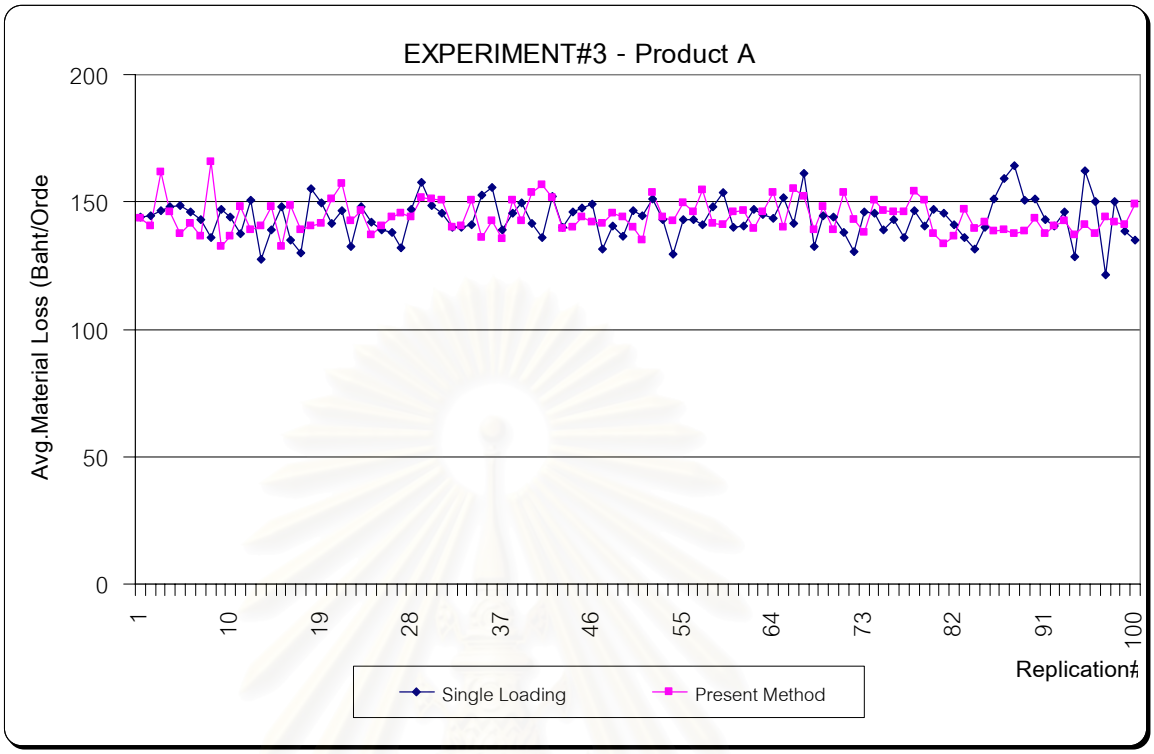
8.3.4 ปัจจัยคงที่ :

- ผลิตภัณฑ์ A : จำนวนแพดต่อสตริป = 396 แพด
  ขนาดล็อต = 11880 ไดต่อล็อต

- ผลิตภัณฑ์ B : จำนวนแพดต่อสตริป = 168 แพด
  ขนาดล็อต = 5040 ไดต่อล็อต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.3.5 ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ A



รูปที่ 8.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ วิธีการโหลดงานในปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ A)

ในที่นี้จะใช้ Paired-T test สำหรับทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบว่าการโหลดงานแบบ Single order loading กับวิธีการโหลดงานในปัจจุบันทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุดิบ (Material loss) ต่างกันหรือไม่ ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

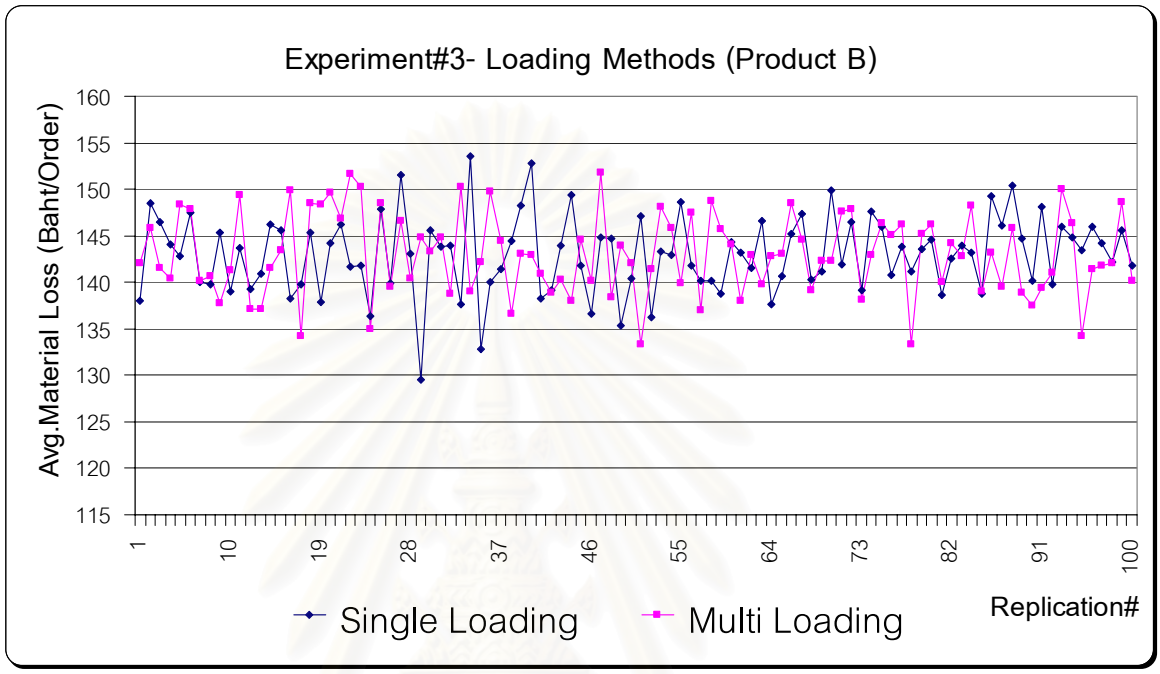
ตารางที่ 8.3 Paired-T test ของวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ วิธีการโหลดงานปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ A)

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	SINGLE - MULTI	-.4908	10.3677	1.0368	-2.5480	1.5664	-.473	99	.637

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 8.3 พบว่าวิธีการโหลดงานทั้งสองมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบไม่ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

8.3.5 ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ B



รูปที่ 8.14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ วิธีการโหลดงานในปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ B)

ตารางที่ 8.4 Paired-T test ของวิธีการโหลดงานแบบ Single order loading กับ วิธีการโหลดงานปัจจุบัน (ผลิตภัณฑ์ B)

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	SINGLE - MULTI	-3.4300E-03	5.7982	.5798	-1.1539	1.1471	-.006	99	.995

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 8.4 พบว่าวิธีการโหลดงานทั้งสองมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบไม่ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 9

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์หลักในการทำงานวิจัยนี้คือ เพื่อหาแนวทางที่จะช่วยลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ แต่เนื่องจากระบบงานเป็นระบบที่ไม่คงที่ ดังนั้น ในการศึกษาจึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองแบบปัญหาในการเลียนแบบระบบงานจริงขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ในส่วนของค่าสมรรถนะของระบบงาน (Performance measures) นั้น ในขอบเขตของการศึกษานี้กำหนดไว้เพียงตัวเดียวคือ มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยต่อคำสั่งผลิต (Average Material Loss) ซึ่งเป็นผลตอบสนองหลักที่ต้องการศึกษา แต่เนื่องจากว่าในการศึกษานี้มีการเปลี่ยนแปลงค่าของระบบงาน ได้แก่ ขนาดของล็อตในการผลิต จำนวนแพดต่อสตริป ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบข้างเคียง (Side effects) ต่อค่าสมรรถนะของระบบงานตัวอื่น เช่น ค่า Flow time เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้เลือกค่า Flow time เป็นผลตอบสนองรองที่ต้องมีการเก็บข้อมูลมาประกอบการพิจารณาด้วย

9.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

9.1.1 กรณีนี้ที่ต้องการลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดล็อตในการผลิตอย่างเพียงอย่างเดียวสำหรับผลิตภัณฑ์ A ควรใช้ค่าเท่ากับ 8712 ไดต่อล็อตหรือ 22 สตริปต่อล็อต โดยใช้แพดต่อสตริปเท่ากับค่าปัจจุบันคือ 396 ไดต่อสตริป ซึ่งมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 137.514 บาทต่อคำสังผลิต หรือน้อยกว่าการใช้ที่ขนาดล็อตในปัจจุบันประมาณ 3.4366% โดยมีค่าเวลาที่ล็อต (Production lots) จะอยู่ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 8718.723 นาที หรือ 6.055 วัน แต่หากต้องการใช้ประโยชน์จากแมกกาซีนให้เต็มที่หรือมีจำนวนแมกกาซีนจำกัดอาจใช้ขนาดของล็อตในการผลิตเท่ากับ 14256 ไดต่อล็อต หรือ 36 สตริปต่อล็อต ซึ่งมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 138.567 บาทต่อคำสั่งผลิต หรือน้อยกว่าการใช้ที่ขนาดล็อตในปัจจุบันประมาณ 2.6972% โดยมีค่าเวลาที่ล็อต (Production lots) จะอยู่ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 8881.165 นาที หรือ 6.167 วัน

ส่วนผลิตภัณฑ์ B พบว่ามีคำตอบที่ดีที่สุดเพียงค่าเดียวคือ ที่ขนาดล็อตเท่ากับ 6384 ไดต่อล็อต หรือ 38 สตริปต่อล็อต มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเท่ากับ

140.151 บาทต่อคำสั่งผลิตหรือลดลงเมื่อเทียบกับการใช้ขนาดล็อตในปัจจุบัน ประมาณ 2.3392% โดยมีค่าเวลาที่ล็อต (Production lots) จะอยู่ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 6942.38 นาที หรือ 4.821 วัน

9.1.2 อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 ตามข้อ 9.1.1 นั้น พบว่าผลต่างที่ลดลงของมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบระหว่างคำตอบที่ได้เปรียบเทียบกับค่าปัจจุบันยังไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) มากนักในเชิงสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการคิดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบในงานวิจัยนี้จะคิดเพียงในรูปของลีดเฟรมเท่านั้น (จำนวนแพดบนลีดเฟรมที่เหลือ และจำนวนสตริปดัมมี่ที่ใช้เพิ่ม) แต่การสูญเสีย (Loss) จริงๆในระบบงานยังเกิดได้ในอีกหลายส่วนได้แก่ คอมปาวด์ (Compound) ที่ต้องทิ้งไปพร้อมกับลีดเฟรม ต้นทุนการสึกหรอของใบมีดตัดลีดเฟรม (Blade) ของกระบวนการ Singulation ซึ่งเป็นกระบวนการตัดลีดเฟรมให้ได้ไอซีออกมาเป็นตัวๆ และต้นทุนในการดำเนินงานต่างๆ (Operating cost) ที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียวัตถุดิบดังกล่าว ที่ยังไม่ได้จัดสรร (Allocation) เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของมูลค่าการสูญเสียทั้งหมด (Total Loss)

9.1.3 ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าขนาดล็อตในการผลิต (Production Lot Size) และจำนวนแพดต่อสตริป (PAD per Strip) นั้น สำหรับผลิตภัณฑ์ A ขนาดล็อตควรเป็น 9536 ไดต่อล็อต มีจำนวนแพดต่อสตริปเท่ากับ 596 หรือคิดเป็น 16 สตริปต่อล็อต โดยมีค่าเวลาที่ล็อต (Production lots) จะอยู่ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 7582.045 นาที หรือ 5.2653 วัน และมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 135.436 บาทต่อคำสั่งผลิตหรือลดลงจากค่าปัจจุบันประมาณ 4.8958%

ส่วนผลิตภัณฑ์ B ขนาดล็อตควรเป็น 5088 ไดต่อล็อต มีจำนวนแพดต่อสตริปเท่ากับ 212 หรือคิดเป็น 24 สตริปต่อล็อต โดยมีค่าเวลาที่ล็อต (Production lots) จะอยู่ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 7154.498 นาที หรือ 4.968 วัน และมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 140.422 บาทต่อคำสั่งผลิตหรือลดลงจากค่าปัจจุบันประมาณ 2.1504 %

9.1.4 ส่วนวิธีการโหลดงานพบว่าการโหลดงานแบบโหลดครั้งเดียวไม่แตกต่างจากการโหลดแบบแบ่งโหลดหลายครั้ง ด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

9.1.5 จากการทดลองพบว่าวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึมมีความสามารถในการหาคำตอบที่ดีกว่าวิธีการของ Random Search สำหรับปัญหาหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง (Simulation Based Optimization)

9.2 ข้อเสนอแนะ

9.2.1 สำหรับการนำผลการทดลองไปใช้งานจริงนั้น วิธีการเปลี่ยนขนาดล็อตในการผลิตอาจจะเป็นวิธีที่สะดวกกว่าการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดล็อตและจำนวนแพดต่อสตริป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนแพดต่อสตริปจะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดล็อตและจำนวนแพดต่อสตริปก็จะเป็นประโยชน์ในขั้นตอนของการออกแบบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ (New products) ที่ยังไม่ได้ผลิตจำนวนมาก

9.2.2 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำคำตอบที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 ไปใช้งานจริงในด้านความคุ้มค่าหรือ ผลิตภาพ (Productivity) ที่จะได้รับ จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ยังไม่คุ้มค่าต่อการเปลี่ยนระบบงานเดิมไปเป็นระบบงานใหม่ เนื่องจาก ผลตอบแทนที่ได้ยังอยู่ในระดับที่น้อยเกินไปที่จะจูงใจ (Convince) ให้ฝ่ายบริหารเปลี่ยนระบบงานเดิมมาเป็นระบบงานตามผลการทดลองดังกล่าว ตัวอย่างเช่น

9.2.2.1 การทดลองที่ 1 (ผลิตภัณฑ์ A) ค่าขนาดล็อตในการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 11880 ได/ล็อต มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ เท่ากับ 142.408 บาท/คำสั่งผลิต มีค่า Avg.Flow Time เท่ากับ 8842.484 นาที ในขณะที่คำตอบที่ได้ คือ ขนาดล็อต เท่ากับ 8712 ได/ล็อต ซึ่งมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ เท่ากับ 137.514 บาท/คำสั่งผลิต มีค่า Avg.Flow Time เท่ากับ 8718.723 นาที โดยความสูญเสียลดลงเพียง 4.894 บาท/คำสั่งผลิต ในขณะที่ค่า Avg.Flow Time ลดลง เท่ากับ 123.759 นาที หรือประมาณ 2.062 ชั่วโมง ซึ่งยังให้ได้ผลตอบแทน (Saving) ไม่มากนัก (ในส่วนของ Avg.Flow Time หากคำตอบที่ได้ช่วยลดค่าลงไปมากกว่า 7 ชั่วโมงหรือ 1 กะ ฝ่ายบริหารจึงจะยอมรับได้) ในส่วนของผลิตภัณฑ์ B มูลค่าการสูญเสียลดลง 3.357 บาท/คำสั่งผลิต แต่ Avg.Flow Time เพิ่มขึ้น 434.152

นาทีหรือ 7.2358 ชั่วโมง ซึ่งคำตอบนี้ก็ให้ผลตอบแทน (Saving) ไม่มากพอที่จะจูงใจให้ฝ่ายบริหารยอมรับได้ และยังใช้เวลาการทำงานมากขึ้นอีก

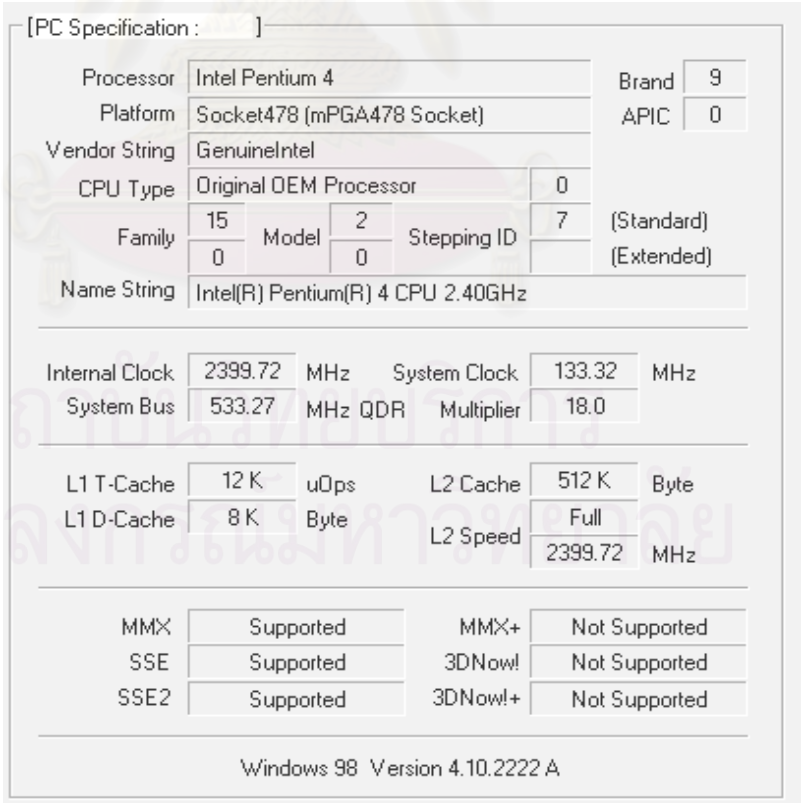
9.2.2.2 การทดลองที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ A) คำตอบที่ได้คือ จำนวนแพด/สตริป เท่ากับ 596 แพด/สตริป และขนาดล็อต เท่ากับ 9536 ได/ล็อต หรือ 16 สตริป/ล็อต โดยมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเท่ากับ 135.436 บาท/คำสั่งผลิต ค่า Avg.Flow Time เท่ากับ 7582.045 นาที ในขณะที่ค่าในระบบงานปัจจุบันคือ จำนวนแพด/สตริป เท่ากับ 396 แพด/สตริป และขนาดล็อต เท่ากับ 11880 ได/ล็อต หรือ 30 สตริป/ล็อต โดยมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเท่ากับ 142.408 บาท/คำสั่งผลิต ค่า Avg.Flow Time เท่ากับ 8842.484 นาที ดังนั้น มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบที่ลดลง เท่ากับ 6.972 บาท/คำสั่งผลิต ซึ่งยังไม่มากนักเช่นกัน แต่ค่า Avg.Flow Time ที่ลดลงเท่ากับ 1260.439 นาที หรือ 21.00731 ชั่วโมง ซึ่งค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงจำนวนแพด/สตริป จากเดิม 396 เป็น 596 ก็จะทำให้ลีดเฟรมกว้างและยาวขึ้น ซึ่งผลกระทบที่ตามมาคือ แม่แบบ (Chases) ของเครื่อง Mold ก็ต้องเปลี่ยนแปลงและมีต้นทุนที่สูงมากๆ ดังนั้น คำตอบนี้จะจูงใจฝ่ายบริหารในด้านของ Avg.Flow Time ที่เร็วขึ้น แต่ในขณะเดียวกันฝ่ายบริหารก็ต้องชั่งน้ำหนัก (Trade-off) กับต้นทุนด้านการเปลี่ยนแปลงแม่แบบใหม่

สำหรับผลิตภัณฑ์ B คำตอบที่ได้คือ จำนวนแพด/สตริป เท่ากับ 212 แพด/สตริป และขนาดล็อต เท่ากับ 5088 ได/ล็อต หรือ 24 สตริป/ล็อต โดยมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเท่ากับ 140.422 บาท/คำสั่งผลิต ค่า Avg.Flow Time เท่ากับ 7154.498 นาที ในขณะที่ค่าในระบบงานปัจจุบันคือ จำนวนแพด/สตริป เท่ากับ 168 แพด/สตริป และขนาดล็อต เท่ากับ 5040 ได/ล็อต หรือ 30 สตริป/ล็อต โดยมีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเท่ากับ 143.508 บาท/คำสั่งผลิต ค่า Avg.Flow Time เท่ากับ 6508.227 นาที ดังนั้น มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบที่ลดลง เท่ากับ 3.086 บาท/คำสั่งผลิต ซึ่งยังไม่มากนักเช่นกัน และค่า Avg.Flow Time ยังเพิ่มขึ้นเท่ากับ 646.271 นาที หรือ 10.77118 ชั่วโมง ซึ่งค่อนข้างมาก ดังนั้น คำตอบที่ได้นี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานเพราะนอกจาก Avg.Flow

Time ที่ต้องเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีเรื่องต้นทุนของแม่แบบที่ต้องเปลี่ยนขนาดด้วยเนื่องจากต้องเพิ่มจำนวนแพด/สตริป

9.2.3 เนื่องจากขอบเขตในการศึกษานี้ได้เลือกศึกษาเพียงสองผลิตภัณฑ์เท่านั้น ดังนั้นหากจะนำไปประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์อื่นๆที่เหลือ จำเป็นจะต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อใช้สำหรับแบบจำลอง (Simulation model) โดยอาจเก็บเฉพาะโอเปอเรชันหรือสถานีงานที่มีข้อมูลต่างกันเมื่อประเภทของผลิตภัณฑ์ต่างกันเท่านั้นก็ได้ซึ่งได้แก่ค่า Processing time ต่างๆ

9.2.4 ในการทดลองที่ต้องใช้วิธีด้าน Simulation Based Optimization ควรจัดหาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงๆเป็นเครื่องมือในการทดลอง เนื่องจากตัวแบบจำลองต้องใช้เวลาในการคำนวณนานมาก และตัว Optimizer ก็เรียกใช้งานแบบจำลองจำนวนหลายครั้ง ทำให้เวลาในการคำนวณทั้งหมด (Total computing time) นานไปด้วย การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) เท่ากับ 2.4 GHz และหน่วยความจำหลัก (RAM) เท่ากับ 256 MB เป็นเครื่องมือในการทดลอง



รูปที่ 9.1 แสดงข้อมูลบางส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

9.2.5 งานด้านการจำลองแบบปัญหาเป็นงานที่ซับซ้อนและใช้ข้อมูลจำนวนมากนอกจากนี้ยังต้องใช้เวลาในการเตรียมและวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นอีก ดังนั้น ในการเตรียมแบบจำลองควรกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ในการทดลองให้ชัดเจนตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ

9.2.6 สำหรับการทดลองที่ต้องรันเครื่องคอมพิวเตอร์นานๆ มากกว่า 1 วันขึ้นไปควรพิจารณาจัดหาระบบสำรองไฟฟ้า (UPS: Uninterruptible Power Supply) เพื่อลดความเสียงต่อการสูญหายของข้อมูลระหว่างการคำนวณ หรือ อาจจะต้องเขียนโปรแกรมให้ดำเนินการบันทึกผลการทดลอง (Auto Save) ทุกๆรอบที่คำนวณเสร็จก็ได้

9.3 อุปสรรคในการวิจัย

9.3.1 ด้านการเตรียมแบบจำลอง

- เป็นอุปสรรคด้านการเก็บข้อมูลเนื่องจากต้องใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีจำนวนมาก
- โปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างแบบจำลองในระหว่างการพัฒนาแบบจำลองจำกัดจำนวน Entities สูงสุดและจำนวนบล็อกสูงสุดที่สามารถใช้ได้ ดังนั้น บางขั้นตอนการทำงานที่ไม่สำคัญต่อวัตถุประสงค์ในการทดลองก็จะไม่ได้สร้างไว้ในแบบจำลอง

9.3.2 ด้านการคำนวณผล

- การทดลองด้วยวิธี Simulation based optimization ใช้เวลาและประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์สูงมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณิกา ศิลานนท์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงาน. วิทยานิพนธ์-มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2541

ธนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา. การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด: หลักการพื้นฐานและขั้นตอนวิธีการ.กรุงเทพ-มหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2543

ปรีดี ตันติประภาส. การจัดลำดับการผลิตสำหรับระบบโฟล์วชอป: กรณีศึกษา โรงหล่อ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

วราภรณ์ จิรเกษมสุข. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงานที่แผนกมีขนาดพื้นที่ไม่เท่ากันด้วยการกำหนดรูปร่างลักษณะแผนกที่แน่นอน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2544

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา(Simulation). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2540

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ จันทนา จันทโร. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม: Engineering Statistics. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

สุรพล ราษฎร์นุ้ย. การวางแผนทรัพยากรในการซ่อมบำรุงขั้นปรับซ่อมใหญ่ระดับขับเคลื่อนหลักของเรือยนต์เร็วโจมตี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532

ภาษาอังกฤษ

Alice E. Smith,and David M.Tate. Genetic Optimization Using A Penalty Function. In *proceedings of the fifth international conference*, University of Illinois at Urbana Champaign.

Averill M.Law,and Michael G.McComas. Simulation-based optimization. In *proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, ed. J.A.Joines, R.R. Barton, K.Kang, and P.A.Fishwick.

Averill M. Law,and Michael G. MmcComas. How to build valid and credible Simulation models. In *proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, ed. B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, and M.W. Rohrer.

Edward J.Williams,and Andrew Gevaert. Pallet optimization and throughput Estimation via simulation. In *proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, ed. S. Andradottir, K.J. Healy, D.J. Withers,and B.L. Nelson

Farhad Azadivar. Simulation optimization methodologies. In *proceeding of the 1999 Winter Simulation Conference*, ed. P.A.Farrington, H.B. Nembhard, D.T. Surrock, and G.W. Evans.

Farhad Azadirvar,and J. Victor Shu. Use of simulation in optimization of Maintenance policies. In *proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. J.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson, and M.S. Manivannan.

Fred Glover,James P.Kelly,and Manuel Laguna. New advances for wedding Optimization and simulation. In *proceedings of the 1999 Winter Simu-Lation Conference*, ed. P.A.Farrington, H.B.Nembhard, D.T.Sturrock ,and G.W.Evans.

Goldberg, D.E., Genetic algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. MA: Addison Wesley, 1989

Glover, F., J.P. Kelly, and M. Laguna, The OptQuest callable library user's documentation, Optimization Technologies, Inc., boulder, Colorado, 1999

ภาษาอังกฤษ

Jay April, Fred Glover,James Kelly,and Manuel Laguna. Simulation/Optimiza-Tion using “Real-world” applications. In *proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, ed. B.A. Peters, J.S. Smith, J.J. Medeiros, and M.W. Rohrer.

Jerry Banks, John S. Carson II, and Barry L. Nelson. Discrete-event system Simulation. New Jersey: Prentice Hall, International, 2000

Jose A. Diaz,and Heanan G.Perez. Simulation and optimization of sugar cane Transportation in harvest season. In *proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, ed. J.A Joines, R.R. Barton, K. Kang, and P.A. Fishwick.

Lanner Group, Inc. WITNESS optimizer module, Release 2, Houston, Texas,1998

Lawrence Leemis. Input modeling techniques for discrete-event simulations. In *proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, ed. B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, and M.W. Rohrer.

Melanie Mitchell. An introduction to genetic algorithms. Massachusetts. The MIT press, 2001

Mitsuo Gen,and Runwei Cheng. Genetic algorithms & Engineering design. New York: John Wiley & Sons, inc., 1997

Ronald L. Rardin. Optimization in Operations Research. Upper Saddle River, N.J. : Prentice-Hall International, 1998

Royce O. Bowden,and John D.Hall. Simulation optimization research and Development. In *proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson,and M.S. Manivannan.

Shannon, Robert E. Systems Simulation: the art and science. Prentice Hall Inc. New Jersey, 1975

Sigrun Andradottir. Review of simulation optimization techniques. In *proceed-Ing of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S Manivannan.

ภาษาอังกฤษ

Ting Kuo,and Shu-Yuen Hwang. A Genetic Algorithm with Disruptive Selection. *In proceedings of the fifth international conference*, University of Illinois at Urbana-Champaign,1993

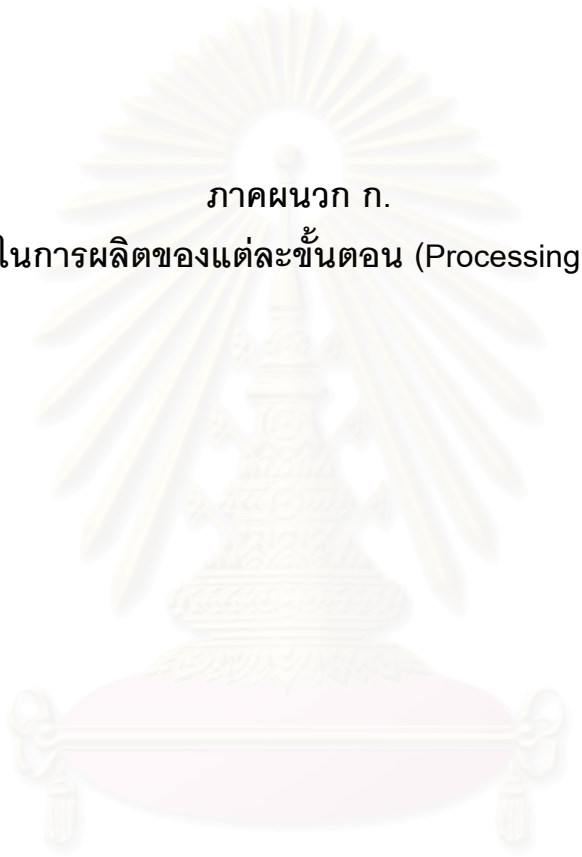
Yolanda Carson,and Anu Maria. Simulation optimization: Methods and Applications. In *proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, ed. S. Andradottir, K.J. Healy, D.H. Withers, and B.L. Nelson.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
เวลาในการผลิตของแต่ละขั้นตอน (Processing Time)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A)

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Transfer-In	64	282.417	228.43	89.57	86.2	67.17	310.35	88.34	131.67	250.65
		120.1	228.317	188.283	196.67	142.117	67.183	40	176.4	242.34	155.183
		52.55	30.083	392.7	196.07	206.367	125.017	344.717	142.9	284.134	240.617
		143.883	193.4	22.567	140.083	123.683	23.6	77.34	103.1	19.15	43.167
		99.134	255.834	87.717	211.017	130.87					
2	2Opt (Wafer ขนาด 6 นิ้ว)	0.9633	1.9067	1.4516	1.433	1.473	1.482	1.8267	1.5034	1.365	2.0717
	2Opt (Wafer ขนาด 8 นิ้ว)	1.883	0.87167	0.55167	0.38	0.482	0.4683	0.415	1.582	0.35	0.4183
		0.32	0.4333	0.285	0.465	0.2967	0.72	0.4883	0.345	0.1467	0.74
3	Wafer mount (ขนาด 6 นิ้ว)	1.65	2.6083	1.96	1.7183	1.105	4.1117	1.9683	1.6883	1.8234	1.567
		2.52	1	2	1.657	1	1.675	3.17	1.465	1.37	1.4
		1.447	1.415	1.433	1.353	1.435	2.0316	1.2067	1.22	1.0934	1.11
		1.127	1.2	1.267	2.08	1.095	1.067	1.157	1.228	1.165	1.1034

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A) **หน่วย**: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Wafer mount (ขนาด 8 นิ้ว)	2.3683	3.0367	2.705	4.5546	2.6533	2.63	2.335	2.95	3.576	4.925
		2.9587	2.72	3.9833	2.1434	2.7587	1.98	1.595	2.235		
5	Saw#1	44.5016	44.999	45.683	44.703	44.5	45.126	43.79	44.64	46.203	45.758
	Saw#2	46.6056	46.4644	47.0352	46.6352	46.392	46.579	47.1173	46.7553	46.407	46.081
		46.7367	45.9878	46.8344	46.1541	46.1081	47.1262	46.5966	46.5696	46.809	45.991
6	Die attach#1	9.932	10.4587	9.8387	9.8387	10.097	9.9903	9.987	10.0187	10.030	10.055
		10.2653	9.0953	10.1953	10.037	10.032	9.982	10.1703	10.1703	10.155	10.278
		10.4453	11.082	10.1155							
	Die attach#2	8.76	8.535	9.1134	8.2517	9.195	9.13	9.557	9.4686	9.532	9.402
		9.319	9.347	9.612	9.6537	9.422	9.271	9.237	9.2353	9.4287	9.362
		9.4	9.412	9.562	9.782	9.537	9.502	9.5687	9.552	9.364	9.3853
		9.3503	9.3703	9.34867	9.387	9.3703	9.3303	9.157	9.2187	9.6287	9.622
		9.5887	9.2687	9.2687	9.2637	9.2953	9.4023	9.4453	9.5386	9.507	9.5653
		9.9336	9.1637	9.2537	9.4703	9.5503	9.462	9.29034	9.302	9.372	9.287
		9.1637	9.3	9.387	9.3787	9.6187	9.5403				

ตารางที่ ก-1(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A)

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Wire bond	34.1648	33.9516	33.3649	34.0116	33.8916	33.8516	33.7649	33.9582	33.878	33.818
		33.8184	33.8116	34.2849	33.8316	33.8249	33.74494	33.8116	33.8316	33.862	
8	Mold	2.678	2.768	2.852	2.744	2.717	2.621	2.728	2.884	2.708	2.709
		2.711	2.746	2.722	2.728	2.755	2.8	2.843	2.819	2.876	2.82
		2.721	2.726	2.744	2.722	2.792	2.718	2.703	2.71	2.712	2.718
		2.764	2.752	2.894	2.787	2.67	2.728	2.888	2.786	2.73	2.635
		2.732	2.72	2.718	2.743	2.718	2.711	2.718	2.647	2.717	2.718
		2.832	2.702	2.728	2.713	2.717	2.719				
9	X-ray	9.405	10.824	9.774	11.06	9.494	12.166	9.143	9.241	9.736	9.353
10	Post Mold Cure (ยังไม่รวมเวลาอบ = 285 นาที)	28.8394	31.85	30.3692	31.4656	32.9307	29.2272	32.9764	31.7147	31.102	28.926
		32.9553	32.6769	31.3078	32.7345	28.5314	31.1942	31.4406	28.3106	28.378	29.398
		29.5783	29.8958	31.4203	28.6693	32.3581	28.8282	32.6196	30.8001	31.575	28.611
		28.4931	30.4167	28.4045	30.7864	32.5221	28.8747	31.6122	29.7499	30.474	29.395

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A)

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Detape+Frame cleaning	119.8	95.3167	77.867	85.067	147.183	174.283	161.45	98.534	221.867	127.183
		254.45	97.367	153.967	155.016	137.2	176.767	282.85	121.267	134.184	79.15
		182.583	76.45	93.167	90.6	83.817					
12	Plating	18.3576	12.2606	19.4733	15.3652	15.651	14.0811	17.9851	12.6648	10.7124	16.671
		20.1473	16.3824	21.3279	15.5457	11.4074	15.3926	20.2403	17.9514	19.2951	7.4055
		10.2972	14.7962	14.1092	4.3404	14.8187	4.8497	10.7299	17.8491	14.1705	20.032
		15.9382	13.5299	12.1318	16.3933	15.2068	13.0835	19.1756	13.1136	17.5552	18.190
		15.727	12.9853	17.5646	16.9348	15.139	15.4551	16.9876	9.4813	18.6899	18.2205
13	Marking	1.666	1.772	1.772	1.78	1.847	1.787	1.827	1.847	1.866	1.819
		1.787	1.839	1.839	1.827	1.839	1.843	1.823	1.772	1.795	1.898
		1.968	1.89	1.799	1.886	2.059	2.012	1.839	1.843	1.839	1.89
		1.886	1.882	1.85	1.831	1.886	1.921	1.926	1.913	1.878	1.902
		1.905	1.847	1.878							

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A)

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Strip FOI	55.1167	22.734	34.9	25.3834	37.2	131.1	132.1	66.534	44.3	83.067
		90.75	61.35	47.2834	20.167	37.7167	39.47	27.45	55.85	35.5834	35.834
		170.834	32.4834	100.717	96.75	19.017	93.634	33.95	36.834	17.3	25
		46.067	57.95	56.4							
15	Singulation	15.2463	8.7467	12.4523	14.4693	14.7628	15.8048	10.4232	8.2628	14.8802	8.6931
		14.8087	8.8304	12.919	8.6681	15.9379	14.5641	13.1825	15.6527	15.2643	12.0149
		15.2131	9.4047	11.227	12.7757	11.3919	14.3406	14.4969	15.0053	11.7177	11.7144
		13.6499	9.9026	14.8212	10.8182	9.7934	12.4025	16.6675	13.7684	8.7061	13.5347
		9.81	12.0796	14.5566	15.8398	15.1938	15.7	7.3066	13.473	13.543	13.676
		14.45	10.188	14.5617	12.935	14.815	14.778	13.4417	12.2653	15.25	15.155
		15.1091	9.166	11.0677	14.9943	14.6529	14.8346	11.2071	9.1837	16.0097	12.7335
		15.8654	14.4719	9.3347	14.5767	10.7555	13.6319				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A)

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	UV Cure	7.1167	7.486	7.4617	7.77	7.6716	7.41	7.45	7.29	7.4483	7.45
		7.4783	7.467	7.52	7.167	6.8	7.7816	7.45	7.43	7.2617	7.44
		7.8583	7.433	7.54	7.19167						
17	Pick & place#1	8.4672	8.4172	11.5611	10.965	9.14821	8.64521	9.8156	11.2139	9.6956	9.6489
		10.1972	8.9305	8.8956	8.6605	8.6272	9.1305	10.7092	9.8805	8.5789	10.7752
		8.2022	8.2105	8.8762	8.6172	8.8956	10.4289	9.5472	7.5122	8.4092	9.4092
		7.8472	8.4253								
18	Pick & place#2	5.827	5.983	6.027	6.129	6.215	6.156	6.156	6.176	6.101	5.975
		6.18	6.195	6.098	5.787	8.156	5.858	7.508	5.885	5.873	6.109
		6.188	6.324	6.03	6.23	6.203	5.957	7.087	6.294	6.56	6.289
19	QC FOI	46.0834	60.317	15.767	45.7	19.517	34.534	25.1834	85.667	52.25	25.134
		69.75	17.85	42.134	16.834	44.6	18.367	96.05	46.967	43.95	46.6167
		18.2834	12.0834	57.75	34.5834	29.85	53.1	36.25	33.817	26.35	62.25
		31.8167	28.067	81.234	113.967	36.7167	28.417	42.034	51.8837	11.7834	118.567

ตารางที่ ก-1(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ A)

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	Packing	29.517	16.267	23.634	25.417	14.0167	31.4	31.967	10.434	27.35	10.5
		36.9834	34.334	31.967	20.934	30.8834	33.65	29.334	19.3	10.5	17.4
		11.9834	24.2834	6.8834	32	27.267	22.0167	24.6	16.2834	12.867	13.7834

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Saw#1	5.7034	8.6267	7.8347	8.8384	8.9097	8.7634	8.5601	8.1351	14.2667	11.6667
		10.9497	11.5497	11.6997	11.4837	10.7837	10.8337	10.3337	10.7167	10.5997	10.8667
		9.9497	10.3337	10.7167	10.6667	11.0497	9.7997	13.3167	12.7497	14.0167	10.2997
		10.7837	10.5667	10.2497	10.4337	9.9667	15.5337	10.6997	9.9667	10.4337	10.2497
		10.1837	12.7167	9.8837	11.1837	9.9167	11.6337	12.7837	14.4167	13.6497	11.3337
		11.7497	11.6167	10.8337	13.5167	12.4337	11.6997	10.8667	13.0837	11.2667	11.4837
		17.2997	14.1167	12.3337	10.9667	10.2997	10.9997	10.8997	10.2997	10.8997	9.8667
	Saw#2	11.7837	10.9167	9.9337	10.9837	10.4997	10.6997	10.8667	10.2837	10.4497	10.0167
		10.4997	10.5997	10.1167	10.5997	10.9667	10.2667	10.3997	9.8667	10.1837	25.0667
		12.5837	12.5837	12.6667	11.0497	9.9497	10.5337	10.9337	17.1337	13.4837	12.5837
		11.4497	10.8837	10.9337	11.5667	10.0837	11.4497	10.0837	10.4337	10.6497	10.0997
		11.2667	10.1167	11.6997	12.2837	10.2837	10.7497	10.4167	10.3497	10.4997	10.4667
		11.8667	11.0337	10.7497	10.8997	11.0667	10.4837	10.5167	11.3497	10.5167	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Die attach#1	6.155	7.1767	6.212	6.1667	6.122	6.0967	6.1433	6.383	6.1484	6.2067
		6.248	6.653	6.274	6.665	6.29	6.4817	6.1717	6.385	6.3617	6.1967
		6.6084	6.917	6.215	6.2717	6.8017	6.2617	6.5283	6.3917	7.205	6.99
		6.325	7.1117	6.26	6.2483	6.71	6.3617	6.245	6.363	6.3517	6.357
	Die attach#2	6.475	6.9083	6.861	6.81	6.8283	6.9417	6.81	6.925	6.99	6.9917
		6.787	6.7117	8.0417	6.4034	6.79167	6.81	6.977	6.845	6.9683	6.9417
		7.03	7.3917	6.96	6.517	7.0617	6.855	6.6583	6.7983	6.8583	6.7034
		6.75	7.2867								
3	Wire bond	43.6736	76.728	54.6068	39.5268	80.04	39.6068	39.6332	43.3932	43.5668	44.1736
		40.64	40.06	39.952	83.532	38.8	41.932	81.7668	61.9336	44.544	39.14
		54.0668	48.1868	39.336	41.972	89.06	40.536	38.8332	80.104	43.2734	93.632
		50.616	48.468	39.68	58.628	57	63.272	47.3468	49.9268	42.6536	42.36
		44.72	45.12	48.5068	43.5468	43.4068	44.1268	86.5532	54.4668	52.04	44.1868
		51.4	52.96	54.188	48.0932	44.0732	74.08	51.06	56.9668	44.5332	61.4868

ตารางที่ ก-2(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3 (ต่อ)	Wire bond	59.36	47.3068	46.7268	42.1268	43.5336	43.4536	46.0068	50.7132	44.5	54.1932
		44.1068	44.22	46.32	63.44	44.2	46.1932	54.06	46.1736	46.2736	45.6936
		43.84	44.752	44.14	43.66	42.7268	66.38	43.6468	44.2864	47.8332	43.5668
		49.88	44.1268	45.752	46.94	46.68	52.372	43.6068	61.86	44.7932	44.4268
		44.3268	44.6332	45.42	44.7532	44.32	44.7268	49.392	43.6468	44.1532	47.7
		48.656	47.96	45.1468	43.24	49.54	65.36	44.2332	43.8484	44.486	42.5668
		44	49.28	45.66	55.892	46.568	66.1468	45.4628	50.9284	48.0712	58.2912
		46.3852	45.9628	49.6892	45.8148	50.4932	50.254	48	49.94	45.948	43.987
		45.06	44.353	45.32	45	46.04	48.24	47.26	47.107	47.36	49.14
		47.547	45.367	50.48	51.272	49.14	43.993	44.587	43.993	65.553	44.467
		43.587	59.484	56.54	44.5	43.767	44.953	44.53	43.754	54.174	43.9068
		52.536	48.4268	48.1896	50.8464	46.7868	50.5412	50.1744	46.9192	50.3628	51.4632
		52.5936	53.2476	54.032	48.2892	53.3512	52.4512	47.9028	51.4308	52.4252	49.2236
		48.5552	43.1	45.033	43.78	49.9964	43.7632	50.6208	44.3264	49.4464	48.7092

ตารางที่ ก-2(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3 (ต่อ)	Wire bond	58.9884	47.0476	57.248	58.7488	44.92	48.084	46.426	48.5848	45.9868	46.256
		60.0364	53.3464	54.798	57.124	60.4992	57.0668	54.6044	44.64	75.392	51.272
		48.463	48.662	50.715	49.871	49.049	49.256	49.14	49.86	50.617	52.032
		48.086	49.25	49.734	50.429	50.089	52.231				
		44.7736	48.1316	48.618	50.3048	51.32	41.82	44.327	47.247	54.08	47.014
		48.402	47.878	48.627	47.437	57.326	47.907	43.597	44.094	44.007	47.726
		49.386	44.271	45.677	47.001	47.97	48.256	50.3468	46.0936	44.54	51.348
		48.243	49.169	47.719	44.725	50.15	44.232	47.1468	46.8332	52.352	46.48
		48.1216	49.844	49.5252	48.5664	48.1988	47.118	51.8696	44.512	42.924	45.1476
		48.6884	46.0092	53.6932	44.5572	48.6924	40.556	45.1132	51.214	51.9316	45.5304
		42.7352	52.9428	50.206	42.2308	49.012	42.5052	52.9488	44.5932	57.8732	49.8484
4	X-ray	2.451	3.394	4.223	4.151	4.116	3.72	3.915	3.379	3.886	4.614
		4.439	4.771	5.075	4.755	4.344	4.46	3.81	4.23	4.23	4.955
		4.995									

ตารางที่ ก-2(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Marking#1	0.7067	0.7517	0.7517	0.755	0.7834	0.7583	0.775	0.7834	0.7917	0.7717
		0.7583	0.78	0.78	0.775	0.78	0.7817	0.7734	0.7517	0.7617	0.805
		0.835	0.8017	0.7634	0.8	0.8734	0.8534	0.78	0.7817	0.78	0.8017
		0.8	0.7983	0.785	0.7767	0.8	0.815	0.817	0.8117	0.7967	0.8067
		0.8083	0.7834	0.7967	0.9017						
6	Singulation	9.315	8.432	7.815	8.415	7.615	9.865	7.649	8.465	8.432	7.649
		8.415	7.615	8.432	7.949	8.532	9.282	9.382	8.849	9.399	10.315
		10.749	8.232	9.965	11.065	11.615	8.449	10.115	8.982	7.815	8.949
		7.982	9.182	7.615	8.399	7.615	8.432	8.415	8.032	9.232	9.082
		8.415	7.615	9.665	8.015	9.099	9.132	8.282	8.399	7.815	10.515
		7.632	8.165	8.515	14.182	8.165	7.532	8.149	8.215	8.165	7.515
		7.532	8.399	7.832	7.865	8.549	8.149	8.182	8.699	9.199	9.049
		8.149	9.465	9.632	9.699	8.799	7.915	8.899	9.615	9.515	8.715
		8.315	7.532	9.349	8.15	7.532	8.999	7.615	8.949	8.465	8.165

ตารางที่ ก-2(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6(ต่อ)	Singulation	7.799	9.632	9.199	9.799	8.599	8.515	8.315	9.115	8.132	8.199
		8.982	8.232	8.165	8.132	9.065	8.799	9.265	8.899	7.532	8.165
		8.515	8.315	8.165	8.515	9.249	8.582	8.282	9.249	7.499	8.149
		8.649	8.199	8.165	8.199	8.115	7.499	8.149	8.165	8.149	7.532
		8.132	7.499	8.132	8.832	8.149	8.149	8.149	8.915	8.202	8.385
		9.519	8.552	8.102	8.369	8.319	7.752	9.519	11.952	8.552	8.402
		8.102	8.369	7.752	9.165	7.849	7.282	7.649	8.732	7.649	7.265
		8.015	7.599	8.649	8.665	8.065	8.865	7.282	7.665	7.299	13.699
		8.449	7.282	7.632	9.015	7.699	9.599	9.232	8.765	8.515	7.799
		7.899	9.082	8.915	8.049	8.349	12.149	8.132	9.149	7.732	8.315
		8.015	8.215	8.365	7.982	7.615	8.449	7.682	8.782	7.649	7.282
		7.665	14.865	7.932	7.282	8.865	7.865	8.532	8.299	7.365	8.349
		8.215	8.082	9.049	7.599	7.665	7.549	8.199	7.265	8.799	7.399
		8.565	7.865	8.999							

ตารางที่ ก-2(ต่อ) ข้อมูลเวลาทำงานของขั้นตอนการผลิต (ผลิตภัณฑ์ B) แสดงเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ A

หน่วย: นาที

ขั้นตอนที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Pick & place#1	3.3217	3.1067	3.2017	3.167	3.04	3.127	3.1017	4.0367	3.1367	3.133
		3.633	3.085	3.245	3.27	3.213	3.2717	3.33	3.275	3.4917	3.5217
		3.4683	3.4517	3.575	3.275						
	Pick & place#2	2.4467	2.472	2.5383	2.5567	2.6	2.6367	2.6117	2.6117	2.62	2.5883
		2.535	2.6217	2.6283	2.587	2.455	2.46	2.538	2.485	3.185	2.4967
		2.4917	2.5917	2.625	2.683	2.5583	2.643	2.6317	2.527	3.0067	2.67
		2.783	2.668								

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

เวลาห่างระหว่างคำสั่งผลิตแต่ละครั้ง (Interarrival Time of orders)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข ข้อมูลเวลาห่างระหว่างคำสั่งผลิตแต่ละครั้ง (Interarrival time of orders)

หน่วย: นาที

ลำดับที่	รายการ	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ผลิตภัณฑ์ A	2180	440	1540	3820	1460	3774	316	4090	890	520
		4585	15195	5320	8610	5830	3010	200	4930	880	3750
		5055	9775	5770	9685	10310	1800				
2	ผลิตภัณฑ์ B	880	430	895	1095	800	2220	8000	310	1930	3180
		3620	215	805	3855	565	730	175	320	1410	920
		1030	1285	95	1520	1640	1240	470	1770	1930	1500
		9320	1460	1150	310	3070	2300	6290	510	855	865
		520	4230	290	2190	340	360				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.
เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร (Machine MTBF and MTTR)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร (**หน่วย**: นาที)

ลำดับที่	ขั้นตอน	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Wire bond (MTBF)	44.19	10.35	14.37	21.74	14.92	10.63	7.18	58.18	98.02	32.86
		25.82	18.08	22.62	17.49	10.81	17.08	14.58	14.58	14.58	14.29
		5.62	7.48	18.82	20.56	20.26	13.8	38.76	102.02	32.08	41.23
		42.64	122.89	27.68	69.47	80.26	96.29	36.2	22.33	27.26	41
		39.14	67.5	65.59	43.22	116.59	63.68	190.67	102.38	53.38	137.71
	Wire bond (MTTR)	0.24	0.29	0.3	0.64	1.02	0.49	0.9	0.51	1.05	0.76
		1.46	0.53	0.42	0.28	0.97	0.55	1.05	1.11	1.75	2.96
		0.95	0.51	0.42	0.9	2	1.6	0.9	0.85	1.03	0.43
		0.3	0.14	0.84	0.31	0.87	0.68	3.07	3.51	2.29	2.01
		0.99	1.09	2.48	2.41	3.59	0.53	1.65	2.09	5.15	
2	Saw (MTBF)	538.12	229.93	369.65	157.73	195.05	130.16	613.97	500.91	477.63	62.86
		130.27	353.33	0	168.67	0	206.81	119.68	39.58	48.79	249.62
		67.13	247.02	196.98	52.98	0	228.28	159.64	126.08	103.11	137.03
		17.63	46.7	36.8	186.11	92.15	121.41	159.17	6.21	77.45	448.52
		72.17	142.71	164.38	149.77	143.76	161.87	108.03	0	0	

ตารางที่ ค (ต่อ) เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร (**หน่วย**: นาที)

ลำดับที่	ขั้นตอน	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 (ต่อ)	Saw (MTTR)	0.17	0.13	0.21	0.23	0.19	0.38	0.25	1.13	0.21	0.53
		0.17	0.17	0	7.48	0	0.17	0.33	0.23	0.19	0.33
		0.21	0.17	2.66	2.88	0	0.17	0.17	1.44	2.97	0.17
		7.03	0.33	4.6	0.17	0.4	0.31	0.21	0.21	0.17	0.17
		0.19	0.17	0.17	0.17	3.99	0.33	0.17	0	0	
3	Die attach (MTBF)	18.55	33.5	47.57	12.05	16.02	16.04	24.65	10.06	10.8	13.41
		17.67	18.47	20.71	49.52	31.8	18.17	18.09	37.92	21.66	15.09
		16.5	15.42	23.98	44.74	15.27	19.6	58.71	29.88	14.42	24.33
		13.9	19.27	14.38	15.45	43.42	8.48	10.89	34.19	34.49	35.92
		50.82	26.44	39.12	30.47	50.45	18.92	16.97	14	17.21	
	Die attach (MTTR)	0.86	0.5	0.88	0.33	0.26	0.64	0.36	0.56	0.6	2.98
		0.74	0.4	0.84	0.31	0.39	0.35	0.72	5.02	0.23	1.02
		0.95	0.55	0.2	0.93	0.68	0.48	0.4	0.42	0.61	0.43
		1.59	0.72	1.44	2.35	0.19	0.27	0.33	0.16	0.29	0.27
		0.32	1.42	0.54	0.37	0.28	0.2	0.79	0.41	0.4	

ตารางที่ ค (ต่อ) เวลาสูญเสียเนื่องจากเครื่องจักร

หน่วย: นาที

ลำดับที่	ขั้นตอน	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Mold (MTBF)	1003.2	516.0	510.6	425.4	469.2	443.4	429.6	402.6	407.4	347.4
		352.2	389.4	394.2	352.8	446.4	472.8	373.8	451.2	407.4	319.2
		391.2	511.8	354.6	339.6						
	Mold (MTTR)	30	30	20	10	20	20	10	10	30	70
		100	210	20	240	30	90	30	10	10	10
		95	10	270	10	20					
5	Mark(MTBF)	31.36	35.22	45.48	10.70	5.97	11.41	11.85	0.22	14.02	34.51
		4.83	8.91	38.02	15.63	6.71	18.86	15.31	41.46	1.18	5.53
		14.86	22.44	1.93	8.04	34.51	8.02	7.02	30.20	5.83	24.71
		14.78	8.57	35.11	11.24	25.16	8.16	12.83	9.22	1.95	56.55
		5.86	16.11	4.57	32.57	36.00	20.88	19.73	1.32	16.16	40.26
	Mark(MTTR)	31.60	17.01	19.41	19.70	32.63	27.00	19.12	22.17	25.16	19.87
		28.98	14.05	29.62	31.87	24.44	33.45	12.73	16.21	11.58	21.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.
เวลาของการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง เวลาของการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน(แสดงเฉพาะสถานีงานหลัก)

หน่วย: นาที

ลำดับที่	การเดินทาง (จาก-ไป)	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Transfer In-2Opt	1.569	2.258	1.659	1.459	2.767	2.36	1.396	1.615	2.314	2.979
		1.617	2.475	2.623	1.634	2.557	2.96	2.906	1.521	2.289	2.706
2	2Opt- Saw	0.19	0.107	0.166	0.143	0.174	0.124	0.197	0.178	0.303	0.464
		0.22	0.257	0.133	0.226	0.344	0.099	0.181	0.304	0.274	0.284
3	Saw-Die attach	0.383	0.373	0.401	0.358	0.387	0.473	0.376	0.413	0.432	0.389
		0.391	0.413	0.374	0.373	0.381	0.443	0.361	0.354	0.392	0.357
4	Die attach-Wire bond	0.235	0.214	0.209	0.221	0.244	0.238	0.217	0.244	0.223	0.211
		0.251	0.244	0.248	0.243	0.231	0.232	0.192	0.202	0.221	0.215
5	Wire bond-Mold	0.39	0.375	0.384	0.317	0.351	0.383	0.326	0.348	0.339	0.375
		0.339	0.352	0.353	0.353	0.349					
6	Mold-Post Mold Cure	0.681	0.785	0.9	0.864	0.868	0.787	0.822	0.841	0.692	0.75
		0.736	0.777	0.683	0.882	0.756					
7	Post Mold Cure- Detape	0.586	0.638	0.655	0.764	0.754	0.592	0.613	0.71	0.774	0.668
		0.81	0.625	0.59	0.784	0.591					

ตารางที่ ง(ต่อ) เวลาของการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน(แสดงเฉพาะสถานีงานหลัก)

หน่วย: นาที

ลำดับที่	การเดินทาง (จาก-ไป)	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Detape-Mark	0.665	0.676	0.676	0.715	0.688	0.68	0.674	0.714	0.659	0.683
		0.67	0.696	0.711	0.709	0.704					
9	FOI-Singulation	2.411	2.401	4.57	2.234	2.508	3.6	2.452	2.312	2.494	2.482
		6.139	2.206	2.523	2.361	2.318					
10	Singulation-Pick &	0.4	0.409	0.391	0.395	0.405	0.394	0.389	0.407	0.396	0.404
	Place	0.404	0.406	0.394	0.393	0.4					
11	Pick & Place – QC	5.144	5.241	4.952	8.2	4.632	4.747	4.846	8.615	4.782	14.865
	FVI	4.643	4.831	4.786	5.08	4.925					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.
เวลาในการจัดการล็อตกรณีล็อตมีค่ายีลด์ต่ำกว่ากำหนด (Disposition Time)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ เวลาในการจัดการล็อตกรณียีลด์ต่ำกว่ากำหนด (Disposition Time)

หน่วย: นาที

ลำดับที่	ขั้นตอน	เวลา									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Die attach	246	240	110	280	240	286	600	540		
2	Wire bond	240	75	120	125	420	420	60	95	300	95
		20	110	80	90	80	75	70	255	160	125
		123	120	140	145	165	75	110	95	145	80
		80	25	30	45	60					
3	Singulation	90	300	30	345	145	100	210	195	290	175
		90	240	150	360	155	175	350	190	170	90
		50	310	200	200	165	250	280	280	300	200
4	QC FVI	160	185	190	80	60	309	20	115	35	10
		20	160	175							

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.
การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเจเนติกอัลกอริทึม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ-1.
ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

No.	Pop size	X Type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
1	10	1-P	0.7	0.10	2.14	0.251	12.971	5.121	942	559	434	645.00	15.269	11.59	7.14	11.333
2				0.20	12.971	0.293	15.695	9.653	130	1445	2405	1326.67	3.461	22.519	36.579	20.853
3				0.30	17.732	16.425	10.241	14.799	1290	2154	73	1172.33	20.51	33.391	1.149	18.350
4				0.40	0.449	12.971	6.084	6.501	276	749	123	382.67	4.281	11.918	2.31	6.170
5			0.8	0.10	2.14	7.724	12.971	7.612	2388	1114	519	1340.33	35.808	11.918	8.34	18.689
6				0.20	15.68	7.724	2.14	8.515	886	1175	108	723.00	14.277	18.679	1.82	11.592
7				0.30	8.071	0.299	0.44	2.937	1514	1922	663	1366.33	22.89	17.801	10.101	16.931
8				0.40	19.119	15.382	13.171	15.891	822	882	935	879.67	13.242	29.11	14.988	19.113
9			0.9	0.10	2.14	8.071	6.084	5.432	15	1831	1030	958.67	0.723	27.79	16.418	14.977
10				0.20	0.449	19.353	0.3143	6.705	224	2343	287	951.33	3.891	35.379	6.156	15.142
11				0.30	15.696	15.519	16.426	15.880	1301	2065	2482	1949.33	24.453	32.289	37.726	31.489
12				0.40	12.971	0.524	0.374	4.623	23	224	1549	598.67	3.571	3.571	891	299.381
13			1.0	0.10	2.14	17.225	15.382	11.582	1771	510	1347	1209.33	26.86	8.789	21.31	18.986
14				0.20	15.519	0.299	20.966	12.261	1276	44	1756	1025.33	21.969	0.828	27.305	16.701
15				0.30	26.19	0.44	7.724	11.451	536	34	1621	730.33	8.289	0.664	25	11.318
16				0.40	13.452	12.971	0.44	8.954	938	1732	1215	1295.00	15.375	26.531	19.172	20.359
17		2-P	0.7	0.10	0.524	10.24	19.353	10.039	618	790	386	598.00	8.625	13.883	5.82	9.443
18				0.20	0.314	15.67	12.971	9.652	1709	1740	1028	1492.33	24.711	30.157	15.546	23.471
19				0.30	0.419	7.723	13.171	7.104	656	1349	1285	1096.67	10.219	20.438	20.102	16.920
20				0.40	0.524	15.447	4.783	6.918	1185	1014	959	1052.67	18.461	15.539	14.609	16.203
21			0.8	0.10	13.171	15.383	4.783	11.112	1056	1445	1051	1184.00	16.203	23.62	16.812	18.878
22				0.20	0.2514	8.071	0.374	2.899	864	510	450	608.00	13.507	8.7	6.695	9.634
23				0.30	0.44	7.724	2.14	3.435	1512	1255	1830	1532.33	23.89	19.657	27.852	23.800
24				0.40	7.724	6.084	0.3143	4.707	753	951	929	877.67	11.586	14.664	14.391	13.547
25			0.9	0.10	12.971	4.783	12.971	10.242	1813	1224	1807	1614.67	28.18	19.993	25.703	24.625
26				0.20	23.543	0.314	0.314	8.057	419	414	1877	903.33	6.539	6.102	29.765	14.135
27				0.30	13.45	13.17	17.225	14.615	92	1115	317	508.00	1.375	17.469	4.953	7.932
28				0.40	15.448	0.314	13.17	9.644	791	619	115	508.33	12.93	9.89	1.813	8.211
29			1.0	0.10	13.452	12.971	17.338	14.587	2100	1413	1815	1776.00	32.68	22.891	32.352	29.308
30				0.20	15.519	12.971	2.14	10.210	1289	1599	1299	1395.67	19.836	24.938	19.773	21.516
31				0.30	24.114	2.14	15.447	13.900	80	798	1178	685.33	1.32	12.312	17.914	10.515
32				0.40	12.917	2.14	17.737	10.931	188	2157	2454	1599.67	3.23	34.219	37.414	24.954

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-1(ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

No.	Pop size	X Type	Pc	Pm	Material loss or Fitness(Baht)				Gen no.				Time of solution found(Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
33	10	Uniform	0.7	0.10	15.696	4.68	13.171	11.182	1352	606	204	720.67	19.344	10.156	3.179	10.893
34				0.20	15.519	17.338	8.071	13.643	1133	846	1946	1308.33	17.515	13.289	29.329	20.044
35				0.30	0.448	13.171	7.724	7.114	1584	2340	1495	1806.33	24.601	36.14	23.8	28.180
36				0.40	4.681	15.52	4.783	8.328	748	821	2241	1270.00	11.86	13.508	35.101	20.156
37			0.8	0.10	13.171	13.171	6.084	10.809	1602	1975	2080	1885.67	22.141	28.453	32.132	27.575
38				0.20	12.971	13.171	4.681	10.274	2087	2480	2094	2220.33	33.164	37.57	31.523	34.086
39				0.30	2.14	12.971	0.251	5.121	659	1070	1672	1133.67	10.219	17.242	24.328	17.263
40				0.40	0.524	6.084	15.448	7.352	136	945	2488	1189.67	2.203	14.781	39.821	18.935
41			0.9	0.10	0.251	10.241	15.45	8.647	2191	636	2171	1666.00	30.984	8.789	32.906	24.226
42				0.20	10.241	12.971	0.293	7.835	1520	985	1410	1305.00	22.727	14.719	22.515	19.987
43				0.30	15.448	13.171	15.448	14.689	712	1325	2497	1511.33	11.195	20.804	38.16	23.386
44				0.40	15.448	10.241	0.374	8.688	1868	444	352	888.00	29.219	17.78	5.93	17.643
45			1.0	0.10	4.783	0.449	15.696	6.976	1053	1744	154	983.67	15.93	24.344	2.83	14.368
46				0.20	0.449	25.936	8.071	11.485	251	103	1202	518.67	3.796	1.6411	18.179	7.872
47				0.30	12.971	4.681	17.225	11.626	631	2187	2243	1687.00	9.609	33.7	36.14	26.483
48				0.40	7.724	16.426	8.071	10.740	566	906	1175	882.33	9.563	13.836	17.586	13.662

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-1(ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

No.	Pop size	X Type	Pc	Pm	Material loss or Fitness(Baht)				Gen no.				Time of solution found(Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
49	20	1-P	0.7	0.10	13.45	0.449	7.724	7.208	21	2415	2439	1625.00	1.367	67.992	71.562	46.974
50				0.20	0.314	0.524	2.14	0.993	1884	1531	1071	1495.33	51.632	43.125	29.219	41.325
51				0.30	0.374	6.084	0.524	2.327	2296	1476	1422	1731.33	62.781	39.985	38.547	47.104
52				0.40	2.14	0.293	8.071	3.501	2273	958	194	1141.67	61.679	26.141	5.546	31.122
53			0.8	0.10	4.783	8.071	0.524	4.459	587	1207	1221	1005.00	15.985	34.73	34.109	28.275
54				0.20	12.971	2.14	0.524	5.212	1448	34	1792	1091.33	39.47	1.101	50.25	30.274
55				0.30	4.681	0.251	13.452	6.128	779	1471	1868	1372.67	21.39	39.984	51.406	37.593
56				0.40	10.241	4.689	0.299	5.076	145	1092	385	540.67	4.11	29.984	11.211	15.102
57			0.9	0.10	0.251	8.071	0.44	2.921	2166	387	2429	1660.67	60.859	12.407	67.883	47.050
58				0.20	0.44	0.419	0.314	0.391	761	1236	70	689.00	20.656	36.477	2.31	19.814
59				0.30	2.14	4.68	6.084	4.301	2111	2366	188	1555.00	58.992	63.774	5.55	42.772
60				0.40	7.724	6.084	0.419	4.742	1547	854	2095	1498.67	42.18	23.281	58.109	41.190
61			1.0	0.10	0.524	0.419	6.083	2.342	1769	1080	125	991.33	49.47	29.172	3.461	27.368
62				0.20	2.14	4.68	12.971	6.597	157	921	2339	1139.00	4.289	24.56	67.18	32.010
63				0.30	0.293	13.17	0.299	4.587	2310	806	978	1364.67	63.719	22.523	26.59	37.611
64				0.40	10.241	0.524	0.44	3.735	7	19	1625	550.33	0.328	0.656	44.859	15.281
65		2-P	0.7	0.10	4.681	8.071	10.241	7.664	2340	378	2448	1722.00	61.899	10.446	2.63	24.992
66				0.20	7.724	10.241	17.225	11.730	467	2118	64	883.00	13.18	57.34	1.71	24.077
67				0.30	10.24	0.3143	4.783	5.112	1375	570	1723	1222.67	37.7	14.94	46.69	33.110
68				0.40	0.419	0.443	0.2993	0.387	125	1994	671	930.00	3.51	54.5	18.57	25.527
69			0.8	0.10	0.374	0.449	0.251	0.358	2437	1567	318	1440.67	66.2	41.14	9.78	39.040
70				0.20	0.293	4.7821	0.374	1.816	1074	1076	1373	1174.33	30.21	29.33	36.31	31.950
71				0.30	0.251	13.171	0.251	4.558	563	1427	436	808.67	15.38	38.39	11.86	21.877
72				0.40	0.314	0.374	0.251	0.313	1242	2459	2374	2025.00	33.29	1.657	64.81	33.252
73			0.9	0.10	2.14	0.299	0.419	0.953	591	421	1090	700.67	17.25	12.52	30.49	20.087
74				0.20	0.251	4.681	17.225	7.386	2000	421	1348	1256.33	53.72	11.59	38.1	34.470
75				0.30	10.241	7.724	8.071	8.679	954	674	1909	1179.00	26.42	18.18	52.35	32.317
76				0.40	15.68	0.524	6.084	7.429	582	297	1568	815.67	15.82	8.2	42.89	22.303
77			1.0	0.10	8.071	2.14	13.17	7.794	1671	1879	699	1416.33	44.321	51.742	18.508	38.190
78				0.20	0.374	0.419	0.374	0.389	1299	1480	504	1094.33	36.32	40.75	15	30.690
79				0.30	0.419	0.419	0.374	0.404	1251	157	1283	897.00	34.269	4.39	36.418	25.026
80				0.40	0.299	2.14	4.681	2.373	1651	1622	2213	1828.67	44.757	45.372	61.801	50.643

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-1(ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

No.	Pop size	X Type	Pc	Pm	Material loss or Fitness(Baht)				Gen no.				Time of solution found(Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
81	20	Uniform	0.7	0.10	10.241	0.419	4.681	5.114	189	257	1171	539.00	6.148	6.981	30.211	14.447
82				0.20	15.519	15.678	24.115	18.437	1952	943	455	1116.67	53.277	25.481	12.911	30.556
83				0.30	7.724	4.783	0.449	4.319	833	123	396	450.67	23.461	4.398	11.313	13.057
84				0.40	0.419	0.293	6.084	2.265	169	1649	2347	1388.33	4.832	47.78	66.57	39.727
85			0.8	0.10	15.382	7.724	7.724	10.277	805	1203	96	701.33	22.359	31.859	2.801	19.006
86				0.20	0.44	0.299	10.241	3.660	1063	1163	1746	1324.00	28.781	31.28	47.179	35.747
87				0.30	12.971	6.084	6.084	8.380	1376	1970	2111	1819.00	38.34	55.582	61.922	51.948
88				0.40	0.419	15.382	0.419	5.407	2360	2149	1545	2018.00	66.289	60.301	43.332	56.641
89			0.9	0.10	15.696	13.171	17.225	15.364	170	1502	255	642.33	4.61	40.2	6.75	17.187
90				0.20	13.171	0.449	0.2993	4.640	123	251	1744	706.00	3.41	7.82	47.45	19.560
91				0.30	15.448	2.14	0.293	5.960	1287	137	2185	1203.00	35.102	3.789	60.801	33.231
92				0.40	0.449	0.251	8.071	2.924	412	2040	958	1136.67	11.918	57.71	26.422	32.017
93			1.0	0.10	6.084	13.452	4.783	8.106	306	914	351	523.67	7.91	24.168	8.461	13.513
94				0.20	2.14	4.783	15.448	7.457	2218	887	1950	1685.00	56.687	23.511	52.953	44.384
95				0.30	12.971	10.241	2.1401	8.451	687	1175	1858	1240.00	18.23	30.75	49	32.660
96				0.40	12.971	13.452	0.3143	8.912	1473	1368	2383	1741.33	39	37.629	63.598	46.742

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-1(ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

No.	Pop size	X Type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
97	30	1-P	0.7	0.10	0.449	4.681	0.524	1.885	2183	52	1239	1158.00	87.769	2.308	49.711	46.596
98				0.20	4.681	0.44	0.314	1.812	510	1986	1383	1293.00	20	77.781	55.25	51.010
99				0.30	0.374	0.374	4.681	1.810	138	1945	2407	1496.67	5.551	80.457	94.481	60.163
100				0.40	13.452	4.681	0.524	6.219	1088	1721	275	1028.00	43.453	77.668	11.39	44.170
101			0.8	0.10	0.299	0.314	13.45	4.688	403	2159	1019	1193.67	16.372	88.871	40.703	48.649
102				0.20	4.783	0.293	0.293	1.790	1488	2445	1066	1666.33	58.774	97.547	41.899	66.073
103				0.30	7.724	4.681	12.971	8.459	836	1527	1463	1275.33	33.63	59.102	61.875	51.536
104				0.40	0.44	0.524	6.084	2.349	2463	1013	2211	1895.67	98.258	39.484	86.836	74.859
105			0.9	0.10	4.783	0.524	0.449	1.919	696	1093	1785	1191.33	28.563	44.773	72.844	48.727
106				0.20	0.419	0.251	4.783	1.818	2429	960	45	1144.67	95.399	38.324	2.86	45.528
107				0.30	0.299	0.419	4.68	1.799	2030	42	1051	1041.00	79.367	1.867	41.25	40.828
108				0.40	0.449	0.524	0.374	0.449	2255	766	547	1189.33	89.812	30.593	21.594	47.333
109			1.0	0.10	4.783	0.524	0.449	1.919	696	1093	1785	1191.33	23.665	94.914	45.46	54.680
110				0.20	0.419	0.251	4.783	1.818	2429	960	45	1144.67	12.797	84.579	69.39	55.589
111				0.30	0.299	0.419	4.68	1.799	2030	42	1051	1041.00	85.82	0.656	23.844	36.773
112				0.40	0.449	0.524	0.374	0.449	2255	766	547	1189.33	37.68	82.328	65.961	61.990
113		2-P	0.7	0.10	0.314	0.299	0.299	0.304	1031	677	2487	1398.33	42.125	28.15	102.109	57.461
114				0.20	0.293	6.084	0.419	2.265	2439	615	606	1220.00	94.961	25.711	23.625	48.099
115				0.30	0.314	0.314	0.293	0.307	2242	1390	1385	1672.33	87.657	54.47	54.539	65.555
116				0.40	0.257	0.314	0.44	0.337	589	719	1682	996.67	23.609	28.844	65.813	39.422
117			0.8	0.10	4.68	4.783	0.251	3.238	1209	3	510	574.00	47.289	0.336	22.243	23.289
118				0.20	0.299	0.314	8.071	2.895	240	936	285	487.00	10.383	36.969	10.929	19.427
119				0.30	0.293	0.293	6.0844	2.223	2119	494	1735	1449.33	84.906	19.883	69.32	58.036
120				0.40	0.449	0.251	0.251	0.317	1917	2018	170	1368.33	74.75	78.821	6.875	53.482
121			0.9	0.10	0.44	0.299	0.44	0.393	1868	1850	197	1305.00	79.805	75.625	8.507	54.646
122				0.20	0.524	0.449	10.24	3.738	1483	1255	1138	1292.00	58.445	52.937	43.766	51.716
123				0.30	0.293	0.524	13.171	4.663	188	54	2381	874.33	7.906	2.36	94.766	35.011
124				0.40	4.681	0.314	0.524	1.840	44	1334	1688	1022.00	1.985	52.289	65.906	40.060
125			1.0	0.10	0.314	0.449	0.314	0.359	1999	1227	2148	1791.33	81.445	51.516	91.234	74.732
126				0.20	0.44	13.452	0.524	4.805	1348	2008	284	1213.33	54.43	81.18	11.906	49.172
127				0.30	0.449	0.293	4.68	1.807	474	855	214	514.33	18.789	34.274	9.117	20.727
128				0.40	0.44	4.783	0.251	1.825	1456	196	1500	1050.67	35.211	8.23	59.492	34.311

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-1(ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ A)

No.	Pop size	X Type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
129	30	Uniform	0.7	0.10	12.971	4.783	0.524	6.093	1946	108	1347	1133.67	77.449	4.5	51.251	44.400
130				0.20	7.724	0.293	4.681	4.233	1153	106	261	506.67	45.59	42.24	11.101	32.977
131				0.30	10.241	0.419	0.44	3.700	985	1565	535	1028.33	39.871	63.61	21.532	41.671
132				0.40	10.241	10.241	0.44	6.974	167	793	1559	839.67	7.32	32.789	64.867	34.992
133			0.8	0.10	0.314	0.293	0.299	0.302	840	667	163	556.67	31.469	24.492	6.48	20.814
134				0.20	7.724	12.971	6.084	8.926	603	1851	1034	1162.67	24.109	70.36	40.59	45.020
135				0.30	0.299	0.524	6.084	2.302	2252	943	154	1116.33	91.461	38.12	6.32	45.300
136				0.40	0.374	0.299	7.724	2.799	1768	32	1050	950.00	72.11	38.12	43.28	51.170
137			0.9	0.10	0.251	0.374	4.783	1.803	1647	375	834	952.00	63.391	14.34	35.371	37.701
138				0.20	0.524	0.314	4.0251	1.621	1445	1669	1209	1441.00	55.75	64.102	46.801	55.551
139				0.30	7.724	0.44	2.14	3.435	2486	117	709	1104.00	98.761	4.832	28.508	44.034
140				0.40	0.299	0.524	4.681	1.835	1171	712	1041	974.67	47.621	28.5	42.71	39.610
141			1.0	0.10	10.241	15.678	8.071	11.330	1578	541	1410	1176.33	58.551	20.871	52.95	44.124
142				0.20	15.696	8.071	4.681	9.483	821	1451	699	990.33	30.207	54.207	42.71	42.375
143				0.30	13.452	13.171	0.253	8.959	266	1878	321	821.67	10.492	72.94	52.95	45.461
144				0.40	0.251	2.14	0.374	0.922	1136	2494	1084	1571.33	44.489	69.187	27.78	47.152

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ-2.
ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

No.	Pop size	X type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
1	10	1-P	0.7	0.10	3.5	4.872	2.46	3.611	2081	512	692	1095.00	27.789	8.461	9.335	15.195
2				0.20	8.847	5.359	4.872	6.359	675	515	648	612.67	8.647	7.36	8.507	8.17133
3				0.30	4.87	9.5	4.8719	6.414	1706	2362	801	1623.00	22.297	31.78	10.5	21.5257
4				0.40	5.846	5.42	13	8.089	92	423	29	181.33	1.258	5.656	0.438	2.45067
5			0.8	0.10	6.34	1.23	5.425	4.332	199	1829	554	860.67	2.593	23.398	7.421	11.1373
6				0.20	8.426	6.34	1.231	5.332	673	422	351	482.00	8.461	5.82	4.508	6.263
7				0.30	2.463	4.772	10.717	5.984	394	1926	2028	1449.33	5.273	25.477	27.196	19.3153
8				0.40	8.847	2.462	2.578	4.629	136	2460	2186	1594.00	1.813	32.852	28.5	21.055
9			0.9	0.10	12.67	7.307	14.874	11.617	19	194	1470	561.00	0.336	2.632	17.797	6.92167
10				0.20	4.423	2.463	5.359	4.082	764	1243	373	793.33	0.1	15.93	4.844	6.958
11				0.30	5.846	3.5	8.426	5.924	1798	763	1532	1364.33	23.625	10.821	0.2	11.5487
12				0.40	3.5	1.231	5.846	3.526	1326	173	1068	855.67	17.468	2.414	13.946	11.276
13			1.0	0.10	2.578	7.3077	6.334	5.407	232	1732	275	746.33	3.399	21.64	3.344	9.461
14				0.20	6.34	9.5	7.1679	7.669	258	2085	1813	1385.33	3.297	27.14	23.61	18.0157
15				0.30	3.5	8.038	5.359	5.632	2107	411	1785	1434.33	27.46	5.44	22.9	18.6
16				0.40	9.69	5.359	4.872	6.640	734	58	1649	813.67	9.45	0.87	21.92	10.7467
17		2-P	0.7	0.10	7.307	2.463	5.425	5.065	517	317	151	328.33	6.86	4.12	1.98	4.32
18				0.20	14.874	4.424	7.307	8.868	2415	1633	2368	2138.67	31.64	21.15	31.64	28.1433
19				0.30	9.5	2.463	13.0067	8.323	1393	1249	907	1183.00	18.68	16.26	11.69	15.5433
20				0.40	5.425	2.58	8.038	5.348	1347	220	117	561.33	17.69	2.97	1.64	7.43333
21			0.8	0.10	5.425	6.34	4.872	5.546	208	91	1905	734.67	3.133	2.97	24.765	10.2893
22				0.20	2.578	5.359	5.359	4.432	1537	1237	615	1129.67	19.617	1.273	8.18	9.69
23				0.30	5.359	2.578	1.232	3.056	1376	1230	1402	1336.00	17.805	15.82	18.516	17.3803
24				0.40	5.359	13.397	1.231	6.662	1905	195	1910	1336.67	24.883	16.211	25.312	22.1353
25			0.9	0.10	1.23	4.42	9.502	5.051	1419	182	86	562.33	20.54	2.641	1.164	8.115
26				0.20	4.872	4.423	9.65	6.315	49	1396	648	697.67	0.938	17.633	8.679	9.08333
27				0.30	3.5	8.426	5.358	5.761	174	28	86	96.00	2.36	0.438	1.321	1.373
28				0.40	5.846	2.578	8.426	5.617	142	1524	2265	1310.33	1.904	20.601	29.554	17.353
29			1.0	0.10	5.846	7.168	4.872	5.962	1316	1520	2239	1691.67	16.914	18.446	27.961	21.107
30				0.20	8.038	6.334	2.58	5.651	1917	675	587	1059.67	24	8.398	7.406	13.268
31				0.30	5.359	5.425	2.463	4.416	1828	2295	201	1441.33	23.896	29.273	2.687	18.6187
32				0.40	2.578	7.168	2.463	4.070	225	76	1698	666.33	2.977	1.94	22.23	9.049

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

No.	Pop size	X type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
33	10	Uniform	0.7	0.10	14.45	4.424	4.424	7.766	399	938	2476	1271.00	5.438	12.312	32.235	16.6617
34				0.20	13.397	4.872	5.425	7.898	1856	2190	1438	1828.00	24.383	29.718	19.62	24.5737
35				0.30	5.85	2.463	10.72	6.344	408	1051	655	704.67	5.648	14.54	9.18	9.78933
36				0.40	9.5	4.424	6.34	6.755	1301	494	47	614.00	17.851	6.704	0.711	8.422
37			0.8	0.10	5.425	6.334	5.846	5.868	298	751	156	401.67	3.899	10.644	1.977	5.50667
38				0.20	3.5	9.5	3.5	5.500	1222	579	1874	1225.00	17.25	8.351	25.211	16.9373
39				0.30	5.358	5.358	3.5	4.739	1937	659	1267	1287.67	26.93	8.953	16.859	17.5807
40				0.40	1.231	9.5	6.334	5.688	453	428	1586	822.33	6.54	5.93	22.133	11.5343
41			0.9	0.10	5.846	8.8472	7.307	7.333	1133	2104	111	1116.00	15.274	26.468	1.368	14.37
42				0.20	3.5	4.423	2.578	3.500	524	1517	648	896.33	7.304	16.62	8.351	10.7583
43				0.30	5.35	5.425	2.463	4.413	1878	1634	233	1248.33	25.32	21.578	3.187	16.695
44				0.40	13	8.85	7.168	9.673	420	116	1511	682.33	5.726	1.648	20.71	9.36133
45			1.0	0.10	2.463	5.425	5.359	4.416	1115	343	1683	1047.00	13.727	3.953	19.773	12.4843
46				0.20	4.424	9.69	14.615	9.576	83	1627	1042	917.33	1.101	20.547	13.727	11.7917
47				0.30	5.359	8.038	3.5	5.632	1385	1305	1596	1428.67	18.688	17.516	20.594	18.9327
48				0.40	16.077	4.872	3.5	8.150	2284	1839	9	1377.33	30.813	24.344	0.336	18.4977

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

No.	Pop size	X type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
49	20	1-P	0.7	0.10	3.5	2.463	6.334	4.099	603	1655	1	753.00	13.119	36.91	0.161	16.73
50				0.20	5.359	1.23	7.167	4.585	1238	961	1886	1361.67	27.68	21.92	43.28	30.96
51				0.30	7.307	4.872	4.42	5.533	1107	1015	2108	1410.00	25.5	23.18	46.852	31.844
52				0.40	4.423	3.5	2.578	3.500	1744	1417	474	1211.67	40.15	32.68	10.881	27.9037
53			0.8	0.10	8.847	7.307	2.463	6.206	1097	1010	2023	1376.67	24.831	22.3	45.26	30.797
54				0.20	1.231	1.231	8.038	3.500	2105	304	1407	1272.00	46.58	6.811	32.179	28.5233
55				0.30	6.34	5.846	4.423	5.536	1888	1793	1200	1627.00	42.891	40.478	26.529	36.6327
56				0.40	9.502	2.463	8.426	6.797	855	1935	1833	1541.00	19.531	46.441	41.86	35.944
57			0.9	0.10	3.5	8.847	7.168	6.505	152	819	509	493.33	3.9	19.12	12.42	11.8133
58				0.20	5.359	6.34	1.23	4.310	2206	430	46	894.00	49.269	10.51	1.1	20.293
59				0.30	8.847	2.463	10.717	7.342	2056	162	564	927.33	46.789	3.74	12.469	20.9993
60				0.40	8.038	8.038	2.578	6.218	554	1631	1413	1199.33	12.85	36.91	32.51	27.4233
61			1.0	0.10	4.423	5.425	2.463	4.104	2385	1623	2401	2136.33	52.721	36.35	52.509	47.1933
62				0.20	7.168	5.846	3.5	5.505	413	1024	349	595.33	9.34	21.92	7.74	13
63				0.30	7.307	4.42	3.5	5.076	1492	580	1261	1111.00	33.279	13.1	27.738	24.7057
64				0.40	7.168	4.423	9.744	7.112	377	530	616	507.67	8.791	12.19	14.251	11.744
65			0.7	0.10	15.11	4.423	5.846	8.460	1591	163	137	630.33	34.389	3.619	3.509	13.839
66				0.20	2.463	1.231	7.167	3.620	1596	1217	126	979.67	34.39	26.908	2.971	21.423
67				0.30	8.847	3.5	2.46	4.936	567	2105	1092	1254.67	13.231	46.738	24.442	28.137
68				0.40	4.423	2.463	7.168	4.685	595	2400	1355	1450.00	13.352	53.83	30.209	32.4637
69			0.8	0.10	4.423	2.463	1.23	2.705	1110	474	1801	1128.33	25.15	9.83	39.44	24.8067
70				0.20	2.463	2.463	2.463	2.463	2167	2394	979	1846.67	47.241	51.692	21.91	40.281
71				0.30	4.424	4.424	4.424	4.424	1226	2337	311	1291.33	27.31	52.728	6.978	29.0053
72		2-P		0.40	4.424	3.5	7.168	5.031	38	220	874	377.33	0.991	4.939	20.161	8.697
73			0.9	0.10	4.872	2.46	5.36	4.231	279	746	2448	1157.67	8.672	16.152	52.289	25.7043
74				0.20	6.34	2.463	5.846	4.883	2198	2089	1029	1772.00	48.109	47.461	22.36	39.31
75				0.30	5.424	2.463	4.423	4.103	538	375	248	387.00	11.976	8.414	5.484	8.62467
76				0.40	1.231	7.307	3.5	4.013	686	2154	745	1195.00	15.867	48.5	16.859	27.0753
77			1.0	0.10	2.463	3.5	2.578	2.847	1312	1056	1602	1323.33	28.781	23.8	36.414	29.665
78				0.20	4.424	4.87	1.23	3.508	39	115	592	248.67	0.945	2.625	12.968	5.51267
79				0.30	2.463	5.425	7.168	5.019	60	233	1424	572.33	1.54	15.328	31.75	16.206
80				0.40	4.423	2.463	2.463	3.116	962	340	748	683.33	21.64	7.743	16.859	15.414

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

No.	Pop size	X type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
81	20	Uniform	0.7	0.10	5.358	2.578	8.426	5.454	2386	961	198	1181.67	52.461	20.219	4.554	25.7447
82				0.20	1.23	5.846	5.358	4.145	653	1220	2468	1447.00	14.61	27.57	55.641	32.607
83				0.30	2.463	5.359	4.872	4.231	767	2359	2035	1720.33	17.633	55.93	47.844	40.469
84				0.40	2.463	8.038	5.358	5.286	239	541	1069	616.33	6.195	12.914	25.211	14.7733
85			0.8	0.10	7.1679	1.231	5.846	4.748	1467	1138	340	981.67	30.485	25.102	6.867	20.818
86				0.20	5.359	8.426	3.5	5.762	5	2149	1613	1255.67	0.274	48.453	36.625	28.4507
87				0.30	4.425	2.463	5.846	4.245	246	2384	129	919.67	5.929	54.521	3.133	21.1943
88				0.40	2.463	7.307	5.39	5.053	1824	1662	2440	1975.33	43	38.891	57.289	46.3933
89			0.9	0.10	4.423	3.5	4.424	4.116	562	1310	206	692.67	11.921	27.679	4.391	14.6637
90				0.20	4.423	5.359	5.359	5.047	1610	701	194	835.00	35.594	15.875	4.5	18.6563
91				0.30	4.42	5.425	2.463	4.103	167	2095	611	957.67	4.8	49.47	15.55	23.2733
92				0.40	5.425	3.5	1.231	3.385	1339	354	2252	1315.00	31.625	8.516	52.726	30.9557
93			1.0	0.10	9.502	7.307	4.872	7.227	1381	2237	97	1238.33	29.883	49.695	2.524	27.3673
94				0.20	8.847	4.872	8.847	7.522	915	369	732	672.00	19.719	7.966	15.883	14.5227
95				0.30	4.423	13.397	5.36	7.727	796	1281	706	927.67	18.617	29.11	15.984	21.237
96				0.40	10.717	8.847	4.817	8.127	1677	1455	1319	1483.67	39.273	34.273	30.43	34.6587

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

No.	Pop size	X type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
97	30	1-P	0.7	0.10	5.846	4.423	5.425	5.231	75	647	1100	607.33	2.742	20.711	37.57	20.341
98				0.20	3.5	2.463	5.42	3.794	5	1268	1707	993.33	0.383	40.75	54.758	31.9637
99				0.30	2.578	3.5	4.4235	3.501	1684	834	2211	1576.33	56.304	27.516	71.406	51.742
100				0.40	5.359	2.463	5.425	4.416	414	808	159	460.33	13.735	26.75	5.5	15.3283
101			0.8	0.10	5.359	1.231	6.34	4.310	1026	539	948	837.67	32.835	17.78	33.62	28.0783
102				0.20	1.2313	2.578	2.425	2.078	219	1199	82	500.00	7.26	38.89	2.75	16.3
103				0.30	5.425	7.1679	2.578	5.057	2218	2161	1676	2018.33	73.38	71.79	54.6	66.59
104				0.40	4.872	2.463	2.463	3.266	1133	282	965	793.33	43.33	9.39	32.46	28.3933
105			0.9	0.10	2.578	8.847	2.57	4.665	540	557	602	566.33	16.43	18.23	18.559	17.7397
106				0.20	4.423	5.425	2.463	4.104	5	87	2436	842.67	0.488	3.239	78.711	27.4793
107				0.30	2.463	2.578	2.463	2.501	743	1280	2418	1480.33	24.109	41.969	78.929	48.3357
108				0.40	1.23	2.463	4.872	2.855	116	1851	237	734.67	3.898	61.18	8.129	24.4023
109			1.0	0.10	2.463	5.846	6.334	4.881	311	2070	89	823.33	10.93	64.262	3.679	26.2903
110				0.20	3.5	1.231	7.16	3.964	282	2374	399	1018.33	9.391	76.293	12.902	32.862
111				0.30	1.231	5.425	5.425	4.027	1341	2417	1	1253.00	43.61	78.769	0.222	40.867
112				0.40	5.846	2.578	3.5	3.975	113	58	1165	445.33	3.889	2.148	38.59	14.8757
113		2-P	0.7	0.10	8.255	3.5	4.872	5.542	1592	344	326	754.00	50.9	11.199	11.32	24.473
114				0.20	1.231	3.5	2.463	2.398	234	181	91	168.67	7.898	5.769	3.301	5.656
115				0.30	4.872	2.463	2.463	3.266	921	16	1723	886.67	29.441	0.82	55.75	28.6703
116				0.40	2.463	5.846	3.5	3.936	1304	1373	662	1113.00	43.277	46.188	22.31	37.2583
117			0.8	0.10	2.463	4.424	7.168	4.685	754	1480	918	1050.67	22.188	48.82	29.55	33.5193
118				0.20	7.168	7.168	4.424	6.253	1295	694	2098	1362.33	41.36	22.906	65.415	43.227
119				0.30	2.578	2.463	2.463	2.501	2202	281	2384	1622.33	71.125	9.344	76.297	52.2553
120				0.40	2.463	2.463	5.425	3.450	104	665	411	393.33	3.625	22.289	13.68	13.198
121			0.9	0.10	3.5	4.423	2.578	3.500	1063	198	556	605.67	35.54	6.922	18.289	20.2503
122				0.20	4.42	2.578	1.231	2.743	2359	566	1957	1627.33	65.31	18.133	63.437	48.96
123				0.30	3.5	4.872	7.307	5.226	794	1106	1163	1021.00	25.563	36.32	38	33.2943
124				0.40	4.42	2.578	4.872	3.957	130	2144	350	874.67	4.563	70.797	11.695	29.0183
125			1.0	0.10	2.578	5.425	5.425	4.476	910	1613	1027	1183.33	28.117	50.859	31.25	36.742
126				0.20	5.359	2.578	3.5	3.812	469	724	328	507.00	15.219	22.742	10.711	16.224
127				0.30	2.578	2.463	4.423	3.155	1704	2439	1798	1980.33	55.203	79.39	57.671	64.088
128				0.40	7.307	4.424	2.463	4.731	1638	922	1568	1376.00	54.101	30.649	51.242	45.3307

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 (ต่อ) ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (ผลิตภัณฑ์ B)

No.	Pop size	X type	Pc	Pm	Material loss or Fitness (Baht)				Gen no.				Time of solution found (Sec.)			
					Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.	Rep#1	Rep#2	Rep#3	Avg.
129	30	Uniform	0.7	0.10	4.872	4.424	2.578	3.958	307	57	1491	618.33	9.547	1.929	47.57	19.682
130				0.20	3.5	2.578	2.578	2.885	175	143	2041	786.33	5.992	4.625	65.75	25.4557
131				0.30	2.578	2.578	4.872	3.343	2137	617	321	1025.00	72.219	21.969	40.422	44.87
132				0.40	2.463	2.463	5.846	3.591	849	1682	1163	1231.33	29.656	59.102	61.297	50.0183
133			0.8	0.10	1.231	3.5	2.463	2.398	1005	943	1975	1307.67	30.649	28.289	61.297	40.0783
134				0.20	3.5	5.425	2.578	3.834	749	1835	1941	1508.33	23.782	58.766	61.899	48.149
135				0.30	4.872	2.463	2.463	3.266	680	439	191	436.67	22.789	14.984	6.758	14.8437
136				0.40	5.425	5.846	4.872	5.381	1588	946	735	1089.67	54.992	32.617	25.367	37.6587
137			0.9	0.10	7.168	8.426	9.69	8.428	511	735	1238	828.00	16.312	22.31	37.789	25.4703
138				0.20	4.872	4.423	2.463	3.919	269	1021	1048	779.33	8.961	33.18	35.766	25.969
139				0.30	1.231	2.463	1.231	1.642	1243	119	643	668.33	41.296	4.281	21.476	22.351
140				0.40	4.423	2.463	3.5	3.462	2346	656	50	1017.33	81.153	23.15	1.922	35.4083
141			1.0	0.10	5.846	5.358	65.78	25.661	672	1494	141	769.00	19.774	45.875	5.156	23.6017
142				0.20	7.307	7.1679	2.578	5.684	1866	937	749	1184.00	59.265	30.367	23.836	37.8227
143				0.30	4.802	2.462	1.231	2.832	1666	483	2295	1481.33	54.54	15.766	74.586	48.2973
144				0.40	1.231	2.578	2.578	2.129	286	1358	392	678.67	9.828	46.203	13.563	23.198

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

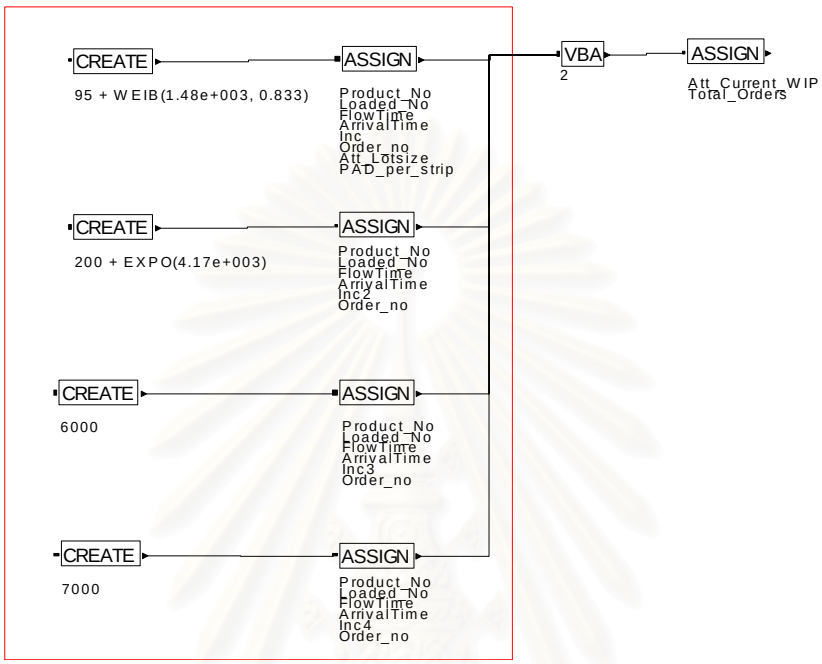
ภาคผนวก ช.
แบบจำลองของระบบงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช-1

โปรแกรม ARENA ส่วนที่ทำหน้าที่สร้าง Entity

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

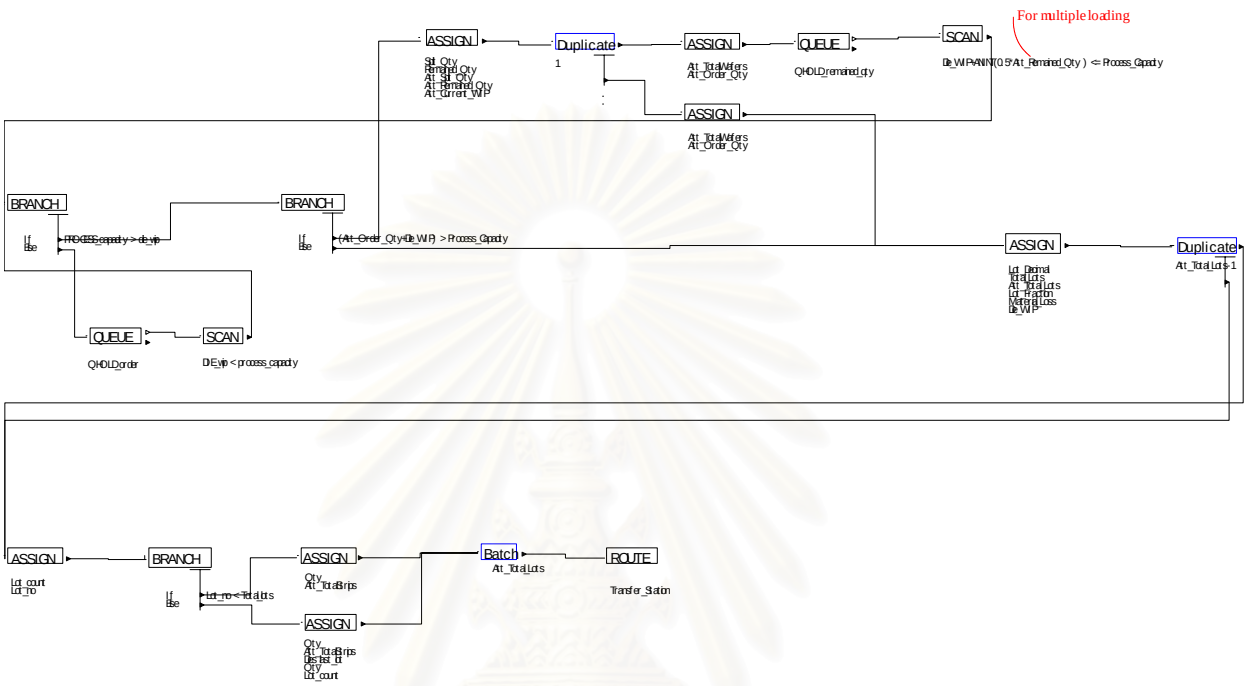


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ-2

โปรแกรม ARENA ส่วนที่ทำหน้าที่โหลดงานเข้าสู่สายการผลิตตามขนาดกำลังการผลิตที่รองรับได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

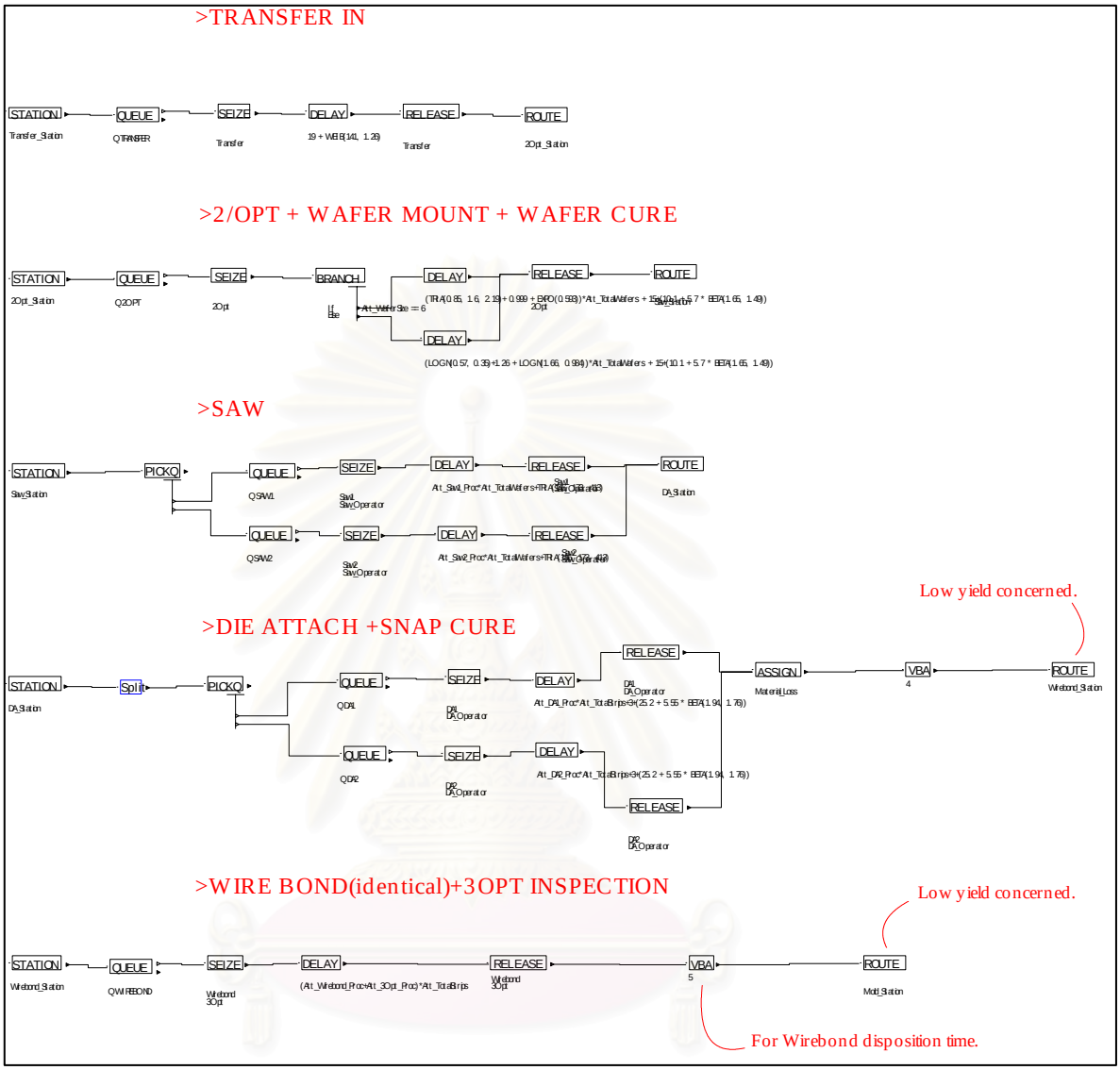


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช-3

โปรแกรม ARENA ส่วนของ Assembly Lines

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



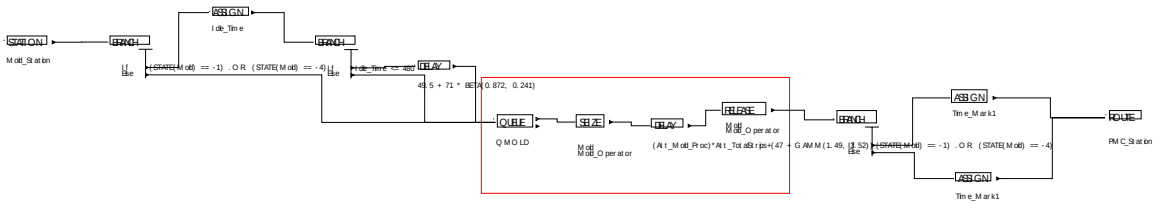
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช-4

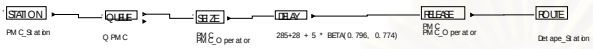
โปรแกรม ARENA ส่วนของ End of Lines (EOL)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

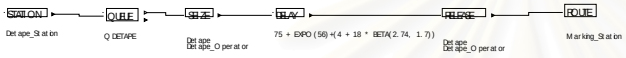
MOLD+X-RAY



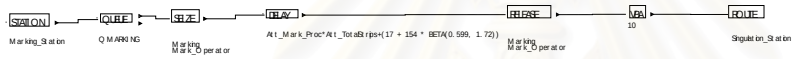
>POST MOLD CURE



DETAPE +FRAME CLEANING+PLATING

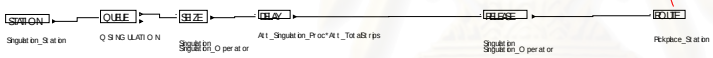


MARKING+STRIP FOI

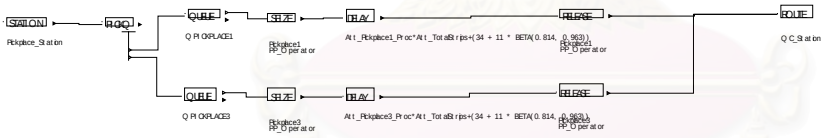


SINGULATION(identical)+UV CURE

Low yield concemed.



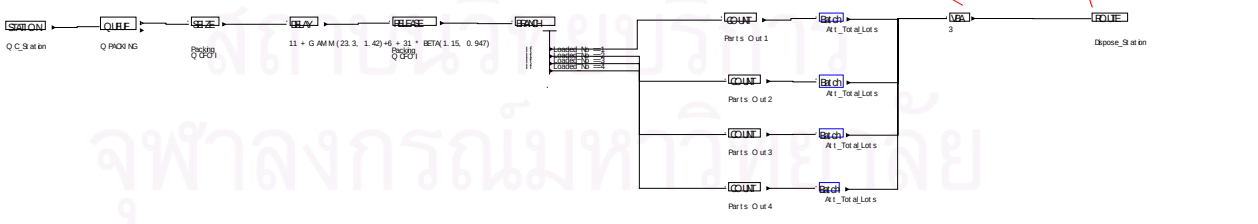
>PICK AND PLACE

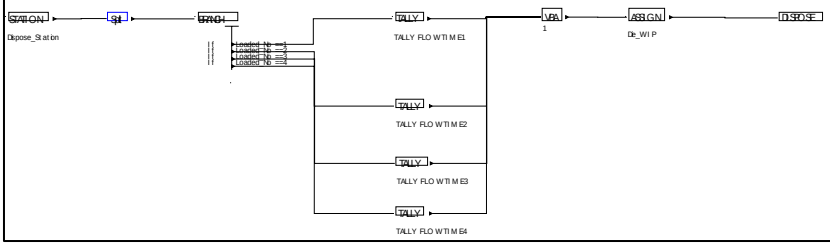


For QC/FVI disposition time.

QC FVI + PACKING

Low yield concemed.





ภาคผนวก ช-5

โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก (Visual Basic for Application : VBA) ที่เป็นชุดคำสั่งในการกำหนดตัวแปรต่างๆในแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
Option Explicit

    Dim Dummy_cost_per_strip As Double, Production_strip_cost As Double
    Dim oSIMAN As Arena.SIMAN
    Dim oModel As Arena.Model
    Public Index_ArrivalTime As Long
    Public Index_FlowTime As Long, dbl_FlowTime As Double
    Public Entity_no As Long
    Public Cum_FlowTime As Double, Avg_flowtime As Double
    Public Sim_FlowTime As Double, Avg_Sim_FlowTime As Double
    Public dbl_Material_Loss As Double, Cum_Material_Loss As Double,
    Sim_Material_Loss As Double
    Public Avg_Material_loss As Double
    Dim Index_Material_Loss As Long
    Public lngPAD_per_Strip As Long, lngLot_Size As Long
    Dim Qty_in_attribute As Long
    Public PAD_lower As Long, PAD_upper As Long, Lotsize_lower As Long,
    Lotsize_upper As Long

    'For Experiment#1 - Varying Lotsize
    Dim Total_Entities As Long 'The number of every replications
    Dim Total_Orders As Long, Warm_up_period As Double

Private Sub ModelLogic_DocumentOpen()
    On Error Resume Next
    UserForm1.Winsock_ARENA.LocalPort = 2002 'Assign local port for server
    UserForm1.Winsock_ARENA.Listen 'And then listen for any request from clients.
    MsgBox "Listening at Port# " & UserForm1.Winsock_ARENA.LocalPort, vbOKOnly +
   vbInformation, "Server listening..."
End Sub
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
Private Sub ModelLogic_RunBeginReplication()
    Entity_no = 0
    Cum_FlowTime = 0
    Cum_Material_Loss = 0
End Sub

Private Sub ModelLogic_RunBeginSimulation()
    'SIMAN command will begin active here.
    On Error Resume Next
    Dim i As Long 'For Experiment#1

    Set oSIMAN = ThisDocument.Model.SIMAN
    Set oModel = ThisDocument.Model
    'Assing leadframe cost
    Dummy_cost_per_strip = UserForm1.Dummy_Leadframe_Cost
    Production_strip_cost = UserForm1.Production_Leadframe_Cost

    oModel.QuietMode = False 'Off any report showed by ARENA
    Sim_FlowTime = 0 'For the next Simulation
    Sim_Material_Loss = 0
    Index_FlowTime = oSIMAN.SymbolNumber("FlowTime") 'Assign number of Attribute
    Index_ArrivalTime = oSIMAN.SymbolNumber("ArrivalTime")
    Index_Material_Loss = oSIMAN.SymbolNumber("Material_Loss")

    'For Experiment#1
    Total_Entities = 0
    Total_Orders = 0
    i = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Replicate")
    Warm_up_period = oModel.Modules(i).Data("WarmUp") 'Get Warm up period
End Sub
```

```
Private Sub ModelLogic_RunEndReplication()
    On Error Resume Next
    Dim s As Arena.SIMAN

    Set s = ThisDocument.Model.SIMAN
    Avg_flowtime = Cum_FlowTime / Entity_no
    Avg_Material_loss = Cum_Material_Loss / Entity_no
    Sim_FlowTime = Sim_FlowTime + Avg_flowtime
    'For Experiment#1
    Sim_Material_Loss = Sim_Material_Loss + Cum_Material_Loss
    If s.RunCurrentReplication = s.RunMaximumReplications Then
        oModel.End 'Terminate the model
    End If
    Set s = Nothing
    'For Experiment#1
    Total_Entities = Total_Entities + Entity_no 'This is cummulative entities of every
replications.
End Sub

Private Sub ModelLogic_RunEndSimulation()
    On Error Resume Next
    'For Experiment#1
    Dim PAD1 As Long, i As Long
    Dim Avg_flowtime As Double, Avg_Material_loss As Double

    'Get PAD from PAD element
    i = oModel.Modules.Find(smFindTag, "PAD")
    PAD1 = oModel.Modules(i).Data("Value")

    Avg_flowtime = Format(Sim_FlowTime / oSIMAN.RunCurrentReplication, "#0.00000")
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    'For Experiment#1
    Avg_Material_loss = Format(Sim_Material_Loss / Total_Orders, "#0.000") 'This is
Mat.Loss per Order

    UserForm1.Winsock_ARENA.SendData (Str(Format(Avg_Material_loss, "#0.000")) & "*"
& Str(Format(Avg_flowtime, "#0.000")) & "*" & Str(Total_Entities) & "*" & Str(Total_Orders))

End Sub

Private Function Fraction(n As Double) As Double
    Fraction = n - Fix(n)
End Function
Private Function Round(x As Double, digits As Integer) As Double
    If Format(Fraction(x), "#0.00000") >= 0.5 Then 'For only 5 digits.
        Round = x + 1
    Else
        Round = x
    End If
End Function

Private Function ModelLogic_UserFunction(ByVal entityID As Long, ByVal functionID As
            Long) As Double
    On Error Resume Next
    Dim i As Integer, Odd As Long
    Dim End_lot As Double
    Dim Frac_lot As Double, No_strip_per_lot As Double
    Dim Net_die As Long, Total_PAD_waste As Long, Waste_per_lot As Long,
    Waste_last_lot As Long
    Dim Total_PAD_waste_cost2 As Double, Total_PAD_waste_cost As Double,
Total_cost
    As Double
```

```
    Dim Dummy_cost As Double, No_lot As Double, Frac_strip As Double
    Dim No_strip_last_lot As Double, Die_last_lot As Double, Total_Dummy_cost As
        Double
    Dim Total_Dummy As Long, Dummy As Long
    Dim PAD_Cost As Double
    Dim PAD_per_strip As Double
    Dim X1 As Double, X2 As Double, No_strip_lot2 As Double
    Dim Sum_PAD_waste As Long, Net_PAD_waste As Long, Dummy_last_lot As Long,
        Last_lot_no As Long, Odd2 As Long
    Dim oModel As Arena.Model
    Dim oSIMAN As Arena.SIMAN
    Dim j As Long, k As Long, m As Long, n As Long, o As Long
    Dim p As Long, q As Long
    'For Design
    Dim Lotsize_Low As Long, Lotsize_Up As Long, PAD_Low As Long, PAD_Up As Long

    'Compute material loss
    Sum_PAD_waste = 0
    Total_cost = 0
    Total_Dummy_cost = 0
    Total_PAD_waste_cost = 0
    Total_Dummy = 0
    Dummy_last_lot = 0
    Dummy = 0
    Waste_last_lot = 0

    Set oModel = ThisDocument.Model
    Set oSIMAN = oModel.SIMAN
    'Information for the design constraint.
    j = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Lotsize_lower") 'To find a tag,called
"Lotsize_lower"
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    m = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Lotsize_upper")
    n = oModel.Modules.Find(smFindTag, "PAD_lower")
    o = oModel.Modules.Find(smFindTag, "PAD_upper")
    'The below is MAIN codes for only the Designed Product.
    'Quantity in of lots
    Qty_in_attribute = CLng(oSIMAN.AttributeValue(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Qty"), 0, 0))
    'The below is to retrieve an attribute,called,PAD_per_strip, of any active entity.
    X1 = oSIMAN.AttributeValue(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("PAD_per_strip"), 0, 0)
    'The below is to retrieve an attribute in ARENA model,called "Att_Lotsize"
    X2 = oSIMAN.AttributeValue(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Lotsize"), 0, 0)
    Net_die = Qty_in_attribute

    'Determine the range of designing
    Lotsize_Low = oModel.Modules(j).Data("Value") 'For Lotsize Lower
    Lotsize_Up = oModel.Modules(m).Data("Value") 'For Lotsize Upper
    PAD_Low = oModel.Modules(n).Data("Value") 'For PAD Lower
    PAD_Up = oModel.Modules(o).Data("Value") 'For PAD Upper

    If X1 = 0 Then X1 = 168 'PAD per strip as default TQFN6X6-40L
    If X2 = 0 Then X2 = 5040 'Lot size as default TQFN6X6-40L

    'This is just to show in a report
    lngPAD_per_Strip = CLng(X1)
    lngLot_Size = CLng(X2)
    No_lot = Net_die / X2
    PAD_per_strip = X1 'PAD_per_strip here is for this VBA,not attribute..na...
```

```
    If Net_die < X2 Then
        No_strip_per_lot = Net_die / PAD_per_strip
    Else
        No_strip_per_lot = X2 / PAD_per_strip
    End If
    Odd = Fix(No_strip_per_lot) 'Get integer part of value
    PAD_Cost = Production_strip_cost / PAD_per_strip
   If No_lot >= 1 Then
          For i = 1 To Fix(No_lot) 'Details by lot
             If (((Odd Mod 2) = 0) And (Fraction(No_strip_per_lot) <> 0)) Or (((Odd Mod 2)
= 1) And (Fraction(No_strip_per_lot) = 0)) Then
                Dummy = 1 'Add 1 dummy strip
             Else
                Dummy = 0
             End If
             Frac_strip = Fraction(No_strip_per_lot)
             If Frac_strip <> 0 Then
                Waste_per_lot = Round(PAD_per_strip - Fraction(X2 / PAD_per_strip) *
PAD_per_strip, 5)
             Else
                Waste_per_lot = 0
             End If
             Sum_PAD_waste = Sum_PAD_waste + Waste_per_lot
             Total_Dummy = Total_Dummy + Dummy
          Next I
          If Fraction(No_lot) = 0 Then 'For case of 18 strips
             Die_last_lot = 0
             No_strip_last_lot = 0
             Dummy_last_lot = 0
          Else
             Die_last_lot = Fraction(No_lot) * X2
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            No_strip_last_lot = Die_last_lot / PAD_per_strip
            Waste_last_lot = Round(PAD_per_strip - Fraction(Fraction(No_lot) * X2 /
PAD_per_strip) * PAD_per_strip, 5)
            If (Fix(No_strip_last_lot) Mod 2 = 0) Then
               Dummy_last_lot = 1
            End If
         End If
            Total_Dummy = Total_Dummy + Dummy_last_lot
            Sum_PAD_waste = Sum_PAD_waste + Waste_last_lot
            Total_PAD_waste_cost = Sum_PAD_waste * PAD_Cost
            Total_Dummy_cost = Total_Dummy * Dummy_cost_per_strip
            Total_cost = Total_PAD_waste_cost + Total_Dummy_cost
            ModelLogic_UserFunction = Total_cost

      Else 'When Net die is less than its lot size
         Waste_per_lot = PAD_per_strip - Round(Fraction(Net_die / PAD_per_strip) *
PAD_per_strip, 5)
         Sum_PAD_waste = Waste_per_lot
         If (Fix(No_strip_per_lot) Mod 2) = 0 Then
            Total_Dummy = 1
         Else
            Total_Dummy = 0
         End If
         Total_cost = Waste_per_lot * PAD_Cost + Total_Dummy * Dummy_cost_per_strip
         ModelLogic_UserFunction = Total_cost
      End If
End Function

Private Sub VBA_Block_1_Fire()
      On Error Resume Next
      Dim dbl_CurrentTime As Double, dbl_CreateTime As Double
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        'For Experiment#1
        Dim Att_CreateBlockNo As Long

        'For Experiment#1
        If oSIMAN.RunCurrentTime >= Warm_up_period Then
            Att_CreateBlockNo = oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Loaded_No")) 'Determine which CREATE block the entities are
created.
            If Att_CreateBlockNo = 1 Then
                'CreateTime is the arrival time of entity
                dbl_CreateTime = oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
Index_ArrivalTime)
                'Current time likes TNOW
                dbl_CurrentTime = oSIMAN.RunCurrentTime
                dbl_FlowTime = dbl_CurrentTime - dbl_CreateTime
                Cum_FlowTime = Cum_FlowTime + dbl_FlowTime
                Entity_no = Entity_no + 1 'Count Entity the one which passes VBA block.
                dbl_Material_Loss = oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
Index_Material_Loss)
                Cum_Material_Loss = Cum_Material_Loss + dbl_Material_Loss
            End If
        End If 'Warm Up
End Sub

Private Function My_UNIFORM(ByVal Min As Long, ByVal Max As Long) As Long
    My_UNIFORM = CLng(Min + (Max - Min) * Rnd)
End Function

Private Sub VBA_Block_10_Fire()
    On Error Resume Next
    Dim Defect_rate As Double
```

```
    Dim Lot_Qty_Out As Long, Dies_in_Lot As Long, Yield As Double
    Dim i As Long, Disposition_time As Double
    Dies_in_Lot = CLng(oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Qty")))
    '## SINGULATION operation
    Defect_rate = oSIMAN.SampleLognormal(0.00672, 0.00552, 10) - 0.001
    Lot_Qty_Out = Dies_in_Lot - CLng(Dies_in_Lot * Defect_rate)
    'Revise Qty in lots
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Qty")) =
Lot_Qty_Out
    Yield = (Lot_Qty_Out / Dies_in_Lot) * 100
    If Yield <= 98# Then
        Disposition_time = oSIMAN.SampleBeta(1.23, 1.12, 10) * 330 + 30
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Singulation_DispositionTime")) = Disposition_time
    Else
        Disposition_time = 0
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Singulation_DispositionTime")) = Disposition_time
    End If 'Yield
End Sub

Private Sub VBA_Block_2_Fire()
    On Error Resume Next
    Dim Order_Qty As Long, i As Long, j As Long
    Dim lngProduct_No As Long, Loaded_No As Long
    'The below is used for CREATE block#1 in ARENA
    Dim a As Long, b As Long, RN As Double 'For Mold

    'Determine Product Group
```

```
    lngProduct_No = oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Product_No"))
    Loaded_No = oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Loaded_No"))
    'For MOLD operation - I placed here because Mold processing time doesn't depend
on products.
    RN = Rnd
    If (RN >= 0) And (RN <= 0.036) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.59
    If (RN > 0.036) And (RN <= 0.089) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.639
    If (RN > 0.089) And (RN <= 0.625) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.736
    If (RN > 0.625) And (RN <= 0.768) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.784
    If (RN > 0.768) And (RN <= 0.893) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.833
    If (RN > 0.893) And (RN <= 0.946) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.881
    If (RN > 0.946) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mold_Proc")) = 2.93


    '### For CREATE block1 in ARENA ###
    If Loaded_No = 1 Then 'Check only for the entity of CREATE block#1
    'ONLY for the first CREAT block will get PAD and Lotsize from their own variable
element block.
        a = oModel.Modules.Find(smFindTag, "PAD")
        b = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Lotsize")
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("PAD_per_strip")) = oModel.Modules(a).Data("value")
```

```
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Lotsize")) = oModel.Modules(b).Data("value")

        If (lngProduct_No = 5) Then 'For TQ44D012A
            'Die Attach#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA1_Proc"))
= oSIMAN.SampleNormal(10.1, 0.332, 10) 'The default random stream of ARENA is 10
            'Die Attach#2- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA2_Proc")) = 8.08 + oSIMAN.SampleWeibull(1.37, 6.47,
10)
            'Wirebond- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(33.9, 0.177,
10) + (7 + 24 * oSIMAN.SampleBeta(0.474, 0.634, 10))
            '3Opt- I placed here because of Only product-dependent processing time,not
wafer size
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_3Opt_Proc")) = 7 + 24 * oSIMAN.SampleBeta(0.474, 0.634,
10)
            'Pickplace#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size, I assumed inspection time = 10 min.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace1_Proc")) = 7.1 +
oSIMAN.SampleLognormal(2.19, 1.19, 10)
            'Pickplace#3- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
```

```
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace3_Proc")) = 5.55 +
oSIMAN.SampleLognormal(0.686, 0.38, 10)
        'Singulation- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Singulation_Proc")) = 7 + 9 * oSIMAN.SampleBeta(1.33,
0.595, 10) + 3.06 + oSIMAN.SampleLognormal(1.34, 1.2, 10) +
oSIMAN.SampleNormal(7.43, 0.222, 10) ' Cut Pkg+Cut rail +UV cure
        'Marking- I placed here because of Only product-dependent processing time,not
wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mark_Proc")) = 1.62 + 0.48 * oSIMAN.SampleBeta(7.19,
7.46, 10)
        'Assign Wafer Size
        If Rnd <= 0.273 Then 'Wafer 6'' Inches.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 6
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(2530, 12191)
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty - 839) / 2835)
            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = 43.5 + oSIMAN.SampleLognormal(1.52,
1.07, 10)
            'Saw#2
```

```
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 45.9 + 1.38 * oSIMAN.SampleBeta(1.38,
1.42, 10)

         Else  'Wafer 8'' Inches.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 8
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(5562, 185387)
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty - 1597) / 7438)

            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = 43.5 + oSIMAN.SampleLognormal(1.52,
1.07, 10)
            'Saw#2
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 45.9 + 1.38 * oSIMAN.SampleBeta(1.38,
1.42, 10)
         End If
      End If
      If (lngProduct_No = 14) Then 'For TQ66B40A
         'Die Attach#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
         oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA1_Proc")) = 6 + oSIMAN.SampleLognormal(0.424,
0.306, 10)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
'Die Attach#2- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA2_Proc")) = 6.23 + oSIMAN.SampleLognormal(0.67, 0.294, 10)
    RN = Rnd
    If (RN >= 0) And (RN <= 0.042) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 38#
    If (RN > 0.042) And (RN <= 0.313) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 41.412
    If (RN > 0.313) And (RN <= 0.55) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 44.824
    If (RN > 0.55) And (RN <= 0.785) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 48.235
    If (RN > 0.785) And (RN <= 0.879) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 51.647
    If (RN > 0.879) And (RN <= 0.912) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 55.059
    If (RN > 0.912) And (RN <= 0.941) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 61.882
    If (RN > 0.941) And (RN <= 0.951) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 65.294
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        If (RN > 0.951) And (RN <= 0.964) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 68.706
        If (RN > 0.964) And (RN <= 0.971) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 72.118
        If (RN > 0.971) And (RN <= 0.974) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 75.529
        If (RN > 0.974) And (RN <= 0.984) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 78.941
        If (RN > 0.984) And (RN <= 0.987) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 82.253
        If (RN > 0.987) And (RN <= 0.993) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 85.765
        If (RN > 0.993) And (RN <= 0.9335) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 89.176
        If (RN > 0.9935) And (RN <= 0.9337) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 92.588
        If (RN > 0.9937) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 96#
        '3Opt- I placed here because of Only product-dependent processing time,not
wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_3Opt_Proc")) = oSIMAN.SampleBeta(0.713, 1.03, 10) * 12
+ 2
```

```
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 43.1 +
oSIMAN.SampleLognormal(2.35, 1.75, 10) + (2 + 12 * oSIMAN.SampleBeta(0.713, 1.03,
10))
        'Pickplace#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace1_Proc")) = 2.25 + 0.34 *
oSIMAN.SampleBeta(1.87, 2.75, 10)
        'Pickplace#3- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace3_Proc")) = 2.37 +
oSIMAN.SampleErlang(0.0603, 4, 10)
        'Singulation- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Singulation_Proc")) = 7.33 + oSIMAN.SampleErlang(0.442,
3, 10) + oSIMAN.SampleLognormal(1.34, 1.2, 10) + oSIMAN.SampleNormal(7.43, 0.222,
10) 'Cut Pkg+Cut rail+UV Cure
        'Marking- I placed here because of Only product-dependent processing time,not
wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mark_Proc")) = 0.68 + oSIMAN.SampleErlang(0.00996, 11,
10)

        'Assign Wafer Size
        If Rnd <= 0.729 Then 'Wafer 6'' Inches.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 6
```

```
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(100, 24922)
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty - 111) / 974)

            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(11.1, 1.8, 10) 'No
waiting time+Not fitted
            'Saw#2
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 9 + oSIMAN.SampleLognormal(2.12, 1.15,
10) 'No waiting time

        Else  'Wafer 8'' Inches.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 8
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(1092, 48160)
            'Order_Qty = 23582
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty + 300) / 1973)
            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(11.1, 1.8, 10) 'No
waiting time+Not fitted
            'Saw#2
```

```
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 9 + oSIMAN.SampleLognormal(2.12, 1.15,
10) 'No waiting time
          End If
        End If
    End If 'Loaded_No = 1

    '### For CREATE block2 in ARENA ###

    If Loaded_No = 2 Then 'Check only for the entity of CREATE block#2
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("PAD_per_strip")) = UserForm1.PAD_optimizer1 '396
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Lotsize")) = UserForm1.Lotsize_optimizer1 '11088

          If (lngProduct_No = 5) Then 'For TQ44D012A
          'Die Attach#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
          oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA1_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(10.1, 0.332, 10)
'The default random stream of ARENA is 10
          'Die Attach#2- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
          oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA2_Proc")) = 8.08 + oSIMAN.SampleWeibull(1.37, 6.47,
10)
          'Wirebond- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
          oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(33.9, 0.177,
10) + (7 + 24 * oSIMAN.SampleBeta(0.474, 0.634, 10))
```

```
'3Opt- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_3Opt_Proc")) = 7 + 24 * oSIMAN.SampleBeta(0.474, 0.634, 10)

'Pickplace#1- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size, I assumed inspection time = 10 min.
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace1_Proc")) = 7.1 + oSIMAN.SampleLognormal(2.19, 1.19, 10)
'Pickplace#3- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace3_Proc")) = 5.55 + oSIMAN.SampleLognormal(0.686, 0.38, 10)
'Singulation- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Singulation_Proc")) = 7 + 9 * oSIMAN.SampleBeta(1.33, 0.595, 10) + 3.06 + oSIMAN.SampleLognormal(1.34, 1.2, 10) + oSIMAN.SampleNormal(7.43, 0.222, 10) ' Cut Pkg+Cut rail +UV cure
'Marking- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mark_Proc")) = 1.62 + 0.48 * oSIMAN.SampleBeta(7.19, 7.46, 10)
'Assign Wafer Size
    If Rnd <= 0.273 Then 'Wafer 6'' Inches.
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 6
```

```
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(2530, 12191)
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty - 839) / 2835)

            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = 43.5 + oSIMAN.SampleLognormal(1.52,
1.07, 10)
            'Saw#2
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 45.9 + 1.38 * oSIMAN.SampleBeta(1.38,
1.42, 10)
         Else  'Wafer 8'' Inches.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 8
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(5562, 185387)
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty - 1597) / 7438)

            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = 43.5 + oSIMAN.SampleLognormal(1.52,
1.07, 10)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            'Saw#2
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 45.9 + 1.38 * oSIMAN.SampleBeta(1.38,
1.42, 10)
        End If
    End If

    If (lngProduct_No = 14) Then 'For TQ66B40A
        'Die Attach#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA1_Proc")) = 6 + oSIMAN.SampleLognormal(0.424,
0.306, 10)
        'Die Attach#2- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA2_Proc")) = 6.23 + oSIMAN.SampleLognormal(0.67,
0.294, 10)

        RN = Rnd
        If (RN >= 0) And (RN <= 0.042) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 38#
        If (RN > 0.042) And (RN <= 0.313) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 41.412
        If (RN > 0.313) And (RN <= 0.55) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 44.824
```

```
        If (RN > 0.55) And (RN <= 0.785) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 48.235
        If (RN > 0.785) And (RN <= 0.879) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 51.647
        If (RN > 0.879) And (RN <= 0.912) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 55.059
        If (RN > 0.912) And (RN <= 0.941) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 61.882
        If (RN > 0.941) And (RN <= 0.951) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 65.294
        If (RN > 0.951) And (RN <= 0.964) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 68.706
        If (RN > 0.964) And (RN <= 0.971) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 72.118
        If (RN > 0.971) And (RN <= 0.974) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 75.529
        If (RN > 0.974) And (RN <= 0.984) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 78.941
        If (RN > 0.984) And (RN <= 0.987) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 82.253
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        If (RN > 0.987) And (RN <= 0.993) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 85.765
        If (RN > 0.993) And (RN <= 0.9335) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 89.176
        If (RN > 0.9935) And (RN <= 0.9337) Then
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 92.588
        If (RN > 0.9937) Then oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 96#
        '3Opt- I placed here because of Only product-dependent processing time,not
wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_3Opt_Proc")) = oSIMAN.SampleBeta(0.713, 1.03, 10) * 12
+ 2

        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Wirebond_Proc")) = 43.1 +
oSIMAN.SampleLognormal(2.35, 1.75, 10) + (2 + 12 * oSIMAN.SampleBeta(0.713, 1.03,
10))
        'Pickplace#1- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace1_Proc")) = 2.25 + 0.34 *
oSIMAN.SampleBeta(1.87, 2.75, 10)
        'Pickplace#3- I placed here because of Only product-dependent processing
time,not wafer size
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Pickplace3_Proc")) = 2.37 +
oSIMAN.SampleErlang(0.0603, 4, 10)
```

```
'Singulation- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Singulation_Proc")) = 7.33 + oSIMAN.SampleErlang(0.442, 3, 10) + oSIMAN.SampleLognormal(1.34, 1.2, 10) + oSIMAN.SampleNormal(7.43, 0.222, 10) 'Cut Pkg+Cut rail+UV Cure
'Marking- I placed here because of Only product-dependent processing time,not wafer size
oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Mark_Proc")) = 0.68 + oSIMAN.SampleErlang(0.00996, 11, 10)
'Assign Wafer Size
If Rnd <= 0.729 Then 'Wafer 6'' Inches.
   oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 6
   'Assign Wafer Qty
   Order_Qty = My_UNIFORM(100, 24922)
   oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
   oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty - 111) / 974)

   'Saw#1-CONT or DISC (0.000,  5.000,0.014,  6.625,0.043,  8.250,0.143, 9.875,0.686, 11.500,0.871, 13.125,0.971, 14.750,0.986, 16.375,0.986, 18.000)
   oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(11.1, 1.8, 10) 'No waiting time+Not fitted
   'Saw#2
   oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 9 + oSIMAN.SampleLognormal(2.12, 1.15, 10) 'No waiting time
```

```
        Else  'Wafer 8'' Inches.
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WaferSize")) = 8
            'Assign Wafer Qty
            Order_Qty = My_UNIFORM(1092, 48160)
            'Order_Qty = 24917
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Order_Qty")) = Order_Qty
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_TotalWafers")) = Int((Order_Qty + 300) / 1973)

            'Saw#1
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw1_Proc")) = oSIMAN.SampleNormal(11.1, 1.8, 10) 'No
waiting time+Not fitted
            'Saw#2
            oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_Saw2_Proc")) = 9 + oSIMAN.SampleLognormal(2.12, 1.15,
10) 'No waiting time
        End If
    End If
  End If 'Loaded_No = 2
End Sub

Private Sub VBA_Block_3_Fire()
  On Error Resume Next
  Dim Att_CreateBlockNo As Long
  'For Disposition time
  Dim Defect_rate As Double
  Dim Lot_Qty_Out As Long, Dies_in_Lot As Long, Yield As Double
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    Dim i As Long, Disposition_time As Double
    'For Experiment#1
    If oSIMAN.RunCurrentTime >= Warm_up_period Then
        'The below is IMPORTANT..!!!
        Att_CreateBlockNo = oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Loaded_No")) 'Determine which CREATE block the entities are
created.
        If Att_CreateBlockNo = 1 Then
            Total_Orders = Total_Orders + 1
        End If
    End If 'Warm Up

    'For Disposition Time
    '## QC FVI operation
    If Rnd <= 0.0633 Then '%LRR of Jan'2003, DPM = 174
        Disposition_time = 10 + 299 * oSIMAN.SampleBeta(0.565, 1.02, 10)
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_QC_DispositionTime")) = Disposition_time
    Else
        Disposition_time = 0
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_QC_DispositionTime")) = Disposition_time
    End If 'Yield
End Sub

Private Sub VBA_Block_4_Fire()
    On Error Resume Next
    Dim Defect_rate As Double
    Dim Lot_Qty_Out As Long, Dies_in_Lot As Long, Yield As Double
    Dim i As Long, Disposition_time As Double
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    'Note: Operations concerned yield: Wirebond,Die
attach,FrameClean,StripFOI,Singulation,Plating,QC
    Dies_in_Lot = CLng(oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Qty")))
    '## DIE ATTACH operation
    Defect_rate = 0.00485
    Lot_Qty_Out = Dies_in_Lot - CLng(Dies_in_Lot * Defect_rate)
    'Revise Qty in lots
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Qty")) =
Lot_Qty_Out
    If Rnd <= 0.07143 Then 'LRR = 0.07143
        Disposition_time = oSIMAN.SampleTriangular(110, 243, 600, 10)
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA_DispositionTime")) = Disposition_time
    Else
        Disposition_time = 0
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_DA_DispositionTime")) = Disposition_time
    End If
End Sub

Private Sub VBA_Block_5_Fire()
    On Error Resume Next
    Dim Defect_rate As Double
    Dim Lot_Qty_Out As Long, Dies_in_Lot As Long, Yield As Double
    Dim i As Long, Disposition_time As Double

    Dies_in_Lot = CLng(oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Qty")))
    '## WIREBOND operation
    Defect_rate = oSIMAN.SampleGamma(0.0039, 1.63, 10)
```

```
    Lot_Qty_Out = Dies_in_Lot - CLng(Dies_in_Lot * Defect_rate)
    'Revise Qty in lots
    oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity, oSIMAN.SymbolNumber("Qty")) =
Lot_Qty_Out
    Yield = (Lot_Qty_Out / Dies_in_Lot) * 100
    If Yield <= 98# Then
        Disposition_time = 20 + oSIMAN.SampleWeibull(109, 1.05, 10)
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WB_DispositionTime")) = Disposition_time
    Else
        Disposition_time = 0
        oSIMAN.EntityAttribute(oSIMAN.ActiveEntity,
oSIMAN.SymbolNumber("Att_WB_DispositionTime")) = Disposition_time
    End If 'Yield

End Sub
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ-6

โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิก (Visual Basic for Application : VBA) ที่เป็นชุดคำสั่งในการรับค่าจากโปรแกรม Optimizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
Option Explicit
    Public Lotsize_started As Long, Lotsize_ended As Long
    Dim Str_result_global(14) As String
    Public Product_No1 As Integer, Ord_Qty1 As String, Lotsize_optimizer1 As Long
    Public PAD_optimizer1 As Long
    Public Product_No2 As Integer, Ord_Qty2 As String, Lotsize_optimizer2 As Long
    Public PAD_optimizer2 As Long
    Public Product_No3 As Integer, Ord_Qty3 As String, Lotsize_optimizer3 As Long
    Public PAD_optimizer3 As Long
    Public Str_Data As String
    Public Production_Leadframe_Cost As Double, Dummy_Leadframe_Cost As Double,
            Production_Capability As Long

Private Sub Split_Sub(Expression As String)
    Dim i As Integer, j As Integer
    Dim Start_position As Integer, End_position As Integer
    Dim Delimiter_pos As Integer, Count As Integer, strDelimiter As String

    Start_position = 1
    strDelimiter = "*"
    If strDelimiter = "" Then
        MsgBox "Enter Delimiter", vbOKCancel + vbCritical, "Missing Delimiter"
    End If
    For i = 0 To 14
        'Find the delimiter
        Delimiter_pos = InStr(Start_position, Str_Data, strDelimiter, vbTextCompare)
        'Keep data field
        If Delimiter_pos <> 0 Then
            Str_result_global(i) = Mid(Str_Data, Start_position, Delimiter_pos - Start_position)
        Else
            Str_result_global(i) = Mid(Str_Data, Start_position, Len(Str_Data))
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        End If
        Start_position = Delimiter_pos + 1
    Next i
End Sub

Private Sub cmd_OK_Click()
    If (txt_lotsize_started.Text = "") Or (txt_lotsize_ended.Text = "") Then
        MsgBox "Enter validated value of lotsize", vbOKCancel + vbInformation, "Invalid
                Lotsize:::"
    Else
        Lotsize_started = Val(txt_lotsize_started.Text)
        Lotsize_ended = Val(txt_lotsize_ended.Text)
        Me.Hide
    End If
End Sub

Private Sub winsock_ARENA_Close()
    Winsock_ARENA.Close
    Winsock_ARENA.Listen 'Listen to the next connection of client
End Sub

Private Sub winsock_ARENA_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)
    If Winsock_ARENA.state <> sckClosed Then
        Winsock_ARENA.Close
    End If
    Winsock_ARENA.Accept (requestID)
    MsgBox "Accepted a client request...!!!", vbOKOnly + vbInformation, "TCP/IP
            accept:::"
End Sub

Private Sub Winsock_ARENA_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
' Get data of product details which will be loaded in ARENA from the Optimizer.
Dim i As Integer, mssg As String
Dim oModel As Arena.Model, j As Long
Dim m As Long, n As Long, o As Long, p As Long 'All threes will be used to find
      CREATE blocks

Winsock_ARENA.GetData Str_Data, vbString 'Get data from Optimizer
Split_Sub (Str_Data)
Set oModel = ThisDocument.Model
Product_No1 = CInt(Str_result_global(0))
Ord_Qty1 = Str_result_global(1)
Lotsize_optimizer1 = CLng(Str_result_global(2)) 'Use CLng function transforming a
                          String to Long type-variable.
PAD_optimizer1 = CLng(Str_result_global(3))

j = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Product_Number2")
m = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Create2")
   If Product_No1 <= 0 Then
      oModel.Modules(m).Data("MaxBatches") = 0 'This means no load Product#2.
   Else
      oModel.Modules(j).Data("Value") = Product_No1
      oModel.Modules(m).Data("MaxBatches") = "" 'This means allowing infinite entities
                                                loaded.
   End If
   Product_No2 = CInt(Str_result_global(4))
   Ord_Qty2 = Str_result_global(5)
   Lotsize_optimizer2 = CLng(Str_result_global(6)) 'Use CLng function transforming a
                          String to Long type-variable.
   PAD_optimizer2 = CLng(Str_result_global(7))

   j = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Product_Number3")
```

```
        n = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Create3")
        If Product_No2 <= 0 Then
            oModel.Modules(n).Data("MaxBatches") = 0 'This means no load Product#3.
        Else
            oModel.Modules(j).Data("Value") = Product_No2 'Data set#2
            oModel.Modules(n).Data("MaxBatches") = "" 'This means allowing infinite entities
            loaded.
        End If

        Product_No3 = CInt(Str_result_global(8))
        Ord_Qty3 = Str_result_global(9)
        Lotsize_optimizer3 = CLng(Str_result_global(10)) 'Use CLng function transforming
                                a String to Long type-variable.
        PAD_optimizer3 = CLng(Str_result_global(11))
        j = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Product_Number4")
        o = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Create4")
        If Product_No3 <= 0 Then
            oModel.Modules(o).Data("MaxBatches") = 0 'This means no load Product#4.
        Else
            oModel.Modules(j).Data("Value") = Product_No3 'Data set#3
            oModel.Modules(o).Data("MaxBatches") = "" 'This means allowing infinite entities
loaded.
        End If
    Production_Leadframe_Cost = Val(Str_result_global(12))
    Dummy_Leadframe_Cost = Val(Str_result_global(13))
    Production_Capability = CLng(Val(Str_result_global(14)))
    p = oModel.Modules.Find(smFindTag, "Process_capability")
    oModel.Modules(p).Data("Value") = Production_Capability 'Assing value to variable
    element,called "Process_capability"
End Sub
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
Private Sub winsock_ARENA_Error(ByVal Number As Integer, Description As String,
ByVal Scode As Long, ByVal Source As String, ByVal HelpFile As String, ByVal
HelpContext As Long, CancelDisplay As Boolean)
    If Err.Number <> 0 Then
        MsgBox "Error# " & Err.Number & vbCrLf & "Description: " & Err.Description,
vbCritical + vbOKOnly, "Error from Winsock of Server:::"
    End If
End Sub
```


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ
โปรแกรมเปลี่ยนค่า Lot size สำหรับการทดลองที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นจากภาษา Visual Basic 6.0 โดยใช้หลักการ Client-Server ซึ่งการใช้งานโปรแกรมจะต้องดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

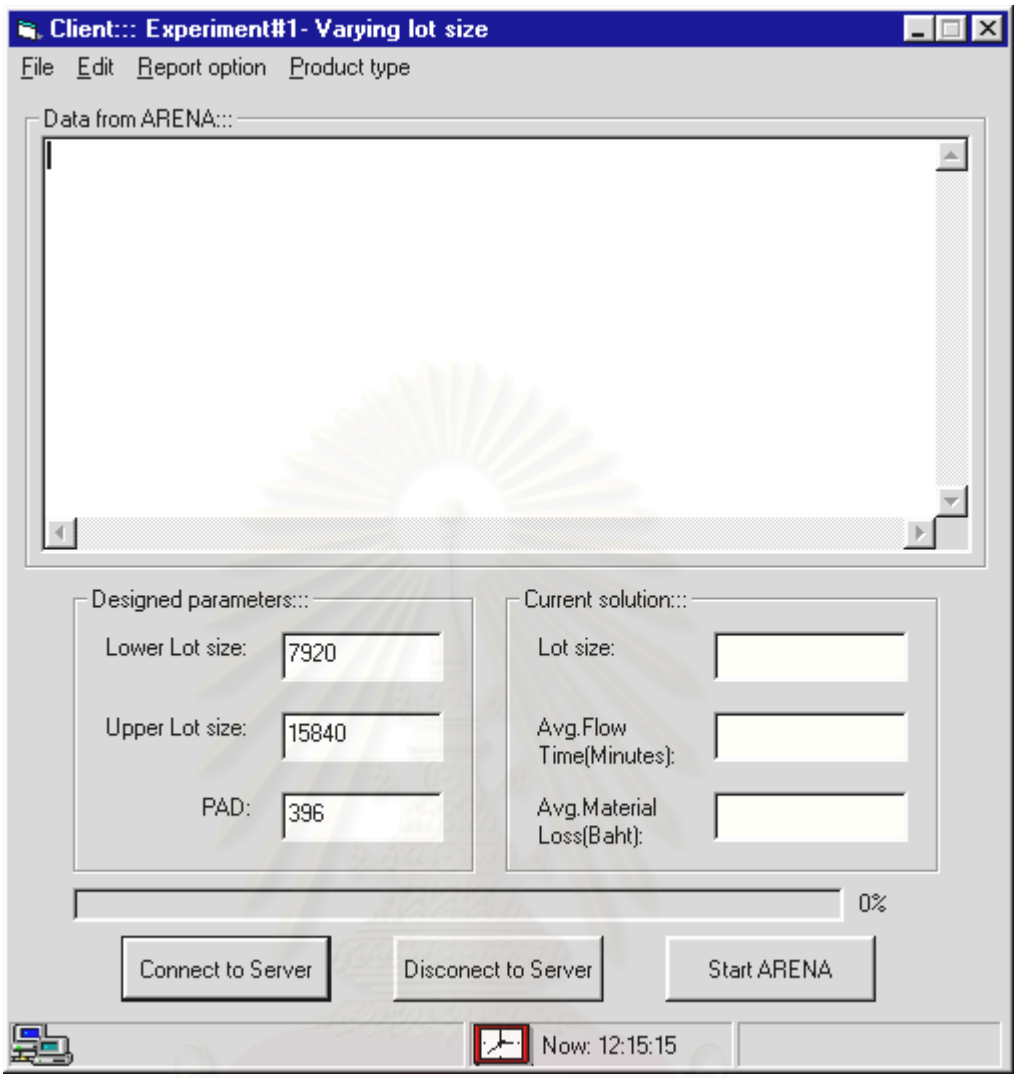
1.1 รันโปรแกรม ARENA แล้วเลือกเปิดไฟล์ของโมเดลสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดลอง เช่น หากต้องการทดลองเปลี่ยนค่า Lot size ของผลิตภัณฑ์ A ให้เปิดไฟล์ของโมเดลของผลิตภัณฑ์ A

1.2 เมื่อคอมพิวเตอร์โหลดไฟล์โมเดลของผลิตภัณฑ์ A แล้ว จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาเพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะนี้โมเดลได้เปิดพอร์ต (Port) หรือช่องทางในการสื่อสารกับโปรแกรมอื่นแล้ว จากนั้นให้คลิกตกลง

รูปที่ ซ-1 แสดงการเปิดช่องทางสื่อสารกับโปรแกรมอื่นไฟล์โมเดลในโปรแกรม ARENA

1.3 จากนั้นให้เปิดโปรแกรม VaryLotsize.exe ด้วยการดับเบิลคลิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ซ-2 หน้าต่างของโปรแกรม VaryLotsize ที่ใช้ในการเปลี่ยนค่าขนาดล็อตในการผลิต

1.4 ที่เมนู Product type ให้เลือกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดลอง ซึ่งในที่นี้จะมีเพียงสองผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ A และ ผลิตภัณฑ์ B

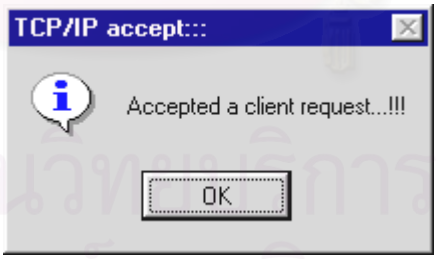
1.5 จากนั้นผู้ใช้งานสามารถกำหนดช่วงของค่า Lot size และ PAD per Strip ที่ต้องการทดลองได้ตามต้องการ

1.6 ที่เมนู File ผู้ใช้งานสามารถตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกผลการทดลองได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป หรือหากต้องการให้โปรแกรมแสดงผลการคำนวณที่ค่า Lot size ที่ทดลอง สามารถเลือกกำหนดได้ที่เมนู Report option

1.7 เมื่อเซตค่าต่างๆเสร็จ ให้กดปุ่ม Connect to Server ซึ่ง Server ในที่นี้ก็คือโปรแกรม ARENA นั่นเอง เมื่อการเชื่อมต่อกับโปรแกรม ARENA สำเร็จ ที่แถบแสดงสถานะของโปรแกรม VaryLotsize นี้จะแสดงข้อความว่า “Connected to …” ดังรูปข้างล่างนี้ หากการเชื่อมต่อไม่สำเร็จให้ปิดโปรแกรม ARENA แล้วเปิดใหม่อีกครั้งและดำเนินการตามขั้นตอน 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ

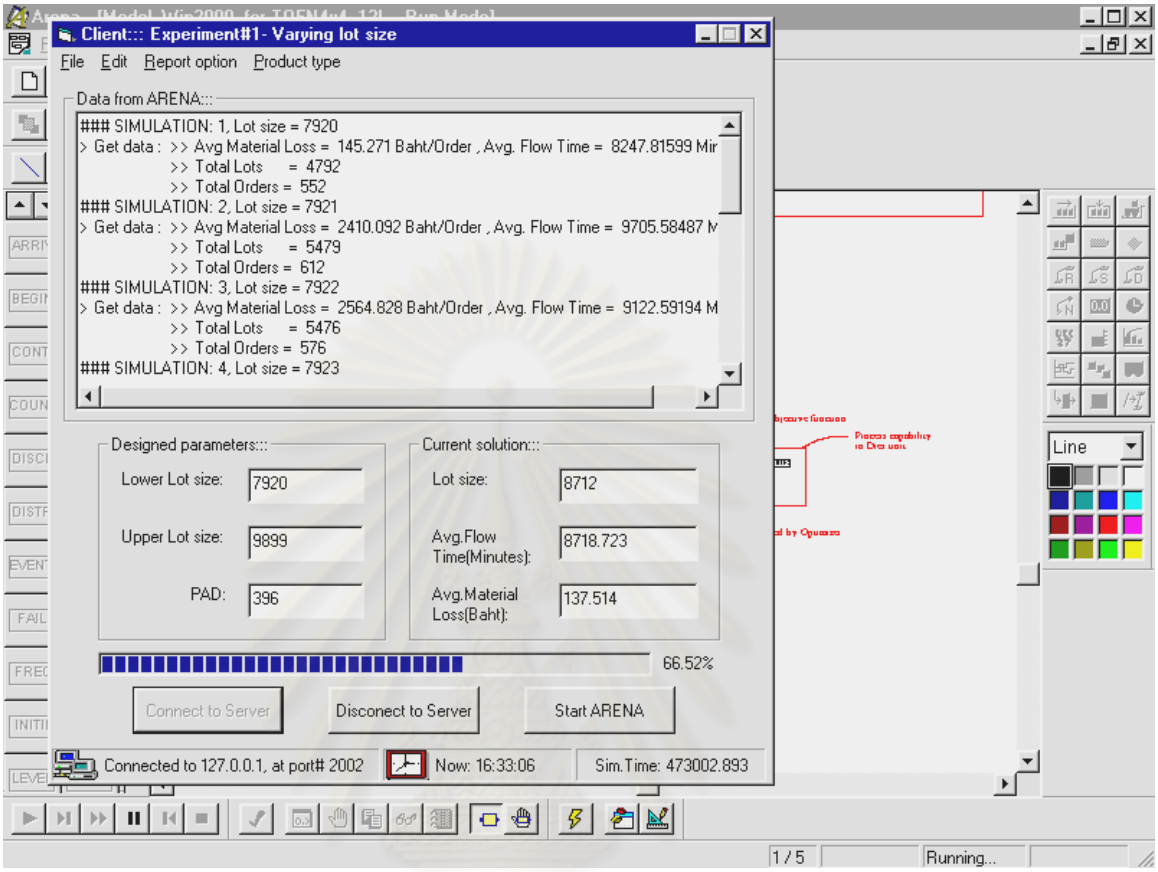
รูปที่ ซ-3 แถบสถานะของโปรแกรม VaryLotsize แสดงว่าเชื่อมกับโปรแกรม ARENA สำเร็จ

1.8 เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จแล้ว ให้สลับไปที่โปรแกรม ARENA ซึ่งจะมีหน้าต่างแสดงว่า “Accepted a client’s request” หรือยอมรับการร้องขอเพื่อเชื่อมต่อกับโปรแกรม VaryLotsize แล้ว



รูปที่ ซ-4 หน้าต่างแสดงการยอมรับการร้องขอเชื่อมต่อจากโปรแกรม VaryLotsize ในโปรแกรม ARENA

1.9 จากรูปที่ ซ-2 ให้กดปุ่ม Start ARENA เพื่อเริ่มรันแบบจำลองหรือการทดลอง



รูปที่ ซ-5 แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรม VaryLotsize กับโปรแกรม ARENA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฌ

โปรแกรม Simulation Based Optimization สำหรับการทดลองที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ณ-1
การติดตั้งโปรแกรมและเมนูคำสั่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การติดตั้งโปรแกรม

ในที่นี้จะเรียกโปรแกรมนี้ว่า “Optimizer” ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจากภาษา Visual Basic 6.0 เช่นเดียวกัน โดยใช้หลักการ Client-Server ผ่านการทำงานของ Winsock control ซึ่งเป็น ActiveX ในภาษาดังกล่าว โดยก่อนที่จะสามารถใช้งานโปรแกรม Optimizer นี้ได้ ผู้ใช้จะต้องติดตั้งชุดโปรแกรมนี้ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ก่อน โดยใช้วิธีติดตั้งผ่านโปรแกรม Setup.exe ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1.1 ดับเบิลคลิกที่ไฟล์ชื่อ Setup.exe ซึ่งมีไอคอนดังนี้

รูปที่ ฌ-1 แสดงไอคอนของไฟล์ Setup.exe

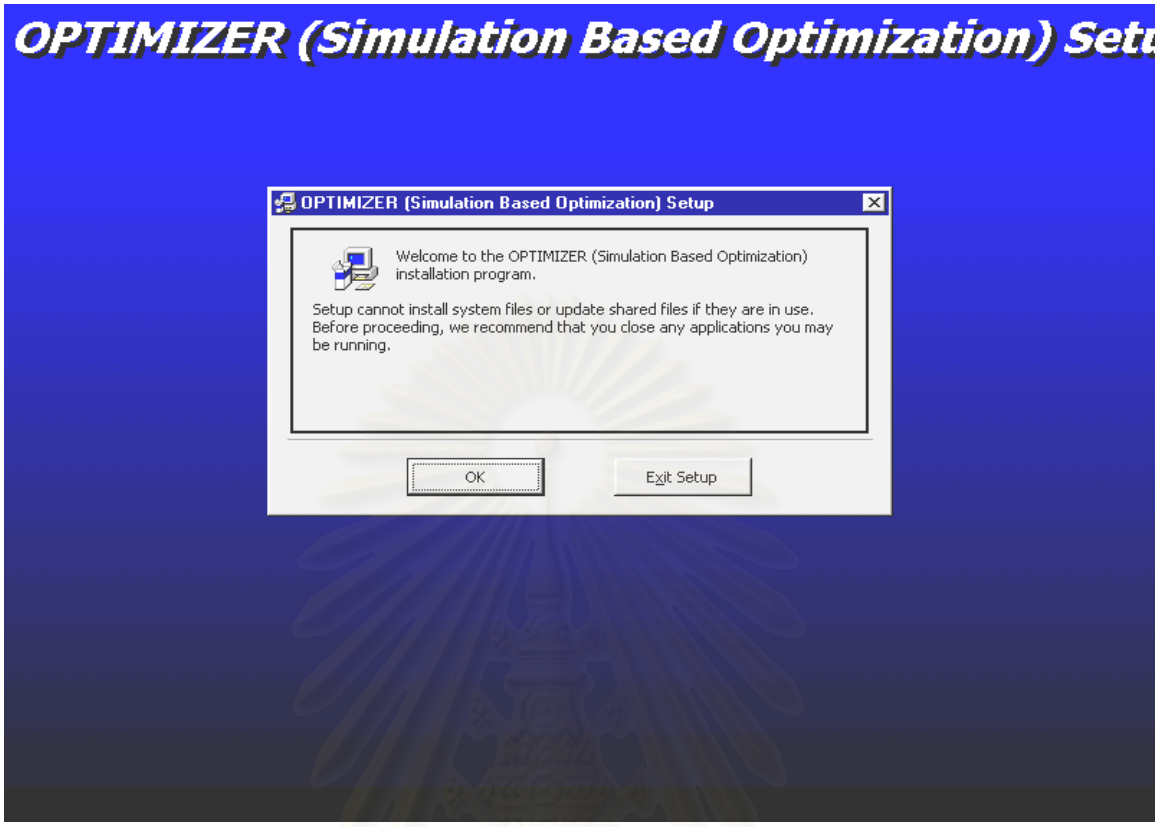
1.2 จากนั้นชุดโปรแกรมติดตั้งจะแสดงหน้าต่าง ให้ยืนยันการติดตั้ง ให้ผู้ใช้ตอบตกลง ดังรูปที่ ฌ-2

1.3 จากนั้นให้เลือกไดเรคทอรี่ที่ต้องการติดตั้งโปรแกรม ดังรูปที่ ฌ-3

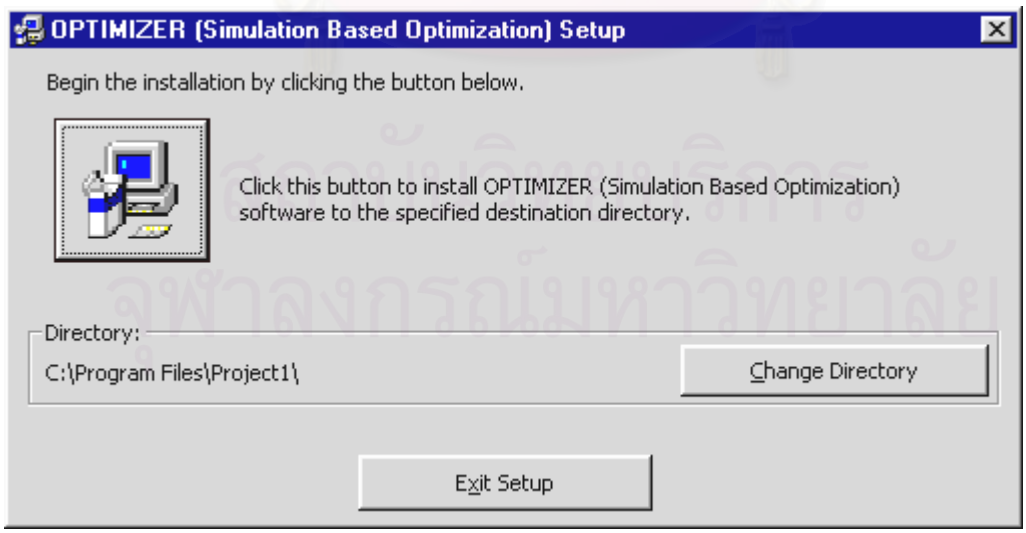
1.4 จากนั้นโปรแกรมจะดำเนินการติดตั้งไฟล์ต่างลงในฮาร์ดดิส

1.5 เมื่อกระบวนการติดตั้งโปรแกรมเสร็จแล้วจะมีหน้าต่างแสดงข้อความว่าการติดตั้งได้ดำเนินมาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ ฌ-4

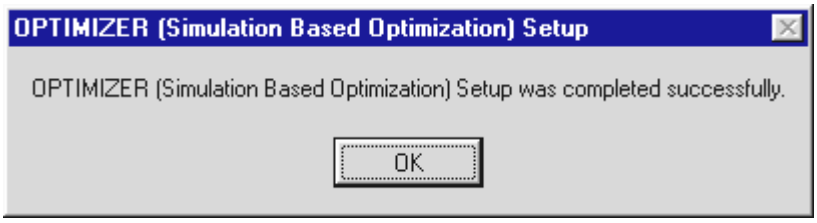
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฌ-2 แสดงหน้าต่างให้ยืนยันการติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ฌ-3 หน้าต่างให้เลือกไดเรคทอรี่ที่ต้องการติดตังโปรแกรม

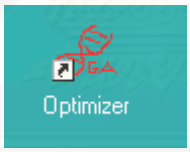


รูปที่ ฌ-4 แสดงข้อความว่าได้ดำเนินการติดตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว

2. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมโดยทั่วไป

เมื่อดำเนินการติดตั้งชุดโปรแกรมเสร็จแล้ว ให้รันโปรแกรม Optimizer ด้วยการดับเบิลคลิกที่ไฟล์ Optimizer.exe ซึ่งโปรแกรมจะถูกโหลดเข้าสู่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ดังหน้าต่างต่อไปนี้

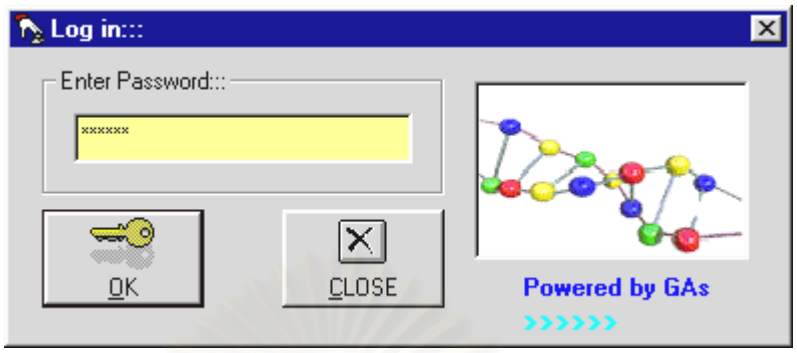
2.1 ดับเบิลคลิกไฟล์ Optimizer.exe



รูปที่ ฌ-5 แสดงไอคอนของโปรแกรม Optimizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ใส่รหัสผ่านเพื่อให้สามารถเข้าสู่โปรแกรมได้ โดยรหัสผ่านคือ “cu84” ซึ่งเป็นตัวพิมพ์เล็กหรือตัวพิมพ์ใหญ่ก็ได้



รูปที่ ฌ-6 แสดงหน้าต่างใส่รหัสผ่านก่อนเข้าสู่โปรแกรม Optimizer

2.3 เมื่อรหัสผ่านถูกต้องแล้วหน้าต่างหลัก (Main Window) ของโปรแกรมจะแสดงขึ้นมา ซึ่งก่อนที่ผู้ใช้งานจะรันโปรแกรมได้จำเป็นต้องเซตค่าพารามิเตอร์ต่างที่จำเป็นสำหรับอัลกอริทึมที่เลือกใช้งาน โดยในโปรแกรม Optimizer นี้มีอัลกอริทึมเพียงสองตัว คือ Genetic Algorithms และ Random Search

2.4 รายการเมนูต่างของโปรแกรม Optimizer

2.4.1 เมนู File ประกอบด้วย

2.4.1.1 เมนู Open ARENA File ซึ่งใช้สำหรับเปิดไฟล์โมเดลซึ่งเป็นไฟล์ของโปรแกรม ARENA

2.4.1.2 เมนู Close All Forms เป็นคำสั่งในการปิดหน้าต่าง (Windows or Forms) ทุกอันที่เปิดอยู่

2.4.1.3 เมนู Exit เป็นคำสั่งในการปิดโปรแกรม

2.4.2 เมนู Optimizer ประกอบด้วย

2.4.2.1 เมนู Engines ซึ่งประกอบด้วย

2.4.2.1.1 เมนู Genetic Algorithms ซึ่งเป็นคำสั่งกำหนดให้ตัว Optimizer ใช้วิธีการของ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นกลไกในการหาคำตอบ

2.4.2.1.2 เมนู Random Search เป็นคำสั่งกำหนดให้ตัว Optimizer ใช้วิธีการสุ่มเลือกคำตอบเป็นกลไกในการหาคำตอบ

2.4.2.2 เมนู Crossover types เป็นเมนูในการเลือกประเภทของการครอสโอเวอร์

2.4.2.2.1 เมนู 1-Point ใช้ในการกำหนดให้เจเนติกอัลกอริทึมเลือกวิธีการครอสโอเวอร์แบบหนึ่งจุดแลกเปลี่ยน

2.4.2.2.2 เมนู 2-Point ใช้ในการกำหนดให้เจเนติกอัลกอริทึมเลือกวิธีการครอสโอเวอร์แบบสองจุดแลกเปลี่ยน

2.4.2.2.3 เมนู Uniform ใช้ในการกำหนดให้เจเนติกอัลกอริทึมเลือกวิธีการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม

2.4.2.3 เมนู Strategies เป็นคำสั่งเพิ่มประสิทธิภาพการหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึม

2.4.2.3.1 เมนู Elitism เป็นคำสั่งกำหนดให้เจเนติกอัลกอริทึมเพิ่มกลไกในการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้ไม่ให้สูญเสียหายระหว่างการดำเนินในขั้นตอนคำนวณต่างๆเช่น Crossover และ Mutation เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2.4 เมนู GAs Parameter Setting เป็นเมนูแสดงการรับค่าของพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญตามวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม ได้แก่ จำนวนประชากร (Population size) ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) เป็นต้น

2.4.2.5 เมนู Running types เป็นเมนูกำหนดรูปแบบการทำงานของตัวหาค่าที่เหมาะสม (Optimizer) ซึ่งประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

2.4.2.5.1 เมนู Standalone เป็นการกำหนดให้โปรแกรม Optimizer ทำงานเฉพาะในส่วนของตัวเอง โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นๆ

2.4.2.5.2 เมนู Incorporate with ARENA เป็นคำสั่งในการกำหนดให้โปรแกรม Optimizer ทำงานโดยประสานงานกับโปรแกรม ARENA โดยผลลัพธ์จากโปรแกรม ARENA จะเป็นปัจจัยนำเข้าสำหรับโปรแกรม Optimizer ตามหลักการของ Simulation Based Optimization

2.4.2.6 เมนู Run เป็นคำสั่งในการรันโปรแกรม Optimizer หรือผู้ใช้งานสามารถกดปุ่ม F5 ก็ได้เช่นกัน

2.4.3 เมนู Simulation เป็นเมนูที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หรือโมเดลซึ่งในที่นี้มีเพียงคำสั่งเดียวคือ

2.4.3.1 เมนู Show Simulation Time เป็นคำสั่งในการแสดงเวลาในแบบจำลองหรือในโปรแกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ARENA นั่นเองว่าแบบจำลองได้ทำงานไปเป็นเวลาเท่าใด โดยมีค่าเริ่มต้นจากศูนย์ ส่วนหน่วยของเวลาจะเป็นไปตามหน่วยของเวลาที่ได้กำหนดไว้ตอนสร้างแบบจำลองซึ่งในงานวิจัยนี้มีหน่วยเป็น นาที

2.4.4 เมนู Optimizer Outputs เป็นเมนูหรือคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการจัดการผลลัพธ์ของโปรแกรม Optimizer ซึ่งประกอบด้วย

2.4.4.1 เมนู Response Value(For graph plot) เป็นเมนูที่ใช้ในการเลือกประเภทของค่าผลลัพธ์ที่ต้องการแสดงในรูปกราฟซึ่งมีอยู่สามประเภท ได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และ ค่าเฉลี่ย

2.4.4.2 เมนู Show Response Graph ใช้ในการแสดงกราฟของผลลัพธ์

2.4.4.3 เมนู Show GAs Report ใช้ในการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณของเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งประกอบด้วย

2.4.4.4 เมนู Only Initial Population เป็นเมนูแสดงข้อมูลของประชากรเริ่มต้นตามวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

2.4.4.5 เมนู All generations เป็นเมนูแสดงข้อมูลของสตริงหรือโครโมโซมทุกตัวในทุกเจเนอเรชันตามวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

2.4.4.6 เมนู Show the last population เป็นคำสั่งในการแสดงข้อมูลของทุกโครโมโซมในเจเนอเรชันสุดท้าย

2.4.4.7 เมนู Load Output Form เป็นคำสั่งแสดงหน้าต่างของผลลัพธ์ต่างที่ได้จากการคำนวณใช้ได้ทั้ง Genetic Algorithms และ Random Search

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.4.8 เมนู Current Solution เป็นคำสั่งแสดงหน้าต่างของผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในระหว่างการคำนวณ

2.4.5 เมนู About ซึ่งมีคำสั่งที่สำคัญดังนี้

2.4.5.1 เมนู Screen Lock ใช้ในการล็อคหน้าจอของโปรแกรม Optimizer ในระหว่างการคำนวณ เพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลอื่นสามารถเข้ามาแก้ไขหรือขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรมได้

2.4.5.2 เมนู Ackley's function เป็นคำสั่งในการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมายให้เป็นฟังก์ชันของ Ackley เพื่อประโยชน์ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมเท่านั้น

2.5 รายการปุ่มคำสั่ง

ทั้งนี้เพื่อให้การใช้งานโปรแกรม Optimizer เป็นไปด้วยความสะดวกจึงได้มีการพัฒนาปุ่มคำสั่งที่มีการเรียกใช้งานบ่อยๆดังนี้

2.5.1 ปุ่ม GAs เป็นปุ่มคำสั่งเพื่อใช้เปิดฟอร์มในการรับค่าพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึม

รูปที่ ฌ-7 แสดงปุ่ม GAs ของโปรแกรม Optimizer

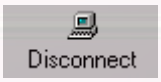
2.5.2 ปุ่ม Products เป็นปุ่มแสดงรายการผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโหลดเข้าสู่สายการผลิต การกำหนดช่วงของขนาดล็อตและจำนวนแพดต่อสตริปที่ต้องการออกแบบ การกำหนดราคาของสตริป และ การกำหนดกำลังการผลิตของกระบวนการผลิต (Process Capacity)

รูปที่ ฌ-8 แสดงปุ่ม Products ของโปรแกรม Optimizer

2.5.3 ปุ่ม Connect ใช้ในเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Optimizer กับโปรแกรม ARENA ในโหมดของการทำงานตามหลักการ Simulation Based Optimization

รูปที่ ฌ-9 แสดงปุ่ม Connect ของโปรแกรม Optimizer

2.5.4 ปุ่ม Disconnect ใช้ในการยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Optimizer กับโปรแกรม ARENA



รูปที่ ฌ-10 แสดงปุ่ม Disconnect ของโปรแกรม Optimizer

2.5.5 ปุ่ม Current Solution ใช้แสดงคำตอบที่ดีที่สุดในระหว่างการคำนวณ

รูปที่ ฌ-11 แสดงปุ่ม Current Solution ของโปรแกรม Optimizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.6 ปุ่ม Objective Graph ใช้แสดงกราฟของผลลัพธ์

รูปที่ ฌ-12 แสดงปุ่ม Objective Graph ของโปรแกรม Optimizer

2.5.7 ปุ่ม Start ใช้รันโปรแกรม Optimizer ซึ่งมีผลของการทำงานเช่นเดียวกับการกดปุ่ม F5 หรือการใช้คำสั่งรัน (Run) ในเมนู Optimizer ดังกล่าวข้างต้น และมีผลทำให้โปรแกรม ARENA เริ่มการทำงานเมื่อรันในโหมดของการเชื่อมต่อกับโปรแกรม ARENA

รูปที่ ฌ-13 แสดงปุ่ม Start ของโปรแกรม Optimizer

2.5.8 ปุ่ม Stop ใช้ในการหยุดการทำงานของโปรแกรม ARENA ซึ่งผลลัพธ์ของการทำงานเช่นเดียวกับการกดปุ่ม End ในโปรแกรม ARENA

รูปที่ ฌ-14 แสดงปุ่ม Stop ของโปรแกรม Optimizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.9 ปุ่ม Close เป็นคำสั่งที่ใช้ปิดโปรแกรม ARENA ซึ่งมีผลลัพธ์ของการทำงานเช่นเดียวกับการใช้คำสั่ง Exit หรือ Quit ในโปรแกรม ARENA โดยตรง

รูปที่ ฌ-15 แสดงปุ่ม Close ของโปรแกรม Optimizer

2.5.10 ปุ่ม Exit ใช้ในการปิดหรือออกจากโปรแกรม Optimizer

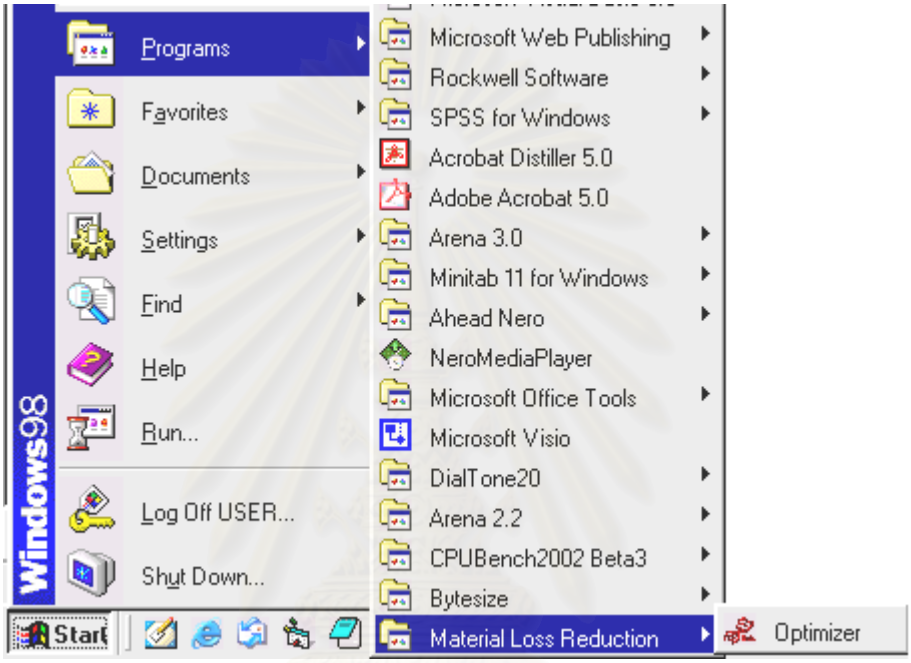
รูปที่ ฌ-16 แสดงปุ่ม Exit ของโปรแกรม Optimizer

3. **ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม** Optimizer

สำหรับขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน กล่าวคือ ส่วนแรกเป็นการใช้งานในโหมด (Mode) การทำงานโดยไม่ได้เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่น (Standalone) และส่วนที่สองเป็นการทำงานในโหมดที่เชื่อมต่อกับแบบจำลอง (Incorporation) ซึ่งแบบจำลองในงานวิจัยนี้ได้สร้างขึ้นมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ARENA version 3.01 ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานโปรแกรมยังเป็นคำนวณหาคำตอบที่มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำที่สุด โดยในโหมดที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นจะสามารถประเมินค่า (Evaluate) ได้เพียงทีละหนึ่งคำสั่งผลิต (Order) ดังนั้น คำตอบที่ได้ในการรันในโหมดนี้ก็คือ คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับหนึ่งคำสั่งผลิตใดๆเท่านั้นเอง แต่ในกรณีการรันโปรแกรมในโหมดเชื่อมต่อกับแบบจำลองจะเป็นโหมดของการทำงานจริงในทางปฏิบัติ โดยคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ให้มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด (Average Material Loss) เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยในหลายๆคำสั่งผลิต ภายใต้เวลาในการรันแบบจำลองทั้งหมด (Run length) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

<u>กรณีที่</u> 1 : การรันโปรแกรม Optimizer ในโหมด Standalone

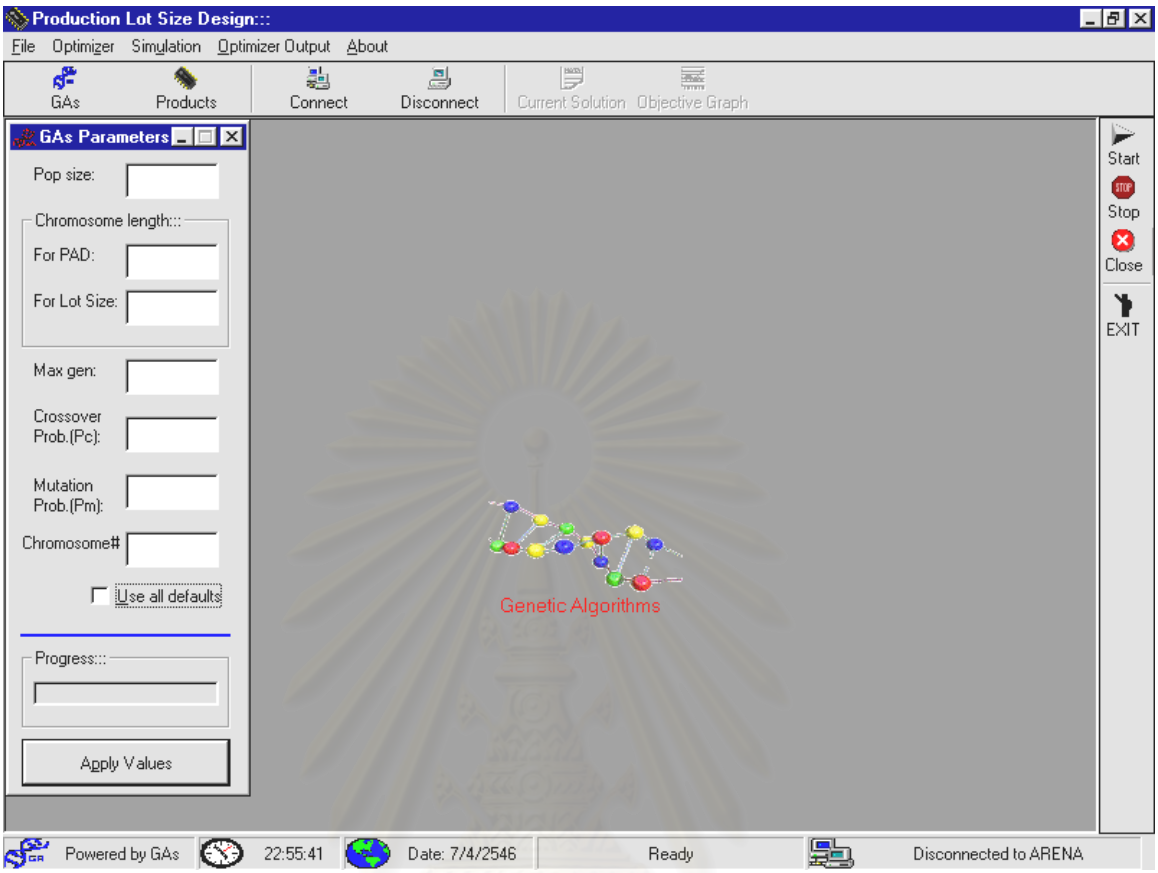
1) เปิดโปรแกรม Optimizer ด้วยการดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ Optimizer.exe หรือบนแถบเมนูของ Start สำหรับกรณีที่ได้ติดตั้งโปรแกรม Optimizer ด้วยการใช้โปรแกรม Setup



รูปที่ ฌ-17 แสดงแถบเมนูสำหรับเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Optimizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

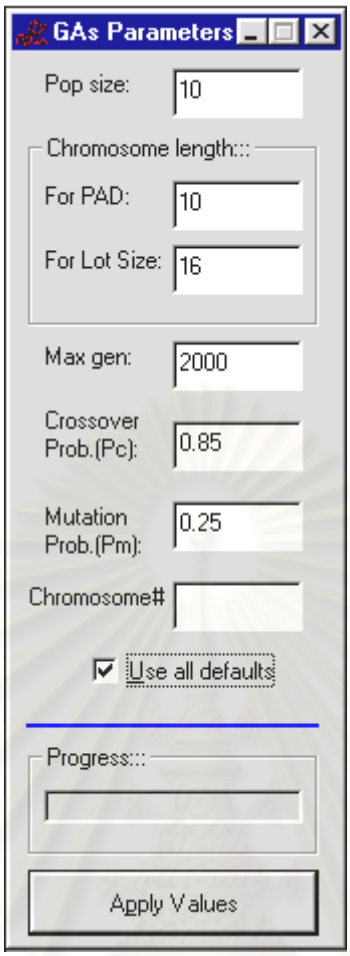
2) หลังจากคลิกรันโปรแกรมแล้ว ให้ใส่รหัสผ่าน โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าต่างหลักดังนี้



รูปที่ ฌ-18 แสดงหน้าต่างหลัก (Main window) ของโปรแกรม Optimizer

3) กรณีที่จะใช้ Genetic Algorithms เป็นกลไกทำหน้าหาคำตอบที่ดีที่สุด ให้ใส่พารามิเตอร์ที่เหมาะสม (ซึ่งอาจจะได้จากการทดลองแล้ว) ดังรูปที่ ฌ-19

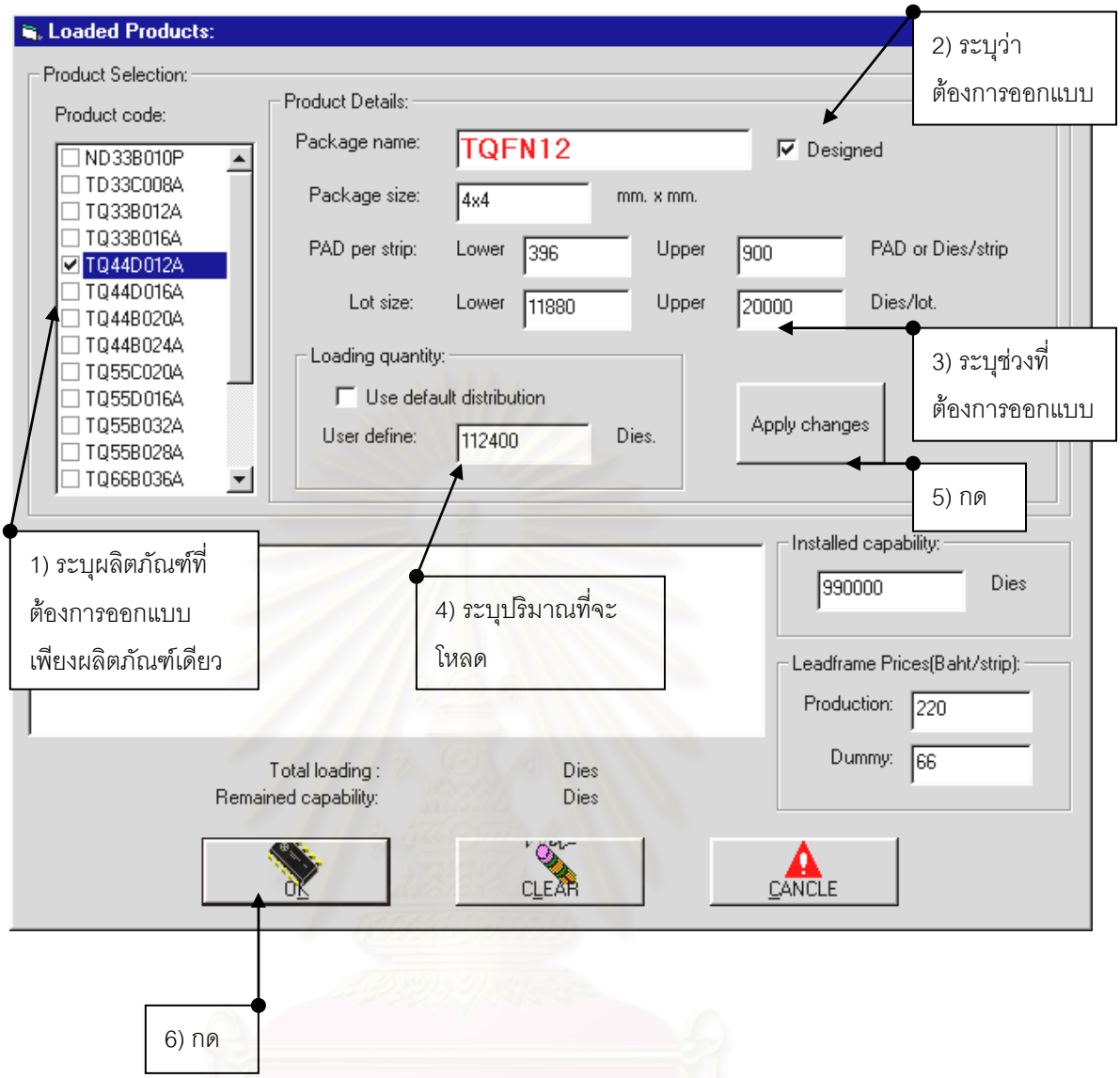
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฌ-19 แสดงหน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์สำหรับ Gas

4) คลิกที่เมนู Optimizer\Engines\Genetic Algorithms (GAs) หรือกดคีย์ Ctrl+G
5) คลิกที่เมนู Optimizer\Running types\Standalone หรือกดคีย์ Ctrl+M
6) คลิกที่เมนู Products เพื่อเซตเลือกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโหลดเข้าสู่สายการผลิตในแบบจำลอง (หรือในโปรแกรม ARENA นั่นเอง)

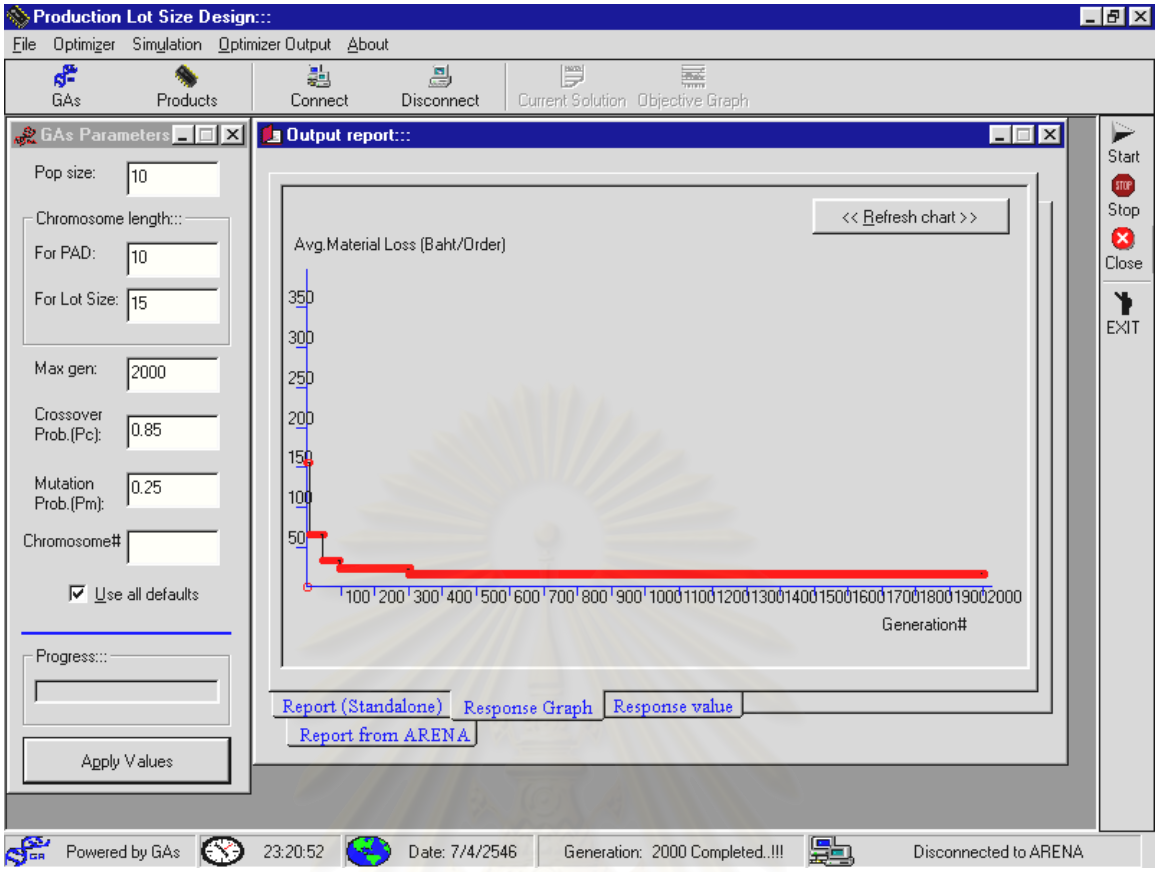
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฌ-20 แสดงหน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการออกแบบ

7) หลังจากนั้นให้ย้อนกลับไปกดปุ่ม Apply บนหน้าต่างของ GAs Parameters

8) กดรัน หรือ F5 หรือปุ่ม Start ด้านขวามือของหน้าต่างหลัก

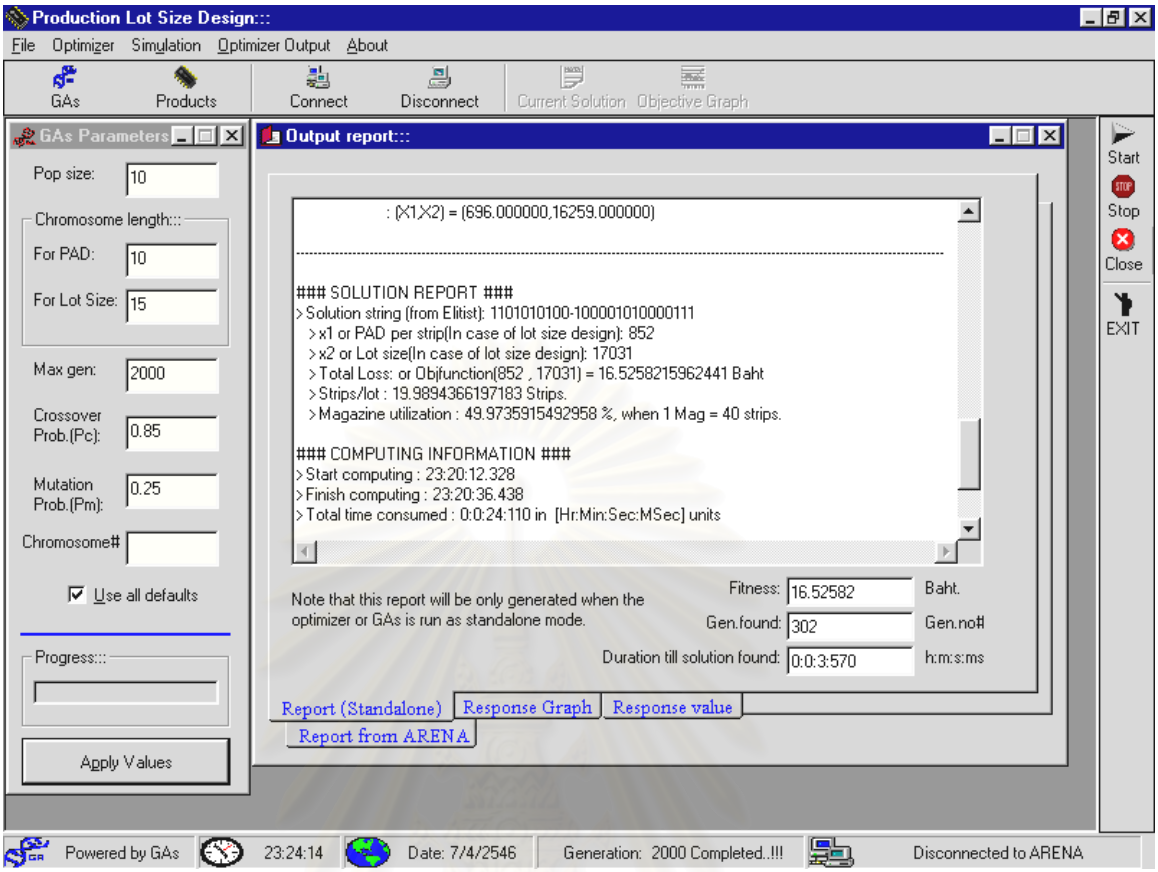


รูปที่ ฌ-21 แสดงกราฟผลลัพธ์จากการรันโปรแกรม Optimizer แบบ Standalone

9) ส่วนคำตอบที่ได้จากการคำนวณสามารถดูได้จากแท็บ (Tab) ที่ชื่อ “Report (Standalone)”

10) ส่วนกรณีที่ใช้ Random Search เป็นตัวค้นหาคำตอบก็เพียงแต่คลิกเลือกในเมนู Optimizer\Engines\Random Search และกำหนดจำนวนรอบ (Loops) สูงสุดที่ต้องการคำนวนพร้อมกับระบุปริมาณได (Dies) ที่ต้องการโหลดแล้วกดปุ่มรัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ฌ-22 แสดงคำตอบผลลัพธ์จากการรันโปรแกรม Optimizer แบบ Standalone

<u>กรณีที่</u> 2 : การรันโปรแกรม Optimizer ในโหมดเชื่อมต่อกับแบบจำลอง (Incorporation)

1) กรณีที่ได้เปิดโปรแกรม Optimizer แล้ว ให้ไปที่เมนู File\Open ARENA File… แล้วเลือกไฟล์โมเดลที่ต้องการรัน จากนั้นคลิกตกลง คอมพิวเตอร์จะโหลดโปรแกรม ARENA และไฟล์ของโมเดลที่ได้เลือกขึ้นมา พร้อมกับจะมีหน้าต่างแสดงข้อความว่า “Listening at Port 2002” ซึ่งแสดงว่าโมเดลพร้อมที่จะรับการเชื่อมจากโปรแกรมอื่นได้แล้วและคลิกตกลง

รูปที่ ฌ-23 แสดงหน้าต่างแจ้งว่าโมเดลพร้อมที่จะรับการเชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นแล้ว

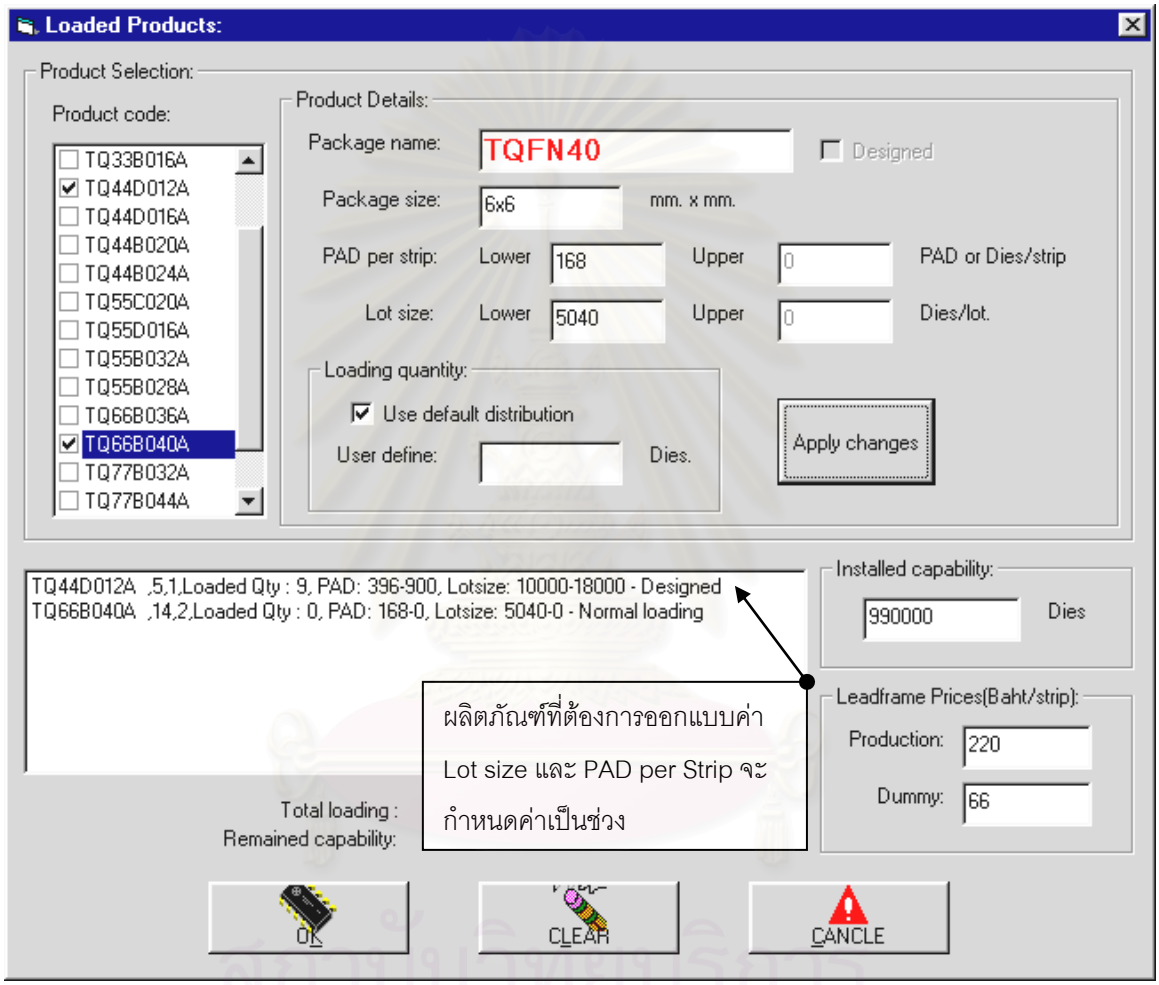
2) กลับมาที่โปรแกรม Optimizer อีกครั้ง และคลิกที่เมนู Optimizer\Running types\Incorporate with ARENA หรือ กดคีย์ Ctrl+N
3) เลือกชนิดของตัวหาค่าที่เหมาะสม (GAs หรือ Random Search) และกำหนดพารามิเตอร์
4) กดที่ปุ่ม “Connect” บนทูลบาร์ รอสักครู่เพื่อให้โปรแกรม Optimizer ร้องขอการเชื่อมต่อกับโมเดล (โปรแกรม ARENA) เมื่อการเชื่อมต่อสำเร็จแล้วจะมีหน้าต่างแสดงผลการเชื่อมต่อในโปรแกรม Optimizer ดังนี้

รูปที่ ฌ-24 หน้าต่างแสดงผลการเชื่อมต่อกับโมเดลของโปรแกรม Optimizer

5) สลับไปที่โปรแกรม ARENA จะมีหน้าต่างแสดงผลของการอนุญาตให้เชื่อมต่อเช่นกัน

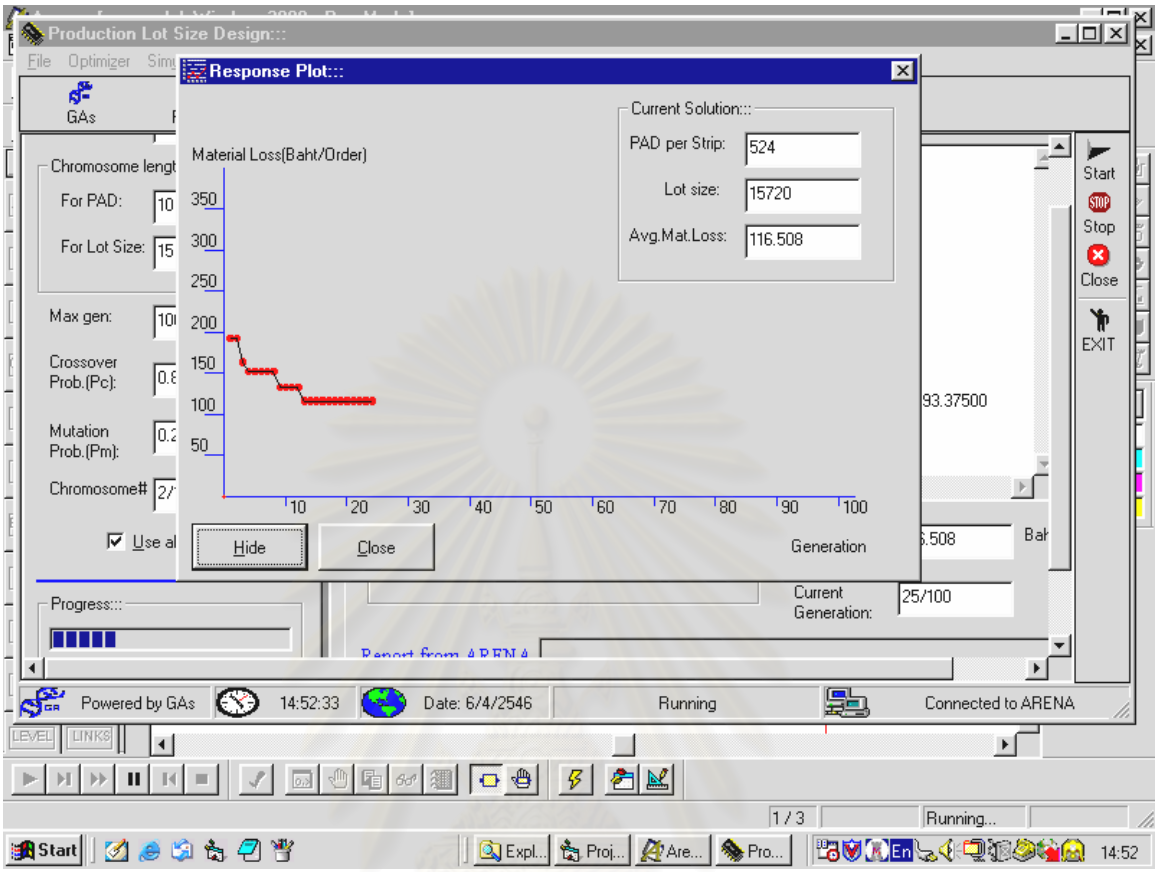
รูปที่ ฌ-25 หน้าต่างแสดงการยอมรับให้โปรแกรม Optimizer เชื่อมต่อกับโมเดล

6) สลับกลับมาที่โปรแกรม Optimizer อีกครั้ง โดยให้คลิกที่ปุ่ม Products เพื่อกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโหลดเข้าสู่โมเดล โดยในที่นี้จะโหลดจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์หนึ่งจะถูกกำหนดว่าต้องการออกแบบค่า Lot size และ PAD per Strip และมีการกำหนดช่วงของค่าที่ต้องการออกแบบด้วย ส่วนอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งจะกำหนดเฉพาะค่าที่ต้องการใช้ กล่าวคือ กำหนดเฉพาะค่า Lower เท่านั้น จากนั้นกดตกลง



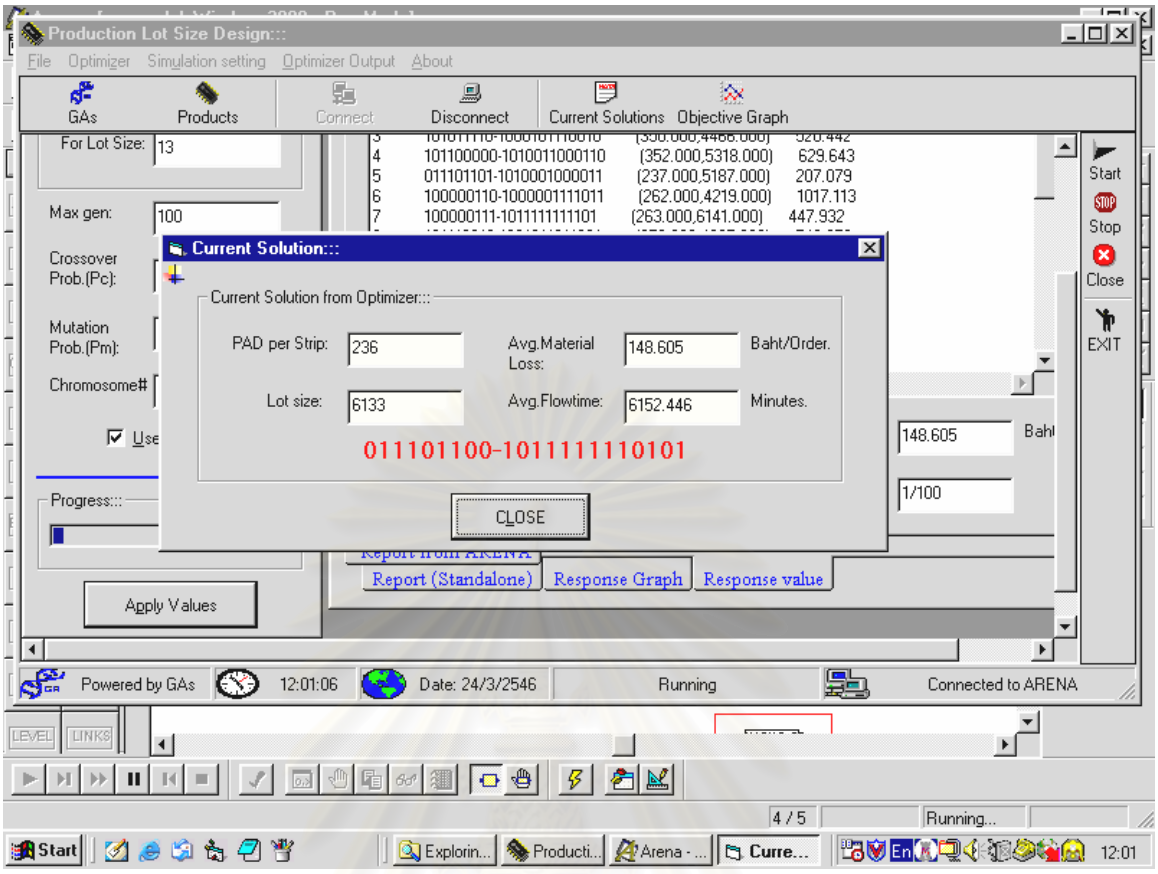
รูปที่ ฌ-26 แสดงการกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโหลดกรณีรันโปรแกรมแบบ Incorporate

7) กดรัน (F5) หรือกดปุ่ม Start ที่อยู่ด้านขวามือของหน้าต่างหลัก ซึ่งการทำงานของโปรแกรมมีลักษณะดังนี้



รูปที่ ฌ-27 แสดงลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรม Optimizer กับแบบจำลองหรือโมเดล

8) ส่วนผลลัพธ์ระหว่างการคำนวณสามารถดูได้โดย การกดปุ่ม Current Solution



รูปที่ ฌ-28 แสดงคำตอบที่ดีที่สุดในระหว่างการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ
การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากวิธีการเจเนติกอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอไปนั้น จะถูกนำไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic 6.0 ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นมาว่าให้ผลลัพธ์จากการคำนวณที่ถูกต้องตามหลักการดังกล่าวหรือไม่ โดยในที่นี้จะใช้ปัญหาการทดสอบ (Test cases หรือ Test problems) จำนวน 2 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาการหาค่าต่ำที่สุดของฟังก์ชันของ Ackley (Mitsuo Gen,1997) และปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียวัตถุดิบที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมจะกระทำโดยรันโปรแกรม Optimizer (โดยเลือกกลไกการหาคำตอบเป็น GAs) และพิมพ์ผลลัพธ์ที่โปรแกรมคำนวณออกมาได้เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือ (Manual computing) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละโอเปอเรเตอร์ของ GAs และเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของคำตอบ
2) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด (Convergence) ซึ่งจะดำเนินการโดยการรันโปรแกรมจนกว่าจะครบจำนวนเจเนอเรชันสูงสุด แล้วนำค่าที่ดีที่สุดที่ได้ในทุกเจเนอเรชันมาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มของคำตอบว่ามีการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดค่าใดค่าหนึ่งตามหลักการของ GAs หรือไม่
3) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการหาคำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดทำโดยการนำเอาคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ภายหลังจากได้รันโปรแกรมเสร็จสิ้นแล้ว มาตรวจสอบดูว่าขัดแย้งกับเงื่อนไขต่างๆหรือไม่

■ **<u>ปัญหาทดสอบที่</u> 1 ฟังก์ชัน** Ackley

สำหรับปัญหาที่จะใช้ในการทดสอบความถูกต้องตัวแรก(Test problem) จะใช้ Ackley's Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีจุด Local optima จำนวนมาก และจัดได้ว่าเป็นฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนในระดับกลาง นอกจากนี้ปัญหานี้ยังเป็นปัญหาที่ทราบคำตอบที่ดีที่สุด (Global optima) อยู่แล้ว ดังนั้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นปัญหาทดสอบได้ (Mitsuo Gen,1997) ดังรายละเอียดดังนี้

$$Min_f(x_1, x_2) = -c_1 * Exp(-c_2\sqrt{\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2} x_j^2}) - Exp(\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\cos(c_3 * x_j)) + c_1 + e$$

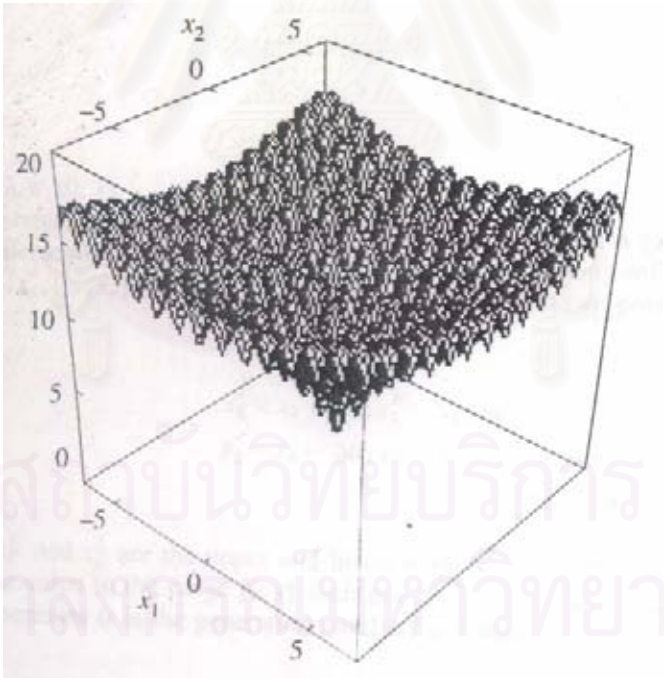
$-5 \le x_j \le 5, j = 1,2$

$e = 2.71282$

$Optimal_solution\ (x_1^*, x_2^*) = (0,0) = 0$

$c_1 = 20, c_2 = 0.2, c_3 = 2\pi$

รูปที่ ญ-1 ฟังก์ชันของ Ackley เพื่อทดสอบความถูกต้องของเจเนติกอัลกอริทึม



รูปที่ ญ-2 แสดงกราฟ 3 มิติของ Ackley's function

โดยพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึมที่จะใช้ในการทดสอบ (Mitsuo Gen,1997) คือ

Pop_size = 10

Max. generation = 1000

Pm = 0.1

Pc = 0.3

Crossover type = 1-Point

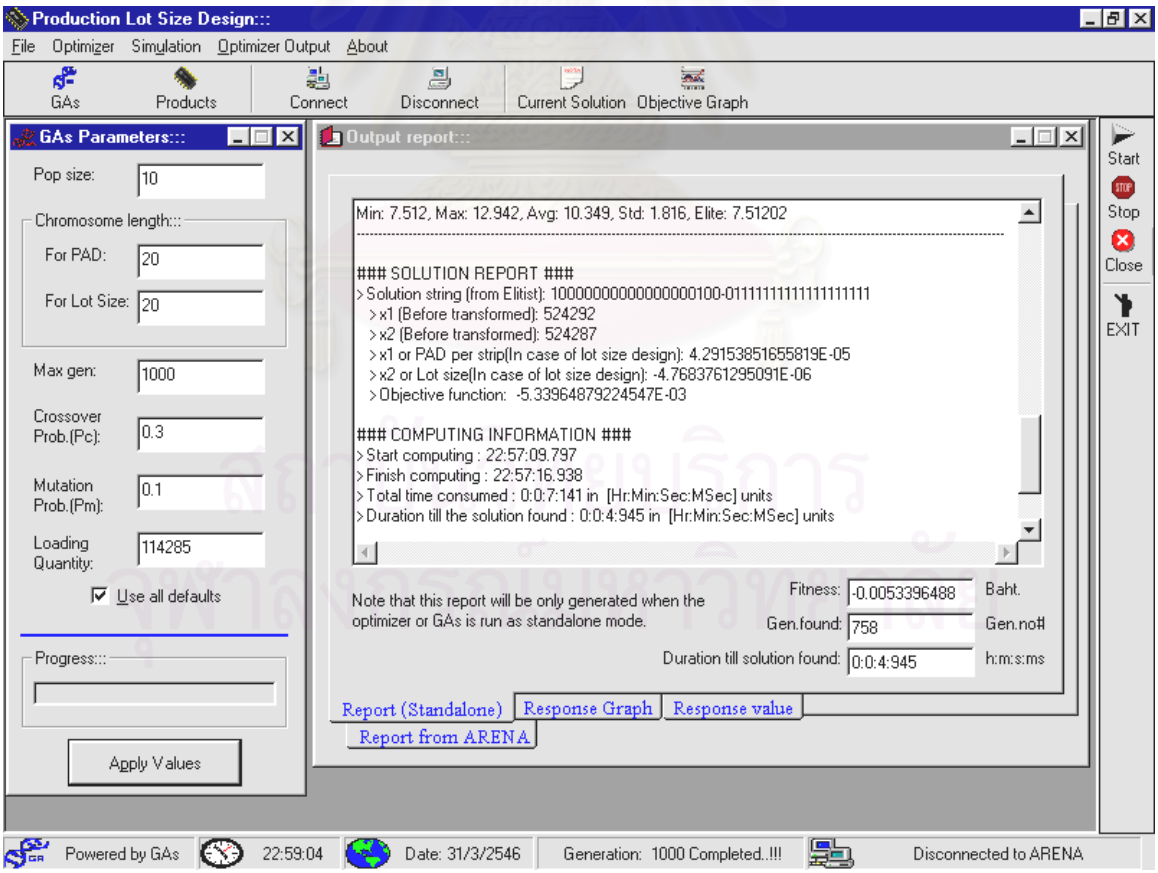
ผลลัพธ์จากการรันโปรแกรมจนครบ 1000 เจเนอเรชัน คือ

X1 = 4.29153851655819E-05

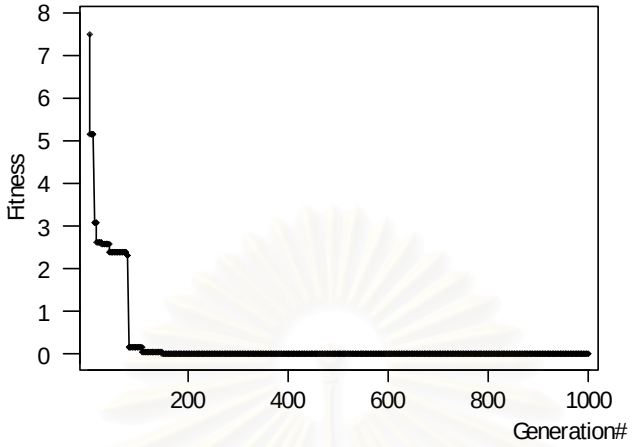
X2 = -4.7683761295091E-06

f(x1,x2) = -5.33964879224547E-03

จากคำตอบที่ได้ถือว่าใกล้เคียงกับคำตอบที่เป็นจุด Optima คือ $f(x^*_1,x^*_2) = (0,0)= 0$



รูปที่ ญ-3 แสดงผลการคำนวณ (Solution report) เพื่อหาคำตอบของฟังก์ชัน Ackley



รูปที่ ญ-4 แสดงกราฟการลู่เข้าหาคำตอบของฟังก์ชัน Ackley

โดยมีรายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนตามวิธีของเจเนติกอัลกอริทึมดังนี้ สำหรับการใช้ฟังก์ชัน Ackley เป็นปัญหาทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในขั้นตอนการทำงานต่างๆเมื่อใช้ฟังก์ชัน Ackley เป็นปัญหาทดสอบ

1.1 การเข้ารหัสสตริงคำตอบ (Encoding solutions)

เนื่องจากปัญหาการหาค่าต่ำที่สุดของฟังก์ชัน Ackley มีตัวแปรตัดสินใจที่ต้องมีค่าอยู่ในรูปของจำนวนจริง คือ X_1และ X_2 ดังนั้น การเข้ารหัสคำตอบจึงทำให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง (Binary base) การหาความยาวของสตริงคำตอบสามารถหาได้ดังนี้ คือ

เมื่อให้ X_i มีค่าอยู่ในช่วง $[a_i,b_i]$ โดยต้องการความละเอียดของคำตอบอยู่ที่ 5 จุดทศนิยม(แต่ในการแสดงผลของโปรแกรมได้กำหนดไว้เพียง 3 จุดทศนิยม) ดังนั้น ช่วงของค่าจำนวนเต็มที่ควรจะเป็นก่อนที่จะถูกแปลงให้เป็นค่าที่ต้องการออกแบบคือ $[b_i-a_i]x10^5$ และถ้าให้ m_i เป็นจำนวนบิตสูงสุดที่ต้องการแล้ว สามารถหาค่าจำนวนบิตดังกล่าวได้จากการพิจารณาสมการต่อไปนี้

$$2^{m_i-1} \le (b_i - a_i)x10^5 \le 2^{m_i} - 1$$

และสามารถหาค่าจำนวนจริงของตัวแปร Xi โดยการแปลงตัวเลขฐานสองจากสตริงคำตอบได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$x_i = a_i + Decimal\ (Substring_i)x\ \frac{(b_i - a_i)}{(2^{m_i} - 1)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- พิจารณาค่า X_1 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [-5,5] ดังนั้น
  (5 - (-5))x10^5 = 10^6 และ
  $2^{19} < 10^6 < 2^{20}$ ดังนั้น $m_1 = 20$
- พิจารณาค่า X_2 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [-5,5] เช่นกัน ดังนั้น
  (5 - (-5))x10^5 = 10^6
  $2^{19} < 10^6 < 2^{20}$ ดังนั้น $m_2 = 20$

หรืออาจกล่าวได้ว่า ความยาวทั้งหมดของโครโมโซมคือ m_1+m_2 = 20+20 = 40 บิต (Bits)

1.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

ตารางที่ ญ-1 ผลลัพธ์ของการสร้างประชากรเบื้องต้นจากโปรแกรม

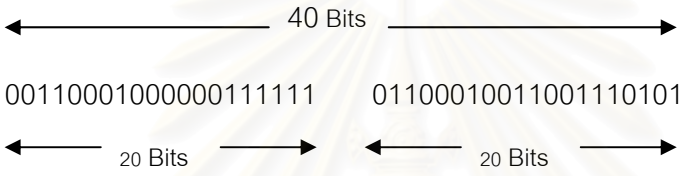
Pop#	String	(x1,x2)	Fitness
1	00110001000000111111-01100010011001110101	(-3.085,-1.156)	8.132243
2	10000000000111001110-01000001100011001111	(0.004,-2.439)	7.512020
3	01001110110111110011-11010000010110101001	(-1.919,3.139)	8.691254
4	11010000011000110111-11101111001000111010	(3.140,4.341)	12.290497
5	11101001011110001001-01000100111110111010	(4.120,-2.305)	11.240446
6	00110110000111010101-00010111100100011001	(-2.886,-4.079)	10.584674
7	01100010100111011110-00010111011110100101	(-1.148,-4.083)	9.652567
8	00100010111101000111-00010011000100100000	(-3.635,-4.255)	12.942219
9	11011101110011010000-00101101111111100110	(3.664,-3.203)	11.770583
10	01011011010100011111-11011010101111111111	(-1.433,3.545)	10.674278

Min: 7.512, Max: 12.942, Avg: 10.349, Std: 1.816, Elite: 7.51202

จากการตรวจการสร้างสตริงเริ่มต้นหรือประชากรเริ่มต้นของโปรแกรมในตารางที่ ญ-1 พบว่าค่าของ X_1 และ X_2 อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้คือ [-5,5] ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้และไม่มีสตริงใดที่ซ้ำกัน ดังนั้น จึงถือได้ว่าวิธีการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นหรือประชากรเริ่มต้นมีความถูกต้อง

1.3 การถอดรหัสคำตอบ (Decoding)

เป็นกระบวนการแปลงรหัสคำตอบซึ่งอยู่ในรูปเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของจำนวนจริง เพื่อใช้ในการประเมินค่าในขั้นตอนต่อไป เช่น โครโมโซมที่ 1 จาก ตาราง ญ-1



ตัวเลขที่สัมพันธ์กับค่าของ X_1 และ X_2 คือ

	Binary number	Decimal number
X_1	00110001000000111111	200767
X_2	01100010011001110101	403061

ดังนั้น ตัวเลขจำนวนจริงที่คำนวณด้วยมือ คือ

$X_1 = -5+(200767)x(5-(-5))/(2^{20}-1) = -3.08534$ #

$X_2 = -5+(403061)x(5-(-5))/(2^{20}-1) = -1.15613$ #

ซึ่งจากการคำนวณด้วยมือ เมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม (ตามตารางที่ ญ-1) พบว่าให้ผลเท่ากัน ดังนั้น จึงถือได้ว่าโปรแกรมถอดรหัสคำตอบได้อย่างถูกต้อง

1.4 การประเมินค่า (Evaluation)

การประเมินค่าเป็นการคำนวณค่าของสมการเป้าหมาย โดยสมการเป้าหมายถูกแสดงไว้ในรูปที่ ญ-1 โดยอาศัยข้อมูลจากตาราง ญ-1 สามารถเปรียบเทียบผลการประเมินค่าระหว่างการคำนวณด้วยมือและการคำนวณของโปรแกรมได้ดังตารางที่ ญ-2 ข้างล่างนี้

ตารางที่ ญ-2 เปรียบเทียบผลการประเมินค่าระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ

ที่	X_1	X_2	ค่าของสมการเป้าหมาย (Objective Function)	
			คำนวณโดยโปรแกรม	คำนวณด้วยมือ (Manual Computing)
1	-3.085	-1.156	8.132243	8.1348882528107
2	0.004	-2.439	7.512020	7.51060128798227
3	-1.919	3.139	8.691254	8.69255240395073
4	3.140	4.341	12.290497	12.2884286412399
5	4.120	-2.305	11.240446	11.239057045122
6	-2.886	-4.079	10.584674	10.5836651685328
7	-1.148	-4.083	9.652567	9.65428708491791
8	-3.635	-4.255	12.942219	12.9416582368059
9	3.664	-3.203	11.770583	11.7693735517791
10	-1.433	3.545	10.674278	10.6745895423348

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินค่า (Evaluation) ด้วยการคำนวณโดยโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือพบว่าให้ผลลัพธ์ที่ท่ากัน ส่วนความผิดพลาด (Error) ที่เกิดขึ้นระหว่างการคำนวณทั้งสองวิธีนี้มีผลเนื่องมากจากการคำนวณด้วยมือใช้ค่า X1 และ X2 เพียงสามจุดทศนิยม ในขณะการคำนวณของโปรแกรมจะใช้ 5 จุดทศนิยมตามการเข้ารหัสคำตอบ อย่างไรก็ตามก็ถือได้ว่าการประเมินค่าของโปรแกรมมีความถูกต้อง

1.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น

จากการพิจารณาสตริง 10 ตัว ตามตาราง ญ-1 พบว่าโปรแกรมสามารถเก็บคำตอบที่ดีที่สุดเบื้องต้นได้ คือ

Sting#2 10000000000111001110-01000001100011001111

(X1,X2) (0.004,-2.439)

Fitness 7.512020

หรืออาจจะสังเกตได้จากท้ายตาราง ญ-1 ซึ่งโปรแกรมได้แสดงค่าของ Fitness ของ Elite ออกมาได้อย่างถูกต้อง

1.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เนื่องจากการคัดเลือกสตริงในขั้นตอนนี้จะคัดเลือกสตริงมาทีละคู่เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนยีนส์กันต่อไป โดยในงานวิจัยนี้ การเลือกสตริงตัวแรกจะใช้กระบวนการคัดเลือกโดยอาศัยหลักของความน่าจะเป็นของวงล้อรูลเล็ท ดังตารางที่ ญ-3 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากโปรแกรม ส่วนสตริงตัวที่สองจะคัดเลือกมาแบบสุ่ม สาเหตุที่ไม่ต้องการคัดเลือกสตริงตัวที่สองโดยอาศัยหลักการของวงล้อรูลเล็ทเนื่องจากต้องการลดโอกาสสตริงตัวที่มีค่า Fitness สูงถูกเลือกอยู่ตลอดเวลา (Takeover)

ตารางที่ ญ-3 การสร้างวงล้อรูลเล็ทของโปรแกรม

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness	P_select	Cum_prob
1	11100100111000000000-10110010110011010000	(3.940,1.984)	9.376683	0.092	0.092
2	00001010100100010011-01011110011011011111	(-4.587,-1.311)	11.986053	0.118	0.210
3	10100011000010110101-00000111001110001101	(1.369,-4.718)	12.084579	0.119	0.329
4	01001100111001101000-00011011011011010001	(-1.996,-3.929)	9.401363	0.092	0.421
5	10101111111001010001-01110011101110010110	(1.871,-0.480)	6.633673	0.065	0.486
6	00111010111001110000-11111100001000011000	(-2.699,4.849)	12.445476	0.122	0.608
7	11110101011111101100-11101101011011110011	(4.590,4.275)	13.868706	0.136	0.745
8	10100011101001000100-10110010111110001111	(1.392,1.991)	7.412813	0.073	0.817
9	10010100101110010100-01001110111000101010	(0.810,-1.919)	5.958230	0.059	0.876
10	00000101001100111110-00011100000001001001	(-4.797,-3.906)	12.624252	0.124	1.000

เมื่อได้สร้างตารางของวงล้อรูลเล็ทแล้วในขั้นตอนต่อไปก็เป็นการคัดเลือกสตริงที่จะไปทำการครอสโอเวอร์กันใน Mating pool ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ ญ-4 แสดงการคัดเลือกสตริงเข้า Mating pool ของโปรแกรม

สตริงที่	Fitness	P_select	Cummulative Prob.	ตัวเลขสุ่ม	สตริงที่ถูกเลือก
1	9.376683	0.092	0.092	0.623	7
2	11.986053	0.118	0.210	สุ่มเลือก	3
3	12.084579	0.119	0.329	0.499	6
4	9.401363	0.092	0.421	สุ่มเลือก	8
5	6.633673	0.065	0.486	0.840	9
6	12.445476	0.122	0.608	สุ่มเลือก	7
7	13.868706	0.136	0.745	0.552	6
8	7.412813	0.073	0.817	สุ่มเลือก	2
9	5.958230	0.059	0.876	0.826	9
10	12.624252	0.124	1.000	สุ่มเลือก	5

จากตาราง ญ-4 ข้างต้น พบว่าโปรแกรมสามารถคัดเลือกสตริงตามค่าตัวเลขสุ่ม (Random number) ที่ได้สุ่มขึ้นมาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะเห็นว่าสตริงส่วนใหญ่ที่ถูกเลือกจะมีค่า Fitness สูง ในแถวที่ระบุว่า “สุ่มเลือก” นั้น หมายถึง สตริงที่ถูกคัดเลือกมาด้วยวิธีการเลือกสุ่มโดยไม่ได้อาศัยหลักการของวงล้อรูลเล็ทแต่อย่างใดตามเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น สตริงจะจับคู่กันได้ดังนี้

สตริงคู่ที่ 1 7-3
สตริงคู่ที่ 2 6-8
สตริงคู่ที่ 3 9-7
สตริงคู่ที่ 4 6-2
สตริงคู่ที่ 5 9-5

เมื่อคัดเลือกสตริงได้แล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการครอสโอเวอร์ โดยโปรแกรมจะดำเนินการตัดสินใจอีกครั้งหนึ่งว่าคู่ใดจะครอสโอเวอร์กัน โดยพิจารณาจากค่า Pc

1.7 การครอสโอเวอร์

ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะสุ่มเลือกสตริงคำตอบมาทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากคู่ของสตริงคำตอบที่มีค่าตัวเลขสุ่ม r น้อยกว่า Pc คู่ใดที่ไม่ได้ดำเนินการครอสโอเวอร์ผลลัพธ์ก็จะได้สตริงรุ่นลูก (Children หรือ Offsprings) เป็นสตริงของรุ่นพ่อแม่ (Parents) เหมือนเดิม ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ ญ-5 แสดงผลลัพธ์การครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ต่างๆจากโปรแกรม

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness	P_select	Cum_prob	Random1	Random2	(Parent1,Parent2)	x_site	Offspring	(x1,x2)	Fitness
1	11100100111000000000-10110010110011010000	(3.940,1.984)	9.376683	0.092	0.092	0.623	0.740	(7,3)	(35,35)	11110101011111101100-11101101011011101101	(4.590,4.275)	13.868553
2	00001010100100010011-01011110011011011111	(-4.587,-1.311)	11.986053	0.118	0.210	0.623	0.740	(7,3)	(35,35)	10100011000010110101-00000111001110010011	(1.369,-4.718)	12.084615
3	10100011000010110101-00000111001110001101	(1.369,-4.718)	12.084579	0.119	0.329	0.499	0.788	(6,8)	(37,37)	00111010111001110000-11111100001000011111	(-2.699,4.849)	12.445356
4	01001100111001101000-00011011011011010001	(-1.996,-3.929)	9.401363	0.092	0.421	0.499	0.788	(6,8)	(37,37)	10100011101001000100-10110010111110001000	(1.392,1.991)	7.412716
5	10101111111001010001-01110011101110010110	(1.871,-0.480)	6.633673	0.065	0.486	0.840	0.542	(9,7)	(21,21)	10010100101110010100-01101101011011110011	(0.810,-0.725)	4.451479
6	00111010111001110000-11111100001000011000	(-2.699,4.849)	12.445476	0.122	0.608	0.840	0.542	(9,7)	(21,21)	11110101011111101100-11001110111000101010	(4.590,3.081)	12.547894
7	11110101011111101100-11101101011011110011	(4.590,4.275)	13.868706	0.136	0.745	0.552	0.183	(6,2)	(31,31)	00111010111001110000-11111100001011011111	(-2.699,4.851)	12.442083
8	10100011101001000100-10110010111110001111	(1.392,1.991)	7.412813	0.073	0.817	0.552	0.183	(6,2)	(31,31)	00001010100100010011-01011110011000011000	(-4.587,-1.313)	11.989777
9	10010100101110010100-01001110111000101010	(0.810,-1.919)	5.958230	0.059	0.876	0.826	0.646	(9,5)	(27,27)	10010100101110010100-01001111101110010110	(0.810,-1.886)	6.001394
10	00000101001100111110-00011100000001001001	(-4.797,-3.906)	12.624252	0.124	1.000	0.826	0.646	(9,5)	(27,27)	10101111111001010001-01110010111000101010	(1.871,-0.512)	6.654001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ ญ-5 เราสามารถตรวจสอบความถูกต้องของการทำครอสโอเวอร์ด้วยการคำนวณด้วยมือได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง : แสดงการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1 คือ สตริง 7-3

สตริงที่ 7 : 11110101011111101100111011010110111110011
สตริงที่ 3 : 10100011000010110101000000111001110001101
ตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ : 35 (ซึ่งได้จากการสุ่มของโปรแกรม)

สตริงที่ 7 : 11110101011111101100111011010110111 ↕ 10011
สตริงที่ 3 : 10100011000010110101000000111001110 ↕ 01101

Offsprings#1 : 11110101011111101100111011010110111**01101**
Offsprings#2 : 10100011000010110101000000111001110**10011**

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการครอสโอเวอร์ด้วยมือให้ผลตรงกับการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมโดยผลของการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมให้ดูในคอลัมภ์ Offspring ของตาราง ญ-5 ส่วนสตริงคู่อื่นก็ดำเนินการครอสโอเวอร์ในขั้นตอนเดียวกัน และจากการทำครอสโอเวอร์ด้วยมือของผู้วิจัยพบว่าได้ผลตรงกับการทำงานของโปรแกรมในทุกๆคู่ของสตริงที่เลือกมา ดังนั้น จึงถือได้ว่าการทำครอสโอเวอร์ของโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

1.8 การเก็บคำตอบที่ดีที่สุดหลังการครอสโอเวอร์

เมื่อได้ดำเนินการครอสโอเวอร์เสร็จเรียบร้อยและได้สตริงลูกครบตามจำนวน Pop_size แล้ว ในหลักการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมจะมีกลไกการรักษาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดให้ยังคงอยู่ในเจเนอเรชันต่อไปหลักการนี้ เรียกว่า Elite preserve strategy ซึ่งจะมีการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้จำนวนสามครั้ง ได้แก่ ภายหลังการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น ภายหลังการครอสโอเวอร์ และภายหลังการมิวเตชัน

ตารางที่ ญ-6 แสดงผลลัพธ์การเก็บคำตอบที่ดีที่สุดภายหลังการครอสโอเวอร์ของโปรแกรม

>Generation#0 >Generation#1

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness	P_select	Cum_prob	Random1	Random2	(Parent1,Parent2)	x_site	Offspring	(x1,x2)	Fitness
1	1010100101001000011-11001101110010111010	(1.613,3.039)	9.306792	0.088	0.088	0.513	0.627	(6,10)	(7,7)	0000010100111000011-11011011101001011001	(-4.796,3.580)	13.389395
2	1000110110001010000-11000101011100001010	(0.529,2.713)	8.638747	0.081	0.169	0.579	0.312	(6,4)	(40,40)	1010001101011100101 1-10011110010110000101	(1.381,1.185)	6.408061
3	1110011011010101111 0-11101101000101011100	(4.017,4.261)	12.388387	0.117	0.286	0.331	0.246	(4,9)	(18,18)	1010001101011100100 0-01011011010100001001	(1.381,-1.433)	7.180672
4	1010001101011100101 1-10011110010110000101	(1.381,1.185)	6.408061	0.060	0.346	0.331	0.246	(4,9)	(18,18)	1101100100110110001 1-10011110010110000101	(3.485,1.185)	10.088394
5	1101111100110010001 0-10000100111110110010	(3.719,0.195)	9.825418	0.093	0.438	0.700	0.227	(8,6)	(13,13)	1100010010001011100 0-11101100010000110100	(2.678,4.229)	12.001788
6	0000010110100011100 0-11101100010000110100	(-4.780,4.229)	13.430324	0.126	0.565	0.700	0.227	(8,6)	(13,13)	0000010110100111101 0-01011111001100010000	(-4.779,-1.282)	11.786205
7	1111000010111100001 0-00100110101010010010	(4.404,-3.490)	13.275387	0.125	0.690	0.551	0.162	(6,4)	(3,3)	0000001101011100101 1-10011110010110000101	(-4.869,1.185)	11.156164
8	1100010010001111101 0-01011111001100010000	(2.678,-1.282)	8.841744	0.083	0.773	0.551	0.162	(6,4)	(3,3)	1010010110100011100 0-11101100010000110100	(1.470,4.229)	11.441489
9	1101100100110110000 0-01011011010100001001	(3.485,-1.433)	10.589278	0.100	0.873	0.641	0.315	(7,2)	(1,1)	1000110110001010000 0-11000101011100001010	(0.529,2.713)	8.638747
10	0000101100111000011 1-11011011101001011001	(-4.562,3.580)	13.498629	0.127	1.000	0.641	0.315	(7,2)	(1,1)	1111000010111110000 10-00100110101010010010	(4.404,-3.490)	13.275387

Gen#1 Min: 6.408, Max: 13.389, Avg: 10.537, Std: 2.419

Elite solution : Fitness = 6.408061

: Chromosome = 1010001101011100101 1-10011110010110000101

: (X1,X2) = (1.381337,1.185356)

จากการวิเคราะห์ตารางที่ ญ-6 ข้างต้นนี้ พบว่าเมื่อเริ่มสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) หรือ ในผลลัพธ์ของโปรแกรมแสดงข้อความเป็น “Generation#0” บนแถวที่หนึ่งนั้น สตริงหมายเลข 4 ให้ค่า Fitness ที่ต่ำที่สุดซึ่งก็เป็น Initial Elite Solution นั่นเอง และเมื่อมีการคัดเลือกสตริงและครอสโอเวอร์เสร็จในเจเนอเรชันที่ 1 พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดยังคงอยู่ในเจเนอเรชันซึ่งสตริงที่ดีที่สุดในเจเนอเรชันที่ 1 คือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Elite solution : Fitness = 6.408061

: Chromosome = 1010001101011100101 1-0011110010110000101

: (X1,X2) = (1.381337,1.185356)

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่ากลไกการเก็บคำตอบที่ดีที่ภายหลังการครอสโอเวอร์ หรือ ที่เรียกว่า Post Crossover Elite Solution สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

1.9 การมิวเตชัน

การมิวเตชันเป็นกระบวนการในการปรับปรุงความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอีกวิธีหนึ่ง โดยหลักการทำงานของโปรแกรมจะดำเนินการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นสำหรับแต่ละบิตในแต่ละสตริง จะสังเกตได้ว่าการครอสโอเวอร์จะใช้ตัวเลขสุ่มในการตัดสินใจว่าสตริงคู่ที่ถูกคัดเลือกมานั้นจะครอสโอเวอร์กันหรือไม่ (เป็นการกระทำในระดับของโครโมโซม) แต่ในการมิวเตชันจะใช้ตัวเลขสุ่มในการตัดสินใจว่าบิต (ซึ่งเป็นส่วนเล็กที่สุดของโครโมโซม) จะมีการเปลี่ยนแปลงบิตหรือไม่ การมิวเตชันมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แต่ในงานวิจัยนี้ได้เสนอไว้เพียงวิธีเดียวคือ การสลับบิตจาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ดังผลการทำงานของโปรแกรมดังต่อไปนี้

ตารางที่ ญ-7 แสดงชุดของสตริงก่อนการมิวเตชันซึ่งเป็นผลลัพธ์จากโปรแกรม

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness
1	0100110011101000000 0-0011101101010111111 1	(-1.996,-2.682)	8.907901
2	1011101110011001110 1-0101001001011101101 1	(2.328,-1.783)	8.627339
3	1010110000111111001 0-1111001000000000100 1	(1.728,4.453)	11.956185
4	0110000111100000000 0-0001000001001001111 1	(-1.177,-4.364)	11.258364
5	0011011100011110111 1-1111011101000011111 0	(-2.847,4.659)	12.457395
6	1010011011101001101 0-1100010000100101101 0	(1.520,2.662)	9.279973
7	1101010010111010110 1-1010110001010101010 0	(3.310,1.732)	10.134147
8	0110110001010010101 1-1101010000100110111 0	(-0.769,3.287)	9.360928
9	1010001110111011101 0-0101011011010110100 1	(1.396,-1.608)	7.457404
10	0100011010110110000 1-0010000011000111101 0	(-2.238,-3.720)	10.943332

Min: 7.457, Max: 12.457, Avg: 10.038, Std: 1.592

Elite solution : Fitness = 7.457404

: Chromosome = 1010001110111011101 0-0101011011010110100 1

: (X1,X2) = (1.395823,-1.607882)

ตารางที่ ญ-8 แสดงชุดของสตริงภายหลังการทำมิวเตชันของชุดสตริงในตารางที่ ญ-7

	(Parent1,Parent2)	x_site	Offspring	(x1,x2)	Fitness
1	(10,7)	(40,40)	0100111110011111011-11101001100100011000	(-1.890,4.124)	10.084851
2	(10,7)	(40,40)	0010010100001111101 0-10100100100010000100	(-3.552,1.427)	10.676207
3	(6,10)	(40,40)	1011010100000010000 0-01011011000101101011	(2.071,-1.442)	7.730301
4	(6,10)	(40,40)	0101001011100110000 1-10100000001100001001	(-1.762,1.257)	6.972850
5	(4,3)	(40,40)	0110101000000101010 0-10001010111010100001	(-0.859,0.426)	4.372203
6	(4,3)	(40,40)	1101100011011101000 0-11101001101000110011	(3.471,4.126)	12.515707
7	(10,2)	(40,40)	0010011010011100110 0-00100001100011011100	(-3.492,-3.689)	12.458038
8	(10,2)	(40,40)	1010000001100010110 1-10101000011100001010	(1.265,1.580)	7.075629
9	(6,10)	(40,40)	0011100010000010001 00-00001010101001111001	(-2.792,-4.584)	12.610495
10	(3,10)	(40,40)	1010011011101001101 0-11000100001001011010	(1.396,-1.608)	9.279973

Min: 4.372, Max: 12.610, Avg: 9.378, Std: 2.805

Elite solution : Fitness = 4.372203

: Chromosome = 0110101000000101010 0-10001010111010100001

: (X1,X2) = (-0.858570,0.426345)

จากตารางที่ ญ-8 ข้างต้นนี้ จะสังเกตเห็นว่าจุดที่สตริงจะทำการครอสโอเวอร์กัน (X_Site) จะมีค่าเท่ากับ 40 ซึ่งเท่ากับค่าความยาวของสตริง (Chromosome Length) พอดี ซึ่งหมายความว่า จะไม่เกิดการครอสโอเวอร์กัน กล่าวคือ สตริงพ่อแม่ที่ถูกเลือกมาจากเจเนอเรชันก่อนหน้าจะกลายเป็นสตริงลูกในเจนเนอเรชันต่อไป ที่เป็นเช่นนี้เพราะในหัวข้อนี้ผู้วิจัยต้องการทดสอบการทำงานของการทำมิวเตชันเพียงอย่างเดียวจึงได้กำหนดให้ Pc = 0 และ ใช้ Pm = 0.5 แต่ยังคงใช้ Elite Preserve Strategy ซึ่งจากการวิเคราะห์ตารางดังกล่าวพบว่า ทุกสตริงจะไม่มีการครอสโอเวอร์แต่สตริงที่เกิดขึ้น (Offspring) จะแตกต่างจากสตริงในตารางที่ ญ-7 ทั้งนี้เนื่องจากว่ากระบวนการมิวเตชันได้เปลี่ยนแปลงบิตของสตริงจาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ดังตัวอย่างดังนี้คือ

ก่อนการมิวเตชัน สตริงที่ 10 0100011010110110000 1-00100000110001111010

ภายหลังการมิวเตชัน สตริงที่ 10 0100**1**1111**0**0111110**1**11-11101001**1**0010000**1**1000

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ บิตที่เป็นตัวหนา คือ บิตที่ถูกมิวเตท (Mutated) แล้ว เนื่องจากในที่นี้ได้ใช้ Pm = 0.5 และ สตริงมีความยาวทั้งหมดเป็น 40 ดังนั้น โอกาสโดยเฉลี่ยที่บิตในแต่ละ

โครโมโซมจะถูกมิวเตทเท่ากับ 0.5x40 = 20 บิต และจากการนับจำนวนบิตที่ถูกมิวเตทของสตริงที่ 10 ในตัวอย่างข้างตนนี้พบว่ามีจำนวนบิตที่ถูกมิวเตทเท่ากับ 16 ซึ่งก็ถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ว่ามีโอกาสมีค่าเฉลี่ยของการมิวเตทเท่ากับ 20 บิตต่อสตริง

ดังนั้น จึงยอมรับได้ว่าโปรแกรมมีการมิวเตทได้อย่างถูกต้องตามความน่าจะเป็นในการเกิดมิวเตชัน (Pm)

1.10 การเก็บคำตอบที่ดีที่สุดหลังการมิวเตชัน

จากการพิจารณาตารางที่ ญ-7 พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดก่อนการเกิดมิวเตชัน (โดยไม่มีการครอสโอเวอร์) คือ

Elite solution : Fitness = 7.457404
: Chromosome = 10100011101110111010-1010110110101101001
: (X1,X2) = (1.395823,-1.607882)

แต่เมื่อสตริงผ่านการมิวเตชันแล้วพบว่าคำตอบที่ได้ดีขึ้น และโปรแกรมยังสามารถเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้เมื่อมิวเตชันเสร็จได้ ดังท้ายตาราง ญ-8 คือ

Elite solution : Fitness = 4.372203
: Chromosome = 01101010000001010100-10001010111010100001
: (X1,X2) = (-0.858570,0.426345)

ดังนั้น จึงถือได้โปรแกรมมีการเก็บคำตอบที่ดีทีสุดภายหลังการมิวเตชันได้

2) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด (Convergence)

จากการพิจารณารูปที่ ญ-4 พบว่าค่า Fitness ของคำตอบที่โปรแกรมค้นหามีการลดลงมากในช่วงแรก และเมื่อเข้าใกล้คำตอบที่ดีทีสุดแล้วกราฟจะเริ่มราบเรียบจนกว่าและจะราบเรียบเมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้ว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีการลู่เข้าหาคำตอบตามหลักการของเจเนติกอัลกอริทึม

3) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้

จากการพิจารณารูปที่ ญ-3 พบว่า โปรแกรมสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด (Global optima) คือ $f(x^*_1,x^*_2) = (0,0)= 0$ โดยผลลัพธ์จากการรันโปรแกรมจนครบ 1000 เจเนอเรชัน คือ

X1 = 4.29153851655819E-05

X2 = -4.7683761295091E-06

f(x1,x2) = -5.33964879224547E-03

จากการพิจารณาการทำงานของโปรแกรมในขั้นตอนต่างๆตามระเบียบวิธีของเจเนติกอัลกอริทึมดังที่ได้กล่าวรายละเอียดข้างต้นนี้ สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถดำเนินงานได้อย่างถูกต้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ(ต่อ)
การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม

■ **<u>ปัญหาทดสอบที่</u> 2 ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบ** (Material Loss Reduction)

1) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในขั้นตอนการทำงานต่างๆเมื่อปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

1.1) การเข้ารหัสคำตอบเบื้องต้น (Encoding solutions)

ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบในที่นี้เป็นปัญหาที่ต้องการหาค่า จำนวนแพดต่อสตริป (X_1: PAD per strip) และ ขนาดของล็อตในการผลิต (X_2: Lot Size) ที่มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำที่สุด โดยตัวแปรตัดสินใจที่ต้องการมีค่าอยู่ในรูปของจำนวนเต็ม คือ X_1และ X_2 ดังนั้น การเข้ารหัสคำตอบจึงทำให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง (Binary base) การหาความยาวของสตริงคำตอบสามารถหาได้ดังนี้ คือ

เมื่อให้ X_i มีค่าอยู่ในช่วง $[a_i,b_i]$ และถ้าให้ m_i เป็นจำนวนบิตสูงสุดที่ต้องการหาสำหรับแต่ละตัวแปร X_i สามารถหาค่าจำนวนบิตสูงสุดหรือความยาวของสตริงได้จากการพิจารณาสมการต่อไปนี้

$$b_i \leq 2^{m_i}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติว่าช่วงของแพดที่ต้องการออกแบบคือ 300 ถึง 1000 และขนาดล็อตที่ต้องการใช้อยู่ในช่วง 6000 ถึง 12000 ไดต่อล็อต โดยมีปริมาณสั่งผลิตเท่ากับ 112400 ได (Dies) โดยสตริป 1 แผ่นขาย 220 บาท/แผ่น (ไม่ขึ้นกับจำนวนแพด ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงต้องการให้จำนวนแพดต่อแผ่นมากๆ)

- พิจารณาค่า X_1 หรือค่าซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [300,1000] ดังนั้น
  $1000 < 2^{10}$ ดังนั้น $m_1 = 10$

- พิจารณาค่า X_2 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [6000,12000] ดังนั้น
  $12000 < 2^{14}$ ดังนั้น $m_2 = 14$

หรืออาจกล่าวได้ว่า ความยาวทั้งหมดของโครโมโซมคือ $m_1+m_2 = 10+14 = 24$ บิต (Bits)

1.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

ตารางที่ ญ-9 ผลลัพธ์ของการสร้างประชากรเบื้องต้นจากโปรแกรมสำหรับปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบ

Initial generation

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness
1	1011010100-01110001000100	(724.000,7236.000)	165.303867
2	1100001100-01011101111001	(780.000,6009.000)	1297.435897
3	1000100000-10001101101001	(544.000,9065.000)	1822.117647
4	1100101000-10011010110001	(808.000,9905.000)	2748.039604
5	1110000100-10100100101000	(900.000,10536.000)	684.444444
6	1010101000-01011111010010	(680.000,6098.000)	1343.294118
7	1110100000-01100011010100	(928.000,6356.000)	1821.448276
8	0110000000-10010010011101	(384.000,9373.000)	2396.166667
9	1011010000-10110011111110	(720.000,11518.000)	261.555556
10	1100100100-01111110011101	(804.000,8093.000)	3607.781095

Min: 165.304, Max: 3607.781, Avg: 1614.759, Std: 1101.753

Elite solution : Fitness = 165.303867

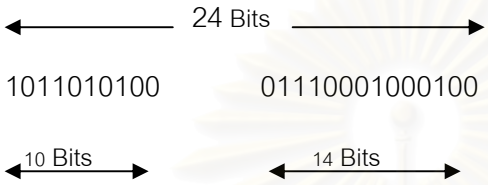
: Chromosome = 1011010100-01110001000100

: (X1,X2) = (724.000000,7236.000000)

จากการตรวจการสร้างสตริงเริ่มต้นหรือประชากรเริ่มต้นของโปรแกรมในตารางที่ ญ-9 พบว่าค่าของ X_1 และ X_2 อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้คือ [300,1000] สำหรับค่า X_1 หรือจำนวนแพดต่อสตริป และช่วง [6000,12000] สำหรับ X_2 หรือขนาดล็อตในการผลิต ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้และไม่มีสตริงใดที่ซ้ำกัน ดังนั้น จึงถือได้ว่าการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นหรือประชากรเริ่มต้นของโปรแกรมมีความถูกต้อง

1.3 การถอดรหัสคำตอบ (Decoding)

เป็นกระบวนการแปลงรหัสคำตอบซึ่งอยู่ในรูปเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของจำนวนจริง เพื่อใช้ในการประเมินค่าในขั้นตอนต่อไป ตัวอย่างการถอดรหัส เช่น โครโมโซมที่ 1 จาก ตาราง ญ-9



ตัวเลขที่สัมพันธ์กับค่าของ X_1 และ X_2 คือ

	Binary number	Decimal number
X_1	1011010100	$= (1x2^9)+ (0x2^8)+ (1x2^7)+ (1x2^6)+ (0x2^5)+ (1x2^4)+ (0x2^3)+ (1x2^2)+ (0x2^1)+ (0x2^0)$
		$= 724$ #
X_2	01110001000100	$= (0x2^{13})+ (1x2^{12})+(1x2^{11})+(1x2^{10})+(0x2^9)+ (0x2^8)+ (0x2^7)+ (1x2^6)+(0x2^5)+ (0x2^4)+ +(0x2^3)+ (1x2^2)+(0x2^1)+ (0x2^0)$
		$= 7236$ #

ซึ่งจากการคำนวณด้วยมือ เมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม (ตามตารางที่ ญ-9) พบว่าให้ผลเท่ากัน ดังนั้น จึงถือได้ว่าโปรแกรมถอดรหัสคำตอบได้อย่างถูกต้อง

1.4 การประเมินค่า (Evaluation)

การประเมินค่าเป็นการคำนวณค่าของสมการเป้าหมาย โดยสมการเป้าหมายในปัญหาทดสอบที่ 2 นี้เป็นมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบที่ประเมินในรูปจำนวนแพดต่อสตริปที่เหลือ (PAD waste) และ จำนวนสตริปดัมมี่ (Dummy strips) ที่ถูกใช้เสริมเข้าไปในกรณีที่จำนวนสตริปในล็อตนั้นเป็นเลขคี่ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เครื่องโมล์ด (Mold machine) สามารถ

โมล์ดสตริปได้ อย่างไรก็ตามสมการเป้าหมายสำหรับปัญหาทดสอบนี้ไม่สามารถเขียนออกมาได้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างชัดเจนเหมือนในปัญหาทดสอบที่ 1 แต่จะเสนอในรูปของขั้นตอนการคำนวณแทน ส่วนข้อมูลเปรียบเทียบการประเมินค่าสมการเป้าหมายระหว่างการคำนวณด้วยมือและการคำนวณของโปรแกรมได้ดังตารางที่ ญ-10 ข้างล่างนี้

ตัวอย่างการคำนวณมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ

ในที่นี้จะขอใช้การคำนวณของสตริงที่ 1 ในตาราง ญ-9 เป็นตัวอย่างการคำนวณดังรายละเอียดดังนี้

String # 1 โครโมโซม 1011010100-01110001000100

จำนวนแพด/สตริป และ ขนาดล็อตเท่ากับ (724.000,7236.000)

มูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเท่ากับ **165.303867** บาท

ขั้นตอนการคำนวณ

1) จำนวนล็อตทั้งหมดสำหรับคำสั่งผลิตนี้คือ

จำนวนล็อต = 112400/7236

= 15.53344 ล็อต หรือมีทั้งหมด 16 ล็อต

โดยที่แต่ละล็อตมีรายละเอียดดังนี้

ล็อตที่ 1

- จำนวนสตริปในล็อต = 7236/724 = 9.994475 สตริป (โดยทีสตริปที่10 จะติดไดไม่เต็มสตริป)
- สตริปที่ 10 จะมีไดที่ถูกติด = 0.994475x724 = 720 ได
- จำนวนแพดที่ว่าง = 724 – 720 = 4 แพด
- จำนวนสตริปดัมมี่(Dummy) = 0 สตริป (เนื่องจากจำนวนสตริปในล็อตเท่ากับ 10 สตริป ซึ่งเป็นจำนวนคู่)

ล็อตที่ 2 ถึง 15 ก็จะมีจำนวนแพดที่ว่างบนสตริป (PAD Waste)เท่ากับล็อตที่ 1 เหมือนกัน

- จำนวนแพดว่าง = 14 ล็อต x 4 แพด = 56 แพด
- จำนวนสตริปดัมมี่ = 14 ล็อต x 0 สตริป = 0 สตริป

ล็อตที่ 16 มีจำนวนไดทั้งหมดในล็อตนี้ = 0.53344x7236 = 3860 ได

- จำนวนสตริปในล็อต = 3860/724 = 5.33149 สตริป
  (สตริปที่ 6 จะติดไดไม่เต็ม)
- จำนวนไดที่ถูกติดบนสตริปที่ 6 = 0.33149x724 = 240 ได
- จำนวนแพดว่างบนสตริปที่ 6 = 724-240 = 484 แพด
- จำนวนสตริปดัมมี่ในล็อต = 0 สตริป (สตริปทั้งหมดในล็อต
  เป็นเป็นเลขคู่หรือ 6 สตริป ดังนั้น จึงไม่ต้องใช้ดัมมี่สตริปเพิ่ม)

2) สรุปมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบ

Material Loss = Loss ของล็อตที่ 1+ Loss ของล็อตที่ 2-15 + Loss ของล็อตที่ 16

= 4+56+484

= 544 แพด (PADs)x(220 บาท/แผ่น) /(724 แพด)

= 165.3038674 บาท/คำสั่งผลิต

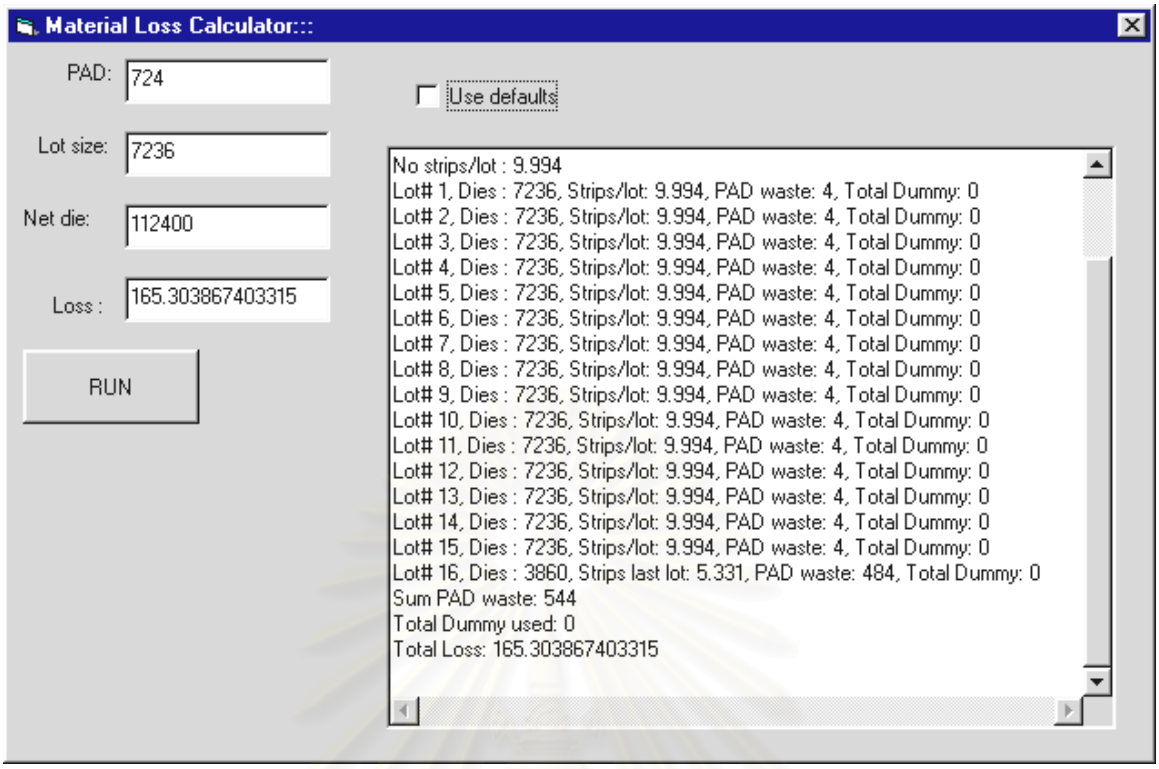
จากการเปรียบผลการคำนวณมูลค่าสูญเสียวัตถุดิบของโปรแกรมดังตารางที่ ญ-9 (สตริงที่ 1) พบว่าเท่ากับการคำนวณด้วยมือ ดังเช่นตัวอย่างการคำนวณข้างต้นนี้ ดังนั้น จึงถือได้ว่าการประเมินค่า (Evaluation) ของโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และเนื่องจากการคำนวณมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบนี้เป็นค่าวัตถุประสงค์ (Objective function) หลักที่จะถูกใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ และเพื่อให้มั่นใจว่าในขั้นตอนการคำนวณมูลค่าสูญเสียวัตถุดิบนี้เป็นไปด้วยความถูกต้อง ผู้วิจัยจึงได้เขียนโปรแกรมเพื่อแยกทดสอบความถูกต้องในการคำนวณนี้ ดังรูปที่ ญ-5 แสดง

ตารางที่ ญ-10 เปรียบเทียบผลการประเมินค่าระหว่างโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ กรณีใช้ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

ที่	X_1	X_2	ค่าของสมการเป้าหมาย (Objective Function)	
			คำนวณโดยโปรแกรม Optimizer	คำนวณด้วยมือ (Manual Computing)
1	724	7236	165.303867	165.303867403315
2	780	6009	1297.435897	1297.4358974359
3	544	9065	1822.117647	1822.11764705882
4	808	9905	2748.039604	2748.0396039604
5	900	10536	684.444444	684.444444444444
6	680	6098	1343.294118	1343.29411764706
7	928	6356	1821.448276	1821.44827586207
8	384	9373	2396.166667	2396.16666666667
9	720	11518	261.555556	261.555555555556
10	804	8093	3607.781095	3607.78109452736

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินค่า (Evaluation) ด้วยการคำนวณโดยโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือพบว่าให้ผลลัพธ์ที่ท่ากัน ดังนั้น ถือได้ว่าการประเมินค่าของโปรแกรมมีความถูกต้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ญ-5 แสดงโปรแกรมที่ใช้ทดสอบขั้นตอนการคำนวณมูลค่าสูญเสียวัตถุดิบก่อนจะนำไปใช้เป็นโปรแกรมย่อย (Producedure/Function) ในการคำนวณของโปรแกรม Optimizer ต่อไป

1.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น

จากการพิจารณาสตริง 1 ตัว ตามตาราง ญ-9 พบว่าโปรแกรมสามารถเก็บคำตอบที่ดีที่สุดเบื้องต้นได้ คือ

Elite solution : Fitness = 165.303867

: Chromosome = 1011010100-01110001000100

: (X1,X2) = (724.000000,7236.000000)

หรืออาจจะสังเกตได้จากท้ายตาราง ญ-9 ซึ่งโปรแกรมได้แสดงค่าของ Fitness ของ Elite ออกมาได้อย่างถูกต้องนั่นแสดงว่าโปรแกรมได้เก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้นไว้ได้

1.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เนื่องจากการคัดเลือกสตริงในขั้นตอนนี้จะคัดเลือกสตริงมาทีละคู่เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนยีนส์กันต่อไป โดยในงานวิจัยนี้ การเลือกสตริงตัวแรกจะใช้กระบวนการคัดเลือกโดยอาศัยหลักของความน่าจะเป็นของวงล้อรูลเล็ท ดังตารางที่ ญ-11 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากโปรแกรม ส่วนสตริงตัวที่สองจะคัดเลือกมาแบบสุ่ม สาเหตุที่ไม่ต้องการคัดเลือกสตริงตัวที่สองโดยอาศัยหลักการของวงล้อรูลเล็ทเนื่องจากต้องการลดโอกาสสตริงตัวที่มีค่า Fitness สูงถูกเลือกอยู่ตลอดเวลา (Takeover)

ตารางที่ ญ-11 การสร้างวงล้อรูลเล็ทของโปรแกรมกรณีใช้ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness	P_select	Cum_prob
1	1101000100-01100001101011	(836.000,6251.000)	2101.052632	0.123	0.123
2	0110010100-01110110110100	(404.000,7604.000)	1602.079208	0.094	0.217
3	0110000100-01011110111000	(388.000,6072.000)	1674.041237	0.098	0.315
4	0111011000-01110000101010	(472.000,7210.000)	2610.169492	0.153	0.467
5	1100111000-01100101011001	(824.000,6489.000)	636.291262	0.037	0.505
6	0110111100-01100000110100	(444.000,6196.000)	186.306306	0.011	0.516
7	1000001000-01110011011010	(520.000,7386.000)	3816.153846	0.223	0.739
8	1001011000-01101011110011	(600.000,6899.000)	1906.666667	0.112	0.850
9	1101011000-10101101111100	(856.000,11132.000)	2352.149533	0.138	0.988
10	1100110100-01100110001101	(820.000,6541.000)	203.902439	0.012	1.000

เมื่อได้สร้างตารางของวงล้อรูลเล็ทแล้วในขั้นตอนต่อไปก็เป็นการคัดเลือกสตริงที่จะไปทำการครอสโอเวอร์กันใน Mating pool ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ ญ-12 แสดงการคัดเลือกสตริงเข้า Mating pool ของโปรแกรมเมื่อใช้ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

สตริงที่	Fitness	P_select	Cummulative Prob.	ตัวเลขสุ่ม	สตริงที่ถูกเลือก
1	2101.052632	0.123	0.123	0.482	5
2	1602.079208	0.094	0.217	สุ่มเลือก	3
3	1674.041237	0.098	0.315	0.697	7
4	2610.169492	0.153	0.467	สุ่มเลือก	6
5	636.291262	0.037	0.505	0.311	3
6	186.306306	0.011	0.516	สุ่มเลือก	5
7	3816.153846	0.223	0.739	0.049	1
8	1906.666667	0.112	0.850	สุ่มเลือก	2
9	2352.149533	0.138	0.988	0.768	8
10	203.902439	0.012	1.000	สุ่มเลือก	4

จากตาราง ญ-4 ข้างต้น พบว่าโปรแกรมสามารถคัดเลือกสตริงตามค่าตัวเลขสุ่ม (Random number) ที่ได้สุ่มขึ้นมาได้อย่างถูกต้อง ในแถวที่ระบุว่า “สุ่มเลือก” นั้น หมายถึง สตริงที่ถูกคัดเลือกมาด้วยวิธีการสุ่มเลือกโดยไม่ได้อาศัยหลักการของวงล้อรูลเล็ทแต่อย่างใดตามเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น สตริงจะจับคู่กันได้ดังนี้

สตริงคู่ที่ 1 5-3
สตริงคู่ที่ 2 7-6
สตริงคู่ที่ 3 3-5
สตริงคู่ที่ 4 1-2
สตริงคู่ที่ 5 8-4

เมื่อคัดเลือกสตริงได้แล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการครอสโอเวอร์ โดยโปรแกรมจะดำเนินการตัดสินใจอีกครั้งหนึ่งว่าคู่ใดจะครอสโอเวอร์กัน โดยพิจารณาว่าค่าตัวเลขสุ่มของแต่ละคู่น้อยกว่าค่า Pc หรือไม่ หากน้อยกว่าก็จะดำเนินการครอสโอเวอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7 การครอสโอเวอร์

ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะสุ่มเลือกสตริงคำตอบมาทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากคู่ของสตริงคำตอบที่มีค่าตัวเลขสุ่ม r น้อยกว่า Pc คู่ใดที่ไม่ได้ดำเนินการครอสโอเวอร์ผลลัพธ์ก็จะได้สตริงรุ่นลูก (Children หรือ Offsprings) เป็นสตริงของรุ่นพ่อแม่ (Parents) เหมือนเดิม ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ ญ-13 แสดงผลลัพธ์การครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ต่างๆจากโปรแกรมกรณีใช้ปัญหาลดมูลค่าสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness	P_select	Cum_prob	Random1	Random2	(Parent1,Parent2)	x_site	Offspring	(x1,x2)	Fitness
1	1011101100-10110110010110	(748.000,11670.000)	821.176471	0.047	0.047	0.037	0.244	(1,8)	(10,10)	1011101100-10010110011011	(748.000,9627.000)	1173.176471
2	1110101000-10001110010000	(936.000,9104.000)	861.196581	0.050	0.097	0.037	0.244	(1,8)	(10,10)	1111010000-10110110010110	(976.000,11670.000)	183.934426
3	0111011100-10010010100111	(476.000,9383.000)	850.420168	0.049	0.146	0.703	0.245	(7,4)	(9,9)	0110110100-01111001110000	(436.000,7792.000)	484.403670
4	1000101100-01111001110000	(556.000,7792.000)	3969.179856	0.228	0.374	0.703	0.245	(7,4)	(9,9)	1000101100-01100001111101	(556.000,6269.000)	2891.179856
5	0101100100-10000010101001	(356.000,8361.000)	1665.325843	0.096	0.470	0.617	0.367	(7,1)	(16,16)	0110110100-01100010010110	(436.000,6294.000)	3432.403670
6	1001010000-10010010110111	(592.000,9399.000)	469.729730	0.027	0.497	0.617	0.367	(7,1)	(16,16)	1011101100-10110101111101	(748.000,11645.000)	1107.176471
7	0110110100-01100001111101	(436.000,6269.000)	3586.403670	0.206	0.703	0.873	0.958	(10,6)	(19,19)	1001001100-01100000010111	(588.000,6167.000)	3419.578231
8	1111010000-10010110011011	(976.000,9627.000)	469.934426	0.027	0.730	0.873	0.958	(10,6)	(19,19)	1001010000-10010010100000	(592.000,9376.000)	469.729730
9	0101111000-01111111000110	(376.000,8134.000)	1114.042553	0.064	0.794	0.154	0.485	(4,6)	(3,3)	1001010000-10010010110111	(592.000,9399.000)	469.729730
10	1001001100-01100000000000	(588.000,6144.000)	3573.578231	0.206	1.000	0.154	0.485	(4,6)	(3,3)	1000101100-01111001110000	(556.000,7792.000)	3969.179856

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ ญ-13 เราสามารถตรวจสอบความถูกต้องของการทำครอสโอเวอร์ด้วยการคำนวณด้วยมือได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง : แสดงการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1 คือ สตริง 1-8

สตริงที่ 1 : 101110110010110110010110
สตริงที่ 8 : 111101000010010110011011
ตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ : 10 (ซึ่งได้จากการสุ่มของโปรแกรม)

สตริงที่ 4 : 1011101100 ⤫ 10110110010110
สตริงที่ 7 : 1111010000 ⤫ 10010110011011

Offsprings#1 : 1011101100**10010110011011**
Offsprings#2 : 1111010000**10110110010110**

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการครอสโอเวอร์ด้วยมือให้ผลตรงกับการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมโดยผลของการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมให้ดูในคอลัมภ์ Offspring ของตาราง ญ-5 ส่วนสตริงคู่อื่นก็ดำเนินการครอสโอเวอร์ในขั้นตอนเดียวกัน และจากการทำครอสโอเวอร์ด้วยมือพบว่าได้ผลตรงกับการทำงานของโปรแกรมในทุกๆคู่ของสตริงที่เลือกมา ดังนั้น จึงถือได้ว่าการทำครอสโอเวอร์ของโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

1.8 การเก็บคำตอบที่ดีที่สุดหลังการครอสโอเวอร์

เมื่อได้ดำเนินการครอสโอเวอร์เสร็จเรียบร้อยและได้สตริงลูกครบตามจำนวน Pop_size แล้ว ในหลักการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมจะมีกลไกการรักษาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดให้ยังคงอยู่ในเจเนอเรชันต่อไปหลักการนี้ เรียกว่า Elite preserve strategy ซึ่งจะมีการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้จำนวนสามครั้ง ได้แก่ ภายหลังการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น ภายหลังการครอสโอเวอร์ และภายหลังการมิวเตชัน

ตารางที่ ญ-14 แสดงผลลัพธ์การเก็บคำตอบที่ดีที่สุดภายหลังการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมเมื่อใช้ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

>GENERATION# 0 >GENERATION# 1

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness	P_select	Cum_prob	Random1	Random2	(Parent1,Parent2)	x_site	Offspring	(x1,x2)	Fitness
1	0110110100-01111010101111	(436.000,7855.000)	4048.403670	0.196	0.196	0.194	0.155	(2,10)	(24,24)	1000111000-10001100101000	(568.000,9000.000)	464.788732
2	1100010100-10001001101010	(788.000,8810.000)	2345.289340	0.114	0.310	0.434	0.368	(4,5)	(8,8)	0111001000-01111010010110	(456.000,7830.000)	2817.929825
3	1001000100-10011101001100	(580.000,10060.000)	1805.517241	0.088	0.398	0.493	0.752	(4,3)	(4,4)	1101110000-10001101000011	(880.000,9027.000)	2898.000000
4	1011110100-01111100010010	(756.000,7954.000)	2535.005291	0.123	0.521	0.493	0.752	(4,3)	(4,4)	1100101000-10110010110000	(808.000,11440.000)	2330.039604
5	0111001000-10110110000111	(456.000,11655.000)	1057.929825	0.051	0.572	0.285	0.272	(2,1)	(3,3)	0111110000-10100111010001	(496.000,10705.000)	1031.161290
6	1101110000-10000100011000	(880.000,8472.000)	1226.000000	0.059	0.632	0.285	0.272	(2,1)	(3,3)	0101100100-01110111111110	(356.000,7678.000)	1379.325843
7	0101100100-10010111001010	(356.000,9674.000)	2105.325843	0.102	0.734	0.515	0.581	(4,3)	(5,5)	1011100100-10010001000000	(740.000,9280.000)	2135.783784
8	1111001100-10101010111101	(972.000,10941.000)	1839.670782	0.089	0.823	0.515	0.581	(4,3)	(5,5)	1001001100-01100001100000	(588.000,6240.000)	2979.578231
9	1000111000-10001100101000	(568.000,9000.000)	464.788732	0.023	0.846	0.059	0.958	(1,4)	(15,15)	0110111000-01111101001001	(440.000,8009.000)	3530.000000
10	1001001100-10010011001001	(588.000,9417.000)	3177.578231	0.154	1.000	0.059	0.958	(1,4)	(15,15)	1110010000-10011100100011	(912.000,10019.000)	957.964912

Gen#1 Min: 464.789, Max: 3530.000, Avg: 2052.457, Std: 1035.070

Elite solution : Fitness = 464.788732

: Chromosome = 1000111000-10001100101000

: (X1,X2) = (568.000000,9000.000000)

จากการวิเคราะห์ตารางที่ ญ-14 ข้างต้นนี้ พบว่าเมื่อเริ่มสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) หรือ ในผลลัพธ์ของโปรแกรมแสดงข้อความเป็น “Generation#0” บนแถวที่หนึ่งนั้น สตริงหมายเลข 9 ให้ค่า Fitness ที่ต่ำที่สุดซึ่งก็เป็น Initial Elite Solution นั่นเอง และเมื่อมีการคัดเลือกสตริงและครอสโอเวอร์เสร็จในเจเนอเรชันที่ 1 พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดยังคงอยู่ในเจเนอเรชันซึ่งสตริงที่ดีที่สุดในเจเนอเรชันที่ 1 คือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Elite solution : Fitness = 464.788732

: Chromosome = 1000111000-10001100101000

: (X1,X2) = (568.000000,9000.000000)

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่ากลไกการเก็บคำตอบที่ดีที่ภายหลังการครอสโอเวอร์ หรือ ที่เรียกว่า Post Crossover Elite Solution สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

1.9 การมิวเตชัน (Mutation)

การมิวเตชันเป็นกระบวนการในการปรับปรุงความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอีกวิธีหนึ่ง โดยหลักการทำงานของโปรแกรมจะดำเนินการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นสำหรับแต่ละบิตในแต่ละสตริง จะสังเกตได้ว่าการครอสโอเวอร์จะใช้ตัวเลขสุ่มในการตัดสินใจว่าสตริงคู่ที่ถูกคัดเลือกมานั้นจะครอสโอเวอร์กันหรือไม่ (เป็นการกระทำในระดับของโครโมโซม) แต่ในการมิวเตชันจะใช้ตัวเลขสุ่มในการตัดสินใจว่าบิต (ซึ่งเป็นส่วนเล็กที่สุดของโครโมโซม) จะมีการเปลี่ยนแปลงบิตหรือไม่ การมิวเตชันมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แต่ในงานวิจัยนี้ได้เสนอไว้เพียงวิธีเดียวคือ การสลับบิตจาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ดังผลการทำงานของโปรแกรมดังต่อไปนี้

ตารางที่ ญ-15 แสดงชุดของสตริงก่อนการมิวเตชันซึ่งเป็นผลลัพธ์จากโปรแกรมสำหรับกรณีใช้ปัญหาลดการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

Pop#	String	(x1,x2)	Fitness
1	1101001000-01101100101111	(840.000,6959.000)	3737.904762
2	0101000000-01101111111011	(320.000,7163.000)	3135.000000
3	1010110100-01111101010110	(692.000,8022.000)	1511.895954
4	1101110000-10111011011010	(880.000,11994.000)	940.000000
5	0111011000-10000011100000	(472.000,8416.000)	696.169492
6	1100111000-10101111011111	(824.000,11231.000)	1076.291262
7	0110001100-10000100111100	(396.000,8508.000)	1641.555556
8	1000111000-01101110111100	(568.000,7100.000)	2840.788732
9	0101000100-10110001000110	(324.000,11334.000)	899.012346
10	1001011100-10011001011111	(604.000,9823.000)	2685.602649

Min: 696.169, Max: 3737.905, Avg: 1916.422, Std: 1088.902

Elite solution : Fitness = 696.169492

: Chromosome = 0111011000-10000011100000

: (X1,X2) = (472.000000,8416.000000)

ตารางที่ ญ-16 แสดงชุดของสตริงภายหลังการทำมิวเตชันของชุดสตริงในตารางที่ ญ-15

Pop#	(Parent1,Parent2)	x_site	Offspring	(x1,x2)	Fitness
1	(2,10)	(24,24)	1100000100-10110010001001	(472.000,8416.000)	696.169491
2	(2,10)	(24,24)	0101110100-01111010001010	(372.000,7818.000)	3046.881720
3	(6,1)	(24,24)	1011000000-10110001011100	(704.000,11356.000)	2495.000000
4	(6,1)	(24,24)	0100110100-10111000101111	(308.000,11823.000)	1928.285714
5	(10,3)	(24,24)	1001001100-10100110011110	(588.000,10654.000)	2605.578231
6	(10,3)	(24,24)	0110111100-10010011011111	(444.000,9439.000)	1946.306306
7	(1,2)	(24,24)	1111011000-10011100001001	(984.000,9993.000)	2941.918699
8	(1,2)	(24,24)	0110110100-10011011001101	(436.000,9933.000)	1430.403670
9	(2,1)	(24,24)	1101001100-10000011100010	(844.000,8418.000)	181.421801
10	(2,1)	(24,24)	1100000100-10110010001001	(772.000,11401.000)	1188.911917

Gen#1 Min: 181.422, Max: 20000.000, Avg: 3776.471, Std: 5767.090

Elite solution : Fitness = 181.421801

: Chromosome = 1101001100-10000011100010

: (X1,X2) = (844.000000,8418.000000)

จากตารางที่ ญ-16 ข้างต้นนี้ จะสังเกตเห็นว่าจุดที่สตริงจะทำการครอสโอเวอร์กัน (X_Site) จะมีค่าเท่ากับ 24 ซึ่งเท่ากับค่าความยาวของสตริง (Chromosome Length) พอดี ซึ่งหมายความว่า จะไม่เกิดการครอสโอเวอร์กัน กล่าวคือ สตริงพ่อแม่ที่ถูกเลือกมาจากเจเนอเรชันก่อนหน้าจะกลายเป็นสตริงลูกในเจนเนอเรชันต่อไป ที่เป็นเช่นนี้เพราะในหัวข้อนี้ผู้วิจัยต้องการทดสอบการทำงานของการทำมิวเตชันเพียงอย่างเดียวจึงได้กำหนดให้ Pc = 0 และ ใช้ Pm = 0.5 แต่ยังคงใช้ Elite Preserve Strategy ซึ่งจากการวิเคราะห์ตารางดังกล่าวพบว่า ทุกสตริงจะไม่มีการครอสโอเวอร์แต่สตริงที่เกิดขึ้น (Offspring) จะแตกต่างจากสตริงในตารางที่ ญ-7 ทั้งนี้เนื่องจากว่ากระบวนการมิวเตชันได้เปลี่ยนแปลงบิตของสตริงจาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ดังตัวอย่างดังนี้ คือ

ก่อนการมิวเตชัน สตริงที่ 2 0101000000-01101111111011

ภายหลังการมิวเตชัน สตริงที่ 2 1100000100-10110010001001

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ บิตที่เป็นตัวหนา คือ บิตที่ถูกมิวเตท (Mutated) แล้ว เนื่องจากในที่นี้ได้ใช้ Pm = 0.5 และ สตริงมีความยาวทั้งหมดเป็น 24 ดังนั้น โอกาสโดยเฉลี่ยที่บิตในแต่ละ

โครโมโซมจะถูกมิวเตทเท่ากับ 0.5x24 = 12 บิต และจากการนับจำนวนบิตที่ถูกมิวเตทของสตริงที่ 2 ในตัวอย่างข้างตนนี้พบว่ามีจำนวนบิตที่ถูกมิวเตทเท่ากับ 12 ซึ่งเท่ากับค่าเฉลี่ยดังกล่าว

ดังนั้น จึงยอมรับได้ว่าโปรแกรมมีการมิวเตทได้อย่างถูกต้องตามความน่าจะเป็นในการเกิดมิวเตชัน (Pm)

1.10 การเก็บคำตอบที่ดีที่สุดหลังการมิวเตชัน

จากการพิจารณาตารางที่ ญ-15 พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดก่อนการเกิดมิวเตชัน (โดยไม่มีการครอสโอเวอร์) คือ

Elite solution : Fitness = 696.169492
: Chromosome = 0111011000-10000011100000
: (X1,X2) = (472.000000,8416.000000)

แต่เมื่อสตริงผ่านการมิวเตชันแล้วพบว่าคำตอบที่ได้ดีขึ้น และโปรแกรมยังสามารถเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้เมื่อมิวเตชันเสร็จได้ ดังท้ายตาราง ญ-16 คือ

Elite solution : Fitness = 181.421801
: Chromosome = 1101001100-10000011100010
: (X1,X2) = (844.000000,8418.000000)

ดังนั้น จึงถือได้โปรแกรมมีการเก็บคำตอบที่ดีทีสุดภายหลังการมิวเตชันได้

2) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด (Convergence)

เนื่องจากปัญหาทดสอบที่ 2 นี้เป็นปัญหาที่สมมติขึ้นเพื่อทดสอบความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรม ดังนั้น การทดสอบการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรมซึ่งจำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์ของ GAs ด้วย โดยในทางปฏิบัติแล้วจะต้องมีการหาพารามิเตอร์ของเจเนติกอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับแต่ละปัญหา แต่เนื่องจากปัญหานี้เป็น

ปัญหาสมมติ ดังนั้น ในที่นี้จึงกำหนดพารามิเตอร์ด้วยการสุ่มจากคอมพิวเตอร์โดยไม่ได้ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (DOE) แต่อย่างใด

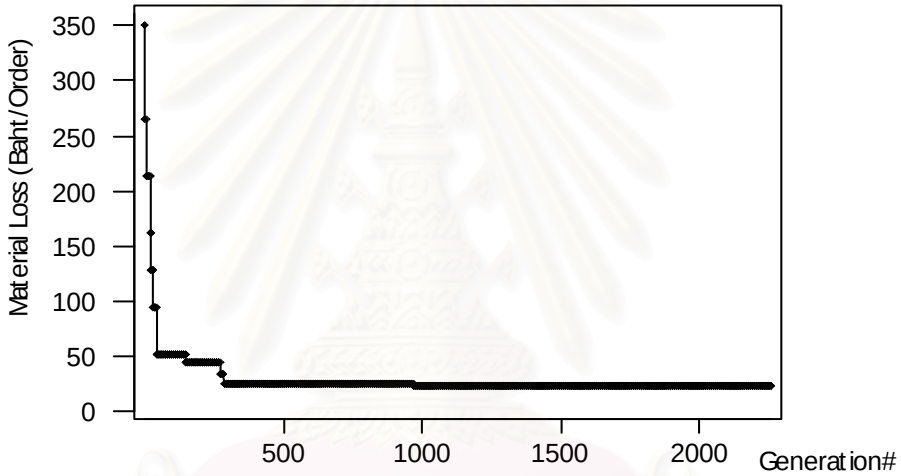
Max.Generation : 2256

Population size : 10

Pc : 0.843

Pm : 0.114

Crossover type : 2-Point



รูปที่ ญ-6 แสดงกราฟการลู่เข้าหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึมเมื่อใช้ปัญหาลดมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบเป็นปัญหาทดสอบ

จากการพิจารณารูปที่ ญ-6 พบว่าผลลัพธ์จากโปรแกรมมีการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักการของเจเนติกอัลกอริทึม ดังนั้น จึงถือว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ถูกต้อง

3) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้

เนื่องจากปัญหาทดสอบที่ 2 นี้เป็นปัญหาสมมติ ดังนั้น จึงไม่ทราบคำตอบที่ดีที่สุด (Global optima) จริงๆ แต่จากการรันโปรแกรมจนถึงจำนวนเจเนอเรชันสูงสุดตามข้อที่ 2) ข้างต้นทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ (ที่โปรแกรมค้นหาพบ) ดังนี้

```
### SOLUTION REPORT ###
>Solution string (from Elitist): 1011100100-10100001110111
  >x1 or PAD per strip(In case of lot size design): 740
  >x2 or Lot size(In case of lot size design): 10359
  >Total Loss: or Objfunction(740 , 10359) = 23.7837837837838 Baht
  >Strips/lot : 13.9986486486486 Strips.
  >Magazine utilization : 34.9966216216216 %, when 1 Mag = 40 strips.

### COMPUTING INFORMATION ###
>Start computing : 2:38:55.720
>Finish computing : 2:39:26.750
>Total time consumed : 0:0:31:30 in  [Hr:Min:Sec:MSec] units
>Duration till the solution found : 0:0:10:770 in  [Hr:Min:Sec:MSec] units
>Solution found at Gen# 968
>Total crossover :  9404  Counted in pairs of chromosomes
>Total mutation :  61748  Counted in bits changed
>Total Objective function called :  67716
```

รูปที่ ญ-7 แสดงคำตอบที่มีมูลค่าการสูญเสียวัตถุดิบต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ที่โปรแกรมหาได้

จากการพิจารณาคำตอบที่ได้ คือ จำนวนแพดต่อสตริปเท่ากับ 740 แพด ซึ่งอยู่ในช่วง [300,1000] ที่กำหนด และ ขนาดล็อตในการผลิตเท่ากับ 10359 ได/ล็อต ซึ่งอยู่ในช่วง [6000,12000] ที่กำหนด ดังนั้น จึงถือได้ว่าโปรแกรมสามารถหาคำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสฤษดิ์ วรวิบูล เกิดเมื่อวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2519 ที่อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อปี พ.ศ. 2540 จากนั้นได้เข้าทำงานที่บริษัทเอ็นเอสอีเลคทรอนิกส์ (1993) จำกัด ในปีเดียวกัน และในปี พ.ศ.2544 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย