รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณิกา ศิลานนท์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอลิทึมในการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

โครงการอบรมเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. การใช้งานโปรแกรมประยุกต์ MATLAB. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2542.

จงกล เอี่ยมมิ. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

จุฑามาศ เทวินบุรานุวงศ์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับการจัดตารางเวรของพยาบาลประจำการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 6. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, 2541. หน้า 218-234.

พิภพ ลลิตาภรณ์. ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, 2539.

ภัททิตา สุวรรณรุจิ. การประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยสำหรับการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อินโฟเรส, 2543.

วัชรพันธ์ ประเสริฐสิทธิ์. ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

สุธรรม ศรีเกษม, สง่า ศุภปรีดา, กิติ ศรีนุชศาสตร์, ปรีชา วงษ์ษา. MATLAB เพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต, 2521.

ภาษาอังกฤษ

Baker, K.R. Introduction to sequencing and scheduling. New York: John Wiley & Sons, 1974.

Bard J.F. and Shtub A. An analytic framework for sequencing mixed model assembly lines. Int. J. Prod. Res. 30,1(1992): 35-48.

Celano G., Costa A., Fichera S. and Perrone G. Fuzzy scheduling of a flexible assembly line through an evolutionary algorithm. IEEE 0-7803-6583-6. (2000): 328-333.

Chutima, P., and Silanon, K. Application of Genetic Algorithm on Assembly Line Balancing with Multiple Criteria. Special ICPR-2000, August 2-4,2000. Bangkok, Thailand.

Chutima, P., and Suwanruji, P. Approach to apply fuzzy AHP on part routing problems in FMS. Thammasat International Journal of Science and Technology.4,2 (1999):76-87.

Chutima, P., and Yiangkamolsing, C. Application of genetic algorithms to plant layout problems. Proceedings of 4th IE-Network National Conference, October 29-30,1998: 96-114. Bangkok, Thailand.

Dar-El E.M. Mixed-model assembly line sequencing problems., OMEGA. The Int. Jl of Mgmt Sci.. 6,4 (1978):313-323.

Gen, M., and Cheng, R. Genetic algorithm and engineering optimization. New York: John Wiley & Sons, 2000.

Gen, M., and Cheng, R. Genetic algorithm and engineering design. New York: John Wiley & Sons, 1997.

Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search,Optimization, & Machine Learning. MA: Addison-Wesley, 1989.

Hong T.P., Chung T.N. A fuzzy CDS scheduling algorithm. Emerging Technologies and Factory Automation,1996. EFTA'1996. Proceeding,1996 IEEE Conference on. 2 (1996): 528-532.

Hong T.P., Wang T.T. A heuristic Palmer based fuzzy flexible flow-shop scheduling algorithm. IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings, August 22-25,1999: 1493-1497. Seoul Korea.

Hyun, C.J., Kim, Y. and Kim, Y.K. A Genetic algorithm for multiple objectives sequencing problems in mixed model assembly lines. Computers Ops.Res. 25, 7/8 (1998): 675-690.

Ishibuchi H., Murata T. and Lee K.H. Formulation of fuzzy flowshop scheduling problems with fuzzy processing time. IEEE 0-7803-3645-3. 1996.

Keum Y., Hyun C.J. and Kim Y. Sequencing in mixed model assembly lines: A genetic algorithm approach. Computers Ops.Res. 23,12 (1996): 1131-1145.

Lam S.S. and Cai X. Early-Tardy scheduling under fuzzy due date using a genetic algorithm. IEEE 0-7803-5536-9. (1999) : 1079-1084.

Leu Y.Y., Matheson L.A. and Rees L.P. Sequencing mixed model assembly lines with genetic algorithms. Computers ind Engng. 30,4 (1996) : 1027-1036.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. New York, John Wiley & Sons, 1997.

Murata T., Ishibushi H. and Tanaka H. Muti-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling. Computers ind Engng. 30,4 (1996): 957-968.

Ross, Timothy.J. Fuzzy logic with engineering application. United States of America McGraw-Hill. 1995.

Schaffer, J.D., and Eshelman, L.J. On Crossover as an Evolutionarily Viable Strategy. Proc. third Int. Conf. On Genetic Algorithms. George Mason University. (n.d.).

Shon. A Study of Line-Balancing and Sequencing of a multiple product assembly line. Thesis No.IE87-8, Asian Institute of Technology, Bangkok,1987.

Starkweather, T., Mcdaniel, S., Mathias, K., and Whitley, D. A comparison of genetic Sequencing Operators. Colorado State University, Fort Collins, (n.d.).

Zhang, Y., Luh, P.B., Yoneda, K., Kano, T., Kyoya Y. Mixed-model assembly line scheduling using the Lagrangian Relaxation Technique. Proceeding of the 1997 IEEE International Conference on control Application, Octorber 5-7,1997 : 429-434. Hartford, CT.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ปัญหา NP-hard

ปัญหา NP-hard คือปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานและเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบตรงไปตรงมาในทางปฏิบัติ และโดยทั่วไปแล้วจะใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหาประเภทนี้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีถึงแม้ว่าจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม

ลักษณะของปัญหาแบบ NP-hard จะอยู่ในรูปของ $f(v)$ (Time Complexity Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่ใช้แสดงถึงเวลาสูงสุดของปัญหาที่มีขนาด v ตัวอย่างของเวลาในการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ ก.1 เช่น เวลาที่ใช้ในการคำนวณของรูปแบบปัญหาที่มีฟังก์ชั่น $f(v)=v$ โดยกำหนดให้ v ขนาดเท่ากับ 10 และกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละขั้นตอนเท่ากับ 1 ไมโครวินาทีดังนั้นเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดเท่ากับ 10 ไมโครวินาที (1x10) แต่ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเส้นตรง แต่ถ้าปัญหาที่มีค่าของ $f(v)$ เป็น 2^v 3^v และ $v!$ เวลาที่ใช้จะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

ตารางที่ ก.1 *เวลาในการคำนวณที่อยู่ในรูป Time Complexity Function โดยมีสมมติฐานว่าการคำนวณในแต่ละครั้งใช้เวลา 1 ไมโครวินาที*

Time Complexity Function	v					
$f(v)$	10	20	30	40	50	60
v	0.00001 sec	0.00002 sec	0.00003 sec	0.00004 sec	0.00005 sec	0.00006 sec
v^2	0.001 sec	0.0004 sec	0.0009 sec	0.0016 sec	0.0025 sec	0.0036 sec
v^5	0.1 sec	3.2 sec	24.3 sec	1.7 min	5.2 min	13 min
v^{10}	2.7 hr	118.5 days	18.7 yrs	3.3 centuries	30.9 centuries	192 centuries
2^v	0.001 sec	1.0 sec	17.9 min	12.7 days	35.7 yrs	366 centuries
3^v	0.59 sec	58 min	6.5 yrs	3855 centuries	$2*10^8$ centuries	$1.3*10^{13}$ centuries
$v!$	3.6 sec	770 centuries	$8.4*10^{16}$ yrs	$2.5*10^{32}$ centuries	$9.6*10^{48}$ centuries	$2.6*19^{66}$ centuries

สมมติให้มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์จากตัวอย่างที่ผ่านมา 1,000 เท่า ถ้าปัญหาไม่มีความซับซ้อนมากนักและให้ระยะเวลาในการคำนวณเท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์จากปัญหาที่ผ่านมา ถ้าปัญหาที่มีฟังก์ชัน v ก็สามารถทำให้เวลาในการคำนวณเร็วขึ้น 1,000 เท่า แต่ถ้าปัญหามีความซับซ้อนมากคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงก็สามารถช่วยใน

การคำนวณได้เร็วขึ้นในระดับหนึ่ง เช่นปัญหาที่มีฟังก์ชั่นเป็น $v!$ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการคำนวณเร็วกว่า 1,000 เท่า ช่วยให้การคำนวณได้เร็วขึ้นเล็กน้อย ดังตัวอย่างในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 *ขนาดของปัญหาในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า 1000 เท่า*

Time Complexity Function	ขนาดของปัญหาที่ถูกแก้		
	คอมพิวเตอร์ธรรมดา	คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า 1000 เท่า	
v	v_1	$1000v_1$	
v^2	v_2	$31.62v_2$	
v^5	v_3	$3.98v_3$	
v^{10}	v_4	$1.99v_4$	
2^v	v_5	v_5+10	
3^v	v_6	v_6+6	
$v!$	v_7	v_7+3	$v_7 \leq 10$
		v_7+2	$10<v_7 \leq 30$
		v_7+1	$30<v_7 \leq 1000$

ปัญหา NP-hard เป็นปัญหาที่ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบยาวนาน ดังนั้นการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบตรงไปตรงมาจึงเป็นไปได้ลำบาก และถึงแม้จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงมาช่วยในการคำนวณก็สามารถช่วยได้ในระดับหนึ่ง วิธีการหาคำตอบของปัญหารูปแบบนี้ได้แก่การใช้ฮิวริสติก หรือ อัลกอริทึมต่างๆมาช่วยใช้ในการหาคำตอบ

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของกรณีศึกษา

1. กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด มีการผลิตผลิตภัณฑ์ ชนิดที่ 1 2 และ 3 จำนวน 42 28 และ 35 ชิ้นตามลำดับ ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) เท่ากับ 6:4:5 นั่นคือ จัดกลุ่มงานเข้าทำการประกอบทั้งหมด 15 กลุ่ม กลุ่มละ 7 หน่วย การประกอบมีขั้นงานทั้งหมด 114 ขั้นงาน โดยมีเวลาการทำงานในแต่ละขั้นงานเป็นแบบฟัซซี่ คือ มีเวลาการทำงานน้อยที่สุด เวลาการทำงานเฉลี่ย และเวลาการทำงานมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 *เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 7 หน่วย (นาที)								
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
1	0.10	0.70	1.30	0.00	0.00	0.00	1.40	3.99	6.58
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	2.80	5.26
3	4.31	5.81	7.31	1.15	1.47	1.79	0.53	3.15	5.77
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	4.55	8.24
5	0.71	1.96	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	2.59	3.22
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	3.36	5.60
8	1.69	11.20	20.71	1.54	11.20	20.86	0.00	0.00	0.00
9	2.93	3.50	4.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	1.07	2.10	3.13	1.24	1.75	2.26	0.97	1.89	2.81
11	2.06	2.31	2.56	1.38	1.89	2.40	1.62	2.66	3.70
12	0.89	3.50	6.11	1.24	3.50	5.76	1.25	1.75	2.25
13	1.57	2.31	3.05	1.41	2.45	3.49	2.72	3.64	4.56
14	1.99	2.31	2.63	0.42	1.89	3.36	0.55	3.36	6.17
15	0.74	1.40	2.06	0.35	1.40	2.45	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข.1 *เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 7 หน่วย (นาที)								
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
16	2.12	2.94	3.76	4.28	4.34	4.40	8.50	8.54	8.58
17	4.30	5.81	7.32	1.67	6.79	11.91	0.61	4.41	8.21
18	1.52	2.94	4.36	1.47	2.94	4.41	0.71	1.61	2.51
19	3.27	4.69	6.11	4.04	5.60	7.16	3.14	4.06	4.98
20	5.45	8.19	10.93	7.82	8.19	8.56	0.00	0.00	0.00
21	2.15	3.50	4.85	0.76	3.50	6.24	3.49	4.20	4.91
22	0.43	1.19	1.95	0.99	1.19	1.39	1.54	1.75	1.96
23	2.97	3.50	4.03	2.87	3.50	4.13	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.70	1.11
25	0.34	1.40	2.46	0.76	1.75	2.74	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	1.70	1.96	2.22	1.07	1.96	2.85
27	5.27	9.31	13.35	8.51	9.31	10.11	0.00	0.00	0.00
28	0.87	0.91	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.96	1.12	1.28	0.31	1.12	1.93
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	2.31	4.08
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	5.81	10.44
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	1.19	1.26
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.51	12.60	20.69
34	9.49	12.25	15.01	18.52	23.10	27.68	7.83	9.94	12.05
35	3.88	7.56	11.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99	11.06	17.13
37	2.21	11.69	21.17	6.86	11.69	16.52	2.95	11.69	20.43
38	1.43	4.69	7.95	6.33	11.69	17.05	6.52	10.50	14.48
39	4.48	12.95	21.42	6.61	14.00	21.39	3.99	12.46	20.93
40	1.28	3.36	5.44	2.11	3.36	4.61	1.52	3.50	5.48
41	0.85	8.19	15.53	3.89	8.19	12.49	0.00	0.00	0.00
42	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	5.26	8.75	12.24
43	1.85	2.31	2.77	0.46	2.31	4.16	0.00	0.00	0.00
44	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	4.41	7.02
45	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	3.15	3.30
46	0.57	2.94	5.31	2.16	3.50	4.84	1.34	3.50	5.66
47	2.58	5.6	8.62	4.90	5.60	6.30	8.57	9.24	9.91
48	3.26	3.5	3.74	2.02	3.50	4.98	3.21	10.36	17.51
49	11.58	11.9	12.22	8.34	11.90	15.46	10.97	11.90	12.83
50	0.13	1.26	2.39	0.76	1.26	1.76	0.61	1.75	2.89

ตารางที่ ข.1 *เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 7 หน่วย (นาที)								
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
51	3.80	4.2	4.60	0.16	0.42	0.68	0.00	0.00	0.00
52	3.03	4.2	5.37	0.00	0.00	0.00	6.21	7.00	7.79
53	1.69	1.75	1.81	1.54	1.75	1.96	0.00	0.00	0.00
54	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	5.46	10.23
55	11.56	13.16	14.76	2.30	7.56	12.82	1.28	2.10	2.92
56	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	4.16	6.16	8.16
57	1.12	5.6	10.08	2.80	5.60	8.40	3.83	4.69	5.55
58	5.32	11.9	18.48	9.66	11.90	14.14	3.00	11.90	20.80
59	5.77	7	8.23	1.92	7.00	12.08	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	7.00	12.46
61	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	4.45	11.76	19.07
62	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	4.55	6.43
63	4.95	6.16	7.37	1.25	6.16	11.07	6.01	9.52	13.03
54	4.73	6.79	8.85	3.10	6.79	10.48	6.26	9.59	12.92
65	9.31	11.9	14.49	9.38	11.90	14.42	11.86	11.90	11.94
66	0.00	0	0.00	3.10	5.11	7.12	0.00	0.00	0.00
67	2.00	11.9	21.80	11.74	11.90	12.06	11.67	11.90	12.13
68	0.00	0	0.00	2.44	3.50	4.56	0.00	0.00	0.00
69	4.17	11.9	19.63	10.00	11.90	13.80	6.54	11.90	17.26
70	12.82	18.69	24.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71	9.25	11.9	14.55	4.44	11.90	19.36	9.12	11.90	14.68
72	4.65	14	23.35	11.87	14.00	16.13	6.83	11.69	16.55
73	11.41	11.9	12.39	8.46	11.90	15.34	7.47	11.90	16.33
74	3.60	14	24.40	10.92	14.00	17.08	2.29	11.69	21.09
75	4.20	11.9	19.60	3.11	11.90	20.69	10.15	11.90	13.65
76	4.78	14	23.22	2.97	14.00	25.03	8.40	11.69	14.98
77	8.32	11.90	15.48	4.58	11.90	19.22	8.51	11.90	15.29
78	13.57	14.00	14.43	10.09	14.00	17.91	5.63	8.19	10.75
79	8.00	11.90	15.80	1.49	11.90	22.31	8.18	11.90	15.62
80	9.86	14.00	18.14	7.23	14.00	20.77	5.09	9.10	13.11
81	1.18	4.69	8.20	2.64	4.69	6.74	5.90	9.10	12.30
82	11.38	17.29	23.20	1.20	10.15	19.10	0.00	0.00	0.00
83	2.38	4.69	7.00	1.70	4.69	7.68	6.04	8.96	11.88
84	0.89	3.50	6.11	2.24	3.50	4.76	1.81	8.19	14.57
85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03	9.10	16.17

***ตารางที่ ข.1** เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 7 หน่วย (นาที)								
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
86	0.32	0.56	0.80	0.22	0.56	0.90	0.00	0.00	0.00
87	0.00	0.00	0.00	4.18	5.95	7.72	1.90	9.94	17.98
88	0.00	0.00	0.00	1.69	2.94	4.19	0.00	0.00	0.00
89	2.47	5.95	9.43	3.90	5.95	8.00	3.33	9.94	16.55
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.14	5.25	8.36
91	3.35	5.81	8.27	3.12	5.81	8.50	1.23	10.01	18.79
92	1.71	3.36	5.01	0.68	0.70	0.72	2.14	3.36	4.58
93	4.89	11.69	18.49	5.37	11.69	18.01	2.62	8.19	13.76
94	0.23	0.70	1.17	0.48	0.70	0.92	3.13	3.64	4.15
95	4.75	5.95	7.15	5.63	5.95	6.27	5.86	7.70	9.54
96	2.90	12.81	22.72	1.74	12.81	23.88	2.06	7.56	13.06
97	9.31	12.81	16.31	2.77	12.81	22.85	7.29	7.56	7.83
98	1.31	12.81	24.31	2.84	12.81	22.78	2.92	7.56	12.20
99	11.00	12.81	14.62	3.73	12.81	21.89	2.09	7.35	12.61
100	2.85	4.34	5.83	11.55	12.81	14.07	7.29	7.35	7.41
101	5.12	5.25	5.38	1.41	8.19	14.97	6.93	8.96	10.99
102	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81	3.50	5.19
103	11.19	11.69	12.19	3.84	11.69	19.54	10.51	11.69	12.87
104	3.23	11.69	20.15	3.98	11.69	19.40	3.43	11.69	19.95
105	8.84	11.69	14.54	1.55	11.69	21.83	6.64	11.69	16.74
106	2.92	11.69	20.46	8.15	11.69	15.23	5.77	11.69	17.61
107	3.85	9.31	14.77	6.23	9.31	12.39	8.47	8.89	9.31
108	2.36	5.60	8.84	2.24	5.60	8.96	3.55	11.69	19.83
109	5.46	5.60	5.74	2.00	5.60	9.20	5.37	11.69	18.01
110	4.82	5.60	6.38	0.63	5.60	10.57	10.95	11.69	12.43
111	0.55	2.80	5.05	3.19	5.60	8.01	4.80	9.31	13.82
112	1.47	2.80	4.13	3.70	5.60	7.50	8.10	8.75	9.40
113	2.01	5.81	9.61	1.04	5.81	10.58	2.26	5.81	9.36
114	6.63	8.26	9.89	6.77	9.31	11.85	9.37	11.06	12.75

สายการประกอบสำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ประกอบด้วยสถานีงานทั้งหมด 25 สถานี โดยแต่ละสถานีประกอบด้วยขั้นงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 *ขั้นงานต่างๆในสถานีงานของสายการประกอบกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด*

สถานีงานที่	ขั้นงาน
1	17, 20, 19, 18, 15, 21, 3, 24, 28
2	39, 16, 22, 8, 32
3	38, 48, 23, 40, 57, 50, 5
4	4, 34, 29, 46, 35, 6, 12, 2
5	49, 58, 36
6	65, 67, 13, 7
7	69, 71, 14, 26
8	73, 75, 1, 10
9	55, 64, 27, 62
10	77, 79, 11, 25
11	81, 83, 70, 85, 33
12	72, 74, 45
13	76, 78, 54
14	37, 80, 42, 30
15	47, 56, 63, 87, 52
16	61, 41, 31, 82, 51, 44
17	59, 84, 56, 89, 91
18	93, 95, 88, 43, 53, 90, 60, 92
19	94, 96, 97
20	98, 99
21	100, 101, 102, 103
22	104, 105
23	106, 107
24	108, 109, 110
25	111, 112, 113, 114

2. กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด มีการผลิตผลิตภัณฑ์ ชนิดที่ 1 2 3 และ 4 จำนวน 50 80 40 และ 100 ชิ้นตามลำดับ ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) เท่ากับ 5:8:4:10 นั่นคือ จัดกลุ่มงานเข้าทำการประกอบทั้งหมด 27 กลุ่ม กลุ่มละ 10 หน่วย การประกอบมีขั้นงานทั้งหมด 49 ขั้นงาน โดยมีเวลาการทำงานในแต่ละขั้นงานเป็นแบบฟัซซี่ คือ มีเวลาการทำงานน้อยที่สุด เวลาการทำงานเฉลี่ย และเวลาการทำงานมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 *เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 10 หน่วย (นาที)											
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
1	1.69	4	6.31	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.81	2	3.19
2	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	1.03	3	4.97
3	0.84	4	7.16	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	1.63	3	4.37
4	0.00	0	0.00	2.43	3	3.57	2.43	3	3.57	0.69	1	1.31
5	7.94	8	8.06	1.63	9	16.37	1.63	9	16.37	4.98	7	9.02
6	4.70	7	9.30	7.03	10	12.97	7.03	10	12.97	3.76	6	8.24
7	0.00	0	0.00	6.44	8	9.56	6.44	8	9.56	3.12	9	14.88
8	3.14	8	12.86	0.31	3	5.69	0.31	3	5.69	0.65	6	11.35
9	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	6.81	8	9.19
10	1.89	9	16.11	0.50	1	1.50	0.50	1	1.50	2.42	6	9.58
11	1.01	2	2.99	2.10	3	3.90	2.10	3	3.90	6.17	7	7.83
12	0.00	0	0.00	2.05	6	9.95	2.05	6	9.95	6.94	7	7.06
13	4.56	7	9.44	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	2.06	5	7.94
14	2.21	3	3.79	2.27	3	3.73	2.27	3	3.73	0.00	0	0.00
15	4.70	7	9.30	4.68	7	9.32	4.68	7	9.32	0.00	0	0.00
16	2.07	4	5.93	1.92	3	4.08	1.92	3	4.08	1.26	4	6.74
17	0.66	6	11.34	1.77	3	4.23	1.77	3	4.23	0.69	3	5.31
18	2.04	6	9.96	1.01	4	6.99	1.01	4	6.99	0.98	6	11.02
19	1.22	2	2.78	0.73	2	3.27	0.73	2	3.27	0.64	2	3.36
20	6.22	7	7.78	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	4.55	7	9.45
21	2.38	5	7.62	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	2.54	6	9.46
22	0.87	1	1.13	0.86	1	1.14	0.86	1	1.14	0.38	2	3.62
23	1.00	2	3.00	2.62	3	3.38	2.62	3	3.38	0.64	2	3.36
24	4.59	9	13.41	6.15	8	9.85	6.15	8	9.85	0.00	0	0.00
25	1.85	6	10.15	3.32	6	8.68	3.32	6	8.68	1.26	3	4.74

ตารางที่ ข.3 *เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 10 หน่วย (นาที)											
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
26	3.03	5	6.97	0.00	0	0.00	2.39	4	5.61	0.73	6	11.27
27	5.80	9	12.20	2.22	10	17.78	1.86	7	12.14	0.00	0	0.00
28	3.00	6	9.00	1.74	5	8.26	0.50	4	7.50	0.00	0	0.00
29	0.72	2	3.28	0.92	2	3.08	0.00	0	0.00	0.81	1	1.19
30	1.66	5	8.34	1.92	6	10.08	0.96	2	3.04	0.95	4	7.05
31	3.12	10	16.88	5.07	9	12.93	2.18	8	13.82	4.00	5	6.00
32	0.00	0	0.00	4.79	7	9.21	3.41	6	8.59	2.58	4	5.42
33	0.94	6	11.06	0.00	0	0.00	2.00	3	4.00	0.00	0	0.00
34	0.21	1	1.79	0.89	1	1.11	0.91	1	1.09	0.00	0	0.00
35	3.56	7	10.44	2.04	6	9.96	1.83	5	8.17	3.38	5	6.62
36	5.66	6	6.34	0.00	0	0.00	4.85	5	5.15	7.51	8	8.49
37	2.10	9	15.90	7.14	9	10.86	3.91	5	6.09	4.15	7	9.85
38	0.00	0	0.00	0.11	1	1.89	1.11	5	8.89	0.93	1	1.07
39	4.70	5	5.30	0.94	6	11.06	0.00	0	0.00	1.68	5	8.32
40	0.00	0	0.00	1.57	5	8.43	1.71	4	6.29	1.21	3	4.79
41	0.87	3	5.13	0.00	0	0.00	1.64	7	12.36	6.98	8	9.02
42	6.88	8	9.12	3.27	5	6.73	0.00	0	0.00	6.91	9	11.09
43	1.76	4	6.24	1.83	2	2.17	1.65	4	6.35	1.21	7	12.79
44	0.72	4	7.28	2.44	3	3.56	3.18	8	12.82	0.00	0	0.00
45	1.91	7	12.09	2.45	4	5.55	6.09	7	7.91	3.86	4	4.14
46	0.00	0	0.00	2.88	4	5.12	1.85	4	6.15	0.00	0	0.00
47	7.29	10	12.71	2.80	6	9.20	3.61	8	12.39	3.33	4	4.67
48	0.00	0	0.00	2.05	7	11.95	1.57	7	12.43	0.00	0	0.00
49	0.00	0	0.00	0.63	1	1.37	3.56	4	4.44	1.23	3	4.77

สายการประกอบสำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ประกอบด้วยสถานีงานทั้งหมด 11 สถานี โดยแต่ละสถานีประกอบด้วยขั้นงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ข.4

ตารางที ข.4 ขั้นงานต่าง ๆ ในสถานีงานของสายการประกอบกรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

สถานีงานที่	ขั้นงาน
1	1, 20, 21, 24, 2
2	4, 3, 25, 18, 19, 23
3	22, 26, 27, 5
4	6, 8, 7
5	9, 10, 11, 12
6	15, 16, 17
7	28, 30, 29, 31
8	32, 35,
9	34, 41, 43, 33
10	36, 37, 38, 44
11	45, 46, 47, 48, 49

3. กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด มีการผลิตผลิตภัณฑ์ ชนิดที่ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 จำนวน 40 60 100 120 60 40 100 100 120 และ 60 ชิ้นตามลำดับ ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) เท่ากับ 2:3:5:6:3:2:5:5:6:3 นั่นคือ จัดกลุ่มงานเข้าทำการประกอบทั้งหมด 40 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น การประกอบมีขั้นงานทั้งหมด 19 ขั้นงาน โดยมีเวลาการทำงานในแต่ละขั้นงานเป็นแบบฟัซซี่ คือ มีเวลาการทำงานน้อยที่สุด เวลาการทำงานเฉลี่ย และเวลาการทำงานมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ ข.5-1 และ ตารางที่ ข.5-2

สายการประกอบสำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด ประกอบด้วยสถานีงานทั้งหมด 3 สถานี โดยแต่ละสถานีประกอบด้วยขั้นงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ ข.6

ตารางที ข.6 ขั้นงานต่าง ๆในสถานีงานของสายการประกอบกรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

สถานีงานที่	ขั้นงาน
1	2, 5, 1, 7, 6
2	3, 10, 9, 8, 12, 15
3	4, 11, 14, 18, 13, 17, 19, 16

ตารางที่ ข.5-1 *เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ชนิดที่ 1-5)*

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 10 หน่วย (นาที)														
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 5		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
1	7.99	10	12.01	0	0	0	2.66	20	37.34	4.60	5.23	5.86	11.49	12.42	13.35
2	6.72	8	9.28	15.56	16	16.44	3.02	24	44.98	19.18	21.79	24.41	22.67	24.51	26.35
3	0.00	0	0.00	2.02	4	5.98	6.59	8	9.41	5.83	6.62	7.42	3.01	3.25	3.50
4	6.72	8	9.28	0.00	0	0	0.00	0	0.00	2.30	2.61	2.93	17.37	18.77	20.18
5	3.68	4	4.32	3.21	4	4.79	1.01	4	6.99	0.57	0.78	0.99	28.63	30.96	33.28
6	3.68	4	4.32	0	0	0	0.00	0	0.00	20.11	22.85	25.60	32.02	34.61	37.21
7	6.72	8	9.28	7.54	10	12.46	3.42	12	20.58	21.81	24.79	27.76	33.51	36.22	38.94
8	0.00	0	0.00	2.26	10	17.74	3.24	10	16.76	8.02	9.12	10.21	11.16	12.06	12.97
9	6.72	8	9.28	4.04	6	7.96	2.65	4	5.35	2.51	2.85	3.19	8.23	8.90	9.57
10	0.00	0	0.00	0	0	0	2.68	4	5.32	9.06	10.30	11.54	36.92	39.92	42.91
11	5.28	6	6.72	4.97	6	7.03	1.53	6	10.47	18.28	20.77	23.26	27.43	29.66	31.88
12	1.92	2	2.08	5.86	6	6.14	2.99	10	17.01	7.50	8.53	9.55	21.48	23.22	24.96
13	1.92	2	2.08	0	0	0	1.17	2	2.83	3.31	3.76	4.21	21.88	23.65	25.43
14	3.68	4	4.32	0.96	4	7.04	1.04	4	6.96	2.30	2.61	2.93	2.03	2.19	2.35
15	10.07	14	17.93	7.31	20	32.69	26.04	30	33.96	15.56	17.68	19.80	28.11	30.39	32.67
16	0.00	0	0.00	0.74	2	3.26	0.00	0	0.00	7.46	8.48	9.50	22.00	23.78	25.57
17	7.99	10	12.01	8.59	10	11.41	0.00	0	0.00	14.69	16.69	18.69	8.12	8.78	9.43
18	5.28	6	6.72	3.43	10	16.57	5.37	6	6.63	6.08	6.91	7.74	34.61	37.42	40.22
19	6.72	8	9.28	0.86	6	11.14	0.00	0	0.00	18.42	20.94	23.45	11.17	12.08	12.99

ตารางที่ ข.5-2 เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานกรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ชนิดที่ 6-10)

ขั้นงาน	เวลาการทำงาน / ผลิตภัณฑ์ 10 หน่วย (นาที)														
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 6			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 7			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 8			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 9			ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 10		
	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด	น้อยสุด	เฉลี่ย	มากสุด
1	24.43	27.14	29.86	11.37	12.92	14.47	10.92	12.85	14.78	15.89	17.65	19.42	3.96	4.66	5.36
2	2.88	3.20	3.52	18.09	20.56	23.02	15.63	18.39	21.15	19.67	21.85	24.04	3.97	4.67	5.37
3	14.31	15.90	17.49	16.51	18.76	21.01	8.69	10.23	11.76	4.65	5.16	5.68	10.76	12.66	14.56
4	20.52	22.80	25.08	21.91	24.90	27.89	8.94	10.52	12.09	20.09	22.32	24.55	6.92	8.14	9.36
5	17.73	19.70	21.66	0.11	0.13	0.14	8.67	10.21	11.74	19.28	21.42	23.56	5.79	6.81	7.83
6	22.07	24.52	26.97	3.17	3.60	4.03	6.66	7.84	9.01	22.47	24.97	27.46	7.31	8.60	9.89
7	23.89	26.54	29.20	21.66	24.61	27.57	9.36	11.02	12.67	5.05	5.61	6.17	15.97	18.78	21.60
8	24.44	27.16	29.88	20.25	23.01	25.77	12.51	14.72	16.93	1.00	1.11	1.22	3.85	4.53	5.21
9	18.47	20.52	22.57	8.32	9.46	10.60	13.42	15.79	18.16	13.87	15.41	16.95	11.88	13.98	16.07
10	17.17	19.08	20.99	11.31	12.86	14.40	0.51	0.60	0.69	22.45	24.94	27.44	0.42	0.49	0.56
11	24.08	26.75	29.43	3.34	3.80	4.25	13.99	16.46	18.93	25.82	28.68	31.55	15.55	18.29	21.03
12	6.80	7.56	8.31	15.70	17.85	19.99	6.71	7.90	9.08	14.27	15.85	17.44	0.25	0.29	0.33
13	2.61	2.90	3.19	15.42	17.52	19.62	14.91	17.54	20.18	9.33	10.37	11.40	3.60	4.23	4.87
14	25.94	28.82	31.71	8.46	9.61	10.76	6.60	7.76	8.92	7.48	8.32	9.15	2.90	3.41	3.92
15	14.28	15.87	17.45	17.62	20.02	22.42	2.99	3.51	4.04	13.42	14.91	16.41	0.45	0.53	0.61
16	24.93	27.71	30.48	1.66	1.89	2.12	6.94	8.16	9.38	15.30	17.00	18.70	14.07	16.55	19.03
17	24.74	27.49	30.24	3.87	4.39	4.92	0.37	0.43	0.50	11.08	12.31	13.54	11.95	14.06	16.17
18	17.89	19.88	21.87	7.92	8.99	10.07	2.61	3.07	3.54	12.64	14.05	15.45	7.54	8.88	10.21
19	22.88	25.43	27.97	12.48	14.18	15.88	11.54	13.58	15.61	8.36	9.29	10.22	12.82	15.09	17.35

ภาคผนวก ค

การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีเวลาการทำงานแบบฟัซซี่ โดยนำมาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB Version 5.3 ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถใช้ในการหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยใช้กรณีศึกษาในงานวิจัย ซึ่งจะทำการทำสอบทั้งหมด 2 เรื่องคือ

1) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเรื่องของการทำงานในแต่ละขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึม โดยทำการรันโปรแกรมทีละขั้นดอน จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาตรวจสอบกับการคำนวณหาค่าด้วยมือ เพื่อพิจารณาความถูกต้องและความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ที่ได้
2) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเรื่องของความสามารถในการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด โดย ทำการรันโปรแกรมจนครบจำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด แล้วพิจารณาจากกราฟแสดงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละเจนเนอเรชั่นว่ามีการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดค่าหนึ่งตามหลักของเจนเนติกอัลกอริทึมหรือไม่

1. กรณีศึกษาที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม

กรณีศึกษาที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม คือ กรณีการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีเวลาการทำงานแบบฟัซซี่ ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 ชนิด โดยทำการผลิตผลิตภัณฑ์ ชนิดที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 50 80 40 และ 100 หน่วยตามลำดับ ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) เท่ากับ 5:8:4:10 นั่นคือทำการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบทั้งหมด 27 หน่วย คือ 111112222222233334444444444 เวลาการทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 49 ขั้นงาน มีลักษณะเป็นฟัซซี่ ประกอบด้วยค่า น้อยที่สุด ค่าเฉลี่ย และ ค่ามากที่สุด ดังแสดงในภาคผนวก ข. จากการจัดสมดุลสายการผลิตได้ว่าสายการประกอบนี้จะมีสถานีงานทั้งหมด 11 สถานีงาน แต่ละสถานีประกอบด้วยขั้นงานต่างๆ ดังนี้

สถานีงานที่ 1 ประกอบด้วยขั้นงาน 1,20,21,24,2
สถานีงานที่ 2 ประกอบด้วยขั้นงาน 4,3,25,18,19,23
สถานีงานที่ 3 ประกอบด้วยขั้นงาน 22,26,27,5
สถานีงานที่ 4 ประกอบด้วยขั้นงาน 6,7,8
สถานีงานที่ 5 ประกอบด้วยขั้นงาน 9,10,11,12
สถานีงานที่ 6 ประกอบด้วยขั้นงาน 15,16,17
สถานีงานที่ 7 ประกอบด้วยขั้นงาน 28,30,29,31
สถานีงานที่ 8 ประกอบด้วยขั้นงาน 32,35
สถานีงานที่ 9 ประกอบด้วยขั้นงาน 34,41,43,33
สถานีงานที่ 10 ประกอบด้วยขั้นงาน 36,37,38,44
สถานีงานที่ 11 ประกอบด้วยขั้นงาน 45,46,47,48,49

ดังนั้นได้ว่าเวลาการทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีงาน ดังแสดงในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 เวลาการทำงานของกรณีศึกษาที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม

สถานีงาน	เวลาการทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ / 10 หน่วย (นาที)											
	1			2			3			4		
	น้อย	เฉลี่ย	มาก	น้อย	เฉลี่ย	มาก	น้อย	เฉลี่ย	มาก	น้อย	เฉลี่ย	มาก
1	4.29	25	35.12	6.15	8	9.85	17.92	24	30.08	8.92	18	27.08
2	4.14	20	33.05	10.11	18	25.89	7.59	14	21.41	5.84	17	28.16
3	17.64	23	28.36	4.72	20	35.28	4.25	11	17.75	6.09	15	23.19
4	7.84	15	22.16	13.78	21	28.22	2.71	5	7.29	7.54	21	34.46
5	2.91	11	19.09	4.65	10	15.35	9.44	15	20.56	22.35	28	33.65
6	3.19	20	26.58	8.37	13	17.63	4.93	10	15.07	1.94	7	12.06
7	4.83	23	37.49	9.66	22	34.34	3.63	14	24.37	5.76	10	14.24
8	3.56	7	10.44	6.82	13	19.18	5.24	11	16.76	5.95	9	12.05
9	3.78	14	24.22	2.72	3	3.28	6.20	15	20.89	8.19	15	81.81
10	8.48	19	29.52	9.69	13	16.31	13.05	23	32.95	12.59	16	19.41
11	9.21	17	24.79	10.81	22	33.19	16.70	30	43.30	8.42	11	13.58

พารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม คือ

จำนวนประชากร	5 ประชากร
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.8
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.7
วิธีการคัดเลือกสตริง	Tournament Selection

วิธีการครอสโอเวอร์	modPMX
วิธีการมิวเตชั่น	Displacement
จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด	50

2. *การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม*

2.1 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการทำงานในแต่ละขั้นตอนของ GAs

1) การสร้างประชากรเบื้องต้น (Initial Population Creating)

ข้อมูลที่รับเข้าเพื่อสร้างสตริงคำตอบ ประกอบด้วย

- จำนวนขั้นงานทั้งหมด 49 ขั้นงาน
- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด
- จำนวนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต 50:80:40:100 หน่วย
- จำนวนสถานีงาน 11 สถานีงาน
- ขั้นงานในแต่ละสถานีงาน แสดงในภาคผนวก ข.
- เวลาของแต่ละขั้นงาน แสดงในภาคผนวก ข.

จากข้อมูลที่รับเข้า สามารถสร้างประชากรเบื้องต้นที่เป็นสตริงคำตอบ ดังตัวอย่างดังนี้

String(1) = [3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]
String(2) = [3 4 3 3 1 2 3 1 1 2 4 4 2 2 2 2 1 2 2 1 4 4 4 4 4 4 4]
String(3) = [4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]
String(4) = [1 2 3 2 4 1 1 3 2 3 2 2 3 2 1 2 2 1 4 4 4 4 4 4 4 4 4]
String(5) = [3 4 2 2 4 3 1 1 4 4 3 2 1 2 3 4 4 2 4 4 4 1 1 4 2 2 2]

จากตัวอย่างสตริงคำตอบที่ได้จากโปรแกรม พบว่าเป็นสตริงที่ประกอบด้วยตัวเลข 1:2:3:4 เป็นจำนวน 5:4:8:10 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต นอกจากนี้สตริงทั้ง 5 ตัว เป็นสตริงที่แตกต่างกันทั้งหมด ดังนั้นสรุปได้ว่าการทำงานของโปรแกรมในขั้นตอนการรับข้อมูลเข้าและทำการสร้างประชากรเบื้องต้นมีความถูกต้อง

2) การถอดรหัสคำตอบ (Decoding)

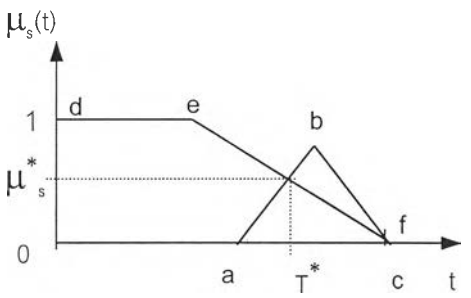
สตริงคำตอบที่ได้ แสดงถึงลำดับผลิตภัณฑ์ที่เข้าทำการประกอบในสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ดังนั้นในการถอดรหัสคำตอบจากสตริงคำตอบ ทำให้ได้ลำดับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต ซึ่งสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวเปรียบเสมือนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

3) การประเมินค่า (Evaluation)

การประเมินค่าของสตริงคำตอบ เป็นขั้นตอนการคำนวณเพื่อประเมินความเหมาะสมของสตริงคำตอบแต่ละตัวว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด โดยวัดจากค่า Fitness ซึ่งเป็นค่าความพึงพอใจของเวลาการทำงานเสร็จสิ้น

การหาค่า Fitness ของสตริงคำตอบ มีขั้นตอน ดังนี้

1. คำนวณเวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) ในรูปของฟัซซี่ (a,b,c)
2. คำนวณเวลาการทำงานที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง (Reference Time) ในรูปของฟัซซี่ (d,e,f)
3. นำค่า Makespan และ Reference Time มาทำการหาค่า Fitness Value โดยใช้ Max-Min Operator ซึ่งเป็นกระบวนการทางฟัซซี่ โดยการพิจารณาหาจุดตัดของกราฟ (T^*) เพื่อหาค่า Fitness Value (μ^*_s) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว



สมการเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณค่า Makespan คือ (T^* - a)/(b-a)

สมการเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณค่า Reference Time คือ (f- T^*)/(f-e)

หาจุดตัดของสมการเส้นตรงทั้ง 2 สมการนี้ ทำให้ได้ค่า T^* จากนั้นหาค่า μ^*_s จากกราฟ

นำผลการคำนวณค่า Makespan, Reference Time และค่า Fitness ที่คำนวณโดยโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 *ผลการเปรียบเทียบการประเมินค่าสตริงคำตอบของโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ*

String	Makespan		Reference Time		Fitness Value	
No.	Program	Manual	Program	Manual	Program	Manual
1	(401.9,710,1018.2)	(401.9,710,1018.2)	(301.2 ,509,716.8)	(301.2 ,509,716.8)	0.6104	0.6104
2	468.6,786,1103.4)	468.6,786,1103.4)	(301.2 ,509,716.8)	(301.2 ,509,716.8)	0.4726	.04726
3	(395.7,705,1014.3)	(395.7,705,1014.3)	(301.2 ,509,716.8)	(301.2 ,509,716.8)	0.6210	0.6210
4	(433.5,759,1084.5)	(433.5,759,1084.5)	(301.2 ,509,716.8)	(301.2 ,509,716.8)	0.5312	0.5312
5	(417.5,717,1016.5)	(417.5,717,1016.5)	(301.2 ,509,716.8)	(301.2 ,509,716.8)	0.5900	0.5900

จากตารางที่ ค.2 ผลการเปรียบเทียบการประเมินค่าของสตริงคำตอบของโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือ พบว่ามีค่าที่เท่ากัน แสดงว่าโปรแกรมมีการทำงานในขั้นตอนของการประเมินค่าถูกต้อง

4) การเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น (Initial Elite Preserve Strategy)

ผลการเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้นหลังจากการประเมินค่าของสตริงคำตอบโดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่ให้ค่า Fitness ที่มากที่สุด หากมีหลายคำตอบที่มีค่า Fitness เท่ากัน จะพิจารณาจากค่า Range Time

ผลการเก็บค่าที่ดีที่สุด โปรแกรมเลือกสตริงที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

String : [4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]
Makespan : [395.69 705 1014.3]
Fitness : 0.6210
Range Time : 309.3100

ในการพิจารณาค่า Fitness ของสตริงคำตอบ 5 ตัว ดังแสดงในตารางที่ ค.2 พบว่าสตริงคำตอบตัวที่ 3 ให้ค่า Fitness ที่สูงที่สุด คือ 0.6210 ดังนั้นสตริงคำตอบที่เป็นตัวที่ดีที่สุด คือ ตัวที่ 3 ในที่นี้โปรแกรมเลือกเก็บสตริงคำตอบที่ 3 ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรมทำงานถูกต้องในขั้นตอนของการเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น

5) การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection)

วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ใช้ คือ วิธี Tournament Selection โดยเริ่มต้นต้องนำค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัว จากตารางที่ ค.2 ทำการสร้างวงล้อรูเล็ต นำผลการสร้างวงล้อรูเล็ตโดยโปรแกรม เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือ ดังแสดงในตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 เปรียบเทียบการสร้างวงล้อรูเล็ตโดยโปรแกรมและการคำนวณด้วยมือ

String No.	Fitness		Selection Probability (p_i)		Cumulative Probability (q_i)	
	Program	Manual	Program	Manual	Program	Manual
1	0.6104	0.6104	0.2161	0.2161	0.2161	0.2161
2	0.4726	.04726	0.1673	0.1673	0.3833	0.3833
3	0.6210	0.6210	0.2198	0.2198	0.6031	0.6031
4	0.5312	0.5312	0.1880	0.1880	0.7912	0.7912
5	0.5900	0.5900	0.2088	0.2088	1.0000	1.0000
Total	2.8252	0.2852	1.00	1.00		

จากตารางที่ ค.3 จะเห็นได้ว่าการสร้างวงล้อรูเล็ตโดยโปรแกรมและการคำนวณด้วยมือได้ผลการสร้างที่เหมือนกัน ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถสร้างวงล้อรูเล็ตสำหรับนำไปใช้งานต่อในการคัดเลือกสตริงโดยวิธี Tournament Selection ได้ถูกต้อง

หลังจากการสร้างวงล้อรูเล็ต โปรแกรมจะทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ต จากนั้นเปรียบเทียบค่า Fitness แล้วเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool แต่หากกรณีที่สตริงทั้ง 2 ตัวมีค่า Fitness ที่เท่ากันจะทำการสุ่มตัวเลขขึ้นมา 1 ตัว คือ 0 หรือ 1 ถ้าสุ่มได้เลข 0 จะเลือกสตริงคำตอบตัวที่ 1 ถ้าสุ่มได้เลข 1 จะเลือกสตริงคำตอบตัวที่ 2 โดยจำนวนสตริงที่คัดเลือกเข้าสู่ Mating Pool จะเท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น

ตารางที่ ค.4 ผลการสุ่มเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Tournament Selection ในการทดสอบโปรแกรม

No.	String(1)				String(2)				X (random)	Selected String No.
	r_1	$q_i > r_i$	String No.	Fitness	r_1	$q_i > r_i$	String No.	Fitness		
1	0.7468	0.7912	4	0.5312	0.4537	0.6031	3	0.6210	-	3
2	0.9318	1.0000	5	0.5900	0.9355	1.0000	5	0.5900	0	5
3	0.8512	1.0000	5	0.5900	0.2028	0.2161	1	0.6104	-	1
4	0.1763	0.2161	1	0.6104	0.3284	0.3833	2	0.4726	-	1
5	0.2010	0.2161	1	0.6104	0.5318	0.6031	3	0.6210	-	3

จากตาราง ค.4 จะเห็นว่าในการคัดเลือกสตริงตัวที่ 2 สตริงคำตอบที่สุ่มขึ้นมา 2 ตัวเป็นตัวเดียวกัน มีค่า Fitness เท่ากัน ดังนั้นโปรแกรมจะทำการสุ่มตัวเลขขึ้นมา 1 ตัว เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบ ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการการคัดเลือกที่กำหนดไว้ และสำหรับการคัดเลือกสตริงตัวอื่นๆ จะเห็นว่าสตริงคำตอบที่รับการคัดเลือกในแต่ละครั้งมีค่า Fitness ที่มากกว่า และสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness สูง คือสตริงคำตอบ 1 และ 3 ที่มีค่า Fitness เท่ากับ 0.6104 และ 0.6210 ตามลำดับ ถูกคัดเลือกเพื่อเข้าสู่ Mating Pool มากกว่าสตริงคำตอบตัวอื่นๆ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการคัดเลือกสตริง ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรมทำการคัดเลือกสตริงคำตอบได้ถูกต้อง

6) การครอสโอเวอร์ (Crossover)

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการครอสโอเวอร์ คือ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และ วิธีการครอสโอเวอร์ โดยมีการกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) เท่ากับ 0.8 และใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Modification Partially Mapped Crossover (modPMX) โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะทำการสุ่มสตริงคำตอบมาจับคู่เป็นสตริงพ่อแม่เพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยเลือกสตริงที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่า Pc ซึ่งจะต้องสุ่มให้มีจำนวนสตริงเป็นเลขคู่ หากทำการสุ่มได้เป็นเลขคี่ต้องลดหรือเพิ่มสตริงคำตอบที่สุ่มได้ โดยสุ่มเลข 0 หรือ 1 ขึ้นมา ถ้าสุ่มได้เลข 0 คือ ลดจำนวนสตริง แต่ถ้าสุ่มได้เลข 1 คือเพิ่มจำนวนสตริง โดยเลือกจากสตริงคำตอบที่เหลือ หลังจากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ของคู่สตริงพ่อแม่แต่ละคู่ และทำการครอสโอเวอร์ตามขั้นตอนของวิธี modPMX ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับการครอสโอเวอร์ และผลการครอสโอเวอร์โดยใช้โปรแกรมดังแสดงในตารางที่ ค.5 และ ตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.5 ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับการครอสโอเวอร์โดยใช้โปรแกรม

String No.	String Sequence	r_i	Selected String r_i<Pc(0.8)
1	[4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.4186	*
2	[3 4 2 2 4 3 1 1 4 4 3 2 1 2 3 4 4 2 4 4 4 1 1 4 2 2 2]	0.5252	*
3	[3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.6721	*
4	[3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.9016	
5	[4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.3795	*

จากตารางที่ ค.5 จะเห็นว่าสตริงคำตอบที่ได้รับคัดเลือกเพื่อจับคู่ทำการครอสโอเวอร์ เมื่อเรากำหนดให้ Pc=0.8 จำนวนสตริงคำตอบที่จะนำมาครอสโอเวอร์จะมีค่าประมาณ 0.8*5= 4 นั่นคือประมาณ 4 ตัว ซึ่งโปรแกรมมีจำนวนสตริงที่ถูกสุ่มมาครอสโอเวอร์ 4 ตัว

ประกอบด้วยสตริงตัวที่ 1 2 3 และ 5 ดังนั้นแสดงว่าถูกต้อง และสตริงแต่ละตัวที่ถูกสุ่มมาเป็นสตริงที่มีค่าตัวเลขสุ่ม (r_j) น้อยกว่าค่า Pc แต่สำหรับสตริงคำตอบตัวที่ 4 มีค่าเลขสุ่ม เท่ากับ 0.9016 ซึ่งมากกว่า ค่า Pc(0.8) ที่กำหนดไว้ จึงไม่ได้รับคัดเลือก แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมมีการคัดเลือกสตริงที่จะเข้าทำการครอสโอเวอร์ได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจากจำนวนสตริงที่สุ่มได้เป็นเลขคู่ คือ 4 ตัว จึงทำการจับสตริงพ่อแม่เป็น 2 คู่ คือสตริง 1 คู่กับสตริง 2 และสตริง 3 คู่กับสตริง 5 จากนั้นโปรแกรมจะทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1 และคู่ที่ 2 ได้เป็นตำแหน่งที่ 12-19 และ 5-8 ตามลำดับ จากนั้นนำสตริงพ่อแม่ทำการครอสโอเวอร์โดยวิธี modPMX ได้ผลการครอสโอเวอร์โดยใช้โปรแกรม ดังแสดงในตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.6 *ผลการหาสตริงคำตอบใหม่จากการครอสโอเวอร์โดยใช้โปรแกรม*

Pair1	Parent1	[4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 **1 2 4 1 2 4 4 2** 3 4 2 2 4 4 4 4]
	Parent2	[3 4 2 2 4 3 1 1 4 4 3 **2 1 2 3 4 4 2 4** 4 4 1 1 4 2 2 2]
	XP1	12
	XP2	19
	Offspring1	[4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]
	Offspring2	[3 4 2 2 4 3 3 1 4 4 3 1 2 4 1 2 4 4 2 4 4 1 1 4 2 2 2]
Pair2	Parent1	[3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]
	Parent2	[4 2 2 2 **3 4 3 1** 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]
	XP1	5
	XP2	8
	Offspring1	[2 2 1 3 3 4 3 1 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]
	Offspring2	[4 3 2 2 1 1 2 3 4 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในขั้นตอนนี้ จะทำโดยเปรียบเทียบผลจากการครอสโอเวอร์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมกับการทำการครอสโอเวอร์ด้วยมือ โดยใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบเดียวกัน คือ วิธี modPMX และ ตำแหน่งของการครอสโอเวอร์ของสตริงพ่อแม่คู่ที่ 1 คือ 12-19 การครอสโอเวอร์ด้วยมือจะทำการขั้นตอนของการครอสโอเวอร์ ดังนี้

1). ตำแหน่งการครอสโอเวอร์ คือ 12-19 ดังนั้นสตริงย่อยของ Parent 1 = [1 2 4 1 2 4 4 2] และสตริงย่อยของ Parent2 = [2 1 2 3 4 4 2 4]

Parent 1 = [4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 | **1 2 4 1 2 4 4 2** | 3 4 2 2 4 4 4 4]

Parent 2 = [3 4 2 2 4 3 1 1 4 4 3 | **2 1 2 3 4 4 2 4** | 4 4 1 1 4 2 2 2]

2). สตริงลูกได้จากการสลับสตริงย่อยของสตริงพ่อแม่ทั้ง 2 คือ

Offspring 1 = [4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 | **2 1 2 3 4 4 2 4** | 3 4 2 2 4 4 4 4]

Offspring 2 = [3 4 2 2 4 3 1 1 4 4 3 | **1 2 4 1 2 4 4 2** | 4 4 1 1 4 2 2 2]

3) ตรวจเช็คสตริงลูกที่เกิดขึ้นหลังการสลับสตริงย่อย อาจมีจำนวนซ้ำของตัวเลขแต่ละตัวที่ไม่ถูกต้อง พบว่าใน Offspring1 ขาดเลข 1 จำนวน 1 ตัว และ มีเลข 3 เกินมาจำนวน1 ตัว ส่วนใน Offspring 2 ขาดเลข 3 จำนวน 1ตัว และมีเลข 1 เกินมาจำนวน 1 ตัว จึงต้องทำการแทนที่ตำแหน่งที่เป็นเลข 3 ตัวแรกที่พบใน Offspring1 เป็น 1 และ แทนที่ ตำแหน่งที่เป็นเลข 1 ตัวแรกที่พบใน Offspring2 เป็น 3 ดังนั้นได้ว่าสตริงคำตอบที่เป็นสตริงลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์ คือ

Offspring 1 = [4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]

Offspring 2 = [3 4 2 2 4 3 3 1 4 4 3 1 2 4 1 2 4 4 2 4 4 1 1 4 2 2 2]

จากสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์โดยใช้โปรแกรมและการครอสโอเวอร์โดยการใช้มือ ให้สตริงคำตอบที่เหมือนกัน และเป็นสตริงคำตอบที่เป็นไปตามที่กำหนดไว้นั่นคือ มีจำนวนตัวเลขซ้ำของ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 5 8 4 และ 10 ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่า โปรแกรมสามารถทำการครอสโอเวอร์ได้อย่างถูกต้อง

นำสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์ นำมาถอดรหัสและประเมินค่า ได้ดังแสดงในตารางที่ ค.7

ตารางที่ ค.7 *ผลการถอดรหัสและประเมินค่าสตริงหลังการครอสโอเวอร์โดยใช้โปรแกรม*

String Sequence	Fitness	Makespan
[4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.6158	397.8 708 1018.2
[3 4 2 2 4 3 3 1 4 4 3 1 2 4 1 2 4 4 2 4 4 1 1 4 2 2 2]	0.5746	429.1 722 1014.9
[2 2 1 3 3 4 3 1 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.5534	442.9 730 1017.1
[4 3 2 2 1 1 2 3 4 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.5866	397.5 734 1070.4
[3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.6104	401.9 710 1018.2

หมายเหตุ สตริงตัวที่ 5 เป็นสตริงที่ไม่ได้ถูกคัดเลือกให้ทำการครอสโอเวอร์

7) การเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังการครอสโอเวอร์ (Post-crossover Elite Preserve Strategy)

การเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังการครอสโอเวอร์เป็นการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้หลังจากการครอสโอเวอร์ เทียบกับคำตอบที่สุดที่สุดที่เก็บไว้ โดยจะคัดเลือกสตริงตัวที่ค่า Fitness มากกว่าเก็บไว้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากตารางที่ ค.7 จะเห็นว่าสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ผ่านการครอสโอเวอร์ที่มีค่า Fitness สูงที่สุด คือ [4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4] ซึ่งมีค่า Fitness เท่ากับ 0.6158 จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ผลจากการเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรมพบว่า Elite Preserve Solution เป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่าเนื่องจากมีค่า Fitness สูงกว่า ผลการเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังจากการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมคือ

String	: [4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]
Makespan	: [395.69 705 1014.3]
Fitness	: 0.6210
Range Time	: 309.3100

จากผลการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้ จะเห็นได้ว่าโปรแกรมเลือกเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการการเก็บคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นแสดงว่าโปรแกรมมีการทำงานในขั้นตอนนี้ได้ถูกต้อง

8) การมิวเตชั่น (Mutation)

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการมิวเตชั่น คือ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น และ วิธีการมิวเตชั่น โดยมีการกำหนดให้ความน่าจะเป็นการมิวเตชั่น (Pm) เท่ากับ 0.7 และใช้วิธีการมิวเตชั่นแบบ Displacement Mutation

โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะทำการสุ่มสตริงคำตอบที่ได้หลังจากการครอสโอเวอร์เพื่อทำการมิวเตชั่น โดยเลือกสตริงที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่า Pm จากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชั่น และทำการมิวเตชั่นตามขั้นตอนของวิธี Displacement Mutation ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับการมิวเตชั่น และผลการมิวเตชั่นโดยใช้โปรแกรมดังแสดงในตารางที่ ค.8 และตารางที่ ค.9

ตารางที่ ค.8 *ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชั่นโดยใช้โปรแกรม*

String No.	String Sequence	r_i	Selected String r_i<Pc(0.8)
1	[4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.6408	*
2	[3 4 2 2 4 3 3 1 4 4 3 1 2 4 1 2 4 4 2 4 4 4 1 1 4 2 2 2]	0.7895	
3	[2 2 1 3 3 4 3 1 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.0022	*
4	[4 3 2 2 1 1 2 3 4 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.6244	*
5	[3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.8990	

จากตารางที่ ค.8 จะเห็นได้ว่าสตริงที่ถูกสุ่มเพื่อทำการมิวเตชั่น เมื่อกำหนด Pm=0.7 จะมีสตริงที่ถูกสุ่มไปทำการมิวเตชั่นจำนวน 0.7*5 = 3.5 หรือประมาณ 3-4 ตัว ซึ่งตรงกับที่โปรแกรมได้ทำการสุ่มสตริงที่จะเข้าทำการมิวเตชั่น 3 ตัวคือ สตริงที่ 1 3 และ 4 ซึ่งมีค่า r_i ที่น้อยกว่าค่า Pm(0.7) ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถสุ่มคัดเลือกสตริงที่จะเข้าทำการมิวเตชั่นได้อย่างถูกต้อง

จากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชั่นของสตริงคำตอบทั้ง 3 ตัวที่ถูกเลือกเข้าทำการมิวเตชั่น ซึ่งประกอบด้วย 3 จุด คือ mp1 mp2 และ mp3 จากนั้นทำการมิวเตชั่นเพื่อให้เกิดสตริงคำตอบตัวใหม่โดยวิธี Displacement Mutation โดยใช้โปรแกรมแสดงได้ดังตารางที่ ค.9

ตารางที่ ค.9 *ผลการหาสตริงคำตอบใหม่จากการมิวเตชั่นโดยใช้โปรแกรม*

String No.1	String	[4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]
	mp1:mp2:mp3	8:15:8
	New String	[4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]
String No.2	String	[2 2 1 3 3 4 3 1 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]
	mp1:mp2:mp3	4:6:12
	New String	[2 2 1 3 1 1 2 3 2 4 4 3 3 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]
String No.3	String	[4 3 2 2 1 1 2 3 4 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]
	mp1:mp2:mp3	6:26:3
	New String	[4 3 1 2 3 4 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 2 2 1 4]

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในขั้นตอนนี้ จะทำโดยเปรียบเทียบผลจากการมิวเตชั่นที่ได้จากการใช้โปรแกรมกับการทำการมิวเตชั่นด้วยมือ โดยใช้วิธีการมิวเตชั่นแบบเดียวกัน คือ วิธี Displacement Mutation และตำแหน่งของการมิวเตชั่นของสตริงที่ 3 เป็นตำแหน่งเดียวกัน การมิวเตชั่นด้วยมือจะทำการขั้นตอนของการมิวเตชั่น ดังนี้

1) จากตำแหน่งในการมิวเตชั่นที่สุ่มขึ้นมา 3 ตัว จะได้ว่า mp1 และ mp2 เป็นตำแหน่งของสตริงย่อย โดยในที่นี้ค่า mp1: mp2 = 4:6 ดังนั้นได้ว่าสตริงย่อย อยู่ในตำแหน่งที่ 4-6 คือ [3 3 4]

S = [2 2 1 | **3 3 4** | 3 1 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]

2) จากนั้นสุ่มตัวเลขขึ้นมาอีก 1 ตัว คือ mp3 เพื่อเลือกตำแหน่งที่จะแทรกสตริงย่อยที่ได้รับคัดเลือก โดยในที่นี้ค่า mp3 =12 ดังนั้นแทรกสตริงย่อยให้อยู่ในตำแหน่งที่ 12 จะได้สตริงใหม่จากการมิวเตชั่นคือ

S_{new} = [2 2 1 3 1 1 2 3 2 4 4 **3 3 4** 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]

จากสตริงคำตอบที่ได้จากการมิวเตชั่นโดยใช้โปรแกรมและการมิวเตชั่นโดยการใช้มือให้สตริงคำตอบที่เหมือนกัน และเป็นสตริงคำตอบที่เป็นไปตามที่กำหนดไว้นั่นคือ มีจำนวนตัวเลขซ้ำของ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 5 8 4 และ 10 ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่า โปรแกรมสามารถทำการมิวเตชั่นได้อย่างถูกต้อง

นำสตริงคำตอบที่ได้จากการมิวเตชั่น นำมาถอดรหัสและประเมินค่า ได้ดังแสดงในตารางที่ ค.10

ตารางที่ ค.10 *ผลการถอดรหัสและประเมินค่าสตริงหลังการมิวเตชั่นโดยใช้โปรแกรม*

String Sequence	Fitness	Makespan		
[4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4]	0.6158	397.8	708	1018.2
[2 2 1 3 1 1 2 3 2 4 4 3 3 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.5642	437.2	725	1012.8
[4 3 1 2 3 4 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 2 2 1 4]	0.5707	407.1	742	1076.9
[3 4 2 2 4 3 3 1 4 4 3 1 2 4 1 2 4 4 2 4 4 1 1 4 2 2 2]	0.5746	429.1	722	1014.9
[3 2 4 3 1 1 2 3 1 2 3 2 4 4 4 4 2 2 4 1 1 4 2 4 2 4 4]	0.6104	401.9	710	1018.2

หมายเหตุ สตริงตัวที่ 2และ5 เป็นสตริงที่ไม่ได้ถูกคัดเลือกให้ทำการมิวเตชั่น

9) การเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังการมิวเตชั่น (Elite Preserve Strategy of Generation)

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่ใช้ภายหลังการมิวเตชั่น ซึ่งถือว่าเป็นการเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชั่นนั้นๆด้วย การเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชั่นจะช่วยให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่เคยปรากฏขึ้นมายังคงมีอยู่ในเจนเนอเรชั่นต่อไป การเก็บค่าในขั้นตอนนี้จะทำหลังจากที่มี

การมิวเตชั่นเรียบร้อยแล้ว สตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการมิวเตชั่นจำนวน 5 ตัว จะถูกถอดรหัสและประเมินค่า จากนั้นก็ให้เอาสตริงคำตอบหลังที่ดีที่สุดจากการมิวเตชั่น มาเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ซึ่งหากสตริงที่ดีที่สุดที่ได้จากการมิวเตชั่นดีกว่าก็จะแทนที่ Elite Preserve Solution ด้วยสตริงที่ได้จากการมิวเตชั่น แต่หากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดหลังการมิวเตชั่นมีค่าแย่กว่า ก็จะเก็บ Elite Preserve Solution ตัวเดิมนั้นไว้ โดยนำมาแทนที่สตริงที่แย่ที่สุดหลังจากการมิวเตชั่น ก่อนที่สตริงคำตอบชุดนั้นจะเข้าสู่เจนเนอเรชั่นถัดไป

จากตารางที่ ค.10 จะเห็นว่าสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ผ่านการมิวเตชั่นที่มีค่า Fitness สูงที่สุด คือ [4 2 2 2 1 4 3 1 1 1 3 2 1 2 3 4 4 2 4 3 4 2 2 4 4 4 4] ซึ่งมีค่า Fitness เท่ากับ 0.6158 จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution เพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุดเก็บไว้ โดยจะเลือกสตริงที่ให้ค่า Fitness มากที่สุด จากการเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรมพบว่า Elite Preserve Solution เป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่าเนื่องจากมีค่า Fitness สูงกว่า ผลการเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังจากการมิวเตชั่นของโปรแกรมคือ

String	: [4 2 2 2 3 4 3 1 1 1 3 1 2 4 1 2 4 4 2 3 4 2 2 4 4 4 4]
Makespan	: [395.69 705 1014.3]
Fitness	: 0.6210
Range Time	: 309.3100

ดังนั้นจะนำเอา Elite Preserve Solution ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดไปแทนที่คำตอบที่แย่ที่สุดหลังการมิวเตชั่น ก่อนจะเข้าสู่เจนเนอเรชั่นถัดไป

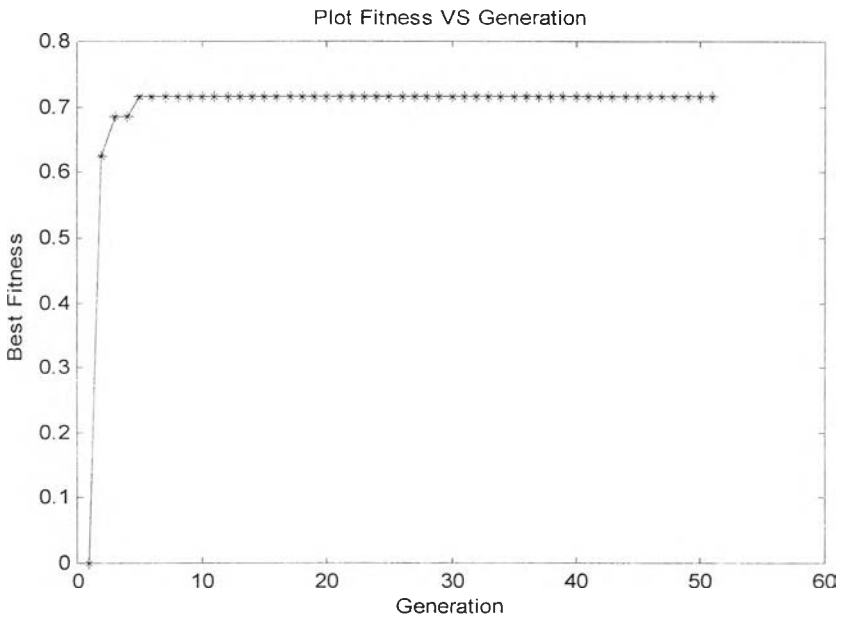
จากผลการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้ จะเห็นได้ว่าโปรแกรมเลือกเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการการเก็บคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นแสดงว่าโปรแกรมมีการทำงานในขั้นตอนนี้ได้ถูกต้อง

ผลจากการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเรื่องของการทำงานในแต่ละขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึม โดยทำการรันโปรแกรมทีละขั้นตอน สามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีเวลาการทำงานแบบฟัซซี่ สามารถทำงานได้ตามขั้นตอนของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมได้อย่างถูกต้อง

2.2 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมในการทำงานตามขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึมในหัวข้อ 2.1 นั้น เป็นการทดสอบการทำงานตามกระบวนการเจนเนติกอัลกอริทึมในหนึ่งเจนเนอเรชั่น แต่การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้น เป็นการแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาของคำตอบ ซึ่งเป็นลักษณะของเจนเนติกอัลกอริทึมที่มีการพัฒนาของ

คำตอบ เมื่อจำนวนเจนเนอเรชั่นเพิ่มขึ้น คำตอบที่ได้จะมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ดังนั้นในการหาคำตอบตามวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จะมีการกำหนดจำนวนเจนเนเรชั่นสูงสุดในการรัน ดังนั้นเมื่อโปรแกรมทำงานตามวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมจนจบเจนเนอเรชั่นที่หนึ่งแล้ว สตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวที่ได้จะเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้นหรือประชากรเบื้องต้นในเจนเนอเรชั่นต่อไป และจะเป็นเช่นนี้จนครบจำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทำสอบโปรแกรมนี้กำหนดไว้ 50 เจนเนอเรชั่น ผลการทดสอบการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 กราฟแสดงค่า Fitness ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชั่นที่ 1-50

จากรูปที่ ค.1 จะเห็นว่าค่า Fitness ซึ่งเป็นค่าวัตถุประสงค์ เส้นกราฟแสดงให้เห็นการพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้น เนื่องจากมีแนวโน้มในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยในเจนเนอเรชั่นที่ 1 มีค่า Fitness เท่ากับ 0.6210 เมื่อเจนเนอเรชั่นเพิ่มขึ้น ค่า Fitness มีค่าที่สูงขึ้น และเริ่มคงที่ จึงสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถให้คำตอบที่ลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

จากผลการทดสอบโปรแกรมทั้ง 2 ขั้นตอน คือการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการทำงานแต่ละขั้นตอนของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด สรุปได้ว่าโปรแกรมมีการทำงานที่ถูกต้อง สามารถนำไปใช้ในการหาคำตอบสำหรับกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ได้

ภาคผนวก ง

ผลจากการรันโปรแกรม

1. ผลจากการรันโปรแกรมในการทดสอบทีละปัจจัย

1.1 กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

ผลการรันโปรแกรมจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบในการทดสอบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time) ของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ ง.1-ง.3

ตารางที่ ง.1 ผลการรันโปรแกรมทดสอบจำนวนประชากรในการทดสอบทีละปัจจัยกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

No.	Stype	Ctype	Mtype	Pc	Pm	Pop_size	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.5	5	0.954	1	0.71
2							0.954	1	0.27
3							0.954	9	0.99
4							0.954	8	1.15
5						10	0.954	1	0.60
6							0.954	1	0.65
7							0.954	6	1.81
8							0.954	1	0.71
9						15	0.954	4	2.25
10							0.954	5	2.70
11							0.954	1	1.04
12							0.954	2	1.54
13						20	0.954	1	1.43
14							0.954	5	3.79
15							0.954	1	1.49
16							0.954	1	1.48
17						25	0.954	2	2.64
18							0.954	1	1.93
19							0.954	1	1.86
20							0.954	1	1.98

ตารางที่ ง.2 ผลการรันโปรแกรมทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

No.	Pop_size	Stype	Ctype	Mtype	Pm	Pc	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	10	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.1	0.954	12	3.41
2							0.954	2	1.26
3							0.954	17	8.51
4							0.954	25	9.39
5						0.2	0.954	19	7.31
6							0.954	1	1.10
7							0.954	8	3.41
8							0.954	10	4.33
9						0.3	0.954	2	1.82
10							0.954	1	1.05
11							0.954	26	10.44
12							0.954	5	2.47
13						0.4	0.954	1	0.99
14							0.954	5	2.53
15							0.954	7	3.19
16							0.954	17	7.30
17						0.5	0.954	16	7.19
18							0.954	1	1.26
19							0.954	13	5.28
20							0.954	7	3.35
21						0.6	0.954	13	5.76
22							0.954	3	1.87
23							0.954	1	1.04
24							0.954	1	1.10
25						0.7	0.954	6	3.90
26							0.954	1	1.27
27							0.954	1	1.16
28							0.954	1	1.10
29						0.8	0.954	20	8.29
30							0.954	2	1.60
31							0.954	1	1.05
32							0.954	1	0.99
33						0.9	0.954	2	1.37
34							0.954	11	4.83
35							0.954	3	2.09
36							0.954	6	3.08
37						1.0	0.954	5	2.47
38							0.954	2	1.32
39							0.954	2	1.38
40							0.954	3	1.81

ตารางที่ ง.3 *ผลการรันโปรแกรมทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด*

No.	Pop_size	Stype	Ctype	Mtype	Pc	Pm	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	10	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.1	0.954	1	0.66
2							0.949	1	8.79
3							0.954	1	0.60
4							0.954	7	1.98
5						0.2	0.954	3	1.16
6							0.954	1	0.66
7							0.954	4	1.37
8							0.954	1	0.66
9						0.3	0.954	1	0.66
10							0.954	2	0.99
11							0.954	2	0.94
12							0.954	2	0.94
13						0.4	0.954	1	0.72
14							0.954	1	0.72
15							0.954	8	2.59
16							0.954	2	0.99
17						0.5	0.954	2	0.99
18							0.954	2	1.04
19							0.954	1	0.77
20							0.954	15	4.56
21						0.6	0.954	2	0.99
22							0.954	1	0.77
23							0.954	2	3.02
24							0.954	5	1.04
25						0.7	0.954	3	1.37
26							0.954	3	1.37
27							0.954	9	3.02
28							0.954	2	1.04
29						0.8	0.954	8	2.86
30							0.954	9	1.04
31							0.954	1	0.77
32							0.954	10	3.46
33						0.9	0.954	6	2.25
34							0.954	2	1.04
35							0.954	4	1.81
36							0.954	1	0.82
37						1.0	0.954	4	1.64
38							0.954	1	0.82
39							0.954	8	2.85
40							0.954	1	0.77

1.2 กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

ผลการรันโปรแกรมจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบในการทดสอบทีละปัจจัย (One-Facor-at-a-Time) ของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ ง.4-ง.6

ตารางที่ ง.4 ผลการรันโปรแกรมทดสอบจำนวนประชากรในการทดสอบทีละปัจจัยกรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

No.	Stype	Ctype	Mtype	Pc	Pm	Pop_size	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	Tournament	modOX	Displacement	0.5	0.5	5	0.746	15	11.64
2							0.733	27	33.94
3							0.732	39	50.42
4							0.742	5	8.24
5						15	0.771	46	164.06
6							0.735	90	358.61
7							0.749	47	189.06
8							0.743	2	10.82
9						25	0.752	21	114.18
10							0.762	63	423.04
11							0.760	80	538.21
12							0.748	24	166.59
13						35	0.759	15	148.08
14							0.749	68	585.18
15							0.775	68	643.13
16							0.749	9	91.94
17						45	0.779	78	956.69
18							0.760	31	386.18
19							0.769	70	868.48
20							0.792	82	1021.89

ตารางที่ ง.5 ผลการรันโปรแกรมทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

No.	Pop_size	Stype	Ctype	Mtype	Pm	Pc	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	10	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.1	0.769	91	255.57
2							0.759	88	285.78
3							0.749	50	164.17
4							0.746	20	60.03
5						0.2	0.749	8	25.65
6							0.743	17	58.17
7							0.751	56	189.49
8							0.752	32	109.90
9						0.3	0.736	18	62.06
10							0.738	39	195.15
11							0.717	83	410.68
12							0.711	35	173.45
13						0.4	0.740	79	366.30
14							0.746	63	298.14
15							0.775	75	316.92
16							0.782	38	183.18
17						0.5	0.741	24	117.87
18							0.734	12	59.16
19							0.743	63	291.77
20							0.739	21	99.74
21						0.6	0.738	42	194.98
22							0.743	11	49.65
23							0.749	22	98.43
24							0.728	14	63.88
25						0.7	0.729	70	302.59
26							0.768	68	295.77
27							0.757	57	250.74
28							0.734	42	185.15
29						0.8	0.762	18	82.06
30							0.749	29	129.79
31							0.762	22	99.96
32							0.767	64	285.22
33						0.9	0.748	24	109.42
34							0.743	5	26.03
35							0.728	79	353.01
36							0.748	11	52.89
37						1.0	0.742	37	168.73
38							0.761	9	44.00
39							0.706	36	165.82
40							0.726	93	420.13

ตารางที่ ง.6 ผลการรันโปรแกรมทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

No.	Pop_size	Stype	Ctype	Mtype	Pc	Pm	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	10	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.1	0.733	1	75.19
2							0.701	1	188.94
3							0.750	1	119.63
4							0.795	7	337.63
5						0.2	0.723	3	182.19
6							0.700	1	68.82
7							0.744	4	372.23
8							0.744	1	160.16
9						0.3	0.739	1	160.27
10							0.742	2	341.19
11							0.758	2	93.10
12							0.752	2	97.60
13						0.4	0.701	1	348.34
14							0.743	1	217.94
15							0.734	8	268.75
16							0.726	2	75.57
17						0.5	0.767	2	187.13
18							0.749	2	17.42
19							0.765	1	79.92
20							0.751	15	106.78
21						0.6	0.755	2	439.52
22							0.749	1	93.76
23							0.753	2	44.38
24							0.769	5	305.06
25						0.7	0.765	3	178.40
26							0.767	3	151.15
27							0.757	9	272.32
28							0.768	2	191.31
29						0.8	0.757	8	357.45
30							0.736	9	236.07
31							0.745	1	209.76
32							0.738	10	75.25
33						0.9	0.741	6	258.04
34							0.753	2	272.27
35							0.712	4	384.92
36							0.755	1	440.45
37						1.0	0.757	4	151.32
38							0.761	1	35.15
39							0.736	8	110.51
40							0.771	1	8.35

1.3 กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

ผลการรันโปรแกรมจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบในการทดสอบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time) ของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ ง.7-ง.9

ตารางที่ ง.7 ผลการรันโปรแกรมทดสอบจำนวนประชากรในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

No.	Stype	Ctype	Mtype	Pc	Pm	Pop_size	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	Tournament	modOX	Displacement	0.5	0.5	5	0.909	46	36.69
2							0.921	43	41.58
3						15	0.909	68	154.45
4							0.928	89	206.41
5						25	0.928	2	10.93
6							0.928	34	128.69
7						35	0.928	8	45.14
8							0.928	1	10.43
9						45	0.928	7	55.42
10							0.928	6	39.22

ตารางที่ ง.8 ผลการรันโปรแกรมทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

No.	Pop_size	Stype	Ctype	Mtype	Pm	Pc	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	10	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.1	0.921	237	194.66
2							0.909	298	298.00
3						0.2	0.921	33	29.55
4							0.921	175	92.66
5						0.3	0.921	139	112.87
6							0.921	107	87.12
7						0.4	0.921	120	96.78
8							0.921	178	143.52
9						0.5	0.909	46	37.51
10							0.921	21	17.41
11						0.6	0.921	27	22.30
12							0.921	14	11.59
13						0.7	0.921	70	57.07
14							0.921	28	22.90
15						0.8	0.921	36	30.27
16							0.921	113	144.07
17						0.9	0.921	4	3.95
18							0.921	116	105.12
19						1.0	0.921	1	1.21
20							0.921	104	86.73

ตารางที่ ง.9 ผลการรันโปรแกรมทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นในการทดสอบทีละปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

No.	Pop_size	Stype	Ctype	Mtype	Pc	Pm	Fitness	No.Gen	GAs.Time
1	10	Tournament	modPBX	Displacement	0.5	0.1	0.921	196	157.58
2							0.921	119	99.36
3						0.2	0.921	260	211.58
4							0.921	73	67.33
5						0.3	0.921	106	89.96
6							0.921	10	9.44
7						0.4	0.921	34	25.22
8							0.921	139	126.00
9						0.5	0.921	60	48.83
10							0.921	45	40.97
11						0.6	0.921	90	75.08
12							0.921	93	85.03
13						0.7	0.921	1	1.26
14							0.921	40	44.99
15						0.8	0.921	27	22.85
16							0.909	29	26.86
17						0.9	0.921	45	41.14
18							0.921	52	43.44
19						1.0	0.921	15	13.84
20							0.921	37	29.88

2. ผลจากการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย

2.1 กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

ผลการรันโปรแกรมจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบในการทดสอบทุกระดับปัจจัย (Full Factorial Design) ของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ ง.10

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
1	1	5	0.1	0.3	Roulette	modMOX	INV	0.954	100
2							INS	0.954	70
3							Ex	0.954	16
4							Displacement	0.954	7
5						modPMX	INV	0.950	1
6							INS	0.954	17
7							Exchange	0.954	16
8							Displacement	0.954	15
9						modOx	INV	0.954	6
10							INS	0.954	24
11							Exchange	0.954	35
12							Displacement	0.954	49
13						modPBX	INV	0.954	40
14							INS	0.954	2
15							Exchange	0.954	3
16							Displacement	0.954	12
17					Tournament	modMOX	INV	0.954	178
18							INS	0.954	6
19							Exchange	0.954	3
20							Displacement	0.954	173
21						modPMX	INV	0.954	175
22							INS	0.954	8
23							Exchange	0.954	40
24							Displacement	0.954	135
25						modOx	INV	0.954	123
26							INS	0.954	10
27							Exchange	0.954	153
28							Displacement	0.954	11
29						modPBX	INV	0.954	23
30							INS	0.954	4
31							Exchange	0.954	15
32							Displacement	0.954	1

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
33	1	5	0.1	0.8	Roulette	modMOX	INV	0.954	31
34							INS	0.954	91
35							Exchange	0.954	1
36							Displacement	0.954	1
37						modPMX	INV	0.954	1
38							INS	0.954	10
39							Exchange	0.954	2
40							Displacement	0.954	12
41						modOx	INV	0.954	9
42							INS	0.954	8
43							Exchange	0.954	6
44							Displacement	0.954	8
45						modPBX	INV	0.954	8
46							INS	0.954	13
47							Exchange	0.954	1
48							Displacement	0.954	13
49					Tournament	modMOX	INV	0.954	5
50							INS	0.954	6
51							Exchange	0.954	25
52							Displacement	0.954	2
53						modPMX	INV	0.954	4
54							INS	0.954	21
55							Exchange	0.954	7
56							Displacement	0.954	2
57						modOx	INV	0.954	1
58							INS	0.954	11
59							Exchange	0.954	18
60							Displacement	0.954	8
61						modPBX	INV	0.954	1
62							INS	0.954	27
63							Exchange	0.954	1
64							Displacement	0.954	2
65			0.7	0.3	Roulette	modMOX	INV	0.954	12
66							INS	0.954	10
67							Exchange	0.954	1
68							Displacement	0.954	27
69						modPMX	INV	0.954	1
70							INS	0.954	5
71							Exchange	0.954	7
72							Displacement	0.954	5

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
73	1	5	0.7	0.3	Roulette	modOx	INV	0.954	1
74							INS	0.954	4
75							Exchange	0.954	17
76							Displacement	0.954	8
77						modPBX	INV	0.954	1
78							INS	0.954	3
79							Exchange	0.954	1
80							Displacement	0.954	1
81					Tournament	modMOX	INV	0.954	7
82							INS	0.954	27
83							Exchange	0.954	2
84							Displacement	0.954	6
85						modPMX	INV	0.954	3
86							INS	0.954	6
87							Exchange	0.954	3
88							Displacement	0.954	2
89						modOx	INV	0.954	1
90							INS	0.954	1
91							Exchange	0.954	2
92							Displacement	0.954	2
93						modPBX	INV	0.954	1
94							INS	0.954	2
95							Exchange	0.954	1
96							Displacement	0.954	1
97				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.954	39
98							INS	0.954	1
99							Exchange	0.954	7
100							Displacement	0.954	3
101						modPMX	INV	0.954	2
102							INS	0.954	4
103							Exchange	0.954	5
104							Displacement	0.954	3
105						modOx	INV	0.954	4
106							INS	0.954	3
107							Exchange	0.954	1
108							Displacement	0.954	1
109						modPBX	INV	0.954	2
110							INS	0.954	1
111							Exchange	0.954	5
112							Displacement	0.954	1

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
113	1	5	0.7	0.8	Tournament	modMOX	INV	0.954	5
114							INS	0.954	4
115							Exchange	0.954	5
116							Displacement	0.954	19
117						modPMX	INV	0.954	1
118							INS	0.954	2
119							Exchange	0.954	7
120							Displacement	0.954	1
121						modOx	INV	0.954	4
122							INS	0.954	2
123							Exchange	0.954	3
124							Displacement	0.954	4
125						modPBX	INV	0.954	2
126							INS	0.954	18
127							Exchange	0.954	5
128							Displacement	0.954	6
129		15	0.1	0.3	Roulette	modMOX	INV	0.954	78
130							INS	0.954	1
131							Exchange	0.954	1
132							Displacement	0.954	1
133						modPMX	INV	0.954	5
134							INS	0.954	2
135							Exchange	0.954	1
136							Displacement	0.954	3
137						modOx	INV	0.954	1
138							INS	0.954	1
139							Exchange	0.954	1
140							Displacement	0.954	5
141						modPBX	INV	0.954	9
142							INS	0.954	10
143							Exchange	0.954	10
144							Displacement	0.954	1
145					Tournament	modMOX	INV	0.954	19
146							INS	0.954	8
147							Exchange	0.954	1
148							Displacement	0.954	1
149						modPMX	INV	0.954	1
150							INS	0.954	31
151							Exchange	0.954	1
152							Displacement	0.954	2

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
153	1	15	0.1	0.3	Roulette	modOx	INV	0.954	21
154							INS	0.954	4
155							Exchange	0.954	9
156							Displacement	0.954	1
157						modPBX	INV	0.954	36
158							INS	0.954	1
159							Exchange	0.954	1
160							Displacement	0.954	9
161				0.8	Tournament	modMOX	INV	0.954	2
162							INS	0.954	1
163							Exchange	0.954	24
164							Displacement	0.954	4
165						modPMX	INV	0.954	1
166							INS	0.954	1
167							Exchange	0.954	1
168							Displacement	0.954	1
169						modOx	INV	0.954	2
170							INS	0.954	1
171							Exchange	0.954	1
172							Displacement	0.954	2
173						modPBX	INV	0.954	8
174							INS	0.954	10
175							Exchange	0.954	2
176							Displacement	0.954	1
177					Roulette	modMOX	INV	0.954	5
178							INS	0.954	26
179							Exchange	0.954	1
180							Displacement	0.954	1
181						modPMX	INV	0.954	1
182							INS	0.954	1
183							Exchange	0.954	6
184							Displacement	0.954	6
185						modOx	INV	0.954	9
186							INS	0.954	1
187							Exchange	0.954	1
188							Displacement	0.954	8
189						modPBX	INV	0.954	1
190							INS	0.954	1
191							Exchange	0.954	1
192							Displacement	0.954	3

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
193	1	15	0.7	0.3	Roulette	modMOX	INV	0.954	1
194							INS	0.954	15
195							Exchange	0.954	1
196							Displacement	0.954	1
197						modPMX	INV	0.954	3
198							INS	0.954	3
199							Exchange	0.954	4
200							Displacement	0.954	4
201						modOx	INV	0.954	1
202							INS	0.954	1
203							Exchange	0.954	3
204							Displacement	0.954	3
205						modPBX	INV	0.954	2
206							INS	0.954	1
207							Exchange	0.954	2
208							Displacement	0.954	1
209					Tournament	modMOX	INV	0.954	4
210							INS	0.954	3
211							Exchange	0.954	10
212							Displacement	0.954	1
213						modPMX	INV	0.954	1
214							INS	0.954	1
215							Exchange	0.954	2
216							Displacement	0.954	1
217						modOx	INV	0.954	7
218							INS	0.954	4
219							Exchange	0.954	1
220							Displacement	0.954	1
221						modPBX	INV	0.954	1
222							INS	0.954	1
223							Exchange	0.954	1
224							Displacement	0.954	1
225			0.7	0.8	Roulette	modMOX	INV	0.954	1
226							INS	0.954	7
227							Exchange	0.954	4
228							Displacement	0.954	1
229						modPMX	INV	0.954	1
230							INS	0.954	4
231							Exchange	0.954	3
232							Displacement	0.954	1

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
233	1	15	0.7	0.8	Tournament	modOx	INV	0.954	1
234							INS	0.954	2
235							Exchange	0.954	1
236							Displacement	0.954	1
237						modPBX	INV	0.954	1
238							INS	0.954	3
239							Exchange	0.954	3
240							Displacement	0.954	20
241						modMOX	INV	0.954	4
242							INS	0.954	6
243							Exchange	0.954	2
244							Displacement	0.954	1
245						modPMX	INV	0.954	1
246							INS	0.954	2
247							Exchange	0.954	1
248							Displacement	0.954	1
249						modOx	INV	0.954	1
250							INS	0.954	1
251							Exchange	0.954	1
252							Displacement	0.954	1
253						modPBX	INV	0.954	1
254							INS	0.954	1
255							Exchange	0.954	1
256							Displacement	0.954	1
257	2	5	0.1	0.3	Roulette	modMOX	INV	0.954	86
258							INS	0.954	51
259							Exchange	0.954	6
260							Displacement	0.954	1
261						modPMX	INV	0.954	27
262							INS	0.950	2
263							Exchange	0.950	3
264							Displacement	0.954	164
265						modOx	INV	0.954	1
266							INS	0.954	57
267							Exchange	0.954	97
268							Displacement	0.954	9
269						modPBX	INV	0.950	16
270							INS	0.950	2
271							Exchange	0.954	109
272							Displacement	0.954	14

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
273	2	5	0.1	0.3	Tournament	modMOX	INV	0.954	142
274							INS	0.954	147
275							Exchange	0.954	1
276							Displacement	0.954	30
277						modPMX	INV	0.954	44
278							INS	0.954	14
279							Exchange	0.954	58
280							Displacement	0.954	1
281						modOx	INV	0.954	64
282							INS	0.950	1
283							Exchange	0.954	132
284							Displacement	0.954	33
285						modPBX	INV	0.954	18
286							INS	0.954	20
287							Exchange	0.954	4
288							Displacement	0.954	27
289				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.954	34
290							INS	0.954	12
291							Exchange	0.954	8
292							Displacement	0.954	8
293						modPMX	INV	0.954	12
294							INS	0.954	44
295							Exchange	0.954	1
296							Displacement	0.954	26
297						modOx	INV	0.954	10
298							INS	0.954	34
299							Exchange	0.954	2
300							Displacement	0.954	4
301						modPBX	INV	0.954	12
302							INS	0.954	3
303							Exchange	0.954	8
304							Displacement	0.954	3
305					Tournament	modMOX	INV	0.954	1
306							INS	0.954	100
307							Exchange	0.954	3
308							Displacement	0.954	1
309						modPMX	INV	0.954	6
310							INS	0.954	1
311							Exchange	0.954	2
312							Displacement	0.954	18

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
313	2	5	0.1	0.8	Tournament	modOx	INV	0.954	13
314							INS	0.954	27
315							Exchange	0.954	3
316							Displacement	0.954	7
317						modPBX	INV	0.954	5
318							INS	0.954	24
319							Exchange	0.954	28
320							Displacement	0.954	5
321			0.7	0.3	Roulette	modMOX	INV	0.954	15
322							INS	0.954	1
323							Exchange	0.954	8
324							Displacement	0.954	3
325						modPMX	INV	0.954	3
326							INS	0.954	7
327							Exchange	0.954	3
328							Displacement	0.954	3
329						modOx	INV	0.954	2
330							INS	0.954	2
331							Exchange	0.954	10
332							Displacement	0.954	3
333						modPBX	INV	0.954	1
334							INS	0.954	1
335							Exchange	0.954	2
336							Displacement	0.954	1
337					Tournament	modMOX	INV	0.954	9
338							INS	0.954	4
339							Exchange	0.954	9
340							Displacement	0.954	3
341						modPMX	INV	0.954	2
342							INS	0.954	4
343							Exchange	0.954	5
344							Displacement	0.954	1
345						modOx	INV	0.954	1
346							INS	0.954	2
347							Exchange	0.954	1
348							Displacement	0.954	8
349						modPBX	INV	0.954	4
350							INS	0.954	3
351							Exchange	0.954	2
352							Displacement	0.954	1

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
353	2	5	0.7	0.8	Tournament	modMOX	INV	0.954	15
354							INS	0.954	1
355							Exchange	0.954	3
356							Displacement	0.954	41
357						modPMX	INV	0.954	4
358							INS	0.954	3
359							Exchange	0.954	3
360							Displacement	0.954	1
361						modOx	INV	0.954	6
362							INS	0.954	5
363							Exchange	0.954	12
364							Displacement	0.954	1
365						modPBX	INV	0.954	3
366							INS	0.954	1
367							Exchange	0.954	4
368							Displacement	0.954	1
369					Roulette	modMOX	INV	0.954	15
370							INS	0.954	1
371							Exchange	0.954	1
372							Displacement	0.954	2
373						modPMX	INV	0.954	1
374							INS	0.954	1
375							Exchange	0.954	3
376							Displacement	0.954	9
377						modOx	INV	0.954	2
378							INS	0.954	1
379							Exchange	0.954	4
380							Displacement	0.954	5
381						modPBX	INV	0.954	1
382							INS	0.954	9
383							Exchange	0.954	1
384							Displacement	0.954	1
385		15	0.1	0.3	Tournament	modMOX	INV	0.954	2
386							INS	0.954	1
387							Exchange	0.954	1
388							Displacement	0.954	1
389						modPMX	INV	0.954	15
390							INS	0.954	4
391							Exchange	0.954	1
392							Displacement	0.954	2

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
393	2	15	0.1	0.3	Roulette	modOx	INV	0.954	1
394							INS	0.954	1
395							Exchange	0.954	1
396							Displacement	0.954	18
397						modPBX	INV	0.954	2
398							INS	0.954	1
399							Exchange	0.954	13
400							Displacement	0.954	1
401					Tournament	modMOX	INV	0.954	9
402							INS	0.954	45
403							Exchange	0.954	5
404							Displacement	0.954	1
405						modPMX	INV	0.954	1
406							INS	0.954	6
407							Exchange	0.954	1
408							Displacement	0.954	1
409						modOx	INV	0.954	1
410							INS	0.954	8
411							Exchange	0.954	4
412							Displacement	0.954	12
413						modPBX	INV	0.954	1
414							INS	0.954	1
415							Exchange	0.954	2
416							Displacement	0.954	4
417				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.954	1
418							INS	0.954	1
419							Exchange	0.954	13
420							Displacement	0.954	2
421						modPMX	INV	0.954	11
422							INS	0.954	15
423							Exchange	0.954	1
424							Displacement	0.954	3
425						modOx	INV	0.954	1
426							INS	0.954	1
427							Exchange	0.954	3
428							Displacement	0.954	1
429						modPBX	INV	0.954	3
430							INS	0.954	2
431							Exchange	0.954	1
432							Displacement	0.954	1

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
433						modMOX	INV	0.954	1
434							INS	0.954	11
435							Exchange	0.954	1
436							Displacement	0.954	1
437						modPMX	INV	0.954	4
438							INS	0.954	1
439							Exchange	0.954	1
440							Displacement	0.954	1
441			0.1	0.8	Tournament	modOx	INV	0.954	18
442							INS	0.954	1
443							Exchange	0.954	1
444							Displacement	0.954	4
445						modPBX	INV	0.954	1
446							INS	0.954	1
447							Exchange	0.954	1
448							Displacement	0.954	6
449						modMOX	INV	0.954	9
450							INS	0.954	18
451							Exchange	0.954	1
452							Displacement	0.954	18
453	2	15				modPMX	INV	0.954	1
454							INS	0.954	1
455							Exchange	0.954	3
456							Displacement	0.954	1
457					Roulette	modOx	INV	0.954	3
458							INS	0.954	4
459							Exchange	0.954	1
460							Displacement	0.954	2
461			0.7	0.3		modPBX	INV	0.954	2
462							INS	0.954	1
463							Exchange	0.954	2
464							Displacement	0.954	4
465						modMOX	INV	0.954	1
466							INS	0.954	3
467							Exchange	0.954	1
468					Tournament		Displacement	0.954	1
469						modPMX	INV	0.954	6
470							INS	0.954	1
471							Exchange	0.954	1
472							Displacement	0.954	1

ตารางที่ ง.10 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
473	2	15	0.7	0.3	Tournament	modOx	INV	0.954	1
474							INS	0.954	3
475							Exchange	0.954	1
476							Displacement	0.954	9
477						modPBX	INV	0.954	1
478							INS	0.954	2
479							Exchange	0.954	1
480							Displacement	0.954	2
481				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.954	13
482							INS	0.954	3
483							Exchange	0.954	1
484							Displacement	0.954	1
485						modPMX	INV	0.954	1
486							INS	0.954	1
487							Exchange	0.954	3
488							Displacement	0.954	1
489						modOx	INV	0.954	1
490							INS	0.954	2
491							Exchange	0.954	1
492							Displacement	0.954	1
493						modPBX	INV	0.954	4
494							INS	0.954	1
495							Exchange	0.954	1
496							Displacement	0.954	1
497					Tournament	modMOX	INV	0.954	2
498							INS	0.954	1
499							Exchange	0.954	3
500							Displacement	0.954	2
501						modPMX	INV	0.954	1
502							INS	0.954	3
503							Exchange	0.954	1
504							Displacement	0.954	1
505						modOx	INV	0.954	1
506							INS	0.954	1
507							Exchange	0.954	3
508							Displacement	0.954	1
509						modPBX	INV	0.954	2
510							INS	0.954	2
511							Exchange	0.954	1
512							Displacement	0.954	1

2.2 กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

ผลการรันโปรแกรมจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบในการทดสอบทุกระดับปัจจัย (Full Factorial Design) ของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ ง.11

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
1	1	15	0.3	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.765	104
2							INS	0.747	407
3							Exchange	0.764	114
4							Displacement	0.764	215
5						modPMX	INV	0.745	372
6							INS	0.749	81
7							Exchange	0.755	50
8							Displacement	0.790	23
9						modOx	INV	0.758	495
10							INS	0.751	153
11							Exchange	0.756	180
12							Displacement	0.748	459
13						modPBX	INV	0.747	206
14							INS	0.760	148
15							Exchange	0.753	343
16							Displacement	0.775	129
17					Tournament	modMOX	INV	0.749	91
18							INS	0.761	337
19							Exchange	0.734	206
20							Displacement	0.756	434
21						modPMX	INV	0.774	172
22							INS	0.768	427
23							Exchange	0.762	154
24							Displacement	0.775	451
25						modOx	INV	0.766	496
26							INS	0.779	22
27							Exchange	0.770	241
28							Displacement	0.789	240
29						modPBX	INV	0.762	33
30							INS	0.778	90
31							Exchange	0.764	392
32							Displacement	0.754	490

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
33	1	15	0.3	0.7	Roulette	modMOX	INV	0.777	198
34							INS	0.772	172
35							Exchange	0.773	471
36							Displacement	0.764	292
37						modPMX	INV	0.774	154
38							INS	0.730	5
39							Exchange	0.761	349
40							Displacement	0.747	413
41						modOx	INV	0.768	250
42							INS	0.762	468
43							Exchange	0.763	444
44							Displacement	0.765	378
45						modPBX	INV	0.736	164
46							INS	0.742	387
47							Exchange	0.768	439
48							Displacement	0.774	393
49					Tournament	modMOX	INV	0.762	23
50							INS	0.769	492
51							Exchange	0.731	332
52							Displacement	0.743	43
53						modPMX	INV	0.769	137
54							INS	0.760	322
55							Exchange	0.756	217
56							Displacement	0.754	163
57						modOx	INV	0.761	488
58							INS	0.758	86
59							Exchange	0.750	232
60							Displacement	0.791	386
61						modPBX	INV	0.783	326
62							INS	0.763	90
63							Exchange	0.779	471
64							Displacement	0.764	126
65			0.8	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.765	88
66							INS	0.727	44
67							Exchange	0.756	488
68							Displacement	0.771	33
69						modPMX	INV	0.766	106
70							INS	0.778	242
71							Exchange	0.773	229
72							Displacement	0.772	60

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
73	1	15	0.8	0.4	Roulette	modOx	INV	0.768	163
74							INS	0.768	4
75							Exchange	0.768	255
76							Displacement	0.768	337
77						modPBX	INV	0.758	27
78							INS	0.767	99
79							Exchange	0.749	63
80							Displacement	0.767	463
81					Tournament	modMOX	INV	0.763	215
82							INS	0.773	370
83							Exchange	0.730	249
84							Displacement	0.768	163
85						modPMX	INV	0.768	404
86							INS	0.773	79
87							Exchange	0.794	98
88							Displacement	0.761	443
89						modOx	INV	0.764	477
90							INS	0.769	382
91							Exchange	0.759	316
92							Displacement	0.783	357
93						modPBX	INV	0.768	162
94							INS	0.749	189
95							Exchange	0.770	209
96							Displacement	0.759	387
97				0.7	Roulette	modMOX	INV	0.775	269
98							INS	0.768	348
99							Exchange	0.734	457
100							Displacement	0.749	134
101						modPMX	INV	0.770	436
102							INS	0.770	200
103							Exchange	0.758	146
104							Displacement	0.758	393
105						modOx	INV	0.750	150
106							INS	0.790	89
107							Exchange	0.765	199
108							Displacement	0.782	12
109						modPBX	INV	0.756	181
110							INS	0.767	307
111							Exchange	0.776	116
112							Displacement	0.778	137

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
113	1	15	0.8	0.7	Tournament	modMOX	INV	0.770	436
114							INS	0.766	338
115							Exchange	0.768	335
116							Displacement	0.769	177
117						modPMX	INV	0.752	355
118							INS	0.783	385
119							Exchange	0.778	11
120							Displacement	0.775	190
121						modOx	INV	0.771	280
122							INS	0.771	353
123							Exchange	0.776	294
124							Displacement	0.759	302
125						modPBX	INV	0.749	183
126							INS	0.768	236
127							Exchange	0.754	201
128							Displacement	0.749	114
129		45	0.3	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.798	333
130							INS	0.767	18
131							Exchange	0.774	136
132							Displacement	0.778	169
133						modPMX	INV	0.779	348
134							INS	0.782	416
135							Exchange	0.768	150
136							Displacement	0.779	327
137						modOx	INV	0.765	460
138							INS	0.755	14
139							Exchange	0.758	341
140							Displacement	0.767	95
141						modPBX	INV	0.765	448
142							INS	0.758	72
143							Exchange	0.772	455
144							Displacement	0.776	58
145					Tournament	modMOX	INV	0.765	7
146							INS	0.765	296
147							Exchange	0.792	76
148							Displacement	0.769	389
149						modPMX	INV	0.781	474
150							INS	0.784	216
151							Exchange	0.784	81
152							Displacement	0.778	179

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
153	1	45	0.3	0.4	Roulette	modOx	INV	0.781	347
154							INS	0.783	165
155							Exchange	0.769	16
156							Displacement	0.749	117
157						modPBX	INV	0.773	432
158							INS	0.749	372
159							Exchange	0.787	472
160							Displacement	0.767	412
161				0.7	Tournament	modMOX	INV	0.798	33
162							INS	0.764	12
163							Exchange	0.756	386
164							Displacement	0.777	73
165						modPMX	INV	0.773	151
166							INS	0.753	101
167							Exchange	0.783	441
168							Displacement	0.799	110
169						modOx	INV	0.778	376
170							INS	0.765	162
171							Exchange	0.769	58
172							Displacement	0.771	112
173						modPBX	INV	0.777	72
174							INS	0.773	371
175							Exchange	0.769	358
176							Displacement	0.785	191
177					Roulette	modMOX	INV	0.774	70
178							INS	0.749	330
179							Exchange	0.789	146
180							Displacement	0.791	301
181						modPMX	INV	0.778	133
182							INS	0.769	384
183							Exchange	0.768	261
184							Displacement	0.786	400
185						modOx	INV	0.767	159
186							INS	0.768	272
187							Exchange	0.778	256
188							Displacement	0.789	133
189						modPBX	INV	0.765	291
190							INS	0.779	489
191							Exchange	0.768	109
192							Displacement	0.779	360

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
193	1	45	0.8	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.775	489
194							INS	0.784	315
195							Exchange	0.773	283
196							Displacement	0.783	411
197						modPMX	INV	0.782	219
198							INS	0.782	219
199							Exchange	0.777	359
200							Displacement	0.778	54
201						modOx	INV	0.783	185
202							INS	0.768	257
203							Exchange	0.773	211
204							Displacement	0.773	14
205						modPBX	INV	0.766	227
206							INS	0.773	63
207							Exchange	0.764	83
208							Displacement	0.776	439
209					Tournament	modMOX	INV	0.776	161
210							INS	0.768	100
211							Exchange	0.771	301
212							Displacement	0.753	43
213						modPMX	INV	0.779	51
214							INS	0.777	32
215							Exchange	0.760	382
216							Displacement	0.774	308
217						modOx	INV	0.773	465
218							INS	0.772	144
219							Exchange	0.763	332
220							Displacement	0.777	468
221						modPBX	INV	0.773	455
222							INS	0.791	104
223							Exchange	0.772	307
224							Displacement	0.757	193
225				0.7	Roulette	modMOX	INV	0.798	67
226							INS	0.770	336
227							Exchange	0.765	244
228							Displacement	0.749	330
229						modPMX	INV	0.781	474
230							INS	0.791	411
231							Exchange	0.775	175
232							Displacement	0.777	213

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
233	1	45	0.8	0.7	Tournament	modOx	INV	0.772	232
234							INS	0.772	500
235							Exchange	0.760	65
236							Displacement	0.768	244
237						modPBX	INV	0.769	384
238							INS	0.769	377
239							Exchange	0.768	36
240							Displacement	0.780	319
241						modMOX	INV	0.794	214
242							INS	0.789	405
243							Exchange	0.765	198
244							Displacement	0.769	354
245						modPMX	INV	0.782	283
246							INS	0.758	333
247							Exchange	0.781	147
248							Displacement	0.768	97
249						modOx	INV	0.779	161
250							INS	0.779	25
251							Exchange	0.799	205
252							Displacement	0.778	91
253						modPBX	INV	0.782	133
254							INS	0.758	211
255							Exchange	0.779	360
256							Displacement	0.778	195
257	2	15	0.3	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.752	285
258							INS	0.767	4
259							Exchange	0.781	457
260							Displacement	0.771	303
261						modPMX	INV	0.762	481
262							INS	0.778	461
263							Exchange	0.743	214
264							Displacement	0.743	179
265						modOx	INV	0.768	1
266							INS	0.748	394
267							Exchange	0.765	67
268							Displacement	0.783	126
269						modPBX	INV	0.757	330
270							INS	0.735	8
271							Exchange	0.761	129
272							Displacement	0.752	111

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
273	2	15	0.3	0.4	Tournament	modMOX	INV	0.773	5
274							INS	0.764	490
275							Exchange	0.768	105
276							Displacement	0.764	290
277						modPMX	INV	0.761	67
278							INS	0.747	427
279							Exchange	0.769	488
280							Displacement	0.776	231
281						modOx	INV	0.781	135
282							INS	0.745	93
283							Exchange	0.780	67
284							Displacement	0.769	261
285						modPBX	INV	0.758	313
286							INS	0.753	101
287							Exchange	0.749	286
288							Displacement	0.754	298
289				0.7	Roulette	modMOX	INV	0.775	39
290							INS	0.750	343
291							Exchange	0.720	10
292							Displacement	0.767	142
293						modPMX	INV	0.767	221
294							INS	0.772	54
295							Exchange	0.757	464
296							Displacement	0.768	482
297						modOx	INV	0.763	45
298							INS	0.778	7
299							Exchange	0.781	240
300							Displacement	0.784	46
301						modPBX	INV	0.756	83
302							INS	0.773	98
303							Exchange	0.777	209
304							Displacement	0.757	69
305					Tournament	modMOX	INV	0.769	338
306							INS	0.745	106
307							Exchange	0.754	20
308							Displacement	0.766	4
309						modPMX	INV	0.755	340
310							INS	0.755	333
311							Exchange	0.742	105
312							Displacement	0.752	479

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
313	2	15	0.3	0.7	Tournament	modOx	INV	0.755	359
314							INS	0.755	57
315							Exchange	0.742	78
316							Displacement	0.752	194
317						modPBX	INV	0.767	127
318							INS	0.750	49
319							Exchange	0.749	288
320							Displacement	0.768	266
321			0.8	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.730	373
322							INS	0.756	177
323							Exchange	0.772	492
324							Displacement	0.766	368
325						modPMX	INV	0.740	386
326							INS	0.772	253
327							Exchange	0.761	192
328							Displacement	0.766	194
329						modOx	INV	0.774	41
330							INS	0.770	490
331							Exchange	0.767	340
332							Displacement	0.770	191
333						modPBX	INV	0.762	214
334							INS	0.737	400
335							Exchange	0.761	8
336							Displacement	0.773	111
337					Tournament	modMOX	INV	0.743	319
338							INS	0.749	114
339							Exchange	0.761	218
340							Displacement	0.773	349
341						modPMX	INV	0.751	29
342							INS	0.773	275
343							Exchange	0.756	105
344							Displacement	0.771	439
345						modOx	INV	0.771	19
346							INS	0.790	235
347							Exchange	0.782	209
348							Displacement	0.773	408
349						modPBX	INV	0.768	416
350							INS	0.759	126
351							Exchange	0.755	202
352							Displacement	0.748	291

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
353	2	15	0.8	0.7	Tournament	modMOX	INV	0.761	26
354							INS	0.769	62
355							Exchange	0.756	113
356							Displacement	0.781	97
357						modPMX	INV	0.771	481
358							INS	0.758	20
359							Exchange	0.762	401
360							Displacement	0.772	12
361						modOx	INV	0.761	424
362							INS	0.763	262
363							Exchange	0.764	80
364							Displacement	0.761	274
365						modPBX	INV	0.758	347
366							INS	0.759	299
367							Exchange	0.752	494
368							Displacement	0.765	485
369					Roulette	modMOX	INV	0.761	435
370							INS	0.771	7
371							Exchange	0.759	301
372							Displacement	0.768	73
373						modPMX	INV	0.760	95
374							INS	0.772	370
375							Exchange	0.761	61
376							Displacement	0.768	268
377						modOx	INV	0.778	379
378							INS	0.758	79
379							Exchange	0.769	333
380							Displacement	0.757	166
381						modPBX	INV	0.778	224
382							INS	0.741	171
383							Exchange	0.762	190
384							Displacement	0.762	463
385		45	0.3	0.4	Tournament	modMOX	INV	0.788	488
386							INS	0.766	471
387							Exchange	0.748	141
388							Displacement	0.779	112
389						modPMX	INV	0.752	239
390							INS	0.770	50
391							Exchange	0.782	489
392							Displacement	0.775	202

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
393	2	45	0.3	0.4	Roulette	modOx	INV	0.768	242
394							INS	0.766	317
395							Exchange	0.765	305
396							Displacement	0.767	423
397						modPBX	INV	0.764	273
398							INS	0.787	290
399							Exchange	0.767	122
400							Displacement	0.763	197
401					Tournament	modMOX	INV	0.769	86
402							INS	0.794	28
403							Exchange	0.770	55
404							Displacement	0.786	174
405						modPMX	INV	0.768	338
406							INS	0.778	243
407							Exchange	0.771	178
408							Displacement	0.782	447
409						modOx	INV	0.762	78
410							INS	0.755	153
411							Exchange	0.764	220
412							Displacement	0.771	214
413						modPBX	INV	0.772	386
414							INS	0.769	330
415							Exchange	0.761	424
416							Displacement	0.768	114
417				0.7	Roulette	modMOX	INV	0.779	54
418							INS	0.759	263
419							Exchange	0.767	361
420							Displacement	0.760	417
421						modPMX	INV	0.778	239
422							INS	0.781	34
423							Exchange	0.776	123
424							Displacement	0.767	35
425						modOx	INV	0.796	205
426							INS	0.766	30
427							Exchange	0.762	477
428							Displacement	0.781	75
429						modPBX	INV	0.780	32
430							INS	0.766	237
431							Exchange	0.757	381
432							Displacement	0.773	494

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
433	2	45	0.3	0.7	Tournament	modMOX	INV	0.762	43
434							INS	0.771	15
435							Exchange	0.767	12
436							Displacement	0.765	98
437						modPMX	INV	0.778	5
438							INS	0.792	96
439							Exchange	0.787	412
440							Displacement	0.774	27
441						modOx	INV	0.784	72
442							INS	0.774	119
443							Exchange	0.782	75
444							Displacement	0.785	66
445						modPBX	INV	0.771	220
446							INS	0.784	166
447							Exchange	0.773	81
448							Displacement	0.799	428
449			0.8	0.4	Roulette	modMOX	INV	0.784	459
450							INS	0.775	94
451							Exchange	0.780	49
452							Displacement	0.778	323
453						modPMX	INV	0.783	10
454							INS	0.779	374
455							Exchange	0.786	364
456							Displacement	0.768	307
457						modOx	INV	0.776	1
458							INS	0.772	12
459							Exchange	0.776	77
460							Displacement	0.776	482
461						modPBX	INV	0.778	132
462							INS	0.769	465
463							Exchange	0.786	4
464							Displacement	0.781	35
465					Tournament	modMOX	INV	0.764	2
466							INS	0.794	222
467							Exchange	0.767	64
468							Displacement	0.762	395
469						modPMX	INV	0.781	338
470							INS	0.770	474
471							Exchange	0.787	80
472							Displacement	0.778	385

ตารางที่ ง.11 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
473	2	45	0.8	0.4	Tournament	modOx	INV	0.768	58
474							INS	0.788	64
475							Exchange	0.768	156
476							Displacement	0.794	88
477						modPBX	INV	0.771	85
478							INS	0.776	37
479							Exchange	0.790	441
480							Displacement	0.758	227
481				0.7	Roulette	modMOX	INV	0.782	434
482							INS	0.783	108
483							Exchange	0.771	340
484							Displacement	0.773	30
485						modPMX	INV	0.783	131
486							INS	0.776	151
487							Exchange	0.774	258
488							Displacement	0.777	395
489						modOx	INV	0.774	356
490							INS	0.772	221
491							Exchange	0.771	500
492							Displacement	0.776	194
493						modPBX	INV	0.768	217
494							INS	0.773	336
495							Exchange	0.762	455
496							Displacement	0.768	249
497					Tournament	modMOX	INV	0.763	141
498							INS	0.761	144
499							Exchange	0.779	142
500							Displacement	0.779	17
501						modPMX	INV	0.774	59
502							INS	0.763	237
503							Exchange	0.773	431
504							Displacement	0.785	493
505						modOx	INV	0.777	305
506							INS	0.779	268
507							Exchange	0.778	499
508							Displacement	0.765	97
509						modPBX	INV	0.772	225
510							INS	0.781	218
511							Exchange	0.772	339
512							Displacement	0.778	311

2.3 กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

ผลการรันโปรแกรมจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมหาคำตอบในการทดสอบทุกระดับปัจจัย (Full Factorial Design) ของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ ง.12

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
1	1	15	0.1	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.928	1
2							INS	0.921	431
3							Exchange	0.909	127
4							Displacement	0.921	94
5						modPMX	INV	0.909	499
6							INS	0.921	249
7							Exchange	0.928	446
8							Displacement	0.921	83
9						modOx	INV	0.928	74
10							INS	0.928	260
11							Exchange	0.928	400
12							Displacement	0.928	149
13						modPBX	INV	0.909	169
14							INS	0.871	198
15							Exchange	0.921	175
16							Displacement	0.921	94
17					Tournament	modMOX	INV	0.921	44
18							INS	0.909	206
19							Exchange	0.921	170
20							Displacement	0.921	55
21						modPMX	INV	0.921	202
22							INS	0.909	298
23							Exchange	0.921	499
24							Displacement	0.921	254
25						modOx	INV	0.928	93
26							INS	0.928	23
27							Exchange	0.928	177
28							Displacement	0.928	28
29						modPBX	INV	0.928	12
30							INS	0.882	13
31							Exchange	0.928	430
32							Displacement	0.928	160

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
33	1	15	0.1	0.8	Roulette	modMOX	INV	0.921	240
34							INS	0.921	88
35							Exchange	0.921	374
36							Displacement	0.909	465
37						modPMX	INV	0.921	198
38							INS	0.921	149
39							Exchange	0.928	282
40							Displacement	0.921	293
41						modOx	INV	0.928	415
42							INS	0.928	57
43							Exchange	0.928	203
44							Displacement	0.921	8
45						modPBX	INV	0.928	67
46							INS	0.859	403
47							Exchange	0.883	186
48							Displacement	0.928	168
49					Tournament	modMOX	INV	0.928	1
50							INS	0.862	271
51							Exchange	0.921	163
52							Displacement	0.921	212
53						modPMX	INV	0.921	41
54							INS	0.921	59
55							Exchange	0.928	280
56							Displacement	0.921	6
57						modOx	INV	0.921	70
58							INS	0.921	295
59							Exchange	0.912	261
60							Displacement	0.928	254
61						modPBX	INV	0.928	214
62							INS	0.909	78
63							Exchange	0.905	403
64							Displacement	0.928	323
65			0.6	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.872	146
66							INS	0.928	3
67							Exchange	0.921	115
68							Displacement	0.921	19
69						modPMX	INV	0.928	39
70							INS	0.921	27
71							Exchange	0.928	400
72							Displacement	0.921	184

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
73	1	15	0.6	0.2	Roulette	modOx	INV	0.928	348
74							INS	0.928	152
75							Exchange	0.928	373
76							Displacement	0.928	1
77						modPBX	INV	0.921	432
78							INS	0.888	1
79							Exchange	0.921	150
80							Displacement	0.928	11
81					Tournament	modMOX	INV	0.928	104
82							INS	0.909	252
83							Exchange	0.908	100
84							Displacement	0.921	43
85						modPMX	INV	0.928	130
86							INS	0.921	27
87							Exchange	0.928	167
88							Displacement	0.928	62
89						modOx	INV	0.928	22
90							INS	0.928	1
91							Exchange	0.928	15
92							Displacement	0.928	287
93						modPBX	INV	0.928	73
94							INS	0.909	165
95							Exchange	0.921	7
96							Displacement	0.921	242
97				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.909	1
98							INS	0.921	1
99							Exchange	0.909	106
100							Displacement	0.921	31
101						modPMX	INV	0.921	140
102							INS	0.928	166
103							Exchange	0.921	35
104							Displacement	0.928	117
105						modOx	INV	0.928	280
106							INS	0.928	60
107							Exchange	0.921	34
108							Displacement	0.928	23
109						modPBX	INV	0.928	111
110							INS	0.921	393
111							Exchange	0.928	4
112							Displacement	0.912	187

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
113	1	15	0.6	0.8	Tournament	modMOX	INV	0.921	50
114							INS	0.897	3
115							Exchange	0.928	22
116							Displacement	0.921	5
117						modPMX	INV	0.921	185
118							INS	0.928	253
119							Exchange	0.928	85
120							Displacement	0.928	35
121						modOx	INV	0.928	25
122							INS	0.928	33
123							Exchange	0.928	114
124							Displacement	0.928	1
125						modPBX	INV	0.909	55
126							INS	0.921	346
127							Exchange	0.928	314
128							Displacement	0.921	132
129		35	0.1	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.921	371
130							INS	0.911	247
131							Exchange	0.909	457
132							Displacement	0.928	117
133						modPMX	INV	0.921	121
134							INS	0.928	106
135							Exchange	0.928	241
136							Displacement	0.928	486
137						modOx	INV	0.928	211
138							INS	0.928	7
139							Exchange	0.921	124
140							Displacement	0.928	332
141						modPBX	INV	0.928	113
142							INS	0.921	324
143							Exchange	0.926	378
144							Displacement	0.921	19
145					Tournament	modMOX	INV	0.921	23
146							INS	0.888	6
147							Exchange	0.883	11
148							Displacement	0.928	196
149						modPMX	INV	0.921	77
150							INS	0.921	119
151							Exchange	0.928	89
152							Displacement	0.928	6

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
153	1	35	0.1	0.2	Roulette	modOx	INV	0.928	86
154							INS	0.928	405
155							Exchange	0.928	385
156							Displacement	0.928	251
157						modPBX	INV	0.921	472
158							INS	0.921	1
159							Exchange	0.909	104
160							Displacement	0.928	267
161				0.8	Tournament	modMOX	INV	0.921	99
162							INS	0.921	134
163							Exchange	0.921	181
164							Displacement	0.921	29
165						modPMX	INV	0.921	25
166							INS	0.928	127
167							Exchange	0.921	185
168							Displacement	0.921	74
169						modOx	INV	0.921	47
170							INS	0.928	47
171							Exchange	0.921	38
172							Displacement	0.928	251
173						modPBX	INV	0.928	11
174							INS	0.921	15
175							Exchange	0.921	72
176							Displacement	0.928	277
177					Roulette	modMOX	INV	0.921	7
178							INS	0.921	27
179							Exchange	0.921	1
180							Displacement	0.928	1
181						modPMX	INV	0.921	43
182							INS	0.928	245
183							Exchange	0.928	321
184							Displacement	0.928	19
185						modOx	INV	0.928	20
186							INS	0.928	38
187							Exchange	0.928	428
188							Displacement	0.928	222
189						modPBX	INV	0.921	17
190							INS	0.921	1
191							Exchange	0.921	468
192							Displacement	0.921	121

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
193	1	35	0.6	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.909	161
194							INS	0.909	159
195							Exchange	0.928	365
196							Displacement	0.928	251
197						modPMX	INV	0.928	160
198							INS	0.928	40
199							Exchange	0.928	123
200							Displacement	0.928	89
201						modOx	INV	0.928	33
202							INS	0.928	11
203							Exchange	0.928	74
204							Displacement	0.928	19
205						modPBX	INV	0.921	439
206							INS	0.909	456
207							Exchange	0.921	29
208							Displacement	0.921	84
209					Tournament	modMOX	INV	0.921	339
210							INS	0.875	66
211							Exchange	0.928	82
212							Displacement	0.928	63
213						modPMX	INV	0.928	310
214							INS	0.928	323
215							Exchange	0.928	162
216							Displacement	0.928	201
217						modOx	INV	0.928	4
218							INS	0.928	3
219							Exchange	0.928	12
220							Displacement	0.928	48
221						modPBX	INV	0.921	42
222							INS	0.928	1
223							Exchange	0.921	32
224							Displacement	0.921	3
225				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.921	101
226							INS	0.909	229
227							Exchange	0.921	394
228							Displacement	0.928	287
229						modPMX	INV	0.928	435
230							INS	0.928	52
231							Exchange	0.921	36
232							Displacement	0.928	139

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
233	1	35	0.6	0.8	Tournament	modOx	INV	0.921	4
234							INS	0.921	1
235							Exchange	0.928	18
236							Displacement	0.928	203
237						modPBX	INV	0.921	85
238							INS	0.921	1
239							Exchange	0.921	160
240							Displacement	0.928	463
241						modMOX	INV	0.921	71
242							INS	0.928	166
243							Exchange	0.928	141
244							Displacement	0.921	149
245						modPMX	INV	0.928	117
246							INS	0.928	157
247							Exchange	0.928	229
248							Displacement	0.928	329
249						modOx	INV	0.928	30
250							INS	0.928	10
251							Exchange	0.928	130
252							Displacement	0.928	1
253						modPBX	INV	0.928	44
254							INS	0.921	73
255							Exchange	0.921	49
256							Displacement	0.928	112
257	2	15	0.1	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.921	1
258							INS	0.878	26
259							Exchange	0.893	441
260							Displacement	0.921	472
261						modPMX	INV	0.921	425
262							INS	0.921	46
263							Exchange	0.921	481
264							Displacement	0.912	211
265						modOx	INV	0.928	392
266							INS	0.928	158
267							Exchange	0.928	65
268							Displacement	0.921	33
269						modPBX	INV	0.909	192
270							INS	0.888	59
271							Exchange	0.921	162
272							Displacement	0.898	170

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
273	2	15	0.1	0.2	Tournament	modMOX	INV	0.921	276
274							INS	0.909	363
275							Exchange	0.898	123
276							Displacement	0.909	111
277						modPMX	INV	0.921	161
278							INS	0.921	35
279							Exchange	0.928	243
280							Displacement	0.921	7
281						modOx	INV	0.928	36
282							INS	0.928	331
283							Exchange	0.921	45
284							Displacement	0.894	326
285						modPBX	INV	0.928	424
286							INS	0.902	299
287							Exchange	0.921	173
288							Displacement	0.909	251
289				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.921	267
290							INS	0.928	312
291							Exchange	0.890	406
292							Displacement	0.928	330
293						modPMX	INV	0.921	215
294							INS	0.902	213
295							Exchange	0.921	450
296							Displacement	0.921	394
297						modOx	INV	0.928	354
298							INS	0.928	85
299							Exchange	0.921	9
300							Displacement	0.921	31
301						modPBX	INV	0.928	358
302							INS	0.874	446
303							Exchange	0.921	33
304							Displacement	0.912	444
305					Tournament	modMOX	INV	0.909	5
306							INS	0.921	195
307							Exchange	0.888	24
308							Displacement	0.928	146
309						modPMX	INV	0.921	4
310							INS	0.921	403
311							Exchange	0.921	168
312							Displacement	0.928	85

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
313	2	15	0.1	0.8	Tournament	modOx	INV	0.928	119
314							INS	0.921	331
315							Exchange	0.921	76
316							Displacement	0.921	202
317						modPBX	INV	0.928	84
318							INS	0.921	301
319							Exchange	0.921	83
320							Displacement	0.928	18
321			0.6	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.921	99
322							INS	0.897	11
323							Exchange	0.892	210
324							Displacement	0.928	1
325						modPMX	INV	0.928	103
326							INS	0.921	82
327							Exchange	0.928	87
328							Displacement	0.921	323
329						modOx	INV	0.928	193
330							INS	0.902	351
331							Exchange	0.921	129
332							Displacement	0.928	86
333						modPBX	INV	0.928	173
334							INS	0.909	22
335							Exchange	0.888	11
336							Displacement	0.921	173
337					Tournament	modMOX	INV	0.901	421
338							INS	0.921	242
339							Exchange	0.921	30
340							Displacement	0.909	224
341						modPMX	INV	0.921	23
342							INS	0.921	2
343							Exchange	0.921	96
344							Displacement	0.921	32
345						modOx	INV	0.921	3
346							INS	0.921	14
347							Exchange	0.928	19
348							Displacement	0.921	15
349						modPBX	INV	0.909	16
350							INS	0.921	25
351							Exchange	0.921	24
352							Displacement	0.898	15

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
353	2	15	0.6	0.8	Tournament	modMOX	INV	0.921	194
354							INS	0.902	466
355							Exchange	0.880	154
356							Displacement	0.921	167
357						modPMX	INV	0.921	67
358							INS	0.928	300
359							Exchange	0.928	1
360							Displacement	0.928	47
361						modOx	INV	0.928	70
362							INS	0.928	176
363							Exchange	0.928	237
364							Displacement	0.928	18
365						modPBX	INV	0.921	366
366							INS	0.928	12
367							Exchange	0.928	211
368							Displacement	0.921	11
369					Roulette	modMOX	INV	0.909	59
370							INS	0.921	38
371							Exchange	0.921	10
372							Displacement	0.921	13
373						modPMX	INV	0.928	234
374							INS	0.921	35
375							Exchange	0.928	123
376							Displacement	0.928	339
377						modOx	INV	0.928	246
378							INS	0.921	168
379							Exchange	0.928	35
380							Displacement	0.928	2
381						modPBX	INV	0.928	9
382							INS	0.909	301
383							Exchange	0.928	212
384							Displacement	0.928	120
385		35	0.1	0.2	Tournament	modMOX	INV	0.916	390
386							INS	0.894	38
387							Exchange	0.909	495
388							Displacement	0.928	33
389						modPMX	INV	0.928	321
390							INS	0.921	12
391							Exchange	0.921	73
392							Displacement	0.928	387

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
393	2	35	0.1	0.2	Roulette	modOx	INV	0.921	29
394							INS	0.928	106
395							Exchange	0.928	106
396							Displacement	0.928	20
397						modPBX	INV	0.921	2
398							INS	0.909	1
399							Exchange	0.895	158
400							Displacement	0.921	114
401					Tournament	modMOX	INV	0.921	216
402							INS	0.928	236
403							Exchange	0.928	10
404							Displacement	0.921	1
405						modPMX	INV	0.921	6
406							INS	0.928	463
407							Exchange	0.928	158
408							Displacement	0.921	84
409						modOx	INV	0.928	104
410							INS	0.928	283
411							Exchange	0.921	1
412							Displacement	0.928	157
413						modPBX	INV	0.921	284
414							INS	0.921	294
415							Exchange	0.921	21
416							Displacement	0.909	78
417				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.921	1
418							INS	0.909	323
419							Exchange	0.928	34
420							Displacement	0.921	68
421						modPMX	INV	0.921	111
422							INS	0.921	42
423							Exchange	0.921	31
424							Displacement	0.928	214
425						modOx	INV	0.928	117
426							INS	0.928	247
427							Exchange	0.921	4
428							Displacement	0.928	171
429						modPBX	INV	0.928	8
430							INS	0.898	101
431							Exchange	0.921	1
432							Displacement	0.928	279

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
433	2	35	0.1	0.8	Tournament	modMOX	INV	0.928	99
434							INS	0.928	26
435							Exchange	0.903	206
436							Displacement	0.928	332
437						modPMX	INV	0.928	212
438							INS	0.928	166
439							Exchange	0.921	37
440							Displacement	0.928	169
441						modOx	INV	0.928	118
442							INS	0.928	465
443							Exchange	0.928	319
444							Displacement	0.928	276
445						modPBX	INV	0.921	65
446							INS	0.909	215
447							Exchange	0.928	161
448							Displacement	0.928	51
449			0.6	0.2	Roulette	modMOX	INV	0.921	491
450							INS	0.921	103
451							Exchange	0.921	3
452							Displacement	0.928	474
453						modPMX	INV	0.928	374
454							INS	0.928	252
455							Exchange	0.928	138
456							Displacement	0.928	463
457						modOx	INV	0.928	427
458							INS	0.921	22
459							Exchange	0.928	23
460							Displacement	0.928	84
461						modPBX	INV	0.928	7
462							INS	0.928	17
463							Exchange	0.928	51
464							Displacement	0.928	180
465					Tournament	modMOX	INV	0.928	174
466							INS	0.921	21
467							Exchange	0.928	168
468							Displacement	0.928	401
469						modPMX	INV	0.928	11
470							INS	0.928	23
471							Exchange	0.928	10
472							Displacement	0.928	26

ตารางที่ ง.12 ผลการรันโปรแกรมในการทดสอบทุกระดับปัจจัย กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด (ต่อ)

No.	Rep	Pop_size	Pc	Pm	Stype	Ctype	Mtype	Fitness	No.Gen
473	2	35	0.6	0.2	Tournament	modOx	INV	0.928	11
474							INS	0.928	113
475							Exchange	0.928	30
476							Displacement	0.928	34
477						modPBX	INV	0.928	11
478							INS	0.921	342
479							Exchange	0.921	5
480							Displacement	0.921	51
481				0.8	Roulette	modMOX	INV	0.928	182
482							INS	0.909	350
483							Exchange	0.921	148
484							Displacement	0.928	370
485						modPMX	INV	0.928	18
486							INS	0.928	163
487							Exchange	0.928	56
488							Displacement	0.928	347
489						modOx	INV	0.928	330
490							INS	0.928	59
491							Exchange	0.928	22
492							Displacement	0.928	16
493						modPBX	INV	0.928	326
494							INS	0.921	9
495							Exchange	0.928	48
496							Displacement	0.928	500
497					Tournament	modMOX	INV	0.928	451
498							INS	0.898	66
499							Exchange	0.928	24
500							Displacement	0.921	76
501						modPMX	INV	0.928	49
502							INS	0.928	386
503							Exchange	0.928	84
504							Displacement	0.928	52
505						modOx	INV	0.928	10
506							INS	0.928	12
507							Exchange	0.928	5
508							Displacement	0.928	21
509						modPBX	INV	0.928	365
510							INS	0.921	14
511							Exchange	0.921	62
512							Displacement	0.928	433

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

- *การทดสอบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time)*

1.1 การวิเคราะห์เมื่อใช้ค่า Fitness เป็นตัวแปรตอบสนอง

1.1.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pop_size

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pop_size    4 0.0000000 0.0000000        *        *
Error      15 0.0000000 0.0000000
Total      19 0.0000000

                                      Individual 95% CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ----------+---------+---------+------
 5          4  0.954000  0.000000  *
10          4  0.954000  0.000000  *
15          4  0.954000  0.000000  *
20          4  0.954000  0.000000  *
25          4  0.954000  0.000000  *
                                  ----------+---------+---------+------
                                         0.95410   0.95420   0.95430
```

1.1.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

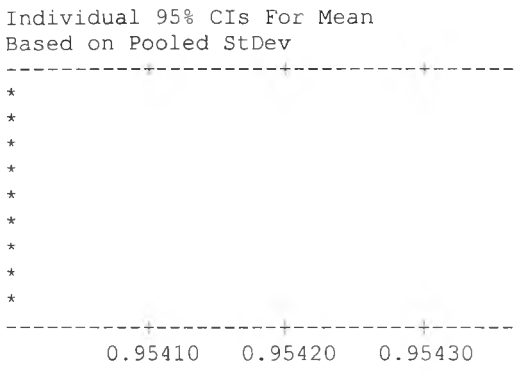
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pc

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          8 0.0000000 0.0000000        *        *
Error      26 0.0000000 0.0000000
Total      34 0.0000000
```

Level	N	Mean	StDev
0.2	3	0.954000	0.000000
0.3	4	0.954000	0.000000
0.4	4	0.954000	0.000000
0.5	4	0.954000	0.000000
0.6	4	0.954000	0.000000
0.7	4	0.954000	0.000000
0.8	4	0.954000	0.000000
0.9	4	0.954000	0.000000
1.0	4	0.954000	0.000000

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev



1.1.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pm

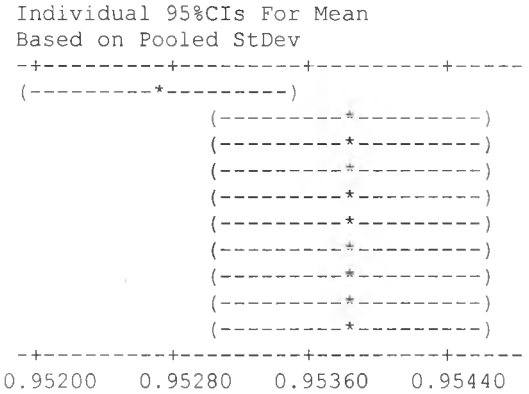
Analysis of Variance for Fitness

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	9	0.0000056	0.0000006	1.00	0.461
Error	30	0.0000188	0.0000006		
Total	39	0.0000244			

Level	N	Mean	StDev
0.1	4	0.952750	0.002500
0.2	4	0.954000	0.000000
0.3	4	0.954000	0.000000
0.4	4	0.954000	0.000000
0.5	4	0.954000	0.000000
0.6	4	0.954000	0.000000
0.7	4	0.954000	0.000000
0.8	4	0.954000	0.000000
0.9	4	0.954000	0.000000
1.0	4	0.954000	0.000000

Pooled StDev = 0.000791

Individual 95%CIs For Mean
Based on Pooled StDev



1.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้ลำดับที่เจนเนอเรชั่นเป็นตัวแปรตอบสนอง

1.2.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pop_size

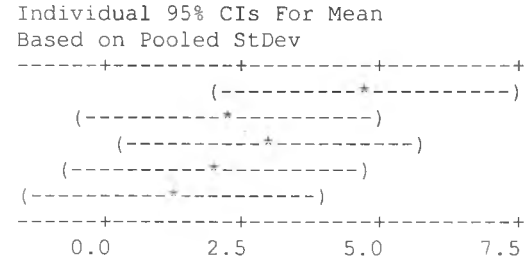
Analysis of Variance for Generati

Source	DF	SS	MS	F	P
Pop_size	4	28.30	7.07	1.08	0.401
Error	15	98.25	6.55		
Total	19	126.55			

Level	N	Mean	StDev
5	4	4.750	4.349
10	4	2.250	2.500
15	4	3.000	1.826
20	4	2.000	2.000
25	4	1.250	0.500

Pooled StDev = 2.559

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev



1.2.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pc

```
Analysis of Variance for Genratio
Source      DF        SS        MS        F        P
Pc           9     443.5      49.3     0.94    0.503
Error       30    1566.5      52.2
Total       39    2010.0

                                      Individual 95% CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  -------+---------+---------+---------
0.1         4    14.000     9.626                (---------*--------)
0.2         4     9.500     7.416           (--------*--------)
0.3         4     8.500    11.790          (---------*--------)
0.4         4     7.500     6.807         (--------*---------)
0.5         4     9.250     6.652           (---------*--------)
0.6         4     4.500     5.745     (---------*--------)
0.7         4     2.250     2.500    (--------*--------)
0.8         4     6.000     9.345       (---------*--------)
0.9         4     5.500     4.041       (--------*--------)
1.0         4     3.000     1.414     (--------*--------)
                                      -------+---------+---------+---------
                                      0.0       8.0      16.0
```

1.2.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pm

```
Analysis of Variance for Generati
Source      DF        SS        MS        F        P
Pm           9      88.0       9.8     0.86    0.567
Error       30     340.0      11.3
Total       39     428.0

                                      Individual 95%CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  -----+---------+---------+---------+-
0.1         4     2.500     3.000    (---------*---------)
0.2         4     2.250     1.500    (--------*---------)
0.3         4     1.750     0.500  (---------*---------)
0.4         4     3.000     3.367      (---------*--------)
0.5         4     5.000     6.683           (---------*---------)
0.6         4     2.500     1.732    (---------*---------)
0.7         4     4.250     3.202         (---------*---------)
0.8         4     7.000     4.082                (---------*---------)
0.9         4     3.250     2.217      (---------*---------)
1.0         4     3.500     3.317       (---------*---------)
                                      -----+---------+---------+---------+-
Pooled StDev =    3.367                  0.0       3.5       7.0      10.5
```

1.3 การวิเคราะห์เมื่อใช้เวลาที่พบคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

1.3.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pop_size

```
Analysis of Variance for GAtime
Source      DF        SS        MS        F        P
Pop_size     4     6.501     1.625     3.24    0.042
Error       15     7.529     0.502
Total       19    14.030
```

```
                                        Individual 95% CIs For Mean
                                        Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ----------+---------+---------+------
  5         4    0.7800    0.3856  (---------*---------)
 10         4    0.9425    0.5801    (---------*---------)
 15         4    1.8825    0.7372                (---------*---------)
 20         4    2.0475    1.1620                  (---------*---------)
 25         4    2.1025    0.3617                   (---------*---------)
                                   ----------+---------+---------+------
Pooled StDev =    0.7085                  0.80      1.60      2.40
```

- การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.258
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.131

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

            5          10          15          20

10     -1.2301
        0.9051

15     -2.1701     -2.0076
       -0.0349      0.1276

20     -2.3351     -2.1726     -1.2326
       -0.1999     -0.0374      0.9026

25     -2.3901     -2.2276     -1.2876     -1.1226
       -0.2549     -0.0924      0.8476      1.0126
```

1.3.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pc

```
Analysis of Variance for GAtime
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          9     51.86      5.76     0.75    0.662
Error      30    230.81      7.69
Total      39    282.68

                                        Individual 95% CIs For Mean
                                        Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ----+---------+---------+---------+--
0.1         4    5.643     3.935                (---------*---------)
0.2         4    4.037     2.570          (---------*---------)
0.3         4    3.945     4.369          (---------*---------)
0.4         4    3.503     2.694        (---------*---------)
0.5         4    4.270     2.546          (---------*---------)
0.6         4    2.443     2.244     (---------*---------)
0.7         4    1.858     1.363   (---------*---------)
0.8         4    2.983     3.549       (---------*---------)
0.9         4    2.843     1.499     (---------*---------)
1.0         4    1.745     0.530  (---------*---------)
                                   ----+---------+---------+---------+--
Pooled StDev =    2.774              0.0       3.0       6.0       9.0
```

1.3.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pm

```
Analysis of Variance for GAtime
Source     DF        SS        MS        F      P
Pm          9     13.26      1.47     0.60  0.787
Error      30     73.76      2.46
Total      39     87.02

                                      Individual 95%CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level      N      Mean     StDev  -----+---------+---------+---------+-
0.1        4     3.008     3.907                (----------*----------)
0.2        4     0.963     0.360   (----------*----------)
0.3        4     0.883     0.150  (----------*----------)
0.4        4     1.255     0.899     (----------*----------)
0.5        4     1.840     1.817          (----------*----------)
0.6        4     1.455     1.050      (----------*----------)
0.7        4     1.700     0.894        (----------*----------)
0.8        4     2.032     1.329           (----------*----------)
0.9        4     1.480     0.666      (----------*----------)
1.0        4     1.520     0.972      (----------*----------)
                                     -----+---------+---------+---------+-
Pooled StDev =    1.568               0.0       1.5       3.0       4.5
```

- ***การทดสอบทุกระดับปัจจัย (Full Factorial Design)***

1.1 การวิเคราะห์เมื่อใช้ค่า Fitness เป็นตัวแปรตอบสนอง

1.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

```
Analysis of Variance for Fitness, using Adjusted SS for Tests

Source            DF      Seq SS      Adj SS      Adj MS       F      P
Pop_size           1   0.0000011   0.0000011   0.0000011    6.58  0.011
Pc                 1   0.0000011   0.0000011   0.0000011    6.58  0.011
Pm                 1   0.0000011   0.0000011   0.0000011    6.58  0.011
Stype              1   0.0000005   0.0000005   0.0000005    2.92  0.088
Ctype              3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Mtype              3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Pop_size*Pc        1   0.0000011   0.0000011   0.0000011    6.58  0.011
Pop_size*Pm        1   0.0000011   0.0000011   0.0000011    6.58  0.011
Pop_size*Stype     1   0.0000005   0.0000005   0.0000005    2.92  0.088
Pop_size*Ctype     3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Pop_size*Mtype     3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Pc*Pm              1   0.0000011   0.0000011   0.0000011    6.58  0.011
Pc*Stype           1   0.0000005   0.0000005   0.0000005    2.92  0.088
Pc*Ctype           3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Pc*Mtype           3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Pm*Stype           1   0.0000005   0.0000005   0.0000005    2.92  0.088
Pm*Ctype           3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Pm*Mtype           3   0.0000006   0.0000006   0.0000002    1.22  0.302
Stype*Ctype        3   0.0000013   0.0000013   0.0000004    2.44  0.064
Stype*Mtype        3   0.0000002   0.0000002   0.0000001    0.49  0.691
Ctype*Mtype        9   0.0000006   0.0000006   0.0000001    0.41  0.932
Error            462   0.0000790   0.0000790   0.0000002
Total            511   0.0000949
```

1.1.2 การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

- การทดสอบจำนวนประชากร

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                    5

      15   -0.0001682
           -0.0000193
```

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                  0.1

     0.7   -0.0001682
           -0.0000193
```

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                  0.3

     0.8   -0.0001682
           -0.0000193
```

- การทดสอบวิธีการคัดเลือกสตริง

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับวิธีการคัดเลือกสตริงเนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวนพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง

- การทดสอบวิธีการครอสโอเวอร์

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับวิธีการครอสโอเวอร์เนื่องจาก ในการทดสอบความแปรปรวนพบว่าไม่มีอิทธิพลค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบวิธีการมิวเตชั่น

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับวิธีการมิวเตชั่นเนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวนพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

1.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้ลำดับที่เจนเนอเรชั่นเป็นตัวแปรตอบสนอง

1.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Analysis of Variance for Generati, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pop_size	1	20935.7	20935.7	20935.7	50.47	0.000
Pc	1	22631.3	22631.3	22631.3	54.56	0.000
Pm	1	9800.0	9800.0	9800.0	23.63	0.000
Stype	1	652.5	652.5	652.5	1.57	0.210
Ctype	3	6835.5	6835.5	2278.5	5.49	0.001
Mtype	3	1699.3	1699.3	566.4	1.37	0.253
Pop_size*Pc	1	14133.0	14133.0	14133.0	34.07	0.000
Pop_size*Pm	1	5981.4	5981.4	5981.4	14.42	0.000
Pop_size*Stype	1	760.5	760.5	760.5	1.83	0.176
Pop_size*Ctype	3	3251.2	3251.2	1083.7	2.61	0.051
Pop_size*Mtype	3	434.3	434.3	144.8	0.35	0.790
Pc*Pm	1	9556.5	9556.5	9556.5	23.04	0.000
Pc*Stype	1	1603.2	1603.2	1603.2	3.86	0.050
Pc*Ctype	3	2081.3	2081.3	693.8	1.67	0.172
Pc*Mtype	3	1529.0	1529.0	509.7	1.23	0.299
Pm*Stype	1	1345.5	1345.5	1345.5	3.24	0.072
Pm*Ctype	3	1807.8	1807.8	602.6	1.45	0.227
Pm*Mtype	3	3101.4	3101.4	1033.8	2.49	0.060
Stype*Ctype	3	503.8	503.8	167.9	0.40	0.750
Stype*Mtype	3	382.4	382.4	127.5	0.31	0.820
Ctype*Mtype	9	10127.2	10127.2	1125.2	2.71	0.004
Error	462	191641.7	191641.7	414.8		
Total	511	310794.7				

1.2.2 การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

- การทดสอบจำนวนประชากร

Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

	5
15	8.65 16.93

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

	0.1
0.7	9.17 17.43

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                0.3

     0.8        4.53
               12.97
```

- การทดสอบวิธีการคัดเลือกสตริง

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับวิธีการคัดเลือกสตริงเนื่องจาก ในการทดสอบความแปรปรวน พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบวิธีการครอสโอเวอร์

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.201
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                1           2           3

       2        0.80
               12.81

       3       -0.10       -6.91
               11.91        5.11

       4        4.12       -2.68       -1.78
               16.14        9.34       10.23
```

- การทดสอบวิธีการมิวเตชั่น

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับวิธีการมิวเตชั่นเนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวนพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

2. กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

▸ *การทดสอบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time)*

2.1 การวิเคราะห์เมื่อใช้ค่า Fitness เป็นตัวแปรตอบสนอง

2.1.1 การทดสอบจำนวนประชากร

▸ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pop_size

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pop_size    4  0.002879  0.000720     5.39    0.007
Error      15  0.002005  0.000134
Total      19  0.004884

                                    Individual 95% CIs For Mean
                                    Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ---------+---------+---------+--------
 5          4   0.73825   0.00685   (-----*-----)
15          4   0.74950   0.01544         (-----*-----)
25          4   0.75550   0.00661            (-----*-----)
35          4   0.75800   0.01227             (-----*-----)
45          4   0.77500   0.01374                       (------*-----)
                                    ---------+---------+---------+--------
Pooled StDev =  0.01156                 0.740     0.760     0.780
```

▸ การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.258
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.131
Intervals for (column level mean) - (row level mean)
                    5          15          25          35

15     -0.02867
        0.00617

25     -0.03467    -0.02342
        0.00017     0.01142

35     -0.03717    -0.02592    -0.01992
       -0.00233     0.00892     0.01492

45     -0.05417    -0.04292    -0.03692    -0.03442
       -0.01933    -0.00808    -0.00208     0.00042
```

2.1.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

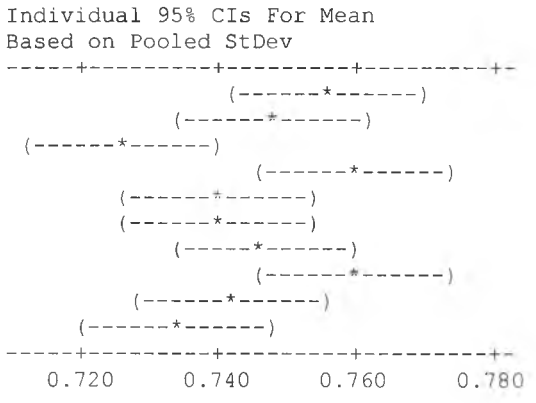
▸ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pc

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          9  0.004748  0.000528     2.81    0.016
Error      30  0.005631  0.000188
Total      39  0.010378
```

Level	N	Mean	StDev
0.1	4	0.75575	0.01044
0.2	4	0.74875	0.00403
0.3	4	0.72550	0.01353
0.4	4	0.76075	0.02084
0.5	4	0.73925	0.00386
0.6	4	0.73950	0.00889
0.7	4	0.74700	0.01857
0.8	4	0.76000	0.00770
0.9	4	0.74175	0.00946
1.0	4	0.73375	0.02339

Pooled StDev = 0.01370



- การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparsions

Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.578
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.042
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	-0.01278 0.02678					
0.3	0.01047 0.05003	0.00347 0.04303				
0.4	-0.02478 0.01478	-0.03178 0.00778	-0.05503 -0.01547			
0.5	-0.00328 0.03628	-0.01028 0.02928	-0.03353 0.00603	0.00172 0.04128		
0.6	-0.00353 0.03603	-0.01053 0.02903	-0.03378 0.00578	0.00147 0.04103	-0.02003 0.01953	
0.7	-0.01103 0.02853	-0.01803 0.02153	-0.04128 -0.00172	-0.00603 0.03353	-0.02753 0.01203	-0.02728 0.01228
0.8	-0.02403 0.01553	-0.03103 0.00853	-0.05428 -0.01472	-0.01903 0.02053	-0.04053 -0.00097	-0.04028 -0.00072
0.9	-0.00578 0.03378	-0.01278 0.02678	-0.03603 0.00353	-0.00078 0.03878	-0.02228 0.01728	-0.02203 0.01753
1.0	0.00222 0.04178	-0.00478 0.03478	-0.02803 0.01153	0.00722 0.04678	-0.01428 0.02528	-0.01403 0.02553

	0.7	0.8	0.9
0.8	-0.03278 0.00678		
0.9	-0.01453 0.02503	-0.00153 0.03803	
1.0	-0.00653 0.03303	0.00647 0.04603	-0.01178 0.02778

2.1.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pm

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pm          9  0.005856  0.000651     1.99    0.076
Error      30  0.009798  0.000327
Total      39  0.015654

                                    Individual 95% CIs For Mean
                                    Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  -------+---------+---------+---------
0.1         4   0.74475   0.03918          (------*------)
0.2         4   0.72775   0.02098   (------*------)
0.3         4   0.74775   0.00881           (------*------)
0.4         4   0.72600   0.01806  (------*-------)
0.5         4   0.75800   0.00931               (------*-------)
0.6         4   0.75650   0.00870              (-------*------)
0.7         4   0.76425   0.00499                 (-------*------)
0.8         4   0.74400   0.00949         (-------*------)
0.9         4   0.74025   0.01982        (------*------)
1.0         4   0.75625   0.01473               (------*-------)
                                    -------+---------+---------+---------
Pooled StDev =  0.01807                0.725     0.750     0.775
```

2.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้ลำดับที่เจนเนอเรชั่นเป็นตัวแปรตอบสนอง

2.2.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pop_size

```
Analysis of Variance for Generation
Source     DF        SS        MS        F        P
Pop_size    4      3952       988     1.25    0.333
Error      15     11867       791
Total      19     15818

                                    Individual 95% CIs For Mean
                                    Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ---+---------+---------+---------+---
 5          4   21.50     14.73  (---------*---------)
15          4   46.25     35.93           (---------*---------)
25          4   47.00     29.15            (---------*---------)
35          4   40.00     32.42         (---------*---------)
45          4   65.25     23.37                   (---------*---------)
                                    ---+---------+---------+---------+---
Pooled StDev =    28.13               0        30        60        90
```

2.2.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

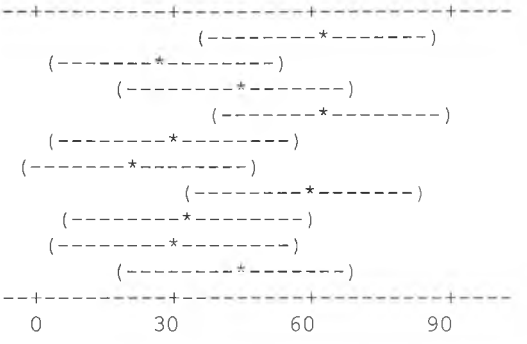
One-way ANOVA: Generation versus Pc

```
Analysis of Variance for Generation
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          9      8541       949     1.49    0.198
Error      30     19165       639
Total      39     27705
```

Level	N	Mean	StDev
0.1	4	62.25	33.79
0.2	4	28.25	20.98
0.3	4	43.75	27.71
0.4	4	63.75	18.46
0.5	4	30.00	22.58
0.6	4	22.25	13.96
0.7	4	59.25	12.84
0.8	4	33.25	21.00
0.9	4	29.75	33.78
1.0	4	43.75	35.30

Pooled StDev = 25.27

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev



2.2.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pm

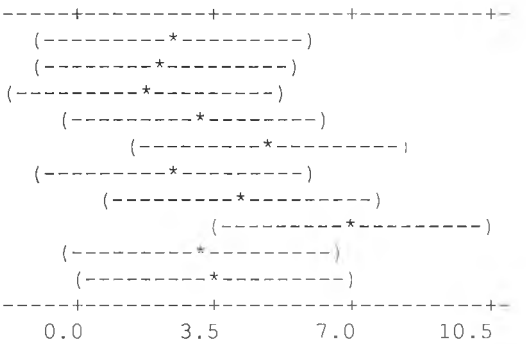
Analysis of Variance for Generati

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	9	88.0	9.8	0.86	0.567
Error	30	340.0	11.3		
Total	39	428.0			

Level	N	Mean	StDev
0.1	4	2.500	3.000
0.2	4	2.250	1.500
0.3	4	1.750	0.500
0.4	4	3.000	3.367
0.5	4	5.000	6.683
0.6	4	2.500	1.732
0.7	4	4.250	3.202
0.8	4	7.000	4.082
0.9	4	3.250	2.217
1.0	4	3.500	3.317

Pooled StDev = 3.367

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev



2.3 การวิเคราะห์เมื่อใช้เวลาที่พบคำตอบเป็นตัวเปรตอบสนอง

2.3.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pop_size

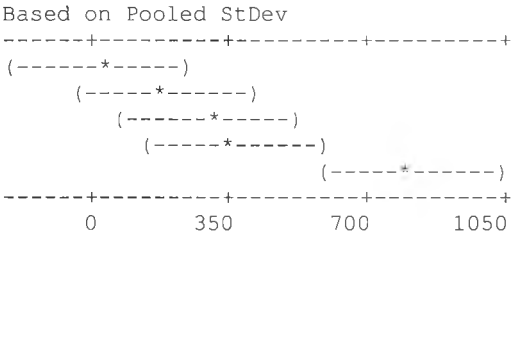
Analysis of Variance for GAtime

Source	DF	SS	MS	F	P
Pop_size	4	1379446	344861	7.58	0.002
Error	15	682689	45513		
Total	19	2062135			

Level	N	Mean	StDev
5	4	26.1	19.8
15	4	180.6	142.4
25	4	310.5	203.1
35	4	367.1	287.2
45	4	808.3	288.4

Pooled StDev = 213.3

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev



▸ การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

```
Fisher's pairwise comparisons
    Family error rate = 0.258
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.131

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                 5          15          25          35

      15      -476
               167

      25      -606        -451
                37         192

      35      -662        -508        -378
               -20         135         265

      45     -1104        -949        -819        -763
              -461        -306        -176        -120
```

2.3.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

▸ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pc

```
Analysis of Variance for GAtime
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          9    149949     16661     1.43    0.219
Error      30    348906     11630
Total      39    498855

                                  Individual 95% CIs For Mean
                                  Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev --+---------+---------+---------+----
0.1         4     191.4     101.7           (--------*--------)
0.2         4      95.8      71.4  (--------*--------)
0.3         4     210.3     145.7           (---------*--------)
0.4         4     291.1      77.5                   (--------*--------)
0.5         4     142.1     102.7       (--------*--------)
0.6         4     101.7      65.5  (--------*---------)
0.7         4     258.6      54.1                (---------*--------)
0.8         4     149.3      92.8       (--------*---------)
0.9         4     135.3     149.2      (--------*--------)
1.0         4     199.7     158.0           (---------*--------)
                                  --+---------+---------+---------+----
Pooled StDev =    107.8             0        120       240       360
```

2.3.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

▸ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pm

```
Analysis of Variance for GAtime
Source     DF        SS        MS        F        P
Pm          9    188941     20993     1.70    0.132
Error      30    370174     12339
Total      39    559115
```

```
                                        Individual 95% CIs For Mean
                                        Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ---+---------+---------+---------+---
0.1         4     180.3     114.8         (-------*-------)
0.2         4     195.9     127.4          (-------*-------)
0.3         4     173.0     116.2         (-------*------)
0.4         4     227.7     114.7             (------*-------)
0.5         4      97.8      70.3   (-------*------)
0.6         4     220.7     184.6            (-------*------)
0.7         4     198.3      52.1           (------*-------)
0.8         4     219.6     115.8            (-------*------)
0.9         4     338.9      88.3                    (-------*------)
1.0         4      76.3      66.1   (------*-------)
                                    ---+---------+---------+---------+---
Pooled StDev =    111.1               0        150       300       450
```

- ***การทดสอบทุกระดับปัจจัย (Full Factorial Design)***

2.1 การวิเคราะห์เมื่อใช้ค่า Fitness เป็นตัวแปรตอบสนอง

2.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

```
Analysis of Variance for Fitness, using Adjusted SS for Tests
Source           DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS       F      P
Pop_size          1  0.0160989  0.0160989  0.0160989  129.31  0.000
Pc                1  0.0007149  0.0007149  0.0007149    5.74  0.017
Pm                1  0.0000698  0.0000698  0.0000698    0.56  0.454
Stype             1  0.0001192  0.0001192  0.0001192    0.96  0.328
Ctype             3  0.0016123  0.0016123  0.0005374    4.32  0.005
Mtype             3  0.0010600  0.0010600  0.0003533    2.84  0.038
Pop_size*Pc       1  0.0000457  0.0000457  0.0000457    0.37  0.545
Pop_size*Pm       1  0.0000494  0.0000494  0.0000494    0.40  0.529
Pop_size*Stype    1  0.0000021  0.0000021  0.0000021    0.02  0.896
Pop_size*Ctype    3  0.0013890  0.0013890  0.0004630    3.72  0.012
Pop_size*Mtype    3  0.0003896  0.0003896  0.0001299    1.04  0.373
Pc*Pm             1  0.0000377  0.0000377  0.0000377    0.30  0.582
Pc*Stype          1  0.0000267  0.0000267  0.0000267    0.21  0.643
Pc*Ctype          3  0.0003276  0.0003276  0.0001092    0.88  0.453
Pc*Mtype          3  0.0008571  0.0008571  0.0002857    2.29  0.077
Pm*Stype          1  0.0000434  0.0000434  0.0000434    0.35  0.555
Pm*Ctype          3  0.0003136  0.0003136  0.0001045    0.84  0.473
Pm*Mtype          3  0.0004919  0.0004919  0.0001640    1.32  0.268
Stype*Ctype       3  0.0003080  0.0003080  0.0001027    0.82  0.481
Stype*Mtype       3  0.0003277  0.0003277  0.0001092    0.88  0.453
Ctype*Mtype       9  0.0008950  0.0008950  0.0000994    0.80  0.618
Error           462  0.0575178  0.0575178  0.0001245
Total           511  0.0826973
```

2.1.2 การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

- การทดสอบจำนวนประชากร

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                15

      45    -0.01320
            -0.00923
```

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                0.3

     0.8    -0.00457
            -0.00016
```

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับการทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเนื่องจาก ในการทดสอบความแปรปรวนพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบวิธีการคัดเลือกสตริง

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับวิธีการคัดเลือกสตริง เนื่องจาก ในการทดสอบความแปรปรวนพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบวิธีการครอสโอเวอร์

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.201
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                1           2           3

       2    -0.00635
            -0.00014

       3    -0.00626    -0.00302
            -0.00005     0.00319

       4    -0.00246     0.00078     0.00069
             0.00374     0.00699     0.00690
```

- การทดสอบวิธีการมิวเตชั่น

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.201
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965
```

```
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                1           2           3

       2    -0.00121
             0.00502

       3    -0.00068    -0.00258
             0.00555     0.00365

       4    -0.00425    -0.00615    -0.00668
             0.00198     0.00007    -0.00046
```

2.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้ลำดับที่เจนเนอเรชั่นเป็นตัวแปรตอบสนอง

2.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Analysis of Variance for Generation, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pop_size	1	5631	5631	5631	0.25	0.618
Pc	1	14857	14857	14857	0.66	0.418
Pm	1	3666	3666	3666	0.16	0.687
Stype	1	461	461	461	0.02	0.886
Ctype	3	103898	103898	34633	1.53	0.205
Mtype	3	55750	55750	18583	0.82	0.482
Pop_size*Pc	1	2000	2000	2000	0.09	0.766
Pop_size*Pm	1	1250	1250	1250	0.06	0.814
Pop_size*Stype	1	43956	43956	43956	1.95	0.164
Pop_size*Ctype	3	89475	89475	29825	1.32	0.267
Pop_size*Mtype	3	11299	11299	3766	0.17	0.919
Pc*Pm	1	65613	65613	65613	2.90	0.089
Pc*Stype	1	1391	1391	1391	0.06	0.804
Pc*Ctype	3	56771	56771	18924	0.84	0.474
Pc*Mtype	3	9352	9352	3117	0.14	0.937
Pm*Stype	1	23490	23490	23490	1.04	0.308
Pm*Ctype	3	45069	45069	15023	0.66	0.574
Pm*Mtype	3	96633	96633	32211	1.43	0.235
Stype*Ctype	3	72256	72256	24085	1.07	0.363
Stype*Mtype	3	90406	90406	30135	1.33	0.263
Ctype*Mtype	9	101038	101038	11226	0.50	0.877
Error	462	10438899	10438899	22595		
Total	511	11333162				

2.1.2 การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons เนื่องจากจากการทดสอบความแปรปรวน พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าดอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

3. กรณีผลิตภัณฑ์ 10ชนิด

▸ *การทดสอบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time)*

3.1 การวิเคราะห์เมื่อใช้ค่า Fitness เป็นตัวแปรตอบสนอง

3.1.1 การทดสอบจำนวนประชากร

▸ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pop_size

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pop_size    4 0.0003160 0.0000790     1.56    0.314
Error       5 0.0002525 0.0000505
Total       9 0.0005685

                                      Individual 95% CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ---------+---------+---------+-------
 5          2   0.91500   0.00849   (-----------*---------)
15          2   0.91850   0.01344      (----------*----------)
25          2   0.92800   0.00000               (----------*----------)
35          2   0.92800   0.00000               (----------*----------)
45          2   0.92800   0.00000               (----------*----------)
                                      ---------+---------+---------+-------
Pooled StDev =  0.00711                      0.912     0.924     0.936
```

3.1.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

▸ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pc

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          9 0.0001152 0.0000128     0.89    0.565
Error      10 0.0001440 0.0000144
Total      19 0.0002592

                                      Individual 95% CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  --+---------+---------+---------+----
0.1         2   0.91500   0.00849  (-----------*-----------)
0.2         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
0.3         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
0.4         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
0.5         2   0.91500   0.00849  (-----------*-----------)
0.6         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
0.7         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
0.8         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
0.9         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
1.0         2   0.92100   0.00000              (-----------*-----------)
                                      --+---------+---------+---------+----
Pooled StDev =  0.00379               0.9100    0.9150    0.9200    0.9250
```

3.1.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Fitness versus Pm

```
Analysis of Variance for Fitness
Source     DF        SS         MS        F        P
Pm          9 0.0000648 0.0000072     1.00    0.495
Error      10 0.0000720 0.0000072
              Total      19 0.0001368
                                        Individual 95% CIs For Mean
                                        Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ----+---------+---------+---------+--
0.1         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.2         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.3         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.4         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.5         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.6         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.7         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
0.8         2   0.91500   0.00849   (---------*---------)
0.9         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
1.0         2   0.92100   0.00000                  (---------*---------)
                                    ----+---------+---------+---------+--
Pooled StDev =  0.00268              0.9120    0.9160    0.9200    0.9240
```

3.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้ลำดับที่เจนเนอเรชั่นเป็นตัวแปรตอบสนอง

3.2.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pop_size

```
Analysis of Variance for Generation
Source     DF        SS        MS        F        P
Pop_size    4      7816      1954    12.82    0.008
Error       5       762       152
Total       9      8578
                                Individual 95% CIs For Mean
                                Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ------+---------+---------+---------+
 5          2     44.50      2.12              (------*-----)
15          2     78.50     14.85                        (-----*------)
25          2     18.00     22.63       (-----*------)
35          2      4.50      4.95   (-----*------)
45          2      6.50      0.71   (------*-----)
                                    ------+---------+---------+---------+
Pooled StDev =    12.35               0        35        70       105
```

- การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

```
Fisher's pairwise comparisons
    Family error rate = 0.212
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.571
```

```
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                 5          15          25          35

      15      -65.74
               -2.26

      25       -5.24       28.76
              58.24       92.24

      35        8.26       42.26      -18.24
              71.74      105.74       45.24

      45        6.26       40.26      -20.24      -33.74
              69.74      103.74       43.24       29.74
```

3.2.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pc

```
Analysis of Variance for Generation
Source     DF        SS        MS        F        P
Pc          9     96820     10758     3.59    0.029
Error      10     29957      2996
Total      19    126777

                                 Individual 95% CIs For Mean
                                 Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  ------+---------+---------+---------+
0.1         2    267.50     43.13                        (------*------)
0.2         2    104.00    100.41          (-------*------)
0.3         2    123.00     22.63            (------*------)
0.4         2    149.00     41.01              (------*-------)
0.5         2     33.50     17.68     (------*------)
0.6         2     20.50      9.19    (------*------)
0.7         2     49.00     29.70      (------*------)
0.8         2     74.50     54.45        (------*------)
0.9         2     60.00     79.20       (------*------)
1.0         2     52.50     72.83      (------*-------)
                                 ------+---------+---------+---------+
Pooled StDev =    54.73              0       120       240       360
```

- การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.228
```

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.2	41.6 285.4					
0.3	22.6 266.4	-140.9 102.9				
0.4	-3.4 240.4	-166.9 76.9	-147.9 95.9			
0.5	112.1 355.9	-51.4 192.4	-32.4 211.4	-6.4 237.4		
0.6	125.1 368.9	-38.4 205.4	-19.4 224.4	6.6 250.4	-108.9 134.9	
0.7	96.6 340.4	-66.9 176.9	-47.9 195.9	-21.9 221.9	-137.4 106.4	-150.4 93.4
0.8	71.1 314.9	-92.4 151.4	-73.4 170.4	-47.4 196.4	-162.9 80.9	-175.9 67.9
0.9	85.6 329.4	-77.9 165.9	-58.9 184.9	-32.9 210.9	-148.4 95.4	-161.4 82.4
1.0	93.1 336.9	-70.4 173.4	-51.4 192.4	-25.4 218.4	-140.9 102.9	-153.9 89.9

	0.7	0.8	0.9
0.8	-147.4 96.4		
0.9	-132.9 110.9	-107.4 136.4	
1.0	-125.4 118.4	-99.9 143.9	-114.4 129.4

3.2.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: Generation versus Pm

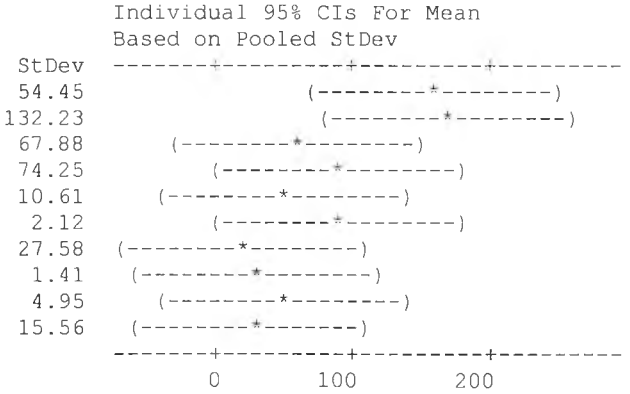
Analysis of Variance for Generation

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	9	49279	5475	1.73	0.204
Error	10	31716	3172		
Total	19	80995			

Level	N	Mean	StDev
0.1	2	157.50	54.45
0.2	2	166.50	132.23
0.3	2	58.00	67.88
0.4	2	86.50	74.25
0.5	2	52.50	10.61
0.6	2	91.50	2.12
0.7	2	20.50	27.58
0.8	2	28.00	1.41
0.9	2	48.50	4.95
1.0	2	26.00	15.56

Pooled StDev = 56.32

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev



3.3 การวิเคราะห์เมื่อใช้เวลาที่พบคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

3.3.1 การทดสอบจำนวนประชากร

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pop_size

```
Analysis of Variance for GAtime
Source      DF        SS        MS        F        P
Pop_size     4     30804      7701     4.26    0.072
Error        5      9029      1806
Total        9     39833

                                      Individual 95% CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level        N      Mean     StDev  -----+---------+---------+---------+-
 5           2     39.14      3.46   (-------*-------)
15           2    180.43     36.74                   (-------*-------)
25           2     69.81     83.27      (-------*-------)
35           2     27.78     24.54  (-------*-------)
45           2     47.32     11.46    (-------*-------)
                                      -----+---------+---------+---------+-
Pooled StDev =    42.50               0       100       200       300
```

3.3.2 การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pc

```
Analysis of Variance for GAtime
Source      DF        SS        MS        F        P
Pc           9     80739      8971     3.61    0.029
Error       10     24848      2485
Total       19    105587

                                      Individual 95% CIs For Mean
                                      Based on Pooled StDev
Level        N      Mean     StDev  ------+---------+---------+---------+
0.1          2    246.33     73.07                       (------*------)
0.2          2     61.11     44.63       (------*------)
0.3          2    100.00     18.21          (------*------)
0.4          2    120.15     33.05           (------*------)
0.5          2     27.46     14.21    (------*------)
0.6          2     16.95      7.57   (------*------)
0.7          2     39.99     24.16     (------*------)
0.8          2     87.17     80.47         (------*------)
0.9          2     54.54     71.54      (------*------)
1.0          2     43.97     60.47     (------*------)
                                      ------+---------+---------+---------+
Pooled StDev =    49.85               0       120       240       360
```

- การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 2.228
```

```
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

           0.1         0.2         0.3         0.4         0.5         0.6

0.2        74.2
          296.3

0.3        35.3      -150.0
          257.4        72.2

0.4        15.1      -170.1      -131.2
          237.2        52.0        90.9

0.5       107.8       -77.4       -38.5       -18.4
          329.9       144.7       183.6       203.8

0.6       118.3       -66.9       -28.0        -7.9      -100.5
          340.4       155.2       194.1       214.3       121.6

0.7        95.3       -89.9       -51.1       -30.9      -123.6      -134.1
          317.4       132.2       171.1       191.2        98.5        88.0

0.8        48.1      -137.1       -98.2       -78.1      -170.8      -181.3
          270.2        85.0       123.9       144.0        51.4        40.8

0.9        80.7      -104.5       -65.6       -45.4      -138.1      -148.7
          302.9       117.6       156.5       176.7        84.0        73.5

1.0        91.3       -93.9       -55.0       -34.9      -127.6      -138.1
          313.4       128.2       167.1       187.2        94.6        84.0

           0.7         0.8         0.9

0.8     -158.2
          63.9

0.9     -125.6       -78.4
          96.5       143.7

1.0     -115.0       -67.9      -100.5
          107.1       154.3       121.6
```

3.3.3 การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

One-way ANOVA: GAtime versus Pm

```
Analysis of Variance for GAtime
Source     DF        SS        MS        F        P
Pm          9     32505      3612     1.67    0.217
Error      10     21595      2159
Total      19     54100

                                  Individual 95% CIs For Mean
                                  Based on Pooled StDev
Level       N      Mean     StDev  -------+---------+---------+---------
0.1         2    128.47     41.17                (--------*--------)
0.2         2    139.46    102.00                 (--------*---------)
0.3         2     49.70     56.94       (--------*--------)
0.4         2     75.61     71.26          (--------*---------)
0.5         2     44.90      5.56      (---------*--------)
0.6         2     80.06      7.04           (--------*--------)
0.7         2     23.13     30.92    (--------*--------)
0.8         2     24.85      2.84    (--------*--------)
0.9         2     42.29      1.63      (--------*--------)
1.0         2     21.86     11.34    (--------*--------)
                                  -------+---------+---------+---------
Pooled StDev =    46.47                0        80       160
```

- ***การทดสอบทุกระดับปัจจัย (Full Factorial Design)***

3.1 การวิเคราะห์เมื่อใช้ค่า Fitness เป็นตัวแปรตอบสนอง

3.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Analysis of Variance for Fitness, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pop_size	1	0.0027473	0.0027473	0.0027473	35.41	0.000
Pc	1	0.0010986	0.0010986	0.0010986	14.16	0.000
Pm	1	0.0003920	0.0003920	0.0003920	5.05	0.025
Stype	1	0.0002559	0.0002559	0.0002559	3.30	0.070
Ctype	3	0.0085979	0.0085979	0.0028660	36.94	0.000
Mtype	3	0.0034868	0.0034868	0.0011623	14.98	0.000
Pop_size*Pc	1	0.0000188	0.0000188	0.0000188	0.24	0.623
Pop_size*Pm	1	0.0000165	0.0000165	0.0000165	0.21	0.645
Pop_size*Stype	1	0.0000538	0.0000538	0.0000538	0.69	0.405
Pop_size*Ctype	3	0.0005013	0.0005013	0.0001671	2.15	0.093
Pop_size*Mtype	3	0.0003015	0.0003015	0.0001005	1.30	0.275
Pc*Pm	1	0.0000045	0.0000045	0.0000045	0.06	0.810
Pc*Stype	1	0.0000131	0.0000131	0.0000131	0.17	0.681
Pc*Ctype	3	0.0004034	0.0004034	0.0001345	1.73	0.159
Pc*Mtype	3	0.0004838	0.0004838	0.0001613	2.08	0.102
Pm*Stype	1	0.0000053	0.0000053	0.0000053	0.07	0.794
Pm*Ctype	3	0.0002783	0.0002783	0.0000928	1.20	0.311
Pm*Mtype	3	0.0000924	0.0000924	0.0000308	0.40	0.755
Stype*Ctype	3	0.0002443	0.0002443	0.0000814	1.05	0.370
Stype*Mtype	3	0.0001880	0.0001880	0.0000627	0.81	0.490
Ctype*Mtype	9	0.0035532	0.0035532	0.0003948	5.09	0.000
Error	462	0.0358421	0.0358421	0.0000776		
Total	511	0.0585788				

3.1.2 การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

- การทดสอบจำนวนประชากร

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                15

      35    -0.00645
            -0.00282
```

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                0.1

     0.6    -0.00477
            -0.00109
```

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                0.2

     0.8    -0.00361
             0.00011
```

- การทดสอบวิธีการคัดเลือกสตริง

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons ในการทดสอบวิธีการคัดเลือกสตริง เนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวน พบว่าปัจจัยนี้ไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง

- การทดสอบวิธีการครอสโอเวอร์

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.201
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965
Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                    1           2           3

       2    -0.010710
            -0.005837

       3    -0.012272   -0.003999
            -0.007400    0.000874

       4    -0.004593    0.003681    0.005243
             0.000280    0.008554    0.010116
```

- การทดสอบวิธีการมิวเตชั่น

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.201
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                    1           2           3

       2     0.00345
             0.00857

       3    -0.00023    -0.00624
             0.00489    -0.00112

       4    -0.00322    -0.00923    -0.00555
             0.00189    -0.00411    -0.00043
```

3.2 การวิเคราะห์เมื่อใช้ลำดับที่เจนเนอเรชั่นเป็นตัวแปรตอบสนอง

3.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Analysis of Variance for Generation, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pop_size	1	25637	25637	25637	1.41	0.236
Pc	1	259515	259515	259515	14.23	0.000
Pm	1	1671	1671	1671	0.09	0.762
Stype	1	174456	174456	174456	9.57	0.002
Ctype	3	131441	131441	43814	2.40	0.067
Mtype	3	1464	1464	488	0.03	0.994
Pop_size*Pc	1	184870	184870	184870	10.14	0.002
Pop_size*Pm	1	14546	14546	14546	0.80	0.372
Pop_size*Stype	1	9427	9427	9427	0.52	0.472
Pop_size*Ctype	3	46597	46597	15532	0.85	0.466
Pop_size*Mtype	3	124773	124773	41591	2.28	0.079
Pc*Pm	1	21102	21102	21102	1.16	0.283
Pc*Stype	1	18276	18276	18276	1.00	0.317
Pc*Ctype	3	81461	81461	27154	1.49	0.217
Pc*Mtype	3	194960	194960	64987	3.56	0.014
Pm*Stype	1	12631	12631	12631	0.69	0.406
Pm*Ctype	3	64769	64769	21590	1.18	0.315
Pm*Mtype	3	99272	99272	33091	1.81	0.144
Stype*Ctype	3	100343	100343	33448	1.83	0.140
Stype*Mtype	3	144536	144536	48179	2.64	0.049
Ctype*Mtype	9	47891	47891	5321	0.29	0.977
Error	462	8424733	8424733	18235		
Total	511	10184371				

3.1.2 การวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons

- การทดสอบจำนวนประชากร

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับการทดสอบจำนวนประชากร เนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวน พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

	0.1
0.6	20.8 69.3

- การทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับการทดสอบความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวน พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบวิธีการคัดเลือกสตริง

```
Fisher's pairwise comparisons
Family error rate = 0.0495
Individual error rate = 0.0500
Critical value = 1.965

Intervals for (column level mean) - (row level mean)

                    1

       2         12.6
                 61.3
```

- การทดสอบวิธีการครอสโอเวอร์

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับการทดสอบวิธีการครอสโอเวอร์เนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวน พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

- การทดสอบวิธีการมิวเตชั่น

ไม่มีการวิเคราะห์ Fisher's Pairwise Comparisons สำหรับการทดสอบวิธีการมิวเตชั่นเนื่องจากในการทดสอบความแปรปรวน พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก ฉ

การหาคำตอบโดยวิธีฮิวริสติกของ CDS

การหาคำตอบการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่เข้าทำการประกอบในสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีเวลาการทำงานแบบฟัซซี่โดยวิธีฮิวริสติก CDS มีการประยุกต์ใช้หลักการบวกแบบฟัซซี่ในขั้นตอนการหา $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ ซึ่งจะอยู่ในรูปฟัซซี่ จากนั้นใช้การแปลงค่าฟัซซี่ในการแปลงค่า $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ ให้เป็นค่าคงที่ เพื่อสามารถจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยใช้กฎของจอนห์นสันได้ ขั้นตอนการหาคำตอบโดยวิธีฮิวริสติก CDS กรณีที่มีข้อมูลแบบฟัซซี่ แสดงในบทที่ 5 สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดการคำนวณค่าต่างๆ และผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เป็นดังนี้

1. กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ประกอบด้วยสถานีงาน 25 สถานีงาน โดยมีเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงาน แสดงในตารางที่ ฉ.1

ตารางที่ ฉ.1 เวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

สถานีงาน	เวลาการทำงาน (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) /7 หน่วย (นาที)		
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3
1	(22.62, 33.25, 43.88)	(17.25, 22.89, 42.53)	(8.77, 18.13, 27.49)
2	(9.64, 22.19, 34.74)	(15.10 ,21.77, 28.44)	(6.01, 19.95, 33.89)
3	(10.91, 23.87, 36.83)	(16.88 ,28.91, 40.94)	(15.70, 30.80, 45.90)
4	(14.84, 26.25, 37.66)	(22.87 ,31.22, 39.57)	(14.84, 26.11, 37.38)
5	(21.07, 24.15, 27.23)	(26.86 ,35.00, 43.14)	(22.97, 28.00, 33.03)
6	(12.88, 26.11, 39.34)	(22.53 ,26.25, 29.97)	(27.37, 30.8, 34.23)
7	(15.41, 26.11, 36.81)	(14.86 ,25.69, 36.52)	(16.50, 27.86, 39.22)
8	(16.79, 26.60, 36.41)	(12.81 ,25.55, 38.29)	(19.99, 29.68, 39.37)
9	(21.57, 29.26, 36.95)	(13.90 ,23.66, 33.42)	(10.21, 16.24, 22.27)
10	(18.72, 27.51, 36.30)	(8.22 ,27.44, 46.66)	(18.31, 26.46, 34.61)
11	(16.39, 28.07, 39.75)	(4.34 ,9.38.00, 12.42)	(18.48, 39.76, 61.04)
12	(8.25, 28.00, 47.75)	(22.79 ,28.00, 33.21)	(12.12, 26.53, 40.94)
13	(18.35, 28.00, 37.65)	(2.97, 14.00, 25.03)	(14.72, 25.34, 35.96)

ตารางที่ ฉ.1 *เวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)*

สถานี	เวลาการทำงาน (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) /7 หน่วย (นาที)		
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3
14	(12.07, 25.69, 39.31)	(14.10, 25.69, 37.28)	(13.85, 31.85, 49.85)
15	(10.56, 15.96, 21.36)	(10.33, 17.71, 25.09)	(26.85, 41.86, 56.87)
16	(16.02, 29.68, 43.34)	(5.25, 18.76, 32.27)	(7.43, 21.98, 36.53)
17	(12.79, 22.82, 32.85)	(11.41, 22.82, 34.23)	(6.37, 28.14, 49.91)
18	(14.89, 25.06, 35.23)	(15.37, 25.34, 32.31)	(14.30, 31.5, 48.70)
19	(12.44, 26.32, 40.20)	(4.99, 26.32, 47.65)	(12.48, 18.76, 25.04)
20	(12.31, 25.62, 38.93)	(6.57, 25.62, 44.67)	(5.02, 14.91, 24.80)
21	(19.17, 21.28, 23.39)	(16.80, 32.69, 48.58)	(26.54, 31.5, 36.46)
22	(12.07, 23.38, 34.69)	(5.53, 23.38, 41.23)	(10.07, 23.38, 36.69)
23	(6.77, 21.00, 35.23)	(14.38, 21.00, 27.62)	(12.24, 20.58, 26.92)
24	(12.64, 16.80, 20.96)	(4.87, 16.80, 28.73)	(19.87, 35.07, 50.27)
25	(10.66, 19.67, 28.68)	(14.70, 26.32, 37.94)	(24.53, 34.93, 45.33)

จากวิธีการของ CDS จะทำให้ได้จำนวนแผนการจัดลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ m-1 (m=จำนวนเครื่องจักร) กรณีศึกษาเป็นการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการประกอบซึ่งเป็นสถานีงาน เปรียบเสมือนการจัดลำดับงานเข้าทำงานบนเครื่องจักร ดังนั้นจำนวนแผนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการประกอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 25-1=24 แผน

คำนวณค่า $t_{i,1}^{*} = \sum_{k=1}^{k} t_{i,k}$ และ $t_{i,2}^{*} = \sum_{k=1}^{k} t_{i,m-k+1}$ ของแต่ละแผนงานโดยใช้วิธีการบวกแบบฟัซซี่ ดังแสดงในตารางที่ ฉ.2

ตารางที่ ฉ.2 *ผลการคำนวณค่า* $t_{i,1}^{*}$ *และ* $t_{i,2}^{*}$ *กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด*

แผน (k)	เวลาการทำงาน(น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) / 10 หน่วย (นาที)					
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3	
	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$
1	(22.62,33.25,43.88)	(10.66,19.67,28.28)	(17.25,29.89,42.53)	(14.70,26.32,37.94)	(8.77,18.13,27.49)	(24.53,34.93,45.33)
2	(32.27,79.31,115.44)	(23.29,36.47,49.65)	(932.36,51.66,70.96)	(19.57,43.12,66.67)	(14.78,38.08,61.38)	(44.40,70.00,95.60)
3	(43.18,79.31,115.44)	(30.07,57.47,84.87)	(49.23,80.57,111.91)	(33.95,64.12,94.29)	(30.48,68.88,107.28)	(58.65,90.58,122.51)
4	(58.02,105.56,153.10)	(42.14,80.85,119.56)	(72.10,111.79,151.48)	(39.49,87.50,135.51)	(45.32,94.99,144.66)	(68.72,113.96,159.20)
5	(79.09,129.71,180.33)	(61.31,102.13,142.95)	(98.96,146.79,194.62)	(56.28,120.19,184.10)	(68.29,122.99,177.69)	(95.25,145.46,195.67)
6	(91.97,155.82,219.67)	(73.62,127.75,181.88)	(121.50,173.04,224.58)	(62.85,145.81,228.77)	(95.66,153.79,211.92)	(100.27,160.37,220.47)
7	(107.37,181.93,256.49)	(86.06,154.07,222.08)	(136.35,198.73,261.11)	(67.84,172.13,276.42)	(122.16,181.65,251.14)	(112.75,179.13,245.51)
8	(124.17,208.53,292.89)	(100.95,179.13,257.31)	(149.16,224.28,299.40)	(83.21,197.47,311.73)	(132.14,211.33,290.52)	(127.04,10.63,294.22)
9	(145.74,237.79,329.84)	(113.74,201.95,290.16)	(163.07,247.94,332.81)	(94.62,220.29,345.96)	(142.36,227.57,312.78)	(133.42,238.77,344.12)
10	(164.46,265.3,366.14)	(129.76,231.63,333.50)	(171.29,275.38,379.47)	(99.87,239.05,378.23)	(160.67,254.03,347.39)	(140.85,260.75,380.65)
11	(180.85,293.37,405.89)	(140.32,247.59,354.86)	(175.62,284.76,393.90)	(110.20,256.76,403.32)	(179.15,293.79,408.43)	(167.70,302.61,437.37)
12	(189.10,321.37,453.64)	(152.39,273.28,394.17)	(198.42,312.76,427.10)	(124.30,282.45 440.60)	(191.27,320.32,449.37)	(181.55,334.46,487.37)
13	(207.45,349.37,491.29)	(170.73,301.28,431.83)	(201.39,326.76,452.13)	(127.27,296.45,465.63)	(205.99,345.66,485.33)	(196.27,359.80,523.33)
14	(219.51,375.06,530.61)	(178.98,329.28,479.58)	(215.49,352.45,489.41)	(150.06,324.45,498.84)	(219.84,377.51,535.18)	(208.39,386.33,564.27)
15	(230.07,391.02,551.97)	(195.37,357.32,519.33)	(225.82,370.16,514.50)	(154.40,333.83,513.26)	(246.69,419.37,592.05)	(226.87,426.09,625.31)
16	(246.09,420.7,595.31)	(214.10,384.86,555.62)	(231.04,388.92,546.77)	(162.62,361.27,559.92)	(254.12,411.35,628.58)	(245.18,452.55,659.92)

ตารางที่ ฉ.2 *ผลการคำนวณค่า $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด (ต่อ)*

แผน (k)	เวลาการทำงาน(น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) / 10 หน่วย (นาที)					
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3	
	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$
17	(258.88,443.52,628.16)	(235.67,414.12,592.57)	(212.47,411.74,581.01)	(176.52,384.93,593.34)	(260.50,469.49,678.48)	(255.39,468.79,682.19)
18	(273.77,468.58,663.39)	(252.46,440.42,628.98)	(257.84,437.08,616.32)	(189.33,410.48,631.63)	(274.79,500.99,727.19)	(275.38,498.47,721.56)
19	(286.21,494.9,703.59)	(267.86,466.83,655.80)	(262.83,463.4,663.97)	(204.19,436.17,668.15)	(287.27,519.75,752.23)	(291.88,526.33,760.78)
20	(298.53,520.52,742.51)	(280.74,492.94,705.14)	(269.40,489.02,708.64)	(226.72,462.42,698.12)	(292.28,534.66,777.04)	(319.25,557.13,795.01)
21	(317.69,541.8,765.91)	(301.82,517.09,732.36)	(286.20,521.71,757.22)	(253.58,497.42,741.26)	(318.82,566.16,813.50)	(342.21,585.13,282.05)
22	(329.76,565.18,800.60)	(316.66,543.34,770.02)	(291.73,545.09,798.45)	(276.45,528.64,780.83)	(328.89,589.54,850.19)	(357.06,611.24,865.42)
23	(336.54,586.18,835.82)	(327.56,567.21,806.86)	(306.11,566.09,854.80)	(293.33,557.55,821.77)	(343.14,610.12,877.37)	(372.76,642.04,900.32)
24	(349.17,602.98,856.79)	(337.21,589.40,841.59)	(310.98,582.89,854.80)	(308.43,579.62,850.21)	(363.01,645.19,927.37)	(378.77,661.99,945.21)

จากค่า $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ ที่แสดงในตารางที่ ฉ.2 เป็นเวลาแบบฟัซซี่ ดังนั้นจึงทำการแปลงค่าฟัซซี่ให้เป็นค่าคงที่ เพื่อให้สามารถใช้กฎของจอนห์นสันในการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบ โดยการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบจะจัดเข้าเป็นกลุ่มโดยพิจารณาจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) ซึ่งสำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดมี MPS=6:4:5 แผนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS ดังแสดงในตารางที่ ฉ.3

ตารางที่ ฉ.3 *แสดงแผนการจัดลำดับงานจากวิธีฮิวริสติกของ CDS กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด*

แผนงาน (K)	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		ลำดับผลิตภัณฑ์ (MPS=6:4:5)
	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	
1	33.25	19.67	29.89	26.32	18.13	34.93	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
2	55.44	36.47	49.42	43.12	42.07	70	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
3	79.31	57.47	78.33	64.12	72.87	90.58	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
4	105.56	80.85	109.55	87.5	99.12	113.96	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
5	129.71	102.13	133.35	120.19	133.98	145.46	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
6	155.82	127.75	159.6	145.81	164.78	160.37	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
7	181.93	154.07	187.25	172.13	193.9	179.13	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
8	208.53	179.13	212.8	196.77	223.58	210.63	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
9	237.79	201.95	232.75	219.59	239.82	238.77	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
10	265.3	231.63	260.19	238.35	266.28	260.75	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
11	293.37	247.59	269.57	256.06	306.04	302.61	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
12	321.37	273.28	297.57	281.75	329.07	334.46	3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1
13	405.37	357.28	325.57	309.75	354.41	359.8	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
14	431.06	385.28	351.26	337.75	386.26	382.83	1-1-1-1-1-1-3-3-3-3-3-2-2-2-2
15	447.02	413.35	368.97	347.13	428.12	422.59	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
16	476.7	440.86	387.73	374.57	450.1	449.05	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
17	499.52	470.12	410.55	394.52	478.24	465.29	1-1-1-1-1-1-3-3-3-3-3-2-2-2-2
18	524.58	496.72	435.19	420.07	509.74	494.97	1-1-1-1-1-1-3-3-3-3-3-2-2-2-2
19	550.9	522.83	461.51	447.72	528.5	524.09	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
20	576.52	548.94	487.13	473.97	543.41	554.89	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
21	597.8	573.09	519.82	497.77	574.91	589.75	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
22	621.18	599.34	543.2	528.99	598.29	616	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
23	642.18	623.21	564.2	557.9	618.87	646.8	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2
24	658.98	645.4	581	577.43	653.94	670.74	3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2

จากแผนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมด 24 แผนงาน มีบางแผนงานที่มีลำดับผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกัน โดยมีแผนงานที่มีลำดับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 แผนงาน คำนวณเวลาการทำงานเสร็จสิ้นและหาค่า Fitness ตามกระบวนการของฟัซซี่ โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ได้ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS ดังแสดงในตารางที่ ฉ.4

ตารางที่ ฉ.4 *ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีการฮิวริสติกของCDS กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด*

สตริงคำตอบ	ค่า Fitness	เวลาการทำงานเสร็จสิ้น (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) : หน่วยนาที
3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1	0.9053	235.33 454.93 674.53
3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2	0.9053	235.33 454.93 674.53
1-1-1-1-1-1-3-3-3-3-3-2-2-2-2	0.8657	242.74 474.39 706.04

เลือกลำดับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ค่า Fitness มีค่าสูงสุดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดจาก ดังนั้นได้ว่า กรณีผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS มีลำดับผลิตภัณฑ์ 2 แบบ ที่ให้ค่า Fitness เท่ากัน คือ 3-3-3-3-3-2-2-2-2-1-1-1-1-1-1 และ 3-3-3-3-3-1-1-1-1-1-1-2-2-2-2 ซึ่งมีค่า Fitness เท่ากับ 0.9053

2. กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ประกอบด้วยสถานีงาน 11 สถานีงาน โดยมีเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงาน แสดงในตารางที่ ฉ.5

ตารางที่ ฉ.5 *เวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด*

สถานีงาน	เวลาการทำงาน (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) /10 หน่วย (นาที)			
	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4
1	(4.29, 25, 32.12)	(6.15, 8, 9.85)	(17.92, 24, 30.08)	(8.92, 18, 27.08)
2	(4.14, 20, 33.05)	(10.11, 18, 25.890	(7.59, 14, 20.41)	(5.84, 17, 28.16)
3	(17.64, 23, 28.36)	(4.72, 20, 35.28)	(4.25, 11, 17.75)	(6.09, 15, 23.91)
4	(7.84, 15, 22.16)	(13.78, 21, 28.22)	(2.71, 5, 7.29)	(7.54, 21, 34.46)
5	(2.91, 11, 19.09)	(4.65, 10, 15.35)	(9.44, 15, 20.56)	(22.38 ,28, 33.65)
6	(3.19, 17, 26.58)	(8.37, 13, 17.63)	(4.93, 10, 15.07)	(1.94, 7, 12.06)
7	(4.83, 23, 37.49)	(9.66, 22, 34.34)	(3.63, 14, 24.37)	(5.76, 10, 14.24)
8	(3.56, 7, 10.44)	(6.82, 13, 19.18)	(5.24, 11, 16.76)	(5.95 ,9, 12.05)
9	(3.78, 14, 24.22)	(2.72, 3, 3.28)	(6.20, 15, 20.89)	(8.19, 15, 21.81)
10	(8.48, 19, 29.52)	(9.69, 13, 16.31)	(13.05, 23, 32.95)	(12.59, 16, 19.41)
11	(9.21, 17, 24.79)	(10.81, 22, 33.19)	(16.70, 30, 43.30)	(8.42, 11, 13.58)

จากวิธีการของ CDS จะทำให้ได้จำนวนแผนการจัดลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 11-1=10 แผน

คำนวณค่า $t_{i,1}^{*} = \sum_{k=1}^{k} t_{i,k}$ และ $t_{i,2}^{*} = \sum_{k=1}^{k} t_{i,m-k+1}$ ของแต่ละแผนงาน โดยใช้วิธีการบวกแบบฟัซซี่ ได้ดังแสดงในตารางที่ ฉ.6

ตารางที่ ฉ.6 *ผลการคำนวณค่า* $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด

แผนงาน (k)	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2	
	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$
1	(4.29, 25, 32.12)	(9.21, 17, 24.79)	(6.15, 8, 9.85)	(10.81, 16, 33.19)
2	(8.43,45,68.16)	(17.69,36,54.31)	(16.26,2635.74)	(20.49,35,49.51)
3	(26.07,68,96.52)	(21.47,50,78.53)	(20.98,46,71.02)	(23.22,38,52.78)
4	(33.91,83,118.68	(25.03,57,88.97)	(34.76,67,99.24)	(30.04,51,71.96)
5	(36.82,94,137.77)	(29.86,80,126.47)	(39.41,77,114.59)	(39.70,73,106.30)
6	(40.01,111,164.35)	(33.05,97,153.04)	(47.79,90,132.21)	(48.07,86,123.93)
7	(44.84,134,201.84)	(35.96,108,172.14)	(57.44,112,166.56)	(52.72,96,139.28)
8	(48.40,141,212.28)	(43.80,123,194.30)	(64.27,125,185.73)	(66.51,117,167.49)
9	(52.18,155,236.50)	(61.44,146,222.65)	(66.99,128,189.01	(71.22,137,202.78)
10	(60.66,174,266.02)	(65.58,166,255.70)	(76.68,141,205.32)	(81.33,155,228.67)

แผนงาน (k)	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4	
	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$
1	(17.92, 24, 30.08)	(16.70, 30, 43.30)	(8.92, 18, 27.08)	(8.42, 11, 13.58)
2	(25.50,38,50.50)	(29.75,53,76.25)	(14.76,35,55.24)	(21.01,42,54.80)
3	(29.75,49,68.25)	(35.95,68,97.14)	(20.85,50,79.15)	(29.20,42,54.80)
4	(32.47,54,75.53)	(35.95,79,113.90)	(28.38,71,113.62)	(35.16,51,66.84)
5	(41.91,69,96.09)	(44.82,93,138.27)	(50.73,99,147.27)	(40.92,61,81.01)
6	(46.83,79,111.17)	(49.75,103,153.34)	(52.68,106,159.32)	(42.86,68,93.14)
7	(50.47,93,135.53)	(59.19,118,173.90)	(58.43,116,173.57)	(65.21,96,126.79)
8	(55.71,104,152.29)	(61.90,123,181.19)	(64.39,125,185.61)	(72.74,117,161.26)
9	(61.09,119,173.18)	(66.15,134,198.94)	(72.58,140,207.42)	(78.83,132,185.17)
10	(74.95,142,506.13)	(73.74,148,219.35)	(85.17,156,226.83)	(84.67,149,213.33)

จากค่า $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ ที่แสดงในตารางที่ ฉ.6 เป็นเวลาแบบฟัซซี่ ดังนั้นจึงทำการแปลงค่าฟัซซี่ให้เป็นค่าคงที่ เพื่อให้สามารถใช้กฎของจอนห์นสันในการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบ โดยการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบจะจัดเข้าเป็นกลุ่มโดยพิจารณาจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) ซึ่งสำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิดมี MPS=5:8:4:10 แผนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS ดังแสดงในตารางที่ ฉ.7

ตารางที่ ฉ.7 *แสดงแผนการจัดลำดับงานจากวิธีฮิวริสติกของ CDS กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด*

แผน (K)	ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3		ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4		ลำดับผลิตภัณฑ์
	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$T_{i,1}$	$t_{i,2}$	
1	27.53	17	8	22	24	30	18	11	2-3-1-4
2	50.79	36	26	35	38	53	35	27	2-3-1-4
3	75.13	50	46	38	49	67.64	50	42	3-1-4-2
4	91.92	57	67	51	54	78.64	71	51	3-1-2-4 หรือ 3-1-4-2
5	104.94	79.54	77	73	69	92.64	99	61	3-1-2-4
6	124.34	96.01	90	86	79	102.64	106	68	3-1-2-4
7	150.96	107.01	112	96	93	114.64	116	96	3-1-2-4 หรือ 3-1-4-2
8	158.82	122.01	125	117	104	122.64	125	117	3-1-2-4 หรือ 3-1-4-2
9	175.38	145.01	128	137	118.64	133.64	140	132	3-2-1-4
10	197.01	164.66	141	155	141.64	147.64	156	149	2-3-1-4

จากแผนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมด 10 แผนงาน มีบางแผนงานที่มีลำดับผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกัน โดยมีแผนงานที่มีลำดับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 แผนงาน คำนวณเวลาการทำงานเสร็จสิ้นและหาค่า Fitness ตามกระบวนการของฟัซซี่ โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ได้ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกฮิวริสติกของ CDS ดังแสดงในตารางที่ ฉ. 8

ตารางที่ ฉ.8 *ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีการฮิวริสติกของ CDS กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด*

สตริงคำตอบ	ค่า Fitness	เวลาการทำงานเสร็จสิ้น (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) : หน่วยนาที
2-2-2-2-2-2-2-2-3-3-3-3-1-1-1-1-1-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4	0.5278	455.2 743 1030.8
3-3-3-3-1-1-1-1-1-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4-2-2-2-2-2-2-2-2	0.4036	504.9 822 1139.0
3-3-3-3-1-1-1-1-1-2-2-2-2-2-2-2-2-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4	0.3376	536.9 862 1187.1
3-3-3-3-2-2-2-2-2-2-2-2-1-1-1-1-1-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4	0.4538	494.9 776 1057.1

เลือกลำดับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ค่า Fitness มีค่าสูงสุดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดจาก ดังนั้นได้ว่า กรณีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS ลำดับผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ 2-2-2-2-2-2-2-2-3-3-3-3-1-1-1-1-1-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4 ซึ่งมีค่า Fitness เท่ากับ 0.5278

3. กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด ประกอบด้วยสถานีงาน 3 สถานีงาน โดยมีเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงาน แสดงในตารางที่ ฉ.9

ตารางที่ ฉ.9 *เวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานของกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด*

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่	เวลาการทำงาน (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด)/ 10 หน่วย (นาที)		
	สถานีงานที่ 1	สถานีงานที่ 2	สถานีงานที่ 3
1	(28.79, 34.00, 39.21)	(18.71, 24, 29.29)	(37.58, 44.00, 50.42)
2	(26.31, 30.00, 33.69)	(21.49, 46.00, 70.51)	(19.56, 38.00, 56.44)
3	(10.11, 60.00, 109.89)	(44.18, 66.00, 87.82)	(9.10, 18.00, 26.90)
4	(66.27, 75.44, 84.61)	(48.48, 55.09, 61.70)	(72.84, 82.77, 92.71)
5	(128.32, 138.72, 149.13)	(108.91, 117.74, 126.57)	(144.61, 156.33, 168.06)
6	(90.99, 101.10, 111.21)	(95.48, 106.09, 116.70)	(163.60, 181.78, 199.96)
7	(54.40, 61.81, 69.23)	(89.72, 101.95, 114.19)	(75.05, 85.29, 95.52)
8	(51.26, 60.30, 69.35)	(44.83, 52.74, 60.66)	(65.90, 77.52, 89.15)
9	(85.35, 91.50, 100.65)	(69.65, 77.39, 85.13)	(110.11, 122.34, 134.58)
10	(36.99, 43.52, 50.05)	(27.61, 32.48, 37.35)	(75.35, 88.64, 101.94)

จากวิธีการของ CDS จะทำให้ได้จำนวนแผนการจัดลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 3-1= 2 แผน คำนวณค่า $t_{i,1}^{*} = \sum_{k=1}^{k} t_{i,k}$ และ $t_{i,2}^{*} = \sum_{k=1}^{k} t_{i,m-k+1}$ ของแต่ละแผนงาน โดยใช้วิธีการบวกแบบฟัซซี่ ได้ดังแสดงในตารางที่ ฉ.10

ตารางที่ ฉ.10 *ผลการคำนวณค่า* $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

ผลิตภัณฑ์	เวลาการทำงาน (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด)/ 10 หน่วย (นาที)			
	แผนงานที่ 1		แผนงานที่ 2	
	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$	$t_{i,1}^{*}$	$t_{i,2}^{*}$
1	(28.79, 34.00, 39.21)	(37.58, 44.00, 50.42)	(47.49, 58.00, 68.51)	(56.29, 68.00, 79.71)
2	(26.31, 30.00, 33.69)	(19.56, 38.00, 56.44)	(47.80, 76.00, 104.20)	(41.05, 84.00, 126.95)
3	(10.11, 60.00, 109.89)	(9.10, 18.00, 26.90)	(54.29, 126.00, 197.71)	(53.28, 84.00, 114.72)
4	(66.27, 75.44, 84.61)	(72.84, 82.77, 92.71)	(114.75, 130.53, 146.32)	(121.32, 137.87, 154.41)
5	(128.32, 138.72, 149.13)	(144.61, 156.33, 168.06)	(237.23, 256.46, 275.69)	(253.51, 274.07, 294.62)
6	(90.99, 101.10, 111.21)	(163.60, 181.78, 199.96)	(186.47, 207.18, 227.90)	(259.08, 287.87, 316.66)
7	(54.40, 61.81, 69.23)	(75.05, 85.29, 95.52)	(144.12, 163.77, 183.42)	(164.77, 187.24, 209.71)
8	(51.26, 60.30, 69.35)	(65.90, 77.52, 89.15)	(96.09, 113.05, 130.00)	(110.73, 130.27, 149.81)
9	(82.35, 91.50, 100.65)	(110.11, 122.34, 134.58)	(152.00, 168.89, 185.78)	(179.76, 199.74, 219.71)
10	(36.99, 43.52, 50.05)	(75.35, 88.64, 101.94)	(64.60, 76.00, 87.40)	(102.95, 121.12, 139.29)

จากค่า $t_{i,1}^{\cdot}$ และ $t_{i,2}^{\cdot}$ ที่แสดงในตารางที่ ฉ.10 เป็นเวลาแบบฟัซซี่ ดังนั้นจึงทำการแปลงค่าฟัซซี่ให้เป็นค่าคงที่ เพื่อให้สามารถใช้กฎของจอนห์นสันในการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบ โดยการจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบจะจัดเข้าเป็นกลุ่มโดยพิจารณาจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต (MPS) ซึ่งสำหรับกรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิดมี MPS=2:3:5:6:3:2:5:5:6:3 แผนการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS ดังแสดงในตารางที่ ฉ. 11

ตารางที่ ฉ.11 *แสดงแผนการจัดลำดับงานจากวิธีฮิวริสติกของ CDS กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด*

ชนิดผลิตภัณฑ์	แผนงานที่ 1 (k=1)		แผนงานที่ 2 (k=2)	
	$t_{i,1}^{\cdot}$	$t_{i,2}^{\cdot}$	$t_{i,1}^{\cdot}$	$t_{i,2}^{\cdot}$
1	34	44	58	68
2	30	38	76	84
3	60	18	126	84
4	75.44	82.77	130.53	137.87
5	138.72	156.33	256.46	274.07
6	101.10	181.78	207.18	287.87
7	61.81	85.29	163.77	187.24
8	60.30	77.52	113.05	130.27
9	91.5	122.35	168.88	199.73
10	43.52	88.64	76	121.12
ลำดับผลิตภัณฑ์	2-2-2-1-1-10-10-10-8-8-8-8-8-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-4-4-4-4-4-4-3-3-3-3-3		1-1-10-10-10-2-2-2-8-8-8-8-8-4-4-4-4-4-4-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-3-3-3-3-3 หรือ 1-1-2-2-2-10-10-10-8-8-8-8-8-4-4-4-4-4-4-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-3-3-3-3-3	

จากการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมด ได้แผนงานที่มีลำดับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 แผน คำนวณเวลาการทำงานเสร็จสิ้นและหาค่า Fitness ตามกระบวนการของฟัซซี่ โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น ได้ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS ดังแสดงในตารางที่ ฉ.12

ตารางที่ ฉ.12 ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีการฮิวริสติกของ CDS กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด

สตริงคำตอบ	ค่า Fitness	เวลาการทำงานเสร็จสิ้น (น้อยที่สุด เฉลี่ย มากที่สุด) : หน่วยนาที
2-2-2-1-1-10-10-10-8-8-8-8-8-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-4-4-4-4-4-4-3-3-3-3-3	0.8699	3058.9 3612.2 4166.1
1-1-10-10-10-2-2-2-8-8-8-8-8-4-4-4-4-4-4-4-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-3-3-3-3-3	0.9275	3058.0 3548.2 4038.5
1-1-2-2-2-10-10-10-8-8-8-8-8-4-4-4-4-4-4-4-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-3-3-3-3-3	0.9275	3058.0 3548.2 4038.5

เลือกลำดับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ค่า Fitness มีค่าสูงสุดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดจาก ดังนั้นได้ว่า กรณีผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด ผลการจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยวิธีฮิวริสติกของ CDS มีลำดับผลิตภัณฑ์ 2 แบบ ที่ให้ค่า Fitness เท่ากับ 0.9275 คือ 1-1-10-10-10-2-2-2-8-8-8-8-8-4-4-4-4-4-4-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-3-3-3-3-3 และ 1-1-2-2-2-10-10-10-8-8-8-8-8-4-4-4-4-4-4-7-7-7-7-7-9-9-9-9-9-9-6-6-5-5-5-3-3-3-3-3

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววันวิสาข์ นิ่มมะโน เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2522 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ.2543 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีเดียวกัน