บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และการอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองในการนำ GA ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาคอนเทนเนอร์ โดยเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างขนาด 100, 500 และ 1000 กล่อง ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ และทำการอภิปรายผล ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ทำการศึกษาและทดสอบเพื่อกรองหาปัจจัยที่มีผลกระทบ (Screening experiment) ต่อการทำงานของ GA เกี่ยวกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Population size, Number of generations, Probabilities of crossover and mutation) และกระบวนการทางพันธุกรรม (Crossover and mutation operations) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และกระบวนการทางพันธุกรรมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปใช้กำหนดค่าให้กับการทดลองชุดอื่นๆ ต่อไป โดยในส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการจัดเรียงได้กำหนดส่วนต่างๆดังนี้ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเรียงกล่องเลือกแบบ Guillotine cutting approach, เลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 1 เส้นแกน (1 Axis) (ใช้รูปแบบการวางตัวของกล่องแบบที่ 1) และใช้ GA ในการช่วยหาคำตอบทั้งหมด (GA random arrange)

การทดลองที่ 2 ทำการทดสอบและศึกษาถึงผลตอบสนองจากการใช้วิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism) ที่ต่างกันทั้ง 4 แบบได้แก่ การคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel selection: RWS), รูปแบบการคัดสรรด้วยการสุ่มอย่างทั่วถึง (Stochastic universal sampling: SUS), การคัดสรรด้วยการแข่งขัน (Tournament selection: TOS) และการคัดสรรด้วยการรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดี (Elitist selection: ES) และหาข้อสรุปของการเลือกใช้วิธีการคัดสรรที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการคัดสรรที่เหมาะสมจากการทดลองนี้จะนำไปใช้ในการทดลองชุดอื่นๆต่อไป โดยในการทดลองที่ 2 นี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และกระบวนการทางพันธุกรรมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 และในส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการจัดเรียงนั้นได้กำหนดส่วนต่างๆเหมือนกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 3 ศึกษาและทดสอบหารูปแบบการวางตัวของกล่องที่เหมาะสมทั้ง 6 แบบ (ดูภาพ 21) โดยในการทดลองนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กระบวนการ GA และวิธีการคัดสรรที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 ในส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการ

จัดเรียงนั้นได้กำหนดส่วนต่างๆดังนี้ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเรียงกล่องเลือกแบบ Guillotine cutting approach, ใช้ GA ในการช่วยหาคำตอบทั้งหมด (GA random arrange) และเลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 1 เส้นแกน (1 Axis) (ใช้รูปแบบการวางตัวของกล่องทั้ง 6 แบบมาทดสอบ)

การทดลองที่ 4 ศึกษาและทดสอบวิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่อง (Sequencing and arrangement: S&A) 2 วิธี คือ วิธีการใช้ GA เพียงอย่างเดียว (GA random arrange: GAR) กับ วิธีการใช้ GA บวกวิธีการหารูปแบบการวางตัวของกล่องที่ปรับปรุงขึ้นโดยผู้วิจัย (GA smart arrange: GAS) และฮิวริสติกในการจัดเรียงกล่อง (Heuristic for arrangement: HA) 2 รูปแบบ คือแบบ Guillotine cutting approach กับแบบ Wall-building approach โดยในการทดลองนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กระบวนการ GA และวิธีการคัดสรรที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 และเลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 3 เส้นแกน (3 Axis) มาทดสอบ

การทดลองที่ 5 เพื่อเปรียบเทียบและหาข้อสรุปของการใช้ GA แบบพื้นฐาน (Simple genetic algorithm: SGA) และ GA แบบที่ปรับปรุงขึ้น (Modified genetic algorithm: MGA) ในเชิงประสิทธิภาพ และเวลา โดยการกำหนดปัจจัยต่างๆจะกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา และทดสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม เกี่ยวกับการจัดเรียงกล่องที่เป็นเจ้าของเดียวกันให้อยู่ในคอนเทนเนอร์เดียวกัน

1. การทดลองที่ 1

ทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ และกระบวนการทางพันธุกรรม ของ GA ที่เหมาะสมประกอบด้วย ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Combination of population size/Number of generations: P/G), ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ (Probability of crossover: %C), ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability of mutation: %M), วิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover operators: COP) และวิธีการกลายพันธุ์ (Mutation operators: MOP) ซึ่งจะทดสอบกับปัญหาขนาด 100 กล่อง และใช้การคัดสรรแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel selection) การทดลองมีการทำซ้ำ (Replications) 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random seed) ที่ต่างกัน ดังนั้นหมายเลขในการสุ่มจึงจัดเป็นปัจจัยรบกวนในกระบวนการสุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของ GA (Pongcharoen et al., 2002) ด้วยเหตุนี้ Seed จึงถูกรวมเข้าไปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะนำมาทำการพิจารณาด้วย ในส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการจัดเรียงได้กำหนดส่วนต่างๆดังนี้ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเรียงกล่องเลือกแบบ Guillotine cutting approach, เลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 1 เส้นแกน (1 Axis) (ใช้รูปแบบการวางตัวของกล่องแบบที่ 1) และใช้ GA ในการช่วยหาคำตอบทั้งหมด (GA random arrange)

ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองที่ 1 แสดงในตาราง 12 (จากนี้จะเขียนทับศัพท์คำว่า ครอสโอเวอร์ แทน การสลับสายพันธุ์ และมิวเตชั่น แทน การกลายพันธุ์)

ตาราง 12 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลองที่ 1

ปัจจัย (Factors)	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)		
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (P/G)	3	100/400	200/200	400/100
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C)	3	0.1	0.5	0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M)	3	0.05	0.1	0.15
วิธีการครอสโอเวอร์ (COP)	9	ดูตาราง 13		
วิธีการมิวเตชั่น (MOP)	9	ดูตาราง 13		

ตาราง 13 แสดงวิธีการครอสโอเวอร์ และวิธีการมิวเตชั่น ที่นำมาพิจารณาในการทดลองที่ 1

Crossover operators	Mutation operators
Enhanced edge recombination crossover (EERX)	Enhanced two operations random swap (E2ORS)
Edge recombination crossover (ERX)	Center inverse mutation (CIM)
Cycling crossover (CX)	Shift operation mutation (SOM)
Position based crossover (PBX)	Two operations adjacent swap (2OAS)
One point crossover (1PX)	Two operations random swap (2ORS)
Partially mapped crossover (PMX)	Inversion mutation (IM)
Maximal preservation crossover (MPX)	Three operations random swap (3ORS)
Ordered crossover (OX)	Three operations adjacent swap (3OAS)
Two point center crossover (2PCX)	Two edge inverse mutation (2EIM)

จากตาราง 12 ปัจจัยที่นำมาศึกษาและทดสอบในการทดลองนี้มีทั้งหมด 5 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (P/G) กำหนดให้ขนาดของโครโมโซมรวมมีจำนวนเท่ากัน คือ 40,000 โครโมโซม แบ่งเป็น 3 ระดับคือ 100/400, 200/200 และ 400/100 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 2 ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C) ได้กำหนดค่าเพื่อให้เกิดความครอบคลุม ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ 0.1, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 3 ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M) ได้กำหนดค่าเพื่อให้เกิดความครอบคลุม ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ 0.05, 0.1 และ 0.15 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 4 วิธีการครอสโอเวอร์ (COP) ได้นำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาคอนเทนเนอร์ทั้งหมด 9 วิธี ซึ่งจะทำการศึกษาหมดทั้ง 9 วิธี ดังตาราง 13

ปัจจัยที่ 5 วิธีการมิวเตชั่น (MOP) ได้นำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาคอนเทนเนอร์ทั้งหมด 9 วิธี ซึ่งจะทำการศึกษาหมดทั้ง 9 วิธี ดังตาราง 13

จากปัจจัยและระดับของการทดลองที่1 (ดูตาราง 12) ถ้าใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลสมบูรณ์ (Full factorial design: FFD) จะต้องรันการทดลองทั้งสิ้น 3 × 3 × 3 × 9 × 9 เท่ากับ 2,187 รัน โดยทำการทดลองซ้ำ (Replications) ทั้งหมด 5 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการรันทดสอบทั้งหมดจึงเป็น 10,935 รัน ซึ่งจะมีระยะเวลาในการรันทดสอบนานมาก ฉนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มี

การออกแบบการทดลองเพื่อลดระยะเวลาในการรันให้สั้นลง โดยการทดลองนี้ใช้การออกแบบเศษหนึ่งส่วนสามเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (The one-third fraction of the 3^k factorial design) ฝัง (Embed) ไว้ในการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ (Latin squares) ซึ่งจะทำให้เหลือการรันเพียง 9 × 9 เท่ากับ 81 รันต่อ 1 เรพลิเคต (Replicate) ทำการทดลองทั้งหมด 5 เรพลิเคต ดังนั้นจำนวนการรันทดสอบทั้งหมดจึงเหลือเพียง 405 รัน เรียกการออกแบบการทดลองนี้ว่า The one-third fraction of the 3^3 factorial design embedded within 9 × 9 Latin squares สามารถแบ่งวิธีการออกแบบการทดลองนี้ออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นแรกจะเป็นการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^{3-1} (the one-third fraction of the 3^3 factorial design) โดยนำปัจจัยที่มี 3 ระดับจากตาราง 12 ซึ่งมีอยู่ 3 ปัจจัยคือ ขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (P/G), ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M) มาพิจารณา และระดับทั้งสามจะกำหนดให้เป็น ต่ำ (-1), กลาง (0) และสูง (1) โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ u = 0 จากตาราง 5 และกำหนดให้ปัจจัย P/G, %C และ %M เป็นปัจจัยที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และแทนรันทั้ง 9 ด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ ตั้งแต่ A ถึง I แสดงการออกแบบได้ดังตาราง 14

ตาราง 14 แสดงการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^{3-1} (the one-third fraction of the 3^3 factorial design)

รูปแบบ	P/G	%C	%M
A	100/400	0.1	0.05
B	100/400	0.5	0.15
C	100/400	0.9	0.1
D	200/200	0.1	0.1
E	200/200	0.5	0.05
F	200/200	0.9	0.15
G	400/100	0.1	0.15
H	400/100	0.5	0.1
I	400/100	0.9	0.05

ขั้นที่สองจะเป็นการออกแบบ 9 × 9 Latin squares (ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อย่อย 3.1.6) ที่ฝังการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^{3-1} ไว้เรียบร้อยแล้ว โดยนำปัจจัยที่มี 9 ระดับจากตาราง 12 ซึ่งมีอยู่ 2 ปัจจัยคือ วิธีการครอสโอเวอร์ (COP) และวิธีการมิวเตชั่น (MOP) มาสร้างตาราง 9 × 9 Latin squares โดยกำหนดให้แต่ละสดมภ์แทน วิธีการครอสโอเวอร์ (COP) ในรูปแบบต่างๆ และแต่ละแถวแทน วิธีการมิวเตชั่น (MOP) ในรูปแบบต่างๆ จากนั้นนำอักษร A ถึง I จากตาราง 14 มากำหนดลงในตาราง 9 × 9 Latin squares ที่สร้างไว้ แสดงการออกแบบดังตาราง 15

ตาราง 15 แสดงการออกแบบ 9 × 9 Latin squares ที่ฝังการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^{3-1} (The one-third fraction of the 3^3 factorial design embedded within 9 × 9 Latin squares)

Design	CX	EERX	MPX	1PX	OX	PBX	PMX	2PCX	ERX
2OAS	A	I	H	G	F	E	D	C	B
3OAS	B	A	I	H	G	F	E	D	C
2ORS	C	B	A	I	H	G	F	E	D
3ORS	D	C	B	A	I	H	G	F	E
IM	E	D	C	B	A	I	H	G	F
SOM	F	E	D	C	B	A	I	H	G
CIM	G	F	E	D	C	B	A	I	H
E2ORS	H	G	F	E	D	C	B	A	I
2EIM	I	H	G	F	E	D	C	B	A

การออกแบบการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้นนี้ มีนักวิจัยบางท่านได้เคยนำมาประยุกต์ใช้ก่อนหน้านี้แล้วเช่น งานวิจัยของ Pongcharoen et al. (2001) ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ไว้โดยใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^{3-1} (The one-half fractional of the 2^3 design) ฝังไว้ในการออกแบบการทดลองแบบ Half Latin square เป็นต้น

ผลการทดลองที่ 1

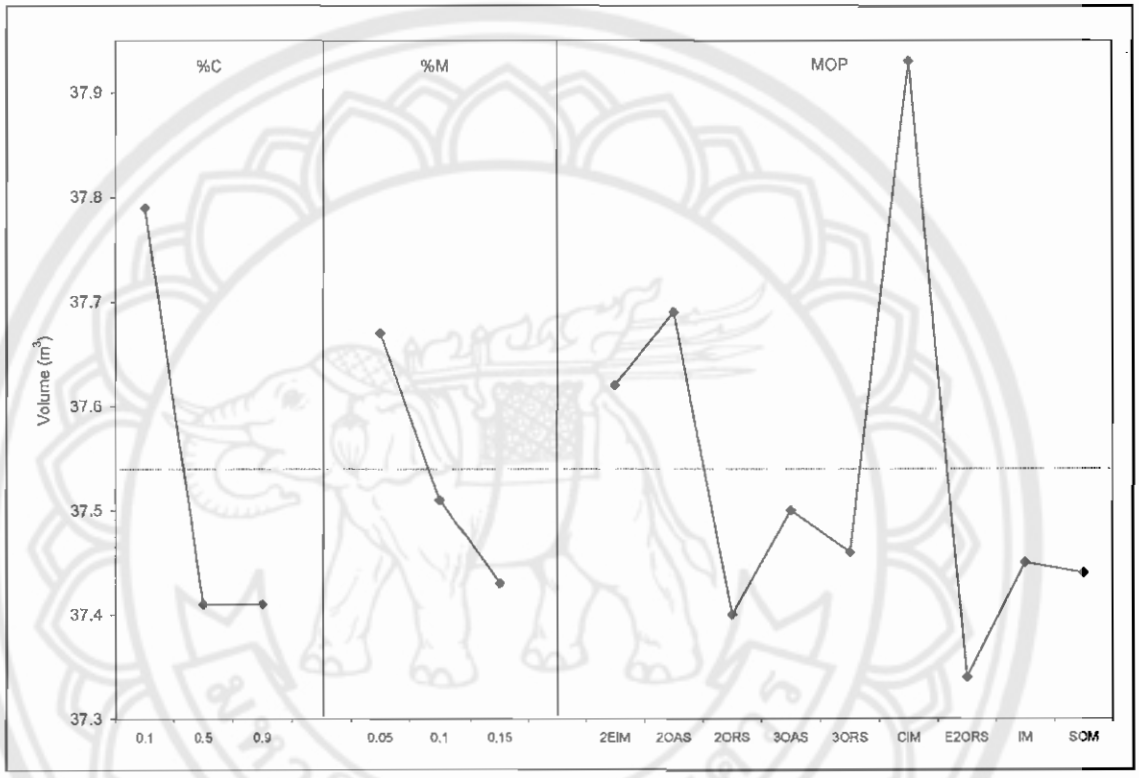
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ 2 โปรแกรมร่วมกัน คือ โปรแกรม Minitab 13.20 และ SPSS 11.5.0 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA: General linear model) โดยพิจารณาให้ผลเฉลยดีที่สุดที่พบ (ปริมาตรของคอนเทนเนอร์ที่ใช้ไปน้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม ซึ่งในการวิเคราะห์ผลของการทดลองที่ 1 นี้จะมีการพิจารณาแค่ผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main factors) ทั้ง 6 ปัจจัยเท่านั้น โดยจะไม่มีการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กันระหว่างปัจจัย ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบการทดลองในลักษณะนี้จะทำให้ไม่มีองศาแห่งความอิสระ (Degree of freedom: DF) เพียงพอต่อการคำนวณ (Draper & Smith, 1966) แสดงผลการทดลองดังตาราง 16

ตาราง 16 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่ 1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
P/G	2	1.271	.635	1.820	.163
%C	2	13.191	6.596	18.893	.000
%M	2	3.814	1.907	5.463	.005
COP	8	3.430	.429	1.228	.281
MOP	8	12.004	1.501	4.298	.000
Seed	4	2.472	.618	1.770	.134
Error	378	131.961	.349		
Total	404	168.143			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่แสดงในตาราง 16 เมื่อพิจารณาจากค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัยพบว่า ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C), ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M) และวิธีการมิวเตชั่น (MOP) มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาคอนเทนเนอร์ ส่วนขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (P/G), วิธีการครอสโอเวอร์ (COP) และหมายเลขในการสุ่ม (Seed) นั้นพบว่า P มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

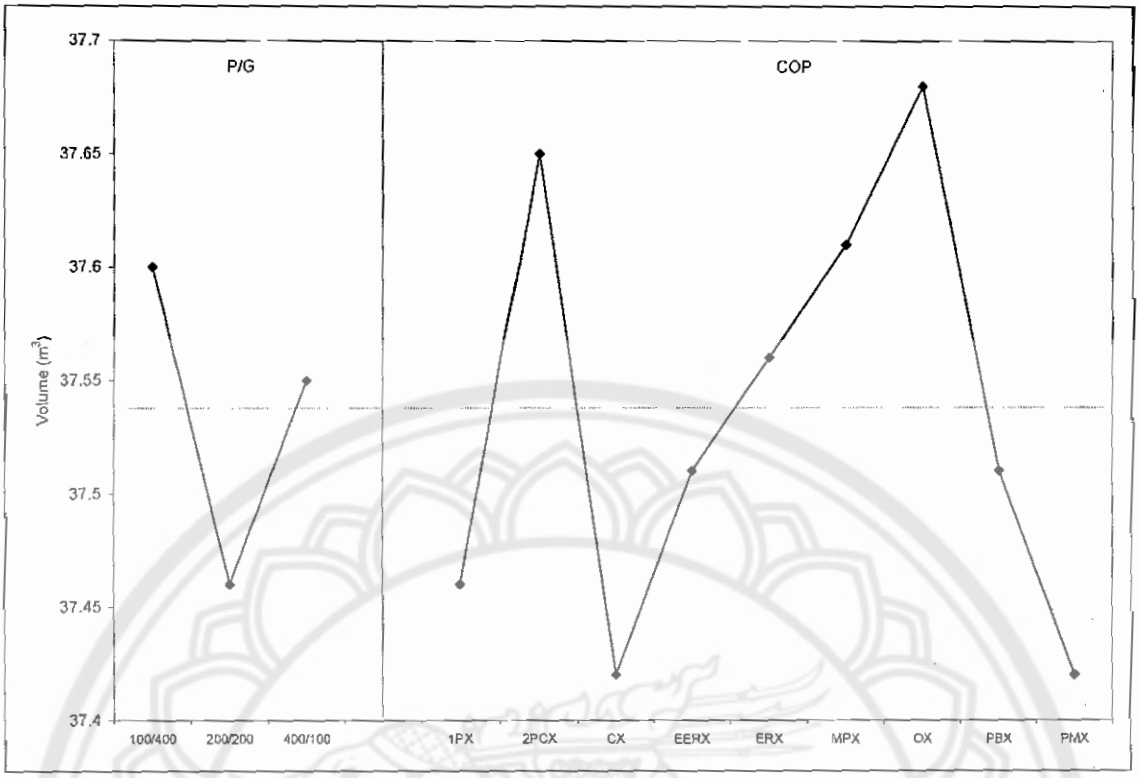
เพื่อช่วยให้ทราบถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนั้นๆ ที่ทำการศึกษา ดังนั้นจึงต้องมีการทำกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้แก่ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C), ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M) และวิธีการมิวเตชั่น (MOP) แสดงได้ดังภาพ 53



ภาพ 53 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากภาพ 53 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C) ที่ระดับกลาง คือ 0.5, กำหนดความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M) ที่ระดับสูง คือ 0.15 และการกำหนดวิธีการมิวเตชั่น (MOP) แบบ Enhanced two operations random swap (E2ORS) เป็นการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดในช่วงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น ถึงแม้ว่าปัจจัยหลักบางตัวจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ในทางปฏิบัติก็จำเป็นที่จะต้องเลือกกำหนดค่าที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของผลเฉลยดีที่สุด โดยสามารถดูได้จากกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) ซึ่งปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในที่นี้ได้แก่ ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (P/G) และวิธีการครอสโอเวอร์ (COP) แสดงได้ดังภาพ 54

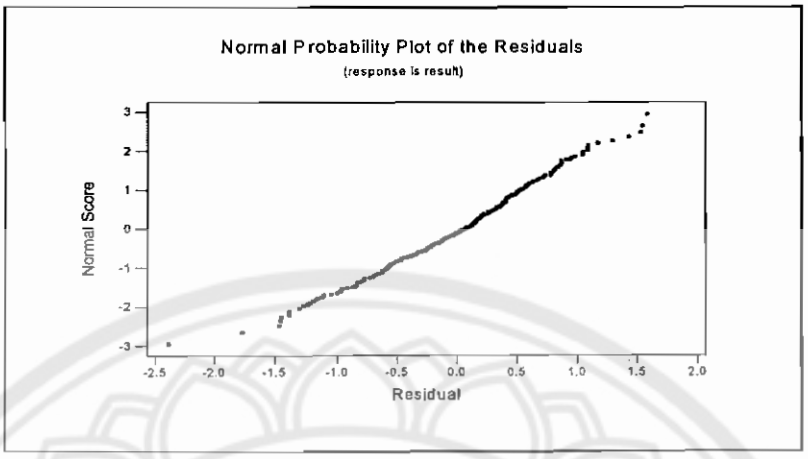


ภาพ 54 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

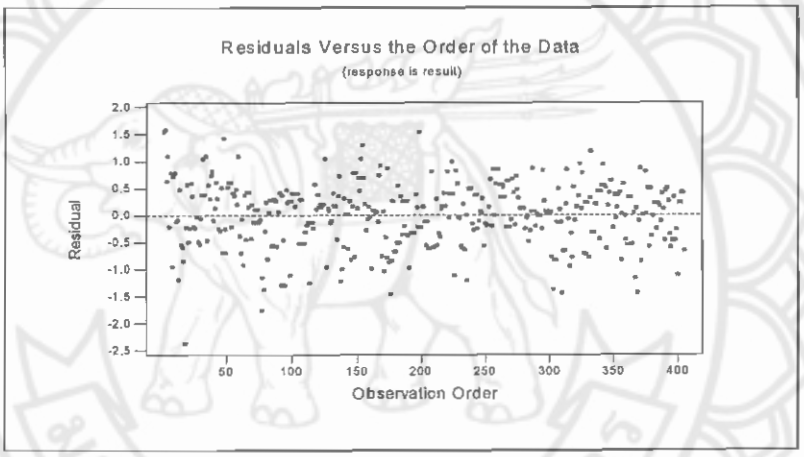
จากภาพ 54 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (P/G) ที่ระดับกลาง คือ 200/200 และการกำหนดวิธีการครอสโอเวอร์ (COP) แบบ Cycling crossover (CX) นั้นเป็นการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดในช่วงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

เนื่องจากปัจจัยที่ทำการศึกษาบางปัจจัยมีผลกระทบต่อค่าคำตอบ และระดับของปัจจัยนั้นมีมากกว่า 2 ระดับ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระดับปัจจัยกลุ่มใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติโดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Duncan วิเคราะห์ผล และแสดงการวิเคราะห์ผลไว้ในภาคผนวก ข

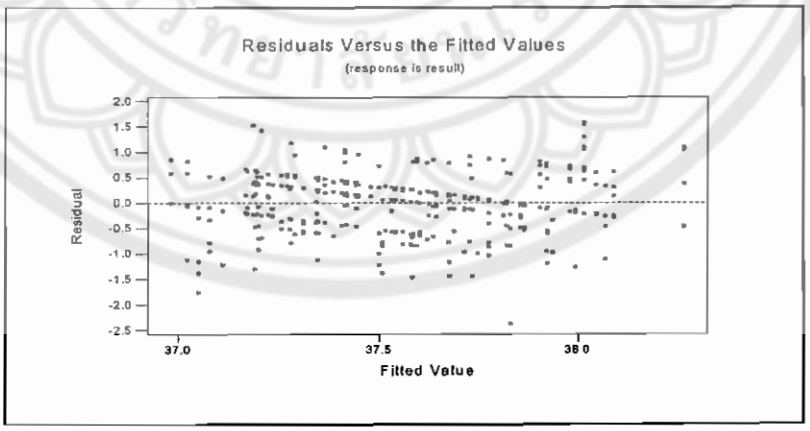
การนำผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้นั้น จำเป็นจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานก่อน (ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อย่อย 3.2.2) โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งจะตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ โดยกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals), ตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ โดยกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) และตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว โดยกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) แสดงได้ดังภาพ 55



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 55 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis)

ภาพ 55 (ก) แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals) พบว่ากราฟที่ได้มามีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ ดังนั้นการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติ

ภาพ 55 (ข) แสดงกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) พบว่ากราฟที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงไม่มีการละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ

ภาพ 55 (ค) แสดงกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) พบว่าความแปรปรวนค่อนข้างคงที่ และกราฟที่ได้นั้นไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว

ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานทั้ง 3 ข้อไม่พบว่ามีการละเมิดสมมติฐานข้อใด ดังนั้นแบบจำลองทางสถิติและสมมติฐานจึงมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ โดยตาราง 17 จะเป็นการสรุปการกำหนดค่าพารามิเตอร์และกระบวนการของ GA ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาคอนเทนเนอร์ และค่าดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองอื่นๆต่อไป

ตาราง 17 แสดงค่าพารามิเตอร์และกระบวนการของ GA ที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์ และกระบวนการ GA	ค่าที่เหมาะสมที่สุด
ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (P/G)	200/200
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C)	0.5
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M)	0.15
วิธีการครอสโอเวอร์ (COP)	CX
วิธีการมิวเตชั่น (MOP)	E2ORS

อย่างไรก็ดี เมื่อเปรียบเทียบผลสรุปที่ได้จากการทดลองนี้กับผลที่ได้ในงานวิจัยอื่นๆ พบว่า มีบางส่วนที่ให้ค่าตรงกันและบางส่วนก็มีความแตกต่างกันพอสมควร โดย Aytug et al. (2003) ได้กล่าวเอาไว้ในงานวิจัยของเขาว่า การกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ต่างๆ ของ GA นั้นอาจจะมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละลักษณะของปัญหาที่เปลี่ยนไปได้ ดังนั้นก่อนที่จะทำการทดลองปัญหาใดๆ จึงควรที่จะศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆ ก่อน

2. การทดลองที่ 2

ทดสอบและศึกษาเพื่อหาข้อสรุปถึงผลกระทบจากการเลือกใช้วิธีการคัดสรรโครโมโซมเพื่อผ่านไปในรุ่นถัดไป (Selection mechanism) ที่ต่างกันทั้ง 4 แบบ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อยดังนี้

การทดลอง 2.1 ทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมในการเก็บโครโมโซมชนชั้นดี (Elitist probability: %E) ของ Elitist selection หลังจากได้ Elitist probability แล้วจึงทดลองในขั้นต่อไป

การทดลอง 2.2 ทดสอบเพื่อหาข้อสรุปถึงผลกระทบจากการเลือกใช้วิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism) ที่ต่างกันทั้ง 4 แบบได้แก่ การคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel selection: RWS), รูปแบบการคัดสรรด้วยการสุ่มอย่างทั่วถึง (Stochastic universal sampling: SUS), การคัดสรรด้วยการแข่งขัน (Tournament selection: TOS) และการคัดสรรด้วยการรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดี (Elitist selection: ES) ที่ได้ %E ที่เหมาะสมแล้วจากการทดลอง 2.1

การทดลองที่ 2 นี้จะทำการทดสอบกับปัญหาขนาด 100 กล่อง ส่วนค่าพารามิเตอร์ และกระบวนการของ GA ที่ใช้ในการทดลอง 2.1 และ 2.2 จะกำหนดค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 ตามตาราง 17 ในส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการจัดเรียงได้กำหนดส่วนต่างๆดังนี้ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเรียงกล่องเลือกแบบ Guillotine cutting approach, เลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 1 เส้นแกน (1 Axis) (ใช้รูปแบบการวางตัวของกล่องแบบที่ 1) และใช้ GA ในการช่วยหาคำตอบทั้งหมด (GA random arrange)

2.1 การทดลองที่ 2.1

ทดสอบเพื่อกำหนดหาเปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมชนชั้นดีเทียบต่อขนาดของประชากร (Elitist probability: %E) ที่เหมาะสมที่สุด การทดลองนี้ได้กำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษาและทดสอบเพียงปัจจัยเดียว คือ เปอร์เซ็นต์การเก็บโครโมโซมชนชั้นดี (%E) การทดลองมีการทำซ้ำ (Replications) 20 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random seed) ที่ต่างกัน ดังนั้น Seed จึงถูกรวมเข้าไปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะนำมาทำการพิจารณาด้วย ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง 2.1 แสดงในตาราง 18

ตาราง 18 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง 2.1

ปัจจัย (Factors)	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)
เปอร์เซ็นต์การเก็บโครโมโซมชนชั้นดี (%E)	5	1%, 25%, 50%, 75% และ 100%

จากตาราง 18 กำหนดระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษาและทดสอบเป็น 5 ระดับดังนี้ ระดับที่ 1 กำหนด %E ที่ 1%, ระดับที่ 2 กำหนด %E ที่ 25%, ระดับที่ 3 กำหนด %E ที่ 50%,ระดับที่ 4 กำหนด %E ที่ 75% และระดับที่ 5 กำหนด %E ที่ 100% ซึ่งหมายถึง ในแต่ละรุ่น จะมีการคัดสรรด้วยการรักษาโครโมโซมชนชั้นดีเป็นจำนวนที่ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมพันธุ์ดี (%E) เทียบต่อขนาดของประชากร (%E ×*Pops*) (ดูรายละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.4 ขั้นตอนที่ 4 การคัดสรร)

จากปัจจัยและระดับของการทดลอง 2.1 (ดูตาราง 18) ทำการศึกษาเพียงปัจจัยเดียว และมีระดับของปัจจัย 5 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ (Replications) ทั้งหมด 20 ครั้ง ดังนั้นจึงต้องรันการทดลองทั้งสิ้น 20 × 5 เท่ากับ 100 รัน

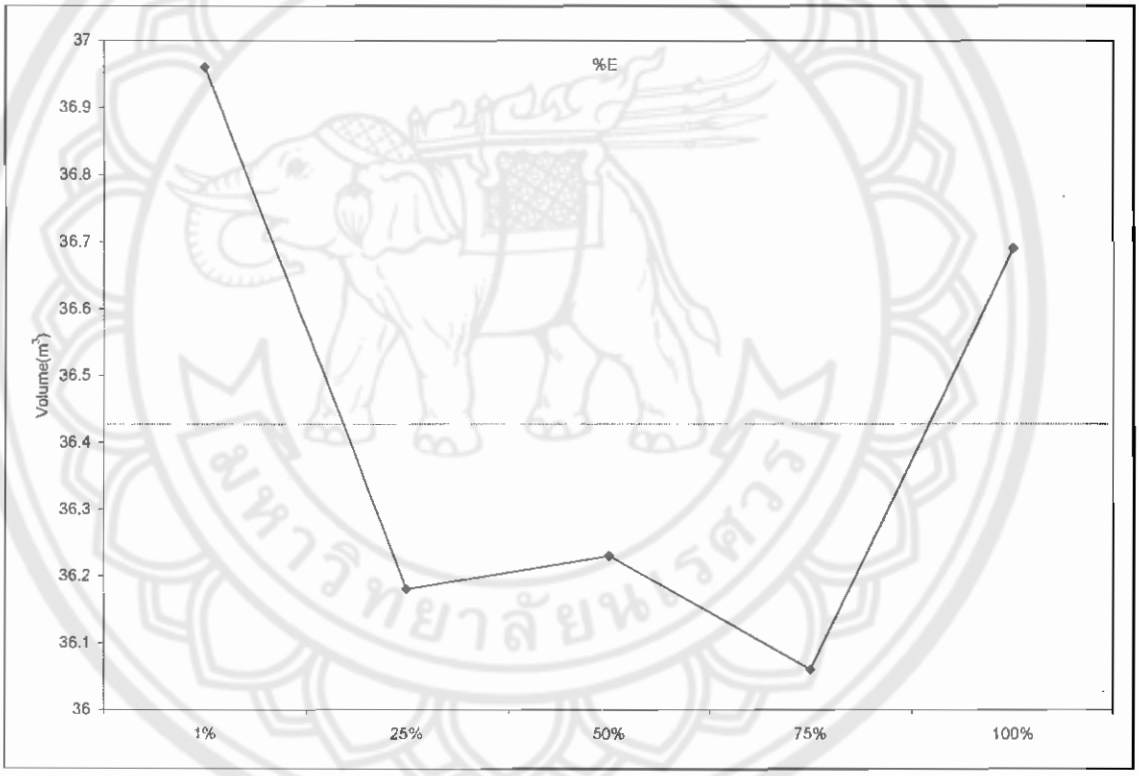
ผลการทดลอง 2.1

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรม Minitab 13.20 และ SPSS 11.5.0 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA: General linear model) โดยพิจารณาให้ผลเฉลยดีที่สุดที่พบเป็นตัวแปรตาม และพิจารณาเฉพาะผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main factors) ที่มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบ แสดงผลการทดลองดังตาราง 19

ตาราง 19 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 2.1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
%E	4	11.708	2.927	8.305	.000
Seed	19	11.372	.599	1.698	.055
Error	76	26.784	.352		
Total	99	49.864			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่แสดงในตาราง 19 เมื่อพิจารณาค่า P ของปัจจัยหลัก %E พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก P มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยหลัก %E มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาคอนเทนเนอร์ ส่วนหมายเลขที่ใช้ในการสุ่ม (Seed) นั้นพบว่า P มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนดไว้แต่ไม่ควรมองข้ามเนื่องจากมีค่าสูงกว่าไม่มากนัก ดังนั้นถึงแม้ว่าจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อาจจะพอสรุปได้ว่า หมายเลขในการสุ่ม (Seed) ค่อนข้างที่จะมีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบ และเพื่อช่วยให้ทราบถึงการกำหนดค่า %E ที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงต้องทำกราฟผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) ของ %E แสดงได้ดังภาพ 56



ภาพ 56 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) %E

จากภาพ 56 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดเปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมชนชั้นดีเทียบต่อขนาดของประชากร (Elitist probability: %E) ที่ 75% นั้นเป็นการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดในช่วงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

เนื่องจากปัจจัยหลักเปอร์เซ็นต์การเก็บโครโมโซมชนชั้นดี (Elitist probability: %E) มีผลกระทบต่อค่าคำตอบและระดับของปัจจัยนั้นมีมากกว่า 2 ระดับ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่า

ความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระดับปัจจัยกลุ่มใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติโดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Duncan วิเคราะห์ผล และแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก ข

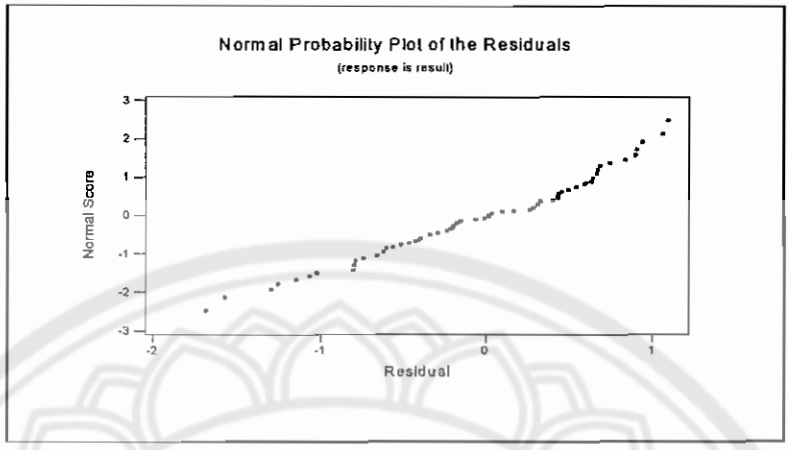
การนำผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้นั้น จำเป็นจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานก่อนโดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งจะตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ โดยกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals), ตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ โดยกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) และตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว โดยกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) แสดงได้ดังภาพ 57

ภาพ 57 (ก) แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals) พบว่าการแจกแจงของความผิดพลาดที่ได้มามีลักษณะคล้ายเส้นตรง ดังนั้นจึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ

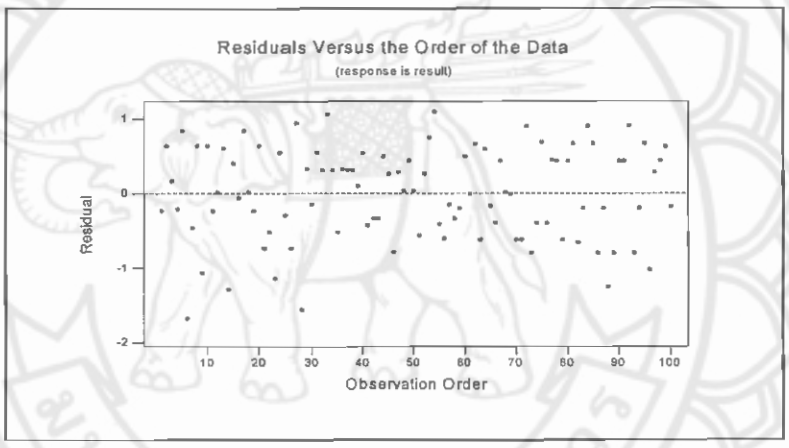
ภาพ 57 (ข) แสดงกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) พบว่ากราฟที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงไม่มีการละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ

ภาพ 57 (ค) แสดงกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) พบว่าความแปรปรวนค่อนข้างคงที่ และกราฟที่ได้นั้นไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว

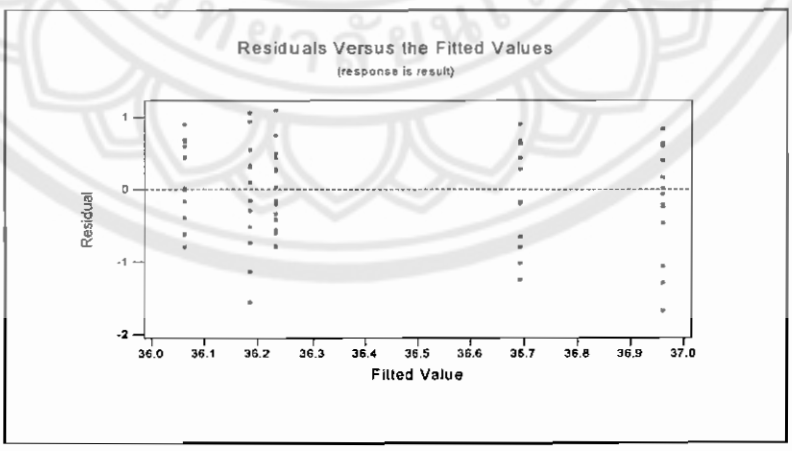
จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานทั้ง 3 อย่าง พบว่าไม่มีการละเมิดสมมติฐานข้อใด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางสถิติและสมมติฐานมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ โดยตาราง 20 จะเป็นการสรุปการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมชนชั้นดีเทียบต่อขนาดของประชากร (Elitist probability: %E) ที่เหมาะสมที่สุด และค่าดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อๆไป



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 57 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis)

ตาราง 20 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมชนชั้นดี (Elitist probability: %E) ที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลอง 2.1

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสมที่สุด
เปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมชนชั้นดี (%E)	75%

2.2 **การทดลองที่** 2.2

ทดสอบถึงผลกระทบจากการเลือกใช้วิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism: SM) ที่ต่างกัน 4 แบบคือ การคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel selection: RWS), รูปแบบการคัดสรรด้วยการสุ่มอย่างทั่วถึง (Stochastic universal sampling: SUS), การคัดสรรด้วยการแข่งขัน (Tournament selection: TOS) และการคัดสรรด้วยการรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดี (Elitist selection: ES) ที่ %E เท่ากับ 75% การทดลองนี้ได้กำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษาและทดสอบเพียงปัจจัยเดียว คือ วิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism) โดยทำการทดลองซ้ำ (Replications) 20 ครั้ง และใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random seed) ที่ต่างกัน ดังนั้น Seed จึงถูกรวมเข้าไปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะนำมาทำการพิจารณาด้วย ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง 2.2 แสดงในตาราง 21

ตาราง 21 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง 2.2

ปัจจัย (Factors)	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)
วิธีการคัดสรรโครโมโซม (SM)	4	Roulette wheel selection (RWS), Stochastic universal sampling (SUS), Tournament selection (TOS) และ Elitist selection (ES) ที่ %E = 75%

จากตาราง 21 ปัจจัยที่จะทำการศึกษาและทดสอบได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับดังนี้

ระดับที่ 1 กำหนดวิธีการคัดสรรโครโมโซมแบบ Roulette wheel selection (RWS)

ระดับที่ 2 กำหนดวิธีการคัดสรรโครโมโซมแบบ Stochastic universal sampling (SUS)

ระดับที่ 3 กำหนดวิธีการคัดสรรโครโมโซมแบบ Tournament selection (TOS)

ระดับที่ 4 กำหนดวิธีการคัดสรรโครโมโซมแบบ Elitist selection (ES) ที่ %E = 75%

จากปัจจัยและระดับของการทดลอง 2.2 (ดูตาราง 21) ทำการศึกษาเพียงปัจจัยเดียว และมีระดับของปัจจัย 4 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ (Replications) ทั้งหมด 20 ครั้ง ดังนั้นจึงต้องรันการทดลองทั้งสิ้น 20 × 4 เท่ากับ 80 รัน

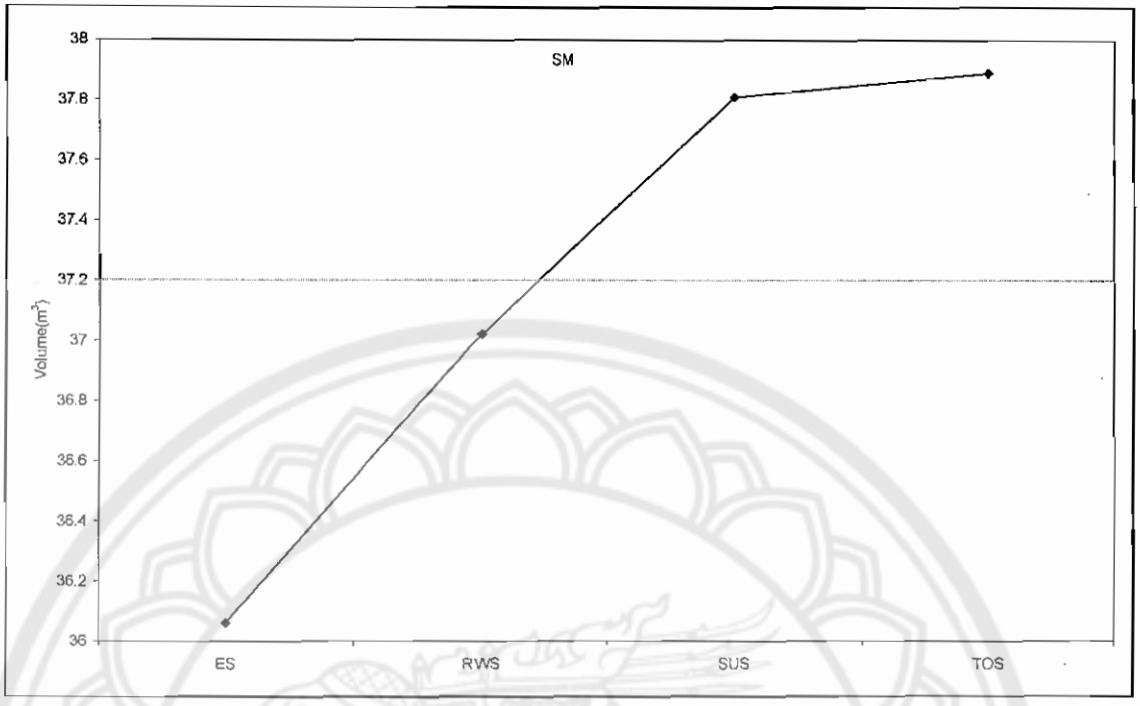
ผลการทดลอง 2.2

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ 2 โปรแกรมร่วมกัน คือ โปรแกรม Minitab 13.20 และ SPSS 11.5.0 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA: General linear model) โดยพิจารณาให้ผลเฉลยดีที่สุดที่พบ (ปริมาตรของคอนเทนเนอร์ที่ใช้ไปน้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม และพิจารณาเฉพาะผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main factors) ที่มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบ แสดงผลการทดลองดังตาราง 22

ตาราง 22 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 2.2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
SM	3	43.591	14.530	46.748	.000
Seed	19	5.400	.284	.914	.569
Error	57	17.717	.311		
Total	79	66.707			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่แสดงในตาราง 22 เมื่อพิจารณาค่า P ของปัจจัยหลัก SM พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก P มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยหลัก SM มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาคอนเทนเนอร์ ส่วนหมายเลขในการสุ่ม (Seed) ที่เป็นปัจจัยรบกวนนั้นพบว่า P มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเพื่อช่วยให้ทราบถึงการกำหนดค่า SM ที่เหมาะสมที่สุด จึงจำเป็นต้องทำกราฟผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) แสดงได้ดังภาพ 58

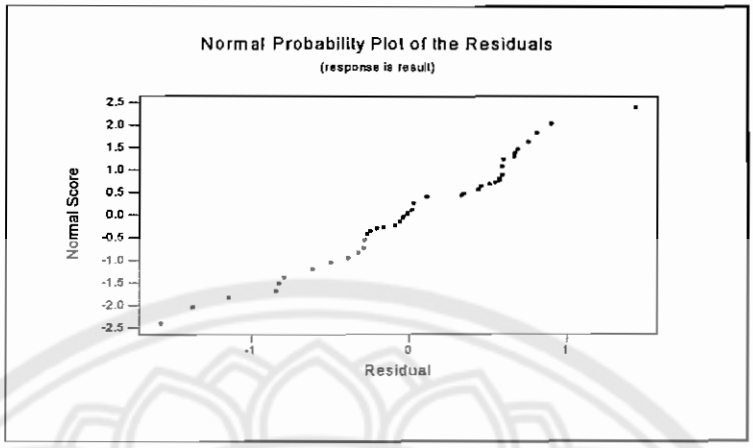


ภาพ 58 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) SM

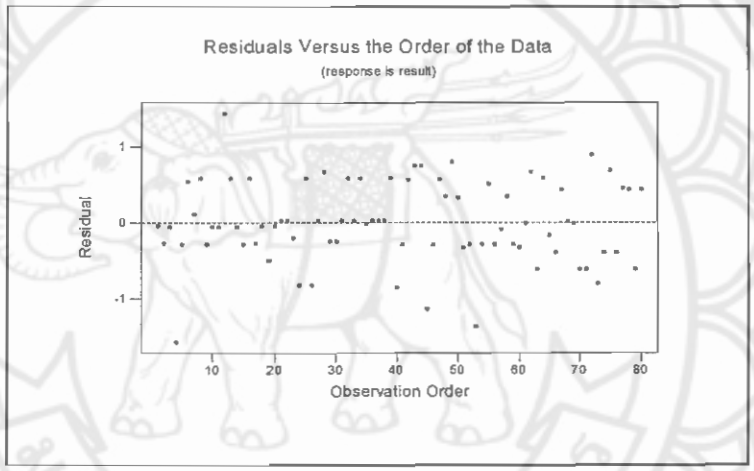
จากภาพ 58 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดวิธีการคัดสรรโครโมโซม (SM) แบบ Elitist selection (ES) ที่ %E = 75% นั้นเป็นการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดในช่วงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

เนื่องจากปัจจัยหลักวิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism: SM) มีผลกระทบต่อค่าคำตอบและระดับของปัจจัยนั้นมีมากกว่า 2 ระดับ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระดับปัจจัยกลุ่มใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติ โดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Duncan วิเคราะห์ผล และแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก ข

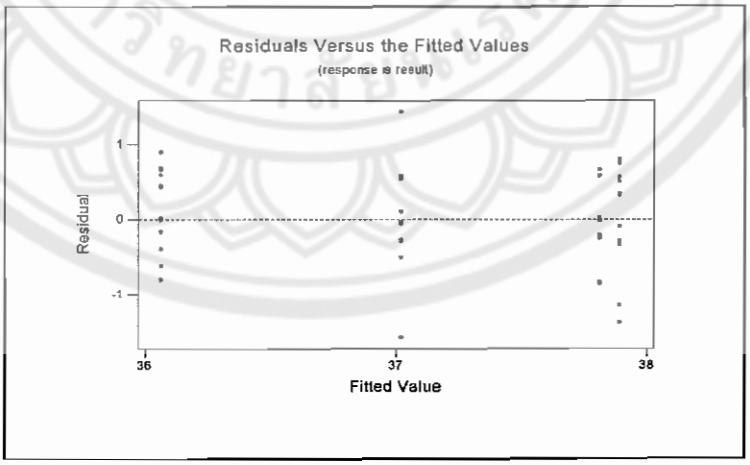
ก่อนที่จะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้นั้น จำเป็นจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานก่อนโดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งจะตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ โดยกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals), ตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ โดยกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) และตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว โดยกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) แสดงได้ดังภาพ 59



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 59 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis)

ภาพ 59 (ก) แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง แสดงว่าการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติ ดังนั้นจึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ

ภาพ 59 (ข) แสดงกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) พบว่ากราฟไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงไม่มีการละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ

ภาพ 59 (ค) แสดงกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) พบว่าความแปรปรวนค่อนข้างคงที่ และกราฟที่ได้นั้นไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานทั้ง 3 อย่าง พบว่าไม่มีการละเมิดสมมติฐานข้อใด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางสถิติและสมมติฐานมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ โดยตาราง 23 จะเป็นการสรุปการกำหนดวิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism: SM) ที่เหมาะสมที่สุด และค่าดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อๆไป

ตาราง 23 แสดงวิธีการคัดสรรโครโมโซม (Selection mechanism: SM) ที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลอง 2.2

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสมที่สุด
วิธีการคัดสรรโครโมโซม (SM)	การคัดสรรด้วยการรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดี (ES) ที่ %E = 75%

3. **การทดลองที่** 3

ศึกษาและทดสอบเพื่อหารูปแบบการวางตัวของกล่องที่เหมาะสมซึ่งมีทั้งหมด 6 แบบ โดยในการทดลองนี้จะทำการทดสอบทั้งหมด 4 ชุดข้อมูล และใช้ปัญหาขนาด 500 กล่อง ส่วนการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ, กระบวนการ GA และวิธีการคัดสรร จะกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 (ตาราง 17) และการทดลองที่ 2 (ตาราง 23) การทดลองนี้ได้กำหนดปัจจัย ที่จะทำการศึกษาและทดสอบเพียงปัจจัยเดียว คือ รูปแบบการวางตัวของกล่อง (ดูภาพ 21) โดย**ใน** ส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการจัดเรียงนั้นได้กำหนดส่วนต่างๆดังนี้ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเรียงกล่องเลือกแบบ Guillotine cutting approach, ใช้ GA ในการช่วยหาคำตอบทั้งหมด (GA random arrange) และเลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 1 เส้นแกน (1 Axis) คือ การจัดเรียงที่สามารถวางกล่องลงในคอนเทนเนอร์ได้รูปแบบเดียวเท่านั้น ไม่สามารถหมุนหรือพลิกกล่องได้ (**ดู** รายละเอียดในบที่ 3 ตาราง 10) การทดลองมีการทำซ้ำ (Replications) 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลข**ใน** การสุ่ม (Random seed) ที่ต่างกัน ดังนั้น Seed จึงถูกรวมเข้าไปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะนำมาทำการพิจารณาด้วย ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองที่ 3 แสดงในตาราง 24

ตาราง 24 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลองที่ 3

ปัจจัย (Factors)	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)
รูปแบบการวางตัวของกล่อง	6	Type I, Type II, Type III, Type IV, Type V และ Type VI

จากตาราง 24 ได้กำหนดระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษาและทดสอบเป็น 6 ระดับดังนี้ ระดับที่ 1 Type I คือ กำหนดการจัดวางของกล่องเป็นรูปแบบที่ I ทั้งหมด, ระดับที่ 2 Type II คือ กำหนดการจัดวางของกล่องเป็นรูปแบบที่ II ทั้งหมด, ระดับที่ 3 Type III คือ กำหนดการจัดวางของกล่องเป็นรูปแบบที่ III ทั้งหมด, ระดับที่ 4 Type IV คือ กำหนดการจัดวางของกล่องเป็นรูปแบบที่ IV ทั้งหมด, ระดับที่ 5 Type V คือ กำหนดการจัดวางของกล่องเป็นรูปแบบที่ V ทั้งหมด และระดับที่ 6 Type VI คือ กำหนดการจัดวางของกล่องเป็นรูปแบบที่ VI ทั้งหมด

จากปัจจัยและระดับของการทดลองที่ 3 (ดูตาราง 24) ทำการศึกษาเพียงปัจจัยเดียวซึ่งมีระดับของปัจจัย 6 ระดับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ชุดข้อมูลและทำการทดลองซ้ำ

(Replications) 5 ครั้ง ต่อหนึ่งชุดข้อมูล ดังนั้นจำนวนการรันทดสอบทั้งหมดจึงเป็น 6 × 5 × 4 เท่ากับ 120 รัน

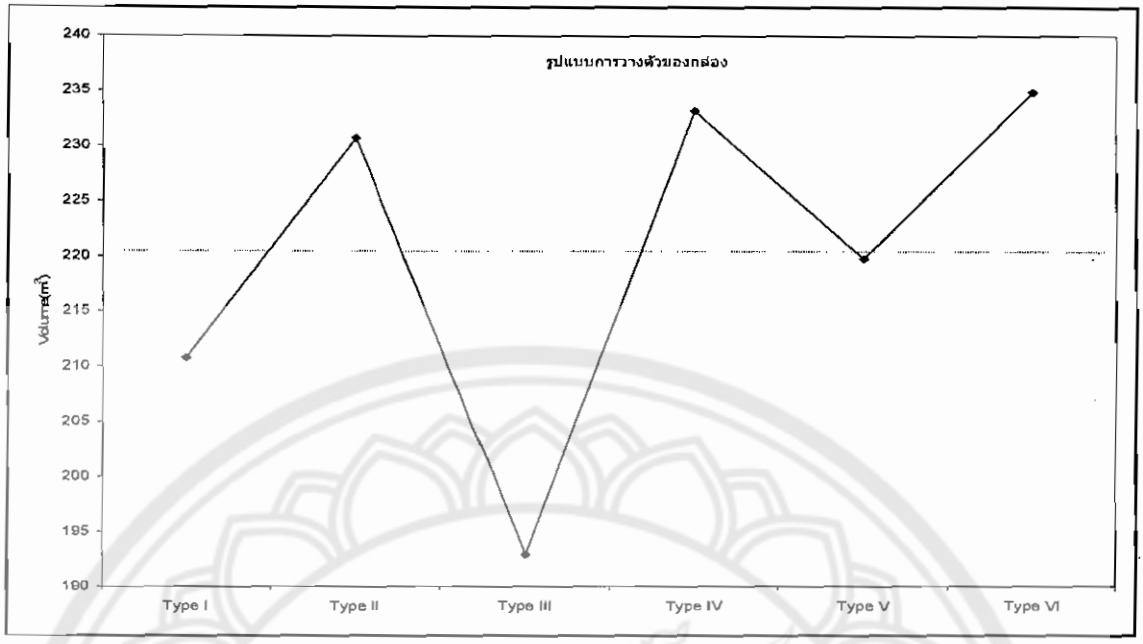
ผลการทดลองที่ 3

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ 2 โปรแกรมร่วมกัน คือ โปรแกรม Minitab 13.20 และ SPSS 11.5.0 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA: General linear model) โดยพิจารณาให้ผลเฉลยดีที่สุดที่พบ (ปริมาตรของคอนเทนเนอร์ที่ใช้ไปน้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม และพิจารณาเฉพาะผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main factors) ที่มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบ แสดงผลการทดลองดังตาราง 25

ตาราง 25 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่ 3

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
รูปแบบการวางตัวของกล่อง	5	26598.675	5319.735	2751.622	.000
Seed	4	9.530	2.382	1.232	.301
Error	110	212.664	1.933		
Total	119	26820.869			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่แสดงในตาราง 25 เมื่อพิจารณาค่า P ของปัจจัยหลักรูปแบบการวางตัวของกล่อง พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก P มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ส่วนหมายเลขในการสุ่ม (Seed) ที่เป็นปัจจัยรบกวนนั้นพบว่า P มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเพื่อช่วยให้ทราบถึงการกำหนดรูปแบบการวางตัวของกล่องที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกรณีที่มีการจัดวางกล่องในรูปแบบเดียวกันทั้งหมดนั้นจำเป็นต้องทำกราฟผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) แสดงได้ดังภาพ 60

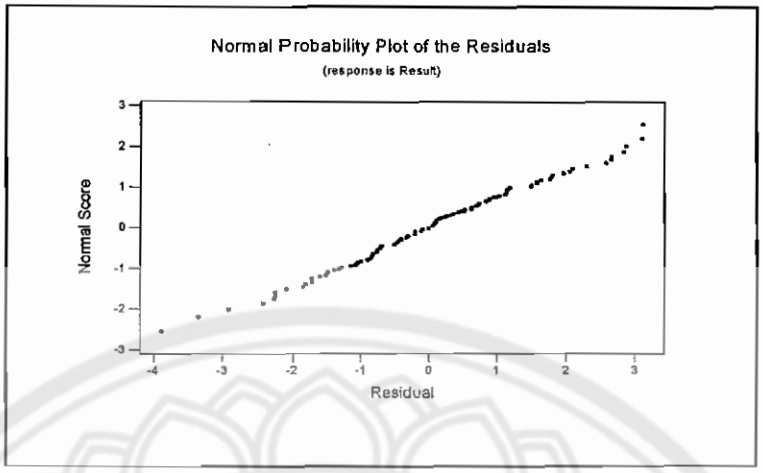


ภาพ 60 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot)

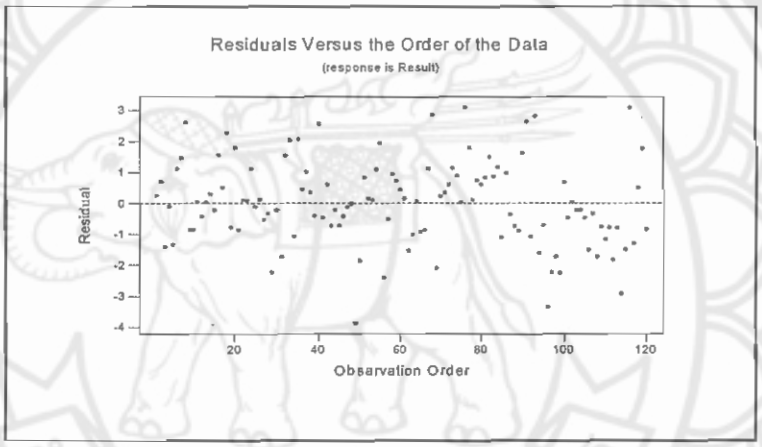
จากภาพ 60 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดรูปแบบการวางตัวของกล่องที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกรณีที่กำหนดให้มีการจัดวางกล่องในรูปแบบเดียวกันทั้งหมดนั้น การกำหนดการจัดวางกล่องเป็นรูปแบบที่ III ทั้งหมดนั้นถือว่าเป็นการกำหนดรูปแบบการวางที่เหมาะสมที่สุดในช่วงระดับของปัจจัยที่ศึกษา รองลงมาคือ การวางตัวของกล่องในรูปแบบที่ I ทำให้สังเกตได้ว่าการวางด้านยาวของกล่องให้ขนานไปกับด้านยาวของตู้คอนเทนเนอร์ (แกน X) นั้นให้ค่าคำตอบดีที่สุด

เนื่องจากรูปแบบการวางตัวของกล่อง มีผลกระทบต่อค่าคำตอบและระดับของปัจจัยนั้นมีมากกว่า 2 ระดับ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระดับปัจจัยกลุ่มใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติ โดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Duncan วิเคราะห์ผล และแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก ข

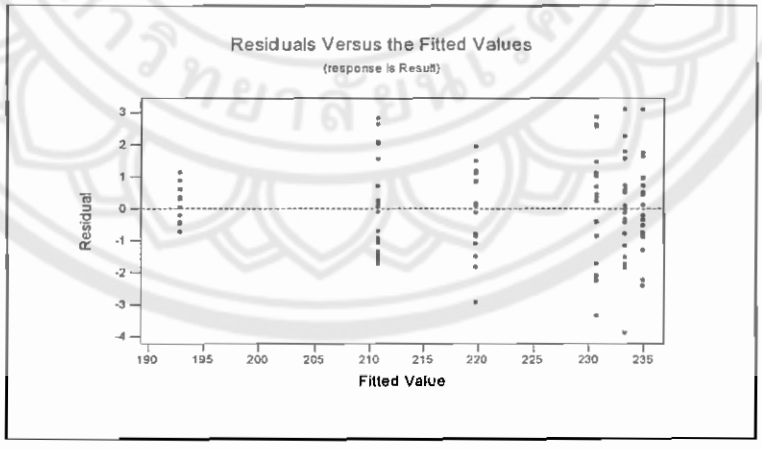
การนำผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้นั้น จำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานก่อนโดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งจะตรวจสอบ **สมมติฐานของความเป็นปกติ โดยกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง** (Normal probability plot of the residuals), **ตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ โดยกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล** (Plot of residuals versus the order of the data) **และตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว โดยกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต** (Plot of residuals versus fitted values) **แสดงได้ดังภาพ** 61



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 61 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis)

ภาพ 61 (ก) แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals) พบว่าการแจกแจงของความผิดพลาดที่ได้มามีลักษณะคล้ายเส้นตรง ดังนั้นจึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ

ภาพ 61 (ข) แสดงกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) พบว่ากราฟที่ได้มาไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงไม่มีการละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ

ภาพ 61 (ค) แสดงกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) จะเห็นได้ว่าความแปรปรวนถึงแม้จะมีค่ามากในช่วงปลายแต่ก็ไม่ได้แสดงถึงความแปรปรวนอย่างรุนแรง และกราฟที่ได้ก็ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานทั้ง 3 อย่าง พบว่าไม่มีการละเมิดสมมติฐานข้อใด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางสถิติและสมมติฐานมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ โดยตาราง 26 จะเป็นการสรุปรูปแบบการวางตัวของกล่องที่เหมาะสมที่สุดจากทั้งหมด 6 แบบ สำหรับกรณีที่กล่องไม่สามารถหมุนได้

ตาราง 26 แสดงรูปแบบการวางตัวของกล่องที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสมที่สุด
รูปแบบการวางตัวของกล่อง	Type III

4. การทดลองที่ 4

ศึกษาและทดสอบวิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่อง (Sequencing and arrangement: S&A) คือ วิธีการใช้ GA เพียงอย่างเดียว (GA random arrange: GAR) กับ วิธีการใช้ GA บวก Heuristic ที่ปรับปรุงขึ้นโดยผู้วิจัย (GA smart arrange: GAS) 2 รูปแบบ คือ แบบเปรียบเทียบความเหมาะสมกับกล่องก่อนหน้า (GA smart base on previous items: GAS-BP) และแบบเปรียบเทียบความเหมาะสมกับกล่องที่ใหญ่ที่สุดในระดับชั้นของการวางกล่องนั้น (GA smart base on highest item: GAS-BH) (ดูรายละเอียดที่หัวข้อย่อย 2.4.4.2 ในบทที่ 3) และทดสอบฮิวริสติกในการจัดเรียงกล่อง (Heuristic for arrangement: HA) 2 รูปแบบ คือแบบ Guillotine cutting approach กับแบบ Wall-building approach โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาขนาด 500 กล่อง ส่วนการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ, กระบวนการ GA และวิธีการคัดสรร จะกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 (ตาราง 17) และการทดลองที่ 2 (ตาราง 23) และเลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 3 เส้นแกน (3 Axis) การทดลองมีการทำซ้ำ (Replications) 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random seed) ที่ต่างกัน ดังนั้น Seed จึงถูกรวมเข้าไปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะนำมาทำการพิจารณาด้วย ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองที่ 4 แสดงในตาราง 27

ตาราง 27 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลองที่ 4

ปัจจัย (Factors)	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)
Sequencing and arrangement (S&A)	3	GAR, GAS-BP, GAS-BH
Heuristic for arrangement (HA)	2	Guillotine cutting approach, Wall-building approach

จากตาราง 27 ปัจจัยที่นำมาศึกษาและทดสอบในการทดลองนี้มีทั้งหมด 2 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 วิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่อง (Sequencing and arrangement: S&A) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ GA random arrange (GAR), GA smart base on previous items (GAS-BP) และ GA smart base on highest item (GAS-BH)

ปัจจัยที่ 2 ฮิวริสติกในการจัดเรียงกล่อง (Heuristic for arrangement: HA) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ Guillotine cutting approach และ Wall-building approach

จากปัจจัยและระดับของการทดลองที่4 (ดูตาราง 27) ใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลสมบูรณ์ (Full factorial design: FFD) โดยทำการทดลองซ้ำ (Replications) ทั้งหมด 5 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดสอบทั้งหมดจึงเป็น 3 × 2 × 5 เท่ากับ 30 ครั้ง

ผลการทดลองที่ 4

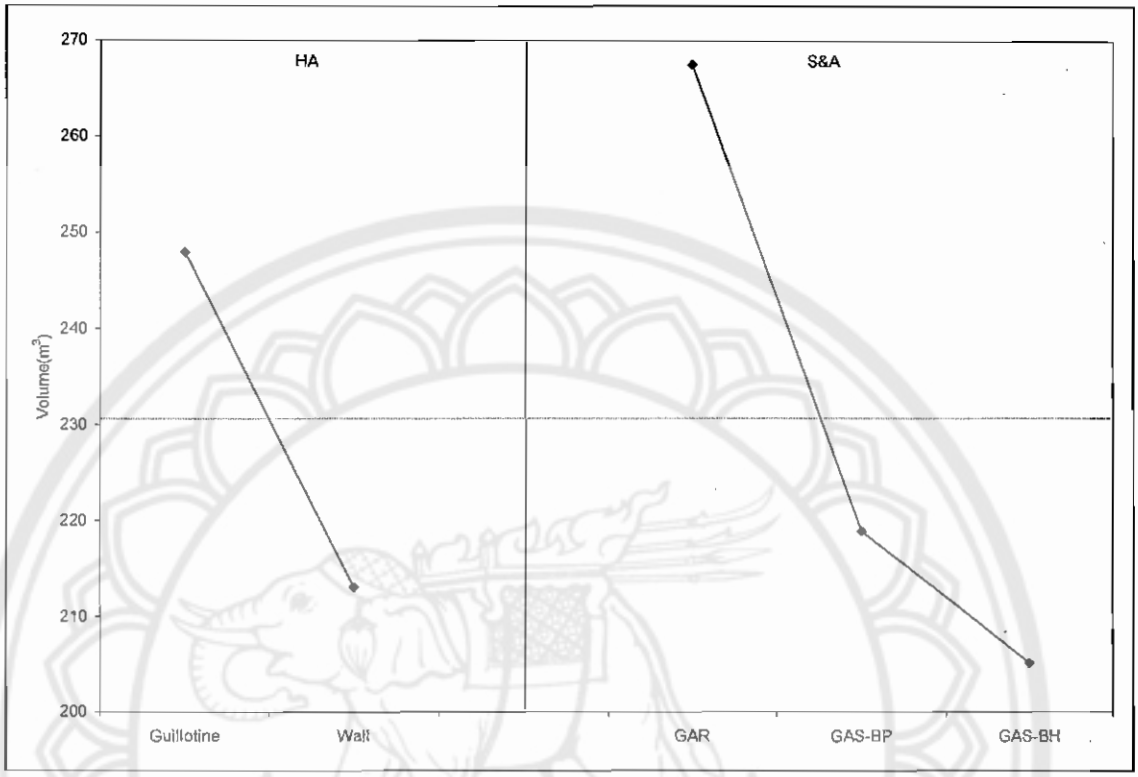
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ 2 โปรแกรมร่วมกัน คือ โปรแกรม Minitab 13.20 และ SPSS 11.5.0 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA: General linear model) โดยพิจารณาให้ผลเฉลยดีที่สุดที่พบ (ปริมาตรของคอนเทนเนอร์ที่ใช้ไปน้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม และมีการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main factors) และปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของปัจจัยแบบ 2 ทางที่มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบ แสดงผลการทดลองดังตาราง 28

ตาราง 28 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่ 4

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
S&A	2	21474.099	10737.050	1313.729	.000
HA	1	9119.446	9119.446	1115.807	.000
Seed	4	30.247	7.562	.925	.469
S&A*HA	2	1369.526	684.763	83.784	.000
Error	20	163.459	8.173		
Total	29	32156.777			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่แสดงในตาราง 28 พบว่า 2 ปัจจัย คือ 1) วิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่อง (S&A) และ 2) ฮิวริสติกในการจัดเรียงกล่อง (HA) มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพิจารณาจากค่า P ที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งแสดงว่าการกำหนดค่าให้กับ 2 ปัจจัยหลักนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบ ส่วนหมายเลขในการสุ่ม (Seed) ที่เป็นปัจจัยรบกวนนั้นพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก P มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนดไว้ และเพื่อแสดงให้เห็นการ

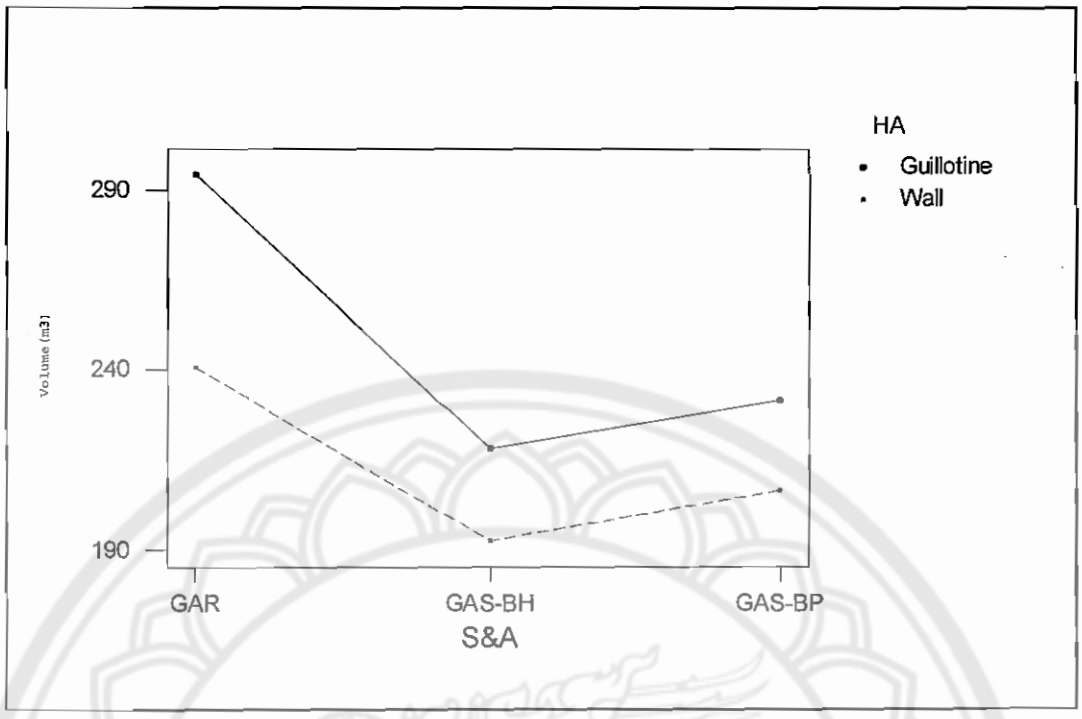
กำหนดค่าของ 2 ปัจจัยนี้ที่เหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องทำกราฟผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลัก (Main effect plot) แสดงได้ดังภาพ 62



ภาพ 62 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plot)

จากภาพ 62 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดวิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่อง (S&A) แบบ GA smart base on highest item (GAS-BH) และฮิวริสติกในการจัดเรียงกล่อง (HA) แบบ Wall-building approach นั้นเป็นการกำหนดที่เหมาะสมที่สุดในช่วงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยแบบ 2 ทาง พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่าง S&A กับ HA (S&A*HA) มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงว่าการกำหนด S&A ที่ต่างกันจะมีผลทำให้ค่าคำตอบที่ได้จากการกำหนด HA แตกต่างกันด้วย ภาพ 63 แสดงกราฟผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยแบบ 2 ทาง พบว่าค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดจะได้จากการกำหนด HA แบบ Wall-building approach ร่วมกับการกำหนด S&A แบบ GAS-BH

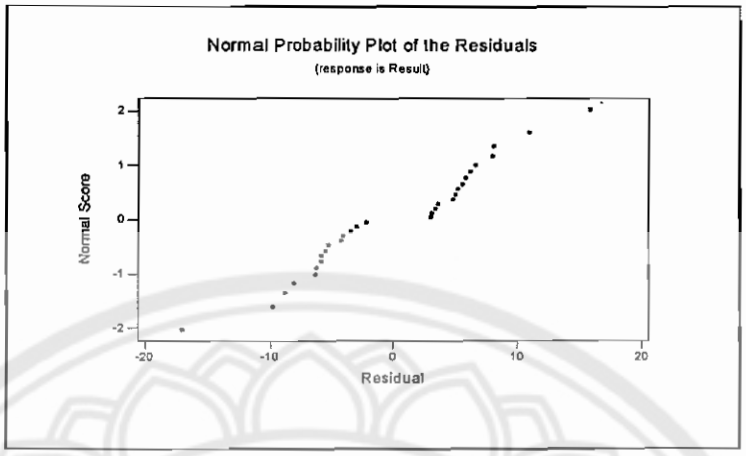


ภาพ 63 แสดงกราฟผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยแบบ 2 ทาง

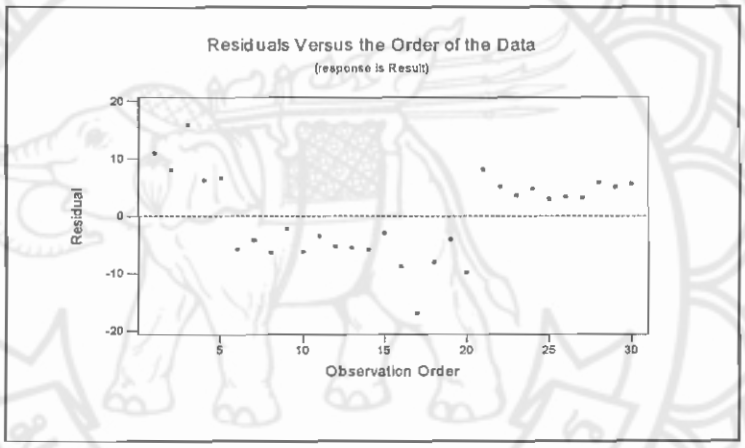
จากภาพ 63 จะเห็นว่า เส้นกราฟทั้ง 2 เส้นซึ่งใช้ Heuristics แบบ Guillotine และ Wall นั้น เกือบขนานกันแสดงว่า S&A และ HA ไม่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กัน ดังนั้นจึงสามารถนำมาเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าในการทำ Screening experiment ของการทดลองที่ 1 ที่ไม่นำปัจจัย 2 ตัวนี้ไปทดสอบร่วมด้วยนั้นก็สามารถทำได้เนื่องจากไม่มีผลกระทบใดๆ

เนื่องจากปัจจัยหลัก S&A มีผลกระทบต่อค่าคำตอบและระดับของปัจจัยนั้นมีมากกว่า 2 ระดับ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระดับปัจจัยกลุ่มใดบ้าง ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติ โดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Duncan วิเคราะห์ผล และแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก ข

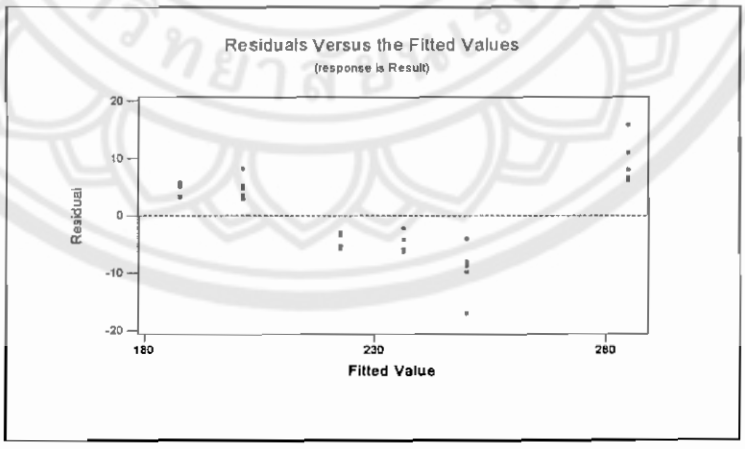
การนำผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้นั้น จำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานก่อนโดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งจะตรวจสอบ**สมมติฐานของความเป็นปกติ** โดยกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals), **ตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ** โดยกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) และ**ตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว** โดยกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) **แสดงได้ดังภาพ** 64



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 64 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis)

ภาพ 64 (ก) แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of the residuals) พบว่าการแจกแจงของความผิดพลาดที่ได้มามีลักษณะค่อนข้างคล้ายเส้นตรง ดังนั้นจึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ

ภาพ 64 (ข) แสดงกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of residuals versus the order of the data) พบว่ากราฟที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงไม่มีการละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ

ภาพ 64 (ค) แสดงกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of residuals versus fitted values) จะเห็นได้ว่าความแปรปรวนค่อนข้างคงที่ และกราฟที่ได้ก็ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานทั้ง 3 อย่าง พบว่าไม่มีการละเมิดสมมติฐานข้อใด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางสถิติและสมมติฐานมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ โดยตาราง 29 จะเป็นการสรุป วิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่อง (S&A) และ ฮิวริสติกในการจัดเรียงกล่อง (HA) ที่เหมาะสมที่สุด

ตาราง 29 แสดง S&A และ HA ที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลองที่ 4

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสมที่สุด
S&A	GA smart base on highest item (GAS-BH)
HA	Wall-building approach

5. การทดลองที่ 5

การทดลองที่ 5 นี้ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อยดังนี้

การทดลอง 5.1 เพื่อเปรียบเทียบและหาข้อสรุปของการใช้ GA แบบพื้นฐาน (Simple genetic algorithm: SGA) และ GA แบบที่ปรับปรุงขึ้น (Modified genetic algorithm: MGA) ในเชิงประสิทธิภาพ และเวลา

การทดลอง 5.2 ทดสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม เกี่ยวกับการจัดเรียงกล่องที่เป็นเจ้าของเดียวกันให้อยู่ในคอนเทนเนอร์เดียวกัน

5.1 การทดลองที่ 5.1

ทดสอบเปรียบเทียบและหาข้อสรุปของการใช้ SGA และ MGA ในเชิงประสิทธิภาพและเวลา โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาขนาด 100, 500, 1000, 2500 และ 5000 กล่อง ตามลำดับ ส่วนปัจจัยต่างๆจะกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา แสดงรายละเอียดการกำหนดค่า SGA และ MGA ของการทดลอง 5.1 ในตาราง 30

ตาราง 30 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่า SGA และ MGA ของการทดลอง 5.1

พารามิเตอร์	การกำหนดค่า	
	ปัจจัยหลัก SGA	ปัจจัยหลัก MGA
ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (P/G)	200/200	200/200
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (%C)	0.5	0.5
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (%M)	0.15	0.15
วิธีการครอสโอเวอร์ (COP)	CX	CX
วิธีการมิวเตชั่น (MOP)	E2ORS	E2ORS
วิธีการคัดสรรโครโมโซม (SM)	RWS	ES ที่ %E = 75%
Sequencing and arrangement (S&A)	GAR	GAS-BH
Heuristic for arrangement (HA)	Wall-building approach	Wall-building approach

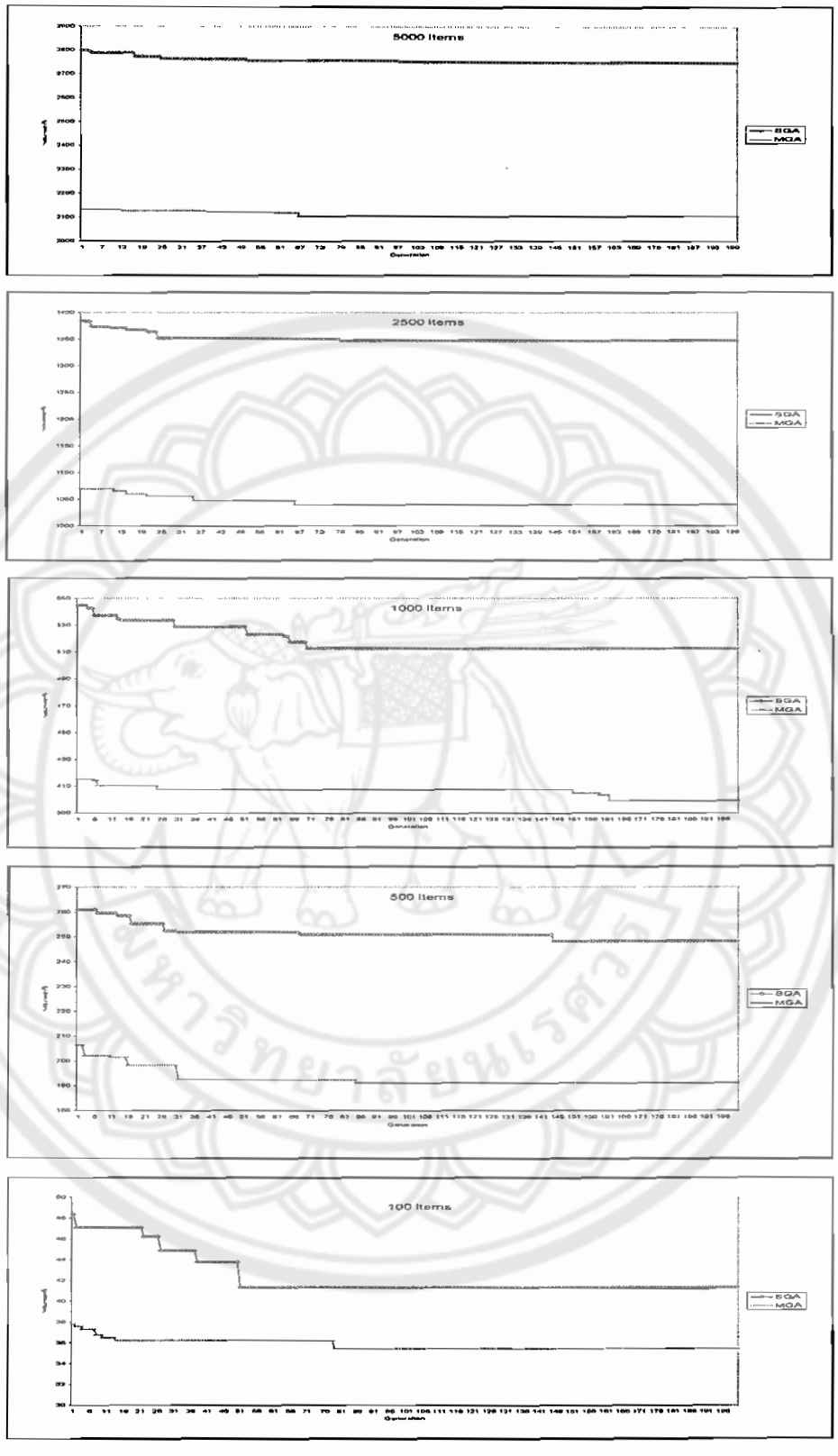
ผลการทดลองที่ 5.1

สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตาราง 31 โดยจะแสดงค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ถูกพบ (Best so far solution) คือ จำนวนคอนเทนเนอร์และปริมาตรทั้งหมดที่ใช้ไปมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3), ค่าคำตอบเฉลี่ยรวม (Average solution) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3) และเวลาที่ถูกใช้ (Time usage) มีหน่วยเป็นวินาที (s)

ตาราง 31 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง 5.1

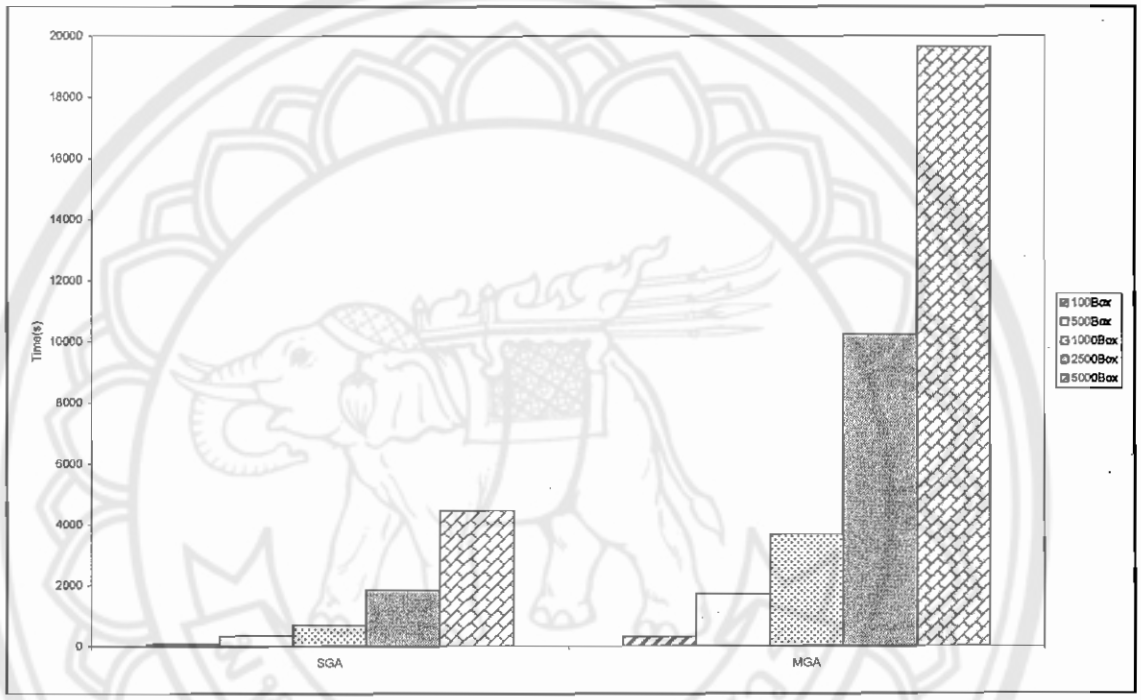
Problem size	Source	Best so far solution		Average solution	Time usage
		Container usage	Volume usage		
5000 item	SGA	42	2751.60	2783.13	4469
	MGA	33	2105.65	2137.81	19657
2500 item	SGA	21	1347.14	1367.63	1852
	MGA	16	1039.48	1062.15	27706
1000 item	SGA	8	512.56	529.40	680
	MGA	7	399.08	419.64	3671
500 item	SGA	4	248.16	258.53	337
	MGA	3	191.12	199.84	1707
100 item	SGA	1	41.35	45.97	67
	MGA	1	35.45	39.64	324

ผลการทดลองจากตาราง 31 แสดงให้เห็นว่า MGA นั้นให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า SGA ในทุกๆขนาดของปัญหา แต่ก็ใช้ระยะเวลาที่นานกว่า และเมื่อนำค่าคำตอบที่ได้ทั้งหมดในแต่ละรุ่น (Generation) ของ MGA และ SGA มาทำกราฟตามขนาดของปัญหาจะได้ดังภาพ 65 ตามลำดับ



ภาพ 65 แสดงกราฟเปรียบเทียบ MGA และ SGA ของปัญหาขนาดต่างๆ

จากภาพ 65 พบว่ารูปกราฟสอดคล้องกับผลที่ได้ในตาราง 31 โดยการทำงานของ MGA นั้นมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดีกว่า SGA ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้น MGA จะใช้เวลามากกว่า SGA อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนของการทำงานในส่วนของ GAS-BH และ ES ที่มีส่วนทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้น แต่ก็ถือว่าใช้เวลาในการประมวลผลไม่นานนักสำหรับปัญหา CPP ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งอยู่ในข่ายปัญหา NP-hard ภาพ 66 แสดงเวลาการทำงานของ MGA เทียบกับ SGA



ภาพ 66 แสดงเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Time usage) ของ MGA กับ SGA

5.2 **การทดลองที่** 5.2

ทดสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม เกี่ยวกับการจัดเรียงกล่องที่เป็นเจ้าของเดียวกันให้อยู่ในคอนเทนเนอร์เดียวกัน โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาขนาด 200 กล่อง ส่วนการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ, กระบวนการ GA และวิธีการคัดสรร จะกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 1 (ตาราง 17) และการทดลองที่ 2 (ตาราง 23) ในส่วนของรายละเอียดหลักสำหรับปัญหาการจัดเรียงได้กำหนดส่วนต่างๆดังนี้ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเรียงกล่องเลือกแบบ Guillotine cutting approach, วิธีการหาลำดับการจัดเรียงกล่องและรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของกล่องเลือกแบบ GA smart base on highest item (GAS-BH) และเลือกข้อจำกัดการหมุนแบบ 3 เส้นแกน (3 Axis) โดยในการทดลองนี้จะเลือกขนาดของคอนเทนเนอร์ที่

เล็กที่สุดคือ แบบที่ 4 "Container 1S" ขนาด 20ft. ความยาว ความกว้าง ความสูง เท่ากับ 5867 mm, 2197 mm และ 2330 mm ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 5.2

ผลการทดลองพบว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด (Error) สามารถจัดเรียงกล่องที่เป็นเจ้าของเดียวกันให้อยู่ในคอนเทนเนอร์เดียวกันได้ตามที่กำหนดไว้ และคำนวณค่าผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง โดยใช้คอนเทนเนอร์ไป 3 คอนเทนเนอร์ ปริมาตรที่ใช้ไปทั้งหมดคือ 83.744 ลูกบาศก์เมตร (m^3) ส่วนเวลาที่ใช้ไปคือ 1458 วินาที ซึ่งใช้เวลานานพอสมควร อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนของรูปแบบการทำงานในส่วนของการตรวจสอบกล่องที่เป็นเจ้าของเดียวกัน และ GAS-BH ที่มีส่วนทำให้ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น แสดงผลการทดลองได้ดังตาราง 32

ตาราง 32 แสดงผลการจัดเรียงกล่องที่มีเจ้าของเดียวกันให้อยู่ในคอนเทนเนอร์เดียวกัน

No.	Item	L(m)	W(m)	H(m)	Arrangement	No. container	Owner
1	158	0.7	0.55	0.3	6	1	Tom
2	155	0.7	0.65	0.5	6	1	Tom
3	147	0.85	0.65	0.4	4	1	Tom
4	149	0.8	0.8	0.35	4	1	Tom
5	172	0.7	0.6	0.35	6	1	Tom
6	146	0.9	0.65	0.5	4	1	Tom
7	157	0.95	0.6	0.35	4	1	Tom
8	179	0.65	0.8	0.35	4	1	Tom
9	164	0.7	0.55	0.35	6	1	Tom
10	152	0.75	0.6	0.55	6	1	Tom
11	166	0.9	0.05	0.5	4	1	Tom
12	166	0.95	0.65	0.6	4	1	Tom
13	171	0.8	0.55	0.4	5	1	Tom
14	145	0.8	0.65	0.45	5	1	Tom
15	150	0.8	0.7	0.55	5	1	Tom
16	174	0.9	0.5	0.4	2	1	Tom
17	156	0.7	0.5	0.45	2	1	Tom
18	163	0.8	0.5	0.3	2	1	Tom
19	159	1	0.6	0.5	4	1	Tom
20	170	1	0.55	0.45	4	1	Tom
21	175	0.75	0.6	0.5	4	1	Tom
22	151	0.05	0.65	0.5	4	1	Tom
23	177	0.9	0.6	0.45	4	1	Tom
24	176	0.9	0.8	0.55	4	1	Tom
25	161	0.8	0.7	0.3	5	1	Tom
26	162	0.75	0.5	0.5	1	1	Tom
27	148	0.8	0.7	0.35	2	1	Tom

ตาราง 32 (ต่อ)

28	154	0.8	0.6	0.4	2	1	Tom
29	178	1	0.7	0.3	2	1	Tom
30	169	1	0.8	0.5	2	1	Tom
31	153	0.95	0.65	0.45	1	1	Tom
32	173	0.8	0.7	0.55	1	1	Tom
33	167	0.9	0.55	0.35	3	1	Tom
34	165	0.95	0.55	0.45	3	1	Tom
35	160	0.7	0.6	0.55	1	1	Tom
36	37	0.85	0.6	0.55	2	1	Unna
37	31	0.8	0.8	0.3	2	1	Unna
38	24	0.8	0.7	0.5	1	1	Unna
39	27	0.8	0.65	0.3	3	1	Unna
40	29	0.8	0.75	0.55	1	1	Unna
41	38	0.8	0.7	0.5	1	1	Unna
42	35	0.8	0.55	0.5	1	1	Unna
43	28	1	0.8	0.3	2	1	Unna
44	42	0.75	0.75	0.35	2	1	Unna
45	26	0.8	0.5	0.45	1	1	Unna
46	36	0.95	0.7	0.5	2	1	Unna
47	43	0.7	0.5	0.5	1	1	Unna
48	32	0.8	0.75	0.4	2	1	Unna
49	39	1	0.8	0.5	2	1	Unna
50	45	1	0.6	0.5	2	1	Unna
51	25	0.75	0.75	0.4	2	1	Unna
52	44	0.8	0.55	0.5	1	1	Unna
53	34	0.95	0.55	0.35	3	1	Unna
54	46	0.8	0.7	0.55	1	1	Unna
55	30	0.95	0.7	0.6	2	1	Unna
56	40	1	0.6	0.3	2	1	Unna
57	33	1	0.5	0.3	2	1	Unna
58	41	0.8	0.7	0.6	4	1	Unna
59	85	0.9	0.75	0.6	4	1	
60	68	0.85	0.8	0.6	4	1	
61	23	0.8	0.55	0.45	5	1	
62	58	0.8	0.65	0.4	5	1	Mickey
63	57	1	0.55	0.5	5	1	Mickey
64	60	0.7	0.65	0.35	5	1	Mickey
65	59	0.9	0.6	0.45	5	1	Mickey
66	56	0.95	0.6	0.55	5	1	Mickey
67	53	0.85	0.65	0.3	5	1	Mickey
68	55	0.75	0.7	0.45	5	1	Mickey
69	54	0.8	0.7	0.3	5	1	Mickey
70	76	0.85	0.55	0.4	5	1	
71	194	0.85	0.65	0.3	5	2	Jerry
72	196	1	0.55	0.55	6	2	Jerry
73	188	0.85	0.5	0.4	5	2	Jerry
74	200	0.95	0.6	0.6	6	2	Jerry

ตาราง 32 (ต่อ)

75	189	0.6	0.65	0.55	5	2	Jerry
76	193	0.7	0.7	0.3	5	2	Jerry
77	199	0.85	0.7	0.4	5	2	Jerry
78	191	0.95	0.7	0.3	5	2	Jerry
79	190	0.8	0.65	0.6	5	2	Jerry
80	195	0.8	0.75	0.4	5	2	Jerry
81	198	0.8	0.5	0.3	5	2	Jerry
82	197	0.95	0.6	0.5	3	2	Jerry
83	192	1	0.8	0.4	3	2	Jerry
84	7	0.8	0.6	0.4	3	2	
85	113	0.7	0.6	0.5	3	2	
86	52	0.85	0.5	0.4	3	2	
87	79	0.85	0.6	0.55	1	2	
88	130	1	0.6	0.55	1	2	Ohho
89	140	0.85	0.75	0.55	1	2	Ohho
90	127	0.95	0.75	0.55	1	2	Ohho
91	120	0.95	0.7	0.55	1	2	Ohho
92	144	0.85	0.75	0.5	1	2	Ohho
93	143	0.9	0.7	0.5	1	2	Ohho
94	135	0.85	0.7	0.3	1	2	Ohho
95	129	0.75	0.75	0.5	2	2	Ohho
96	139	0.85	0.8	0.5	2	2	Ohho
97	125	0.85	0.65	0.6	1	2	Ohho
98	117	0.8	0.75	0.3	3	2	Ohho
99	126	0.85	0.75	0.4	5	2	Ohho
100	142	0.9	0.7	0.45	5	2	Ohho
101	132	0.95	0.65	0.55	5	2	Ohho
102	118	0.85	0.8	0.4	5	2	Ohho
103	141	0.9	0.65	0.35	3	2	Ohho
104	133	0.8	0.7	0.55	3	2	Ohho
105	134	0.9	0.5	0.5	1	2	Ohho
106	116	0.85	0.65	0.45	1	2	Ohho
107	136	0.85	0.75	0.6	1	2	Ohho
108	121	0.75	0.55	0.5	3	2	Ohho
109	115	0.8	0.6	0.6	1	2	Ohho
110	124	0.75	0.75	0.55	2	2	Ohho
111	119	0.75	0.5	0.5	1	2	Ohho
112	138	0.9	0.5	0.35	3	2	Ohho
113	131	0.9	0.7	0.6	1	2	Ohho
114	137	0.9	0.65	0.4	3	2	Ohho
115	122	0.75	0.65	0.4	3	2	Ohho
116	123	0.75	0.55	0.35	3	2	Ohho
117	128	0.85	0.5	0.3	3	2	Ohho
118	47	0.75	0.6	0.3	3	2	
119	9	0.8	0.6	0.45	3	2	
120	21	0.85	0.75	0.5	2	2	
121	50	1	0.5	0.35	2	2	Tato

ตาราง 32 (ต่อ)

122	49	0.9	0.6	0.5	4	2	Talo
123	48	1	0.65	0.6	4	2	Talo
124	87	0.95	0.7	0.55	4	2	
125	22	0.9	0.5	0.45	5	2	
126	187	0.7	0.5	0.5	6	2	
127	10	0.8	0.75	0.4	4	2	
128	6	0.7	0.6	0.3	6	2	
129	1	0.75	0.65	0.35	4	2	Chao
130	5	0.85	0.5	0.35	4	2	Chao
131	3	0.85	0.5	0.45	4	2	Chao
132	4	0.8	0.75	0.3	4	2	Chao
133	2	0.7	0.7	0.6	4	2	Chao
134	111	0.75	0.7	0.3	5	2	
135	84	1	0.75	0.45	5	2	
136	114	0.95	0.7	0.6	5	2	
137	8	1	0.7	0.55	5	2	
138	78	0.7	0.5	0.5	1	2	
139	104	0.75	0.6	0.5	1	3	Pan
140	98	0.85	0.65	0.55	2	3	Pan
141	92	0.95	0.7	0.3	2	3	Pan
142	95	1	0.75	0.3	2	3	Pan
143	106	0.95	0.75	0.4	2	3	Pan
144	97	0.8	0.8	0.45	2	3	Pan
145	103	0.9	0.8	0.4	2	3	Pan
146	108	0.8	0.75	0.4	1	3	Pan
147	93	0.95	0.7	0.4	2	3	Pan
148	94	1	0.55	0.5	2	3	Pan
149	99	0.75	0.75	0.6	4	3	Pan
150	105	0.9	0.5	0.4	5	3	Pan
151	102	0.9	0.6	0.3	5	3	Pan
152	100	0.7	0.7	0.4	5	3	Pan
153	96	0.9	0.6	0.35	5	3	Pan
154	107	0.95	0.75	0.35	5	3	Pan
155	101	0.95	0.6	0.5	5	3	Pan
156	91	0.9	0.75	0.3	5	3	Pan
157	90	0.75	0.6	0.55	3	3	
158	20	0.85	0.5	0.5	1	3	Friend
159	15	0.75	0.65	0.55	1	3	Friend
160	18	0.9	0.5	0.5	1	3	Friend
161	16	1	0.7	0.5	1	3	Friend
162	19	0.95	0.65	0.3	3	3	Friend
163	12	0.8	0.7	0.3	3	3	Friend
164	14	0.85	0.7	0.55	3	3	Friend
165	13	0.9	0.55	0.45	3	3	Friend
166	11	0.8	0.6	0.4	3	3	Friend
167	17	0.95	0.65	0.6	1	3	Friend

ตาราง 32 (ต่อ)

168	69	0.9	0.5	0.35	3	3	Sara
169	68	1	0.6	0.5	1	3	Sara
170	74	1	0.8	0.3	1	3	Sara
171	75	0.9	0.5	0.35	1	3	Sara
172	64	1	0.7	0.4	1	3	Sara
173	67	0.8	0.8	0.55	2	3	Sara
174	72	0.6	0.8	0.5	2	3	Sara
175	73	0.95	0.75	0.5	2	3	Sara
176	65	0.85	0.5	0.45	3	3	Sara
177	71	1	0.7	0.55	1	3	Sara
178	62	0.85	0.6	0.3	3	3	Sara
179	66	1	0.6	0.5	3	3	Sara
180	61	0.75	0.55	0.45	3	3	Sara
181	70	0.7	0.6	0.3	3	3	Sara
182	63	0.75	0.55	0.45	3	3	Sara
183	77	0.8	0.7	0.6	2	3	
184	186	1	0.8	0.4	2	3	Ant
185	181	1	0.8	0.35	2	3	Ant
186	185	0.75	0.65	0.3	1	3	Ant
187	180	0.75	0.55	0.3	1	3	Ant
188	182	0.85	0.55	0.5	1	3	Ant
189	183	0.95	0.55	0.55	1	3	Ant
190	184	1	0.55	0.3	3	3	Ant
191	112	0.95	0.55	0.5	3	3	
192	82	0.8	0.7	0.45	1	3	Bunny
193	80	0.7	0.6	0.4	1	3	Bunny
194	81	1	0.55	0.45	2	3	Bunny
195	83	0.75	0.65	0.3	2	3	Bunny
196	51	0.8	0.75	0.55	4	3	
197	110	0.75	0.7	0.35	5	3	
198	109	0.95	0.6	0.45	5	3	
199	89	0.75	0.55	0.45	5	3	
200	86	0.85	0.8	0.45	4	3	