

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

ผลของงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบกับโมเดลของปัญหาที่มีจำนวนปัจจัยอิสระ 2-3 ปัจจัย และการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริง โดยจะนำวิธีการต่าง ๆ ที่ได้มาสรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อย โดยพิจารณาจากผลลัพธ์จาก 3 วิธีการ คือ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าอัตราส่วนเอสต่อเอ็น (S/N Ratio) ซึ่งในแต่ละปัญหาจะทำการทดสอบทั้งสิ้นจำนวน 15 ข้อ โดยค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากจำนวนการทำข้อ (n) เท่ากับ 15 ส่วน S/N ratio จะใช้ค่าเฉลี่ยของ S/N ratio จากชุดข้อมูล 3 ส่วน และจำนวนการทำข้อ (n) เท่ากับ 5

ตารางที่ 4.1.1

วิธีการและสูตรคำนวณการเปรียบเทียบ S/N ratio

Methods	S/N ratio formulas	Optimization
Larger is better	$S/N = -10 \cdot \log(\Sigma(1/Y^2)/n)$	Maximization
Smaller is better	$S/N = -10 \cdot \log(\Sigma(Y^2)/n)$	Minimization

4.1. การทดสอบวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ วิธีซัพเฟลพรอกลิปิงและวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชกับตัวแบบของปัญหาที่ไม่มีข้อจำกัดทางทรัพยากร

การทดสอบเริ่มจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นแต่ละอัลกอริทึม โดยแต่ละอัลกอริทึมจะทำการสุ่มจุดเริ่มต้น จากนั้นจะทำการทดสอบและหาค่าที่เหมาะสมที่สุด 8 สมการ ดังนี้

ตารางที่ 4.1.2

รายละเอียดฟังก์ชัน และสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวแบบปัญหา

Function	Variable	Formula
Branin	2	$f(x) = 5 - \log_{10}[(x_2 - \frac{5.1}{4\pi^2} x_1^2 + \frac{5}{\pi} x_1 - 6)^2 + (10 - \frac{5}{4\pi} \cos(x_1)) + 10]$
Camelback	2	$f(x) = 10 - \log_{10}[x_1^2(4 - 2.1x_1^2 + \frac{1}{3}x_1^4) + x_1x_2 + 4x_2^2(x_2^2 + 1)]$
Goldstein-Price	2	$f(x) = 10 + \log_{10}[1/\{1 + (1 + x_1 + x_2)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)\} * \{30 + (2x_1 - 3x_2)^2(18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)\}]$
Parabolic	k	$f(x) = 12 - \sum_{j=1}^k [(-x_j)^2 / 100]$
Rastrigin	k	$f(x) = 80 - [20 + \sum_{i=1}^n x_i^2 - 10(\sum_{i=1}^n \cos 2\pi x_i)]$
Rosenbrock	k	$f(x) = 70[(\{20 - ((-x_1/a_1)^2 + \sum_{j=2}^k [(x_j/a_j) - (x_1/a_1)^2]^2)\} + 150)/170] + 10$
Shekel	k	$f(x) = 100 \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i + \sum_{j=1}^k (x_j - a_{ij})^2}$
Styblinski	k	$f(x) = 275 - [(\frac{x_1^4 - 16x_1^2 + 5x_1}{2}) + (\frac{x_2^4 - 16x_2^2 + 5x_2}{2}) + \sum_{i=3}^k (x_i - 1)^2]$

พร้อมทั้งใส่สิ่งรบกวนที่เข้าในระบบโดยมีการกระจายแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.12 และ 3 ตามลำดับ และจำนวนการทดลอง 15 ครั้ง ต่อ 1 สมการต่อ 1 ค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งรบกวน

4.1.1 การทดสอบผ่านสมการที่มีปัจจัยอิสระ 2 ปัจจัย

การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ สำหรับกรณี 2 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสิ่งรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ ประกอบด้วย ค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยมีผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.1.3 – 4.1.10

ตารางที่ 4.1.3

ผลการทดสอบ Branin 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Branin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	129	3.921	0.057	153	4.912	0.006	102	5.922	0.007	139	6.607	0.005
Std. Dev.	59	0.369	0.068	65	0.442	0.008	60	0.518	0.008	56	0.451	0.008
Max	222	4.598	0.203	228	5.766	0.016	227	6.709	0.016	221	7.284	0.016
Min	36	3.220	0.000	45	4.262	0.000	43	5.044	0.000	43	6.046	0.000
S/N ratio		11.762			13.750			15.362			16.363	

ตารางที่ 4.1.4

ผลการทดสอบ Camelback 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Camelback											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	137	7.496	0.049	135	8.389	0.009	116	8.819	0.009	133	10.690	0.005
Std. Dev.	68	1.924	0.096	58	1.976	0.008	56	3.162	0.008	68	2.091	0.008
Max	233	9.686	0.359	224	10.642	0.016	224	11.670	0.016	212	12.704	0.016
Min	45	3.909	0.000	45	4.823	0.000	37	0.150	0.000	37	6.374	0.000
S/N ratio		16.710			17.845			9.156			20.171	

ตารางที่ 4.1.5

ผลการทดสอบ Goldstein-Price 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Goldstein-Price											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	143	5.602	0.046	143	6.221	0.006	130	7.455	0.006	132	8.691	0.008
Std. Dev.	58	1.074	0.072	47	1.536	0.008	54	1.305	0.008	61	1.403	0.009
Max	217	7.215	0.250	200	9.210	0.016	209	10.056	0.016	227	10.512	0.026
Min	34	3.692	0.000	55	3.349	0.000	51	5.225	0.000	34	6.022	0.000
S/N ratio		14.534			15.171			17.097			18.429	

ตารางที่ 4.1.6

ผลการทดสอบ Parabolic 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Parabolic											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	117	11.973	0.155	153	12.612	0.018	139	13.522	0.005	153	14.437	0.008
Std. Dev.	64	0.087	0.085	54	0.328	0.031	63	0.357	0.008	65	0.322	0.008
Max	217	12.000	0.328	228	12.889	0.127	232	13.914	0.016	233	14.771	0.016
Min	37	11.660	0.047	73	11.838	0.000	39	12.607	0.000	40	13.603	0.000
S/N ratio		21.564			22.008			22.612			23.183	

ตารางที่ 4.1.7

ผลการทดสอบ Rastrigin 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Rastrigin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	125	86.540	0.037	139	87.679	0.006	125	89.243	0.028	120	91.788	0.006
Std. Dev.	64	8.296	0.063	54	7.912	0.010	65	8.059	0.079	69	7.538	0.008
Max	226	99.921	0.172	231	98.907	0.031	224	99.762	0.312	210	102.272	0.016
Min	38	71.397	0.000	55	72.053	0.000	41	73.204	0.000	37	73.702	0.000
S/N ratio		38.630			38.753			38.905			39.166	

ตารางที่ 4.1.8

ผลการทดสอบ Rosenbrock 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Rosenbrock											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	137	79.821	0.145	137	80.438	0.006	129	81.234	0.007	153	82.281	0.006
Std. Dev.	57	0.390	0.145	51	0.485	0.008	63	0.643	0.008	62	0.763	0.008
Max	219	80.000	0.578	224	80.940	0.016	225	81.965	0.016	231	83.641	0.016
Min	58	78.745	0.000	36	79.557	0.000	38	79.572	0.000	35	80.331	0.000
S/N ratio		38.042			38.109			38.194			38.305	

ตารางที่ 4.1.9

ผลการทดสอบ Shekel 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Shekel											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	110	16.661	0.082	108	17.830	0.008	129	19.286	0.007	116	20.272	0.018
Std. Dev.	52	1.630	0.109	47	1.517	0.008	53	1.159	0.008	62	1.231	0.039
Max	217	18.980	0.281	181	19.706	0.016	213	20.656	0.016	231	21.963	0.156
Min	42	13.977	0.000	47	14.909	0.000	41	16.612	0.000	36	16.858	0.000
S/N ratio		24.316			24.937			25.671			26.088	

ตารางที่ 4.1.10

ผลการทดสอบ Styblinski 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Styblinski											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	143	331.813	0.080	127	335.009	0.011	124	337.080	0.014	120	339.140	0.012
Std. Dev.	52	10.437	0.109	57	12.550	0.009	54	12.276	0.014	67	11.897	0.009
Max	217	353.324	0.281	230	353.966	0.031	224	355.240	0.051	228	356.209	0.031
Min	52	322.672	0.000	39	323.486	0.000	40	324.730	0.000	42	325.978	0.000
S/N ratio		50.406			50.485			50.539			50.593	

จากผลการทดลองกรณี 2 ปัจจัย ในส่วนของจำนวนข้อมูลการทดลอง (Design Points) ของวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษมีค่าไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากจุดที่สร้างเริ่มต้นในการทดลองทั้ง 3 จุด ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อ วิธีในการสร้างจุดต่อไป เพื่อพัฒนาผลตอบสนองจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่าง (Standard Deviation) แบ่งตามลักษณะของสมการ ได้ดังนี้

สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดเพียงจุดเดียว สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดอยู่ ณ บริเวณขอบของพื้นที่ของสมการพบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด ที่หาได้ภายใต้สิ่งรบกวนที่มีค่าสุ่มที่ 0 – 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละสมการผลตอบสนองเฉลี่ยภายใต้สิ่งรบกวนต่ำ จะมีค่าน้อยกว่าภายใต้สิ่งรบกวนสูงตามลำดับ

สมการที่มีจุดที่สูงที่สุดหลายยอดและสมการแบบผสมผสานพบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้ภายใต้สิ่งรบกวนที่มีระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ยังไม่สามารถเข้าใจค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุดของพื้นผิวได้ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่าง (Standard Deviation) มีค่าค่อนข้างมาก ซึ่งมีผลทำให้การกระจายของข้อมูลค่อนข้างสูง

วิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษเป็นวิธีการที่มีการคิดค้นมาตั้งแต่ปี 1977 ซึ่งข้อดีของวิธีนี้ก็คือ ถ้าจุดที่สุ่มมาในตอนต้นเป็นจุดที่ดี ซิมเพล็กซ์ปรับขนาดที่สร้างขึ้นมาในจุดต่อไปจะลู่เข้า คำตอบได้เร็วและมีประสิทธิภาพ โดยดูจากเวลา และจำนวนข้อมูลการทดลอง (Design Points) ที่ใช้ไม่มากนัก และเมื่อเทียบกับผลตอบสนองที่ได้ นับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพพอสมควรในการหาคำตอบ

สิ่งที่น่าสังเกตจากฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกันทั้ง 8 แบบพบว่า รูปแบบสมการที่มีความซับซ้อนมาก ๆ สามารถส่งผลวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษหาคำตอบเร็วขึ้นตามลำดับความซับซ้อน เหมือนกับผลที่ได้ในกรณีที่มีสิ่งรบกวนในระบบสูง

การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษสำหรับกรณี 2 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสิ่งรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ประกอบด้วย ค่าผลตอบสนอง (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยมีผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.1.11 – 4.1.18

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ จำนวนวนซ้ำ (Iteration) มีค่าเท่ากับ 80 จำนวนของกบ (Number of Frogs) มีค่าเท่ากับ 100 และ มิมิเพล็กซ์ (Memeplex) มีค่าเท่ากับ 25 (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.1.11

ผลการทดสอบ Branin 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ

Factor = 2	Branin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	5.400	91.545	2000	6.379	87.217	2000	7.374	94.436	2000	8.365	94.275
Std. Dev.	0	0.000	1.576	0	0.012	1.969	0	0.020	1.738	0	0.018	1.251
Max	2000	5.400	94.395	2000	6.393	92.652	2000	7.399	98.332	2000	8.391	96.776
Min	0	5.400	89.431	0	6.358	85.032	0	7.329	91.804	0	8.336	91.785
S/N ratio	0	14.648		0	16.095		0	17.353		0	18.449	

ตารางที่ 4.1.12

ผลการทดสอบ Camelback 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปิง

Factor =2	Camelback											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	31.969	91.640	2000	30.863	88.029	2000	26.085	94.757	2000	22.290	93.953
Std. Dev.	0	0.613	1.252	0	0.878	2.147	0	0.683	1.883	0	0.508	1.617
Max	2000	33.463	93.355	2000	32.638	94.589	2000	27.432	99.299	2000	23.455	96.574
Min	0	31.098	89.051	0	29.628	85.372	0	24.770	91.460	0	21.667	91.693
S/N ratio	0	30.090		0	29.780		0	28.319		0	26.958	

ตารางที่ 4.1.13

ผลการทดสอบ Goldstein-Price 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปิง

Factor =2	Goldstein-Price											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	9.523	92.050	2000	10.353	87.616	2000	11.448	94.618	2000	12.451	94.102
Std. Dev.	0	0.000	1.183	0	0.165	2.072	0	0.053	1.651	0	0.054	1.076
Max	2000	9.523	94.646	2000	10.517	93.561	2000	11.509	98.698	2000	12.516	95.961
Min	0	9.523	90.268	0	10.003	84.665	0	11.307	92.497	0	12.338	91.719
S/N ratio	0	19.575		0	20.299		0	21.174		0	21.904	

ตารางที่ 4.1.14

ผลการทดสอบ Parabolic 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปิง

Factor =2	Parabolic											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	12.000	91.221	2000	13.000	86.921	2000	13.999	94.345	2000	14.999	94.429
Std. Dev.	0	0.000	1.134	0	0.000	1.040	0	0.001	1.109	0	0.001	0.802
Max	2000	12.000	93.466	2000	13.000	89.067	2000	14.000	96.435	2000	15.000	95.709
Min	0	12.000	89.578	0	12.999	85.288	0	13.996	92.739	0	14.997	92.937
S/N ratio	0	21.584		0	22.279		0	22.922		0	23.521	

ตารางที่ 4.1.15

ผลการทดสอบ Rastrigin 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟิลพรอกลิปิง

Factor=2	Rastrigin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	100.000	91.440	2000	100.999	87.207	2000	101.999	93.962	2000	102.999	93.506
Std.Dev.	0	0.000	1.265	0	0.001	1.114	0	0.001	1.225	0	0.001	0.959
Max	2000	100.000	93.223	2000	101.000	89.298	2000	102.000	96.157	2000	103.000	95.196
Min	0	100.000	89.638	0	100.998	84.890	0	101.998	92.072	0	102.997	91.470
S/N ratio	0	40.000		0	40.086		0	40.172		0	40.257	

ตารางที่ 4.1.16

ผลการทดสอบ Rosenbrock 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟิลพรอกลิปิง

Factor =2	Rosenbrock											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	80.000	83.284	2000	81.000	87.676	2000	81.999	90.990	2000	82.999	93.717
Std. Dev.	0	0.000	0.988	0	0.000	1.483	0	0.001	2.316	0	0.001	1.324
Max	2000	80.000	84.491	2000	81.000	91.232	2000	82.000	98.297	2000	83.000	96.066
Min	0	80.000	81.158	0	80.999	85.732	0	81.997	88.913	0	82.995	91.002
S/N ratio	0	38.062		0	38.170		0	38.276		0	38.381	

ตารางที่ 4.1.17

ผลการทดสอบ Shekel 2 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟิลพรอกลิปิง

Factor = 2	Shekel											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	18.981	87.728	2000	19.945	87.432	2000	20.954	90.534	2000	21.961	94.347
Std. Dev.	0	0.000	1.097	0	0.011	1.375	0	0.012	2.278	0	0.016	1.275
Max	2000	18.981	89.726	2000	19.962	89.722	2000	20.974	94.272	2000	21.974	96.445
Min	0	18.981	85.688	0	19.927	84.886	0	20.932	87.371	0	21.920	92.533
S/N ratio	0	25.566		0	25.997		0	26.425		0	26.833	

ตารางที่ 4.1.18

ผลการทดสอบ Styblinski 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีง

Factor = 2	Styblinski											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	353.332	90.298	2000	353.896	96.326	2000	354.924	98.505	2000	356.033	96.413
Std.Dev.	0	0.000	1.350	0	0.145	1.361	0	0.167	1.400	0	0.067	1.289
Max	2000	353.332	92.741	2000	354.236	98.648	2000	355.279	100.711	2000	356.141	98.073
Min	0	353.332	87.597	0	353.712	93.813	0	354.644	96.049	0	355.901	94.021
S/Nratio	0	50.964		0	50.978		0	51.003		0	51.030	

ในส่วนของจำนวนข้อมูลการทดลอง (Design Points) ของวิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีงจะหยุดก็ต่อเมื่อครบรอบการค้นหาที่ต้องการ และผลการทดลองกรณี 2 ปัจจัยพบว่า ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่าง (Standard Deviation) แบ่งตามลักษณะของสมการ ได้ดังนี้

สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดเพียงจุดเดียว สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดอยู่ ณ บริเวณขอบของพื้นที่ของสมการพบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่างที่หาได้ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละสมการ ผลตอบสนองเฉลี่ยภายใต้สิ่งแวดล้อมต่ำจะมีค่าน้อยกว่าภายใต้สิ่งแวดล้อมสูงตามลำดับ

สมการที่มีจุดที่สูงที่สุดหลายยอดและสมการแบบผสมผสานพบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้ ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนัก และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่างที่หาได้ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละสมการผลตอบสนองเฉลี่ยภายใต้สิ่งแวดล้อมต่ำจะมีค่าน้อยกว่าภายใต้สิ่งแวดล้อมสูงตามลำดับ

วิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีงเป็นวิธีการที่ใช้การพัฒนา โดยเลือกจากผลตอบสนองที่น้อยที่สุด มาทำการปรับปรุงและใช้วิธีการสำรวจคำตอบใกล้เคียง เพื่อสร้างความเป็นไปได้ในการพัฒนาคำตอบให้มากขึ้น โดยวิธีการค้นหาคำตอบของวิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีงมีการสุ่มค่าที่เกิดขึ้นเท่ากับจำนวนของกบ ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญของวิธีการทำให้ครอบคลุมค่าที่เป็นไปได้ของคำตอบของข้างมากมีผลทำให้ผลตอบสนองลู่เข้าหาคำตอบได้เร็ว ถึงแม้ว่าวิธีการปรับปรุงอาจจะไม่มาก โดยใช้ค่าที่แย่ที่สุดในแต่ละมิมีเพิลิกมาทำการปรับปรุง แต่เนื่องมาจากใช้วิธีการสำรวจคำตอบใกล้เคียงเข้ามาช่วยมีผลทำให้ผลตอบสนองที่ออกมาพบว่า มีค่าใกล้เคียงค่าที่ดี

ที่สุดอย่างมากในทุกๆ สมการ ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยพบว่า ใช้เวลาไม่มากแม้จะมีการสุ่มคำตอบที่มีปริมาณ

การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช สำหรับกรณี 2 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสิ่งรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ประกอบด้วย ค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยมีผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.19 – 4.26

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์คือ จำนวนวนซ้ำ (Iteration) มีค่าเท่ากับ 2000, ตัวแปรตัดสินใจ (HMCN) มีค่าเท่ากับ 0.90, ตัวแปรปรับระดับ (PAR) มีค่าเท่ากับ 0.5, ขนาดของความจำ (HMS) มีค่าเท่ากับ 20 (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.1.19

ผลการทดสอบ Branin 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

Factor = 2	Branin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	5.400	90.395	2000	6.399	88.206	2000	7.398	89.585	2000	8.398	78.549
Std. Dev.	0	0.000	1.427	0	0.001	1.262	0	0.002	1.306	0	0.001	2.998
Max	2000	5.400	92.621	2000	6.400	90.389	2000	7.400	92.482	2000	8.400	88.596
Min	0	5.400	87.475	0	6.397	86.040	0	7.394	87.779	0	8.395	76.317
S/N ratio	0	14.648		0	16.123		0	17.383		0	18.484	

ตารางที่ 4.1.20

ผลการทดสอบ Camelback 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

Factor = 2	Camelback											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	116.209	90.096	2000	105.130	88.623	2000	80.582	89.984	2000	62.194	79.168
Std. Dev.	0	1.466	1.262	0	1.771	1.318	0	2.500	1.385	0	2.411	3.158
Max	2000	119.491	92.420	2000	107.876	90.574	2000	84.751	92.754	2000	65.266	89.232
Min	0	114.499	87.511	0	101.826	85.961	0	74.485	87.015	0	57.623	75.808
S/N ratio	0	41.303		0	40.431		0	38.115		0	35.861	

ตารางที่ 4.1.21

ผลการทดสอบ Goldstein-Price 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ซ

Factor = 2	Goldstein-Price											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	9.523	90.088	2000	10.520	88.253	2000	11.519	89.583	2000	12.518	79.038
Std. Dev.	0	0.000	1.209	0	0.002	1.162	0	0.003	1.373	0	0.003	3.489
Max	2000	9.523	91.818	2000	10.523	89.893	2000	11.522	91.715	2000	12.522	90.124
Min	0	9.523	88.015	0	10.517	85.856	0	11.513	87.839	0	12.512	75.706
S/N ratio	0	19.575		0	20.440		0	21.228		0	21.950	

ตารางที่ 4.1.22

ผลการทดสอบ Parabolic 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ซ

Factor = 2	Parabolic											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	12.000	90.100	2000	13.000	88.506	2000	14.000	89.638	2000	14.999	78.451
Std. Dev.	0	0.000	1.195	0	0.000	1.114	0	0.000	1.087	0	0.001	1.060
Max	2000	12.000	92.033	2000	13.000	90.347	2000	14.000	92.212	2000	15.000	80.681
Min	0	12.000	88.392	0	13.000	86.274	0	14.000	87.672	0	14.997	76.815
S/N ratio	0	21.584		0	22.279		0	22.922		0	23.521	

ตารางที่ 4.1.23

ผลการทดสอบ Rastrigin 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ซ

Factor = 2	Rastrigin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	100.000	92.752	2000	101.000	80.181	2000	102.000	80.009	2000	102.998	77.646
Std.Dev.	0	0.000	1.055	0	0.000	1.042	0	0.000	1.220	0	0.003	0.980
Max	2000	100.000	94.255	2000	101.000	82.329	2000	102.000	82.711	2000	103.000	79.432
Min	0	100.000	90.746	0	101.000	77.981	0	102.000	78.463	0	102.989	75.798
S/Nratio	0	40.000		0	40.086		0	40.172		0	40.257	

ตารางที่ 4.1.24

ผลการทดสอบ Rosenbrock 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

Factor = 2	Rosenbrock											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	80.000	90.130	2000	81.000	79.072	2000	82.000	78.397	2000	82.998	87.728
Std. Dev.	0	0.000	0.972	0	0.000	1.377	0	0.000	2.800	0	0.002	1.392
Max	2000	80.000	92.331	2000	81.000	80.940	2000	82.000	87.598	2000	83.000	89.908
Min	0	80.000	88.950	0	80.999	76.213	0	82.000	75.716	0	82.995	84.987
S/N ratio	0	38.062		0	38.170		0	38.276		0	38.381	

ตารางที่ 4.1.25

ผลการทดสอบ Shekel 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

Factor = 2	Shekel											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	18.981	88.404	2000	19.980	79.200	2000	20.980	78.736	2000	21.979	80.938
Std. Dev.	0	0.000	1.139	0	0.000	1.235	0	0.000	2.121	0	0.002	1.128
Max	2000	18.981	90.821	2000	19.980	81.496	2000	20.980	81.658	2000	21.981	82.805
Min	0	18.981	86.852	0	19.980	77.142	0	20.979	75.404	0	21.972	78.775
S/N ratio	0	25.566		0	26.012		0	26.436		0	26.840	

ตารางที่ 4.1.26

ผลการทดสอบ Styblinski 2 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

Factor = 2	Styblinski											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	353.328	88.103	2000	354.066	90.262	2000	354.743	88.611	2000	355.392	87.515
Std.Dev.	0	0.006	1.385	0	0.150	0.662	0	0.449	0.824	0	0.711	1.240
Max	2000	353.332	90.631	2000	354.293	91.192	2000	355.253	90.483	2000	356.328	90.029
Min	0	353.309	86.073	0	353.714	89.277	0	353.864	87.279	0	354.198	84.864
S/Nratio	0	50.964		0	50.982		0	50.998		0	51.014	

จากผลการทดลองกรณี 2 ปัจจัย ในส่วนของจำนวนข้อมูลการทดลอง (Design Points) ของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชจะหยุดก็ต่อเมื่อครบรอบการค้นหาที่ต้องการ ผลจากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่าง (Standard Deviation) แบ่งตามลักษณะของสมการ ได้ดังนี้

สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดเพียงจุดเดียว สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดอยู่ ณ บริเวณขอบของพื้นที่ของสมการพบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้ภายใต้สิ่งรบกวนที่มีค่าสุ่มที่

0-3 มีความแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละสมการผลตอบแทนเฉลี่ยภายใต้สิ่งรบกวนต่ำจะมีค่าน้อยกว่าภายใต้สิ่งรบกวนสูงตามลำดับ

สมการที่มีจุดที่สูงที่สุดหลายยอดและสมการแบบผสมผสานพบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบแทนที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้ภายใต้สิ่งรบกวนที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนัก และมีค่าใกล้เคียงกับผลตอบแทนที่ดีที่สุดของพื้นผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่าง (Standard Deviation) มีค่าค่อนข้างน้อย แสดงถึงคำตอบมีการกระจายของข้อมูลค่อนข้างน้อย

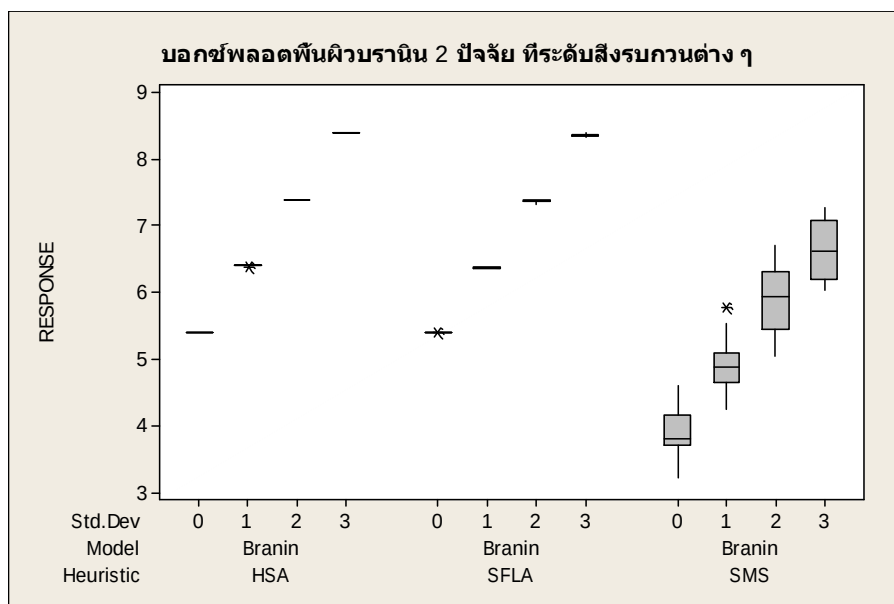
วิธีฮาร์โมนีเวิร์ชจากการทดลองพบว่า ความสามารถในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบค่อนข้างที่จะทำได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ไม่มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสิ่งรบกวน วิธีฮาร์โมนีเวิร์ชสามารถดำเนินการภายใต้สิ่งรบกวนของระบบได้เหมาะสมนอกจากนี้วิธีนี้ยังมีลักษณะเด่นคือ การให้ค่าผลตอบแทนที่มีการจัดเก็บไว้เป็นชุดคำตอบดังนั้นความสามารถในการทนต่อสภาพสิ่งรบกวน หรือสมการที่มีรูปแบบพื้นผิวผลตอบแทนที่ซับซ้อน จึงอยู่ในระดับที่สูงมากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น และให้ค่าผลตอบแทนที่อยู่ในบริเวณที่เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด (Global Optimization) มากกว่าข้อเสียของการหาคำตอบด้วยวิธีฮาร์โมนีเวิร์ชคือ จะต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรตัดสินใจ (HMCR) ตัวแปรปรับระดับ (PAR), ขนาดของความจำ (HMS) และช่วงการปรับข้อมูล (Bandwidth, BW) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมในการค้นหาคำตอบแต่ละปัญหา โดยพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบอย่างมากต่อการหาคำตอบเมื่ออยู่ใกล้จุดที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวแปรปรับระดับ (PAR), และช่วงการปรับข้อมูล (Bandwidth, BW)

การทดลอง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการหาคำตอบของวิธีฮาร์โมนีเวิร์ช (HSA) และวิธีวิวิธชีพเฟลพรอกลิปปิง (SFLA) ที่มีการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการสำรวจคำตอบใกล้เคียง (VNS) และวิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ (SMS)

สำหรับกรณี 2 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสิ่งรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ประกอบด้วย ค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยมีบอกร์พลอตแสดงได้ดังภาพที่ 4.1.1- 4.1.8

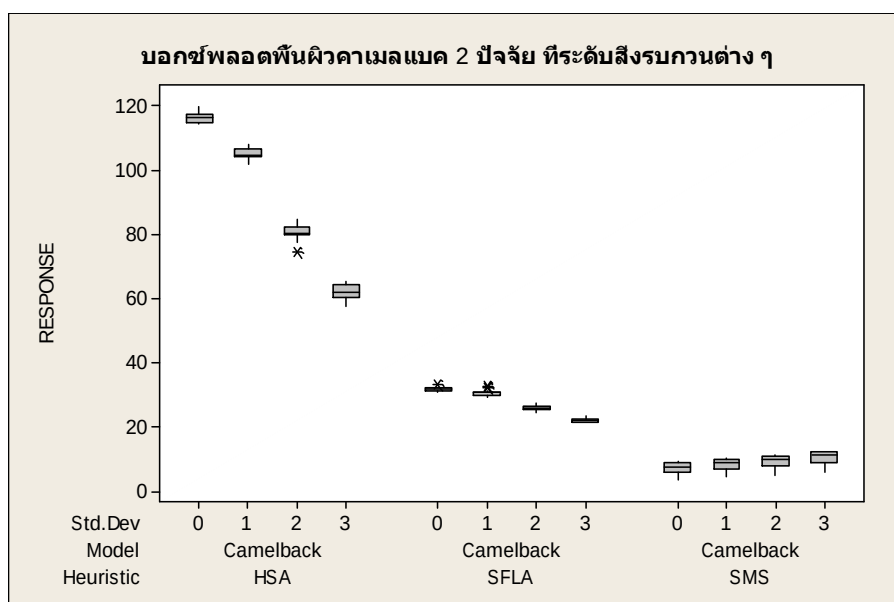
โดยค่าที่ได้จากบอกร์พลอตจะสังเกตได้ว่า วิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ (SMS) มีประสิทธิภาพในการหาค่าผลตอบแทนได้ดีกว่าวิธีอื่น รวมทั้งการกระจายของข้อมูลที่มากกว่า

อย่างสังเกตเห็นได้ชัด ในกรณีของ วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (HSA) และวิธีวิธีซัพพลายเออร์ (SFLA) มีค่า
 ผลตอบสนองใกล้เคียงกัน ยกเว้นสมการค่าเฉลี่ยแบบที่วิธีวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (HSA) สามารถหาค่า
 ผลตอบสนองได้ดีกว่า ดังนั้นจึงหยุดการพัฒนาวิธีซัพพลายเออร์ปรับขนาดแบบพิเศษ (SMS) ไว้ที่กรณี
 2 ปัจจัย



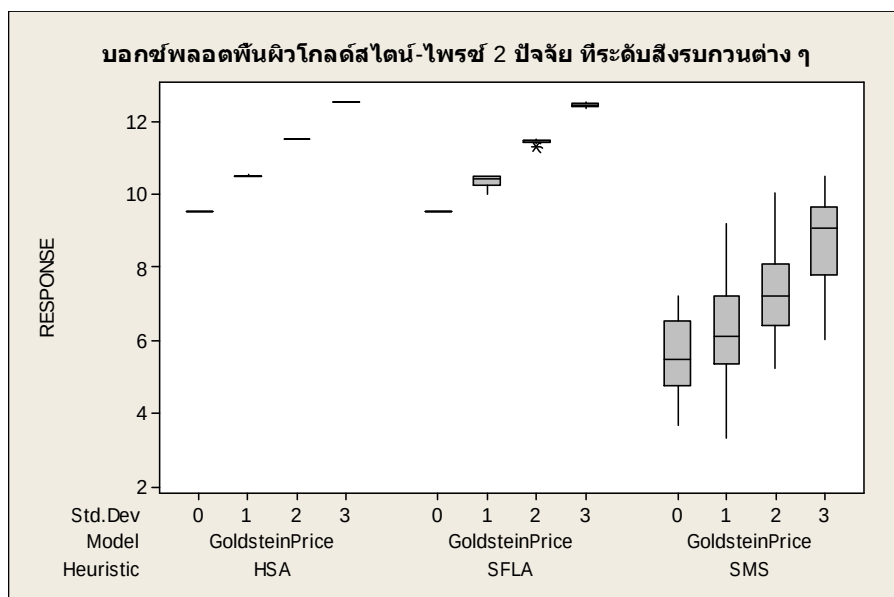
ภาพที่ 4.1.1

บอกร์ฟลิตพื้นผิวบรานิน 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



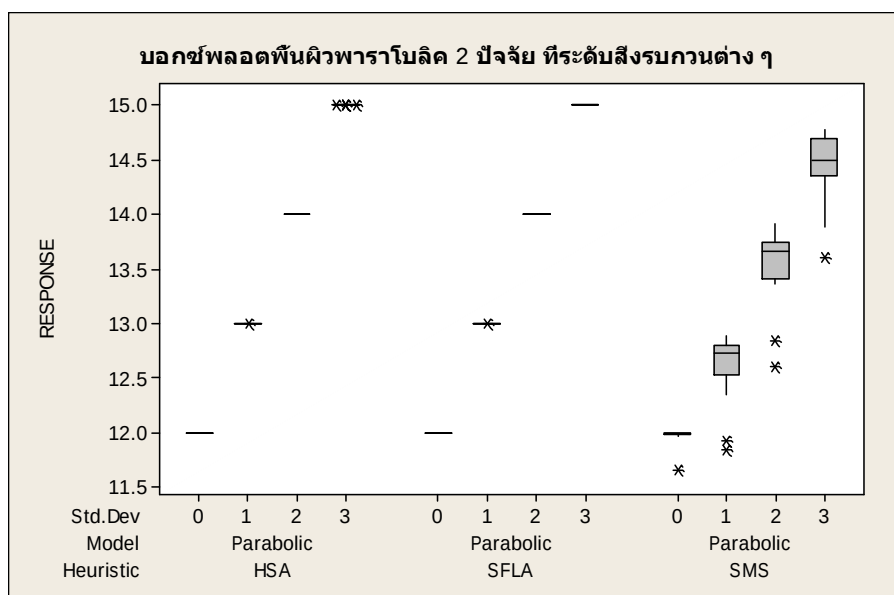
ภาพที่ 4.1.2

บอกร์ฟลิตพื้นผิวคาเมลแบค 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



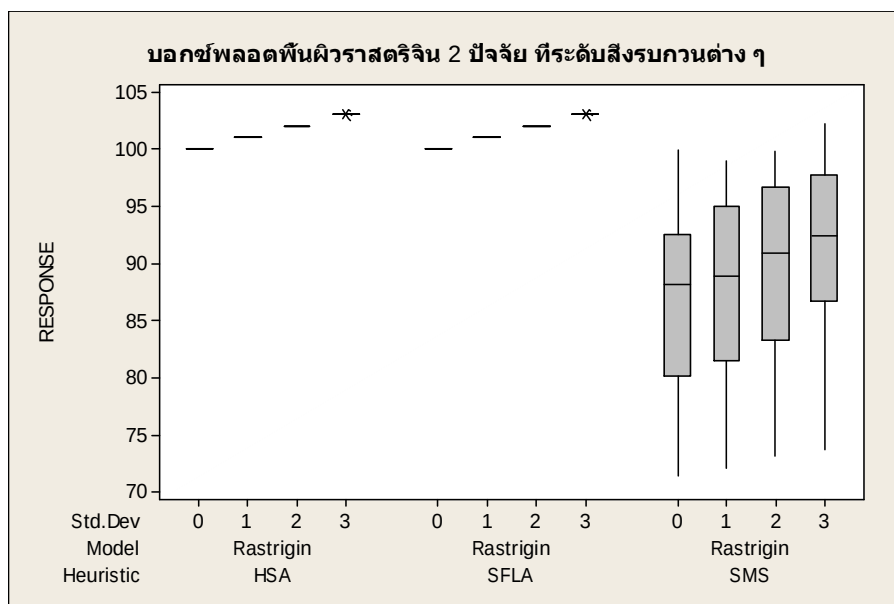
ภาพที่ 4.1.1

บอกซ์พลอตพื้นผิวโกลด์สไตน์-ไพเรช 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



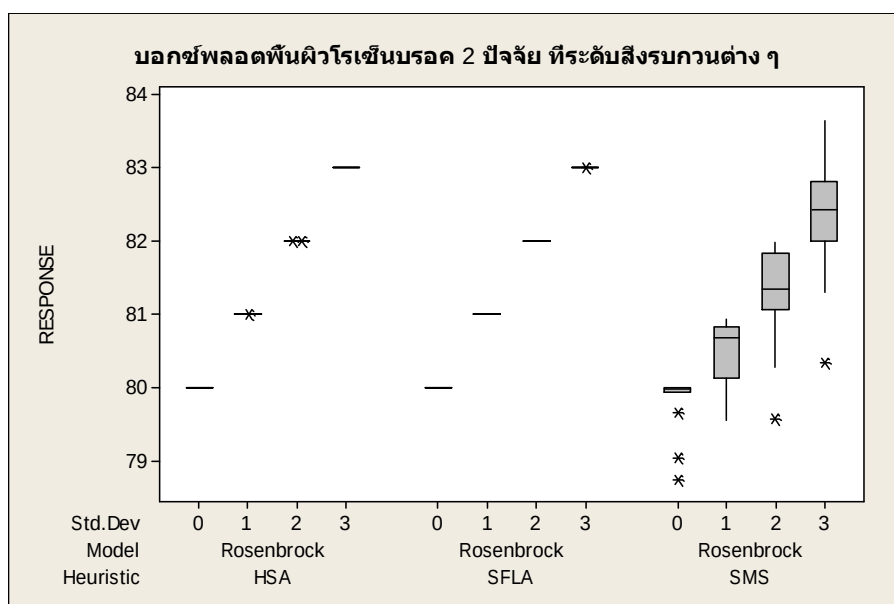
ภาพที่ 4.1.4

บอกซ์พลอตพื้นผิวพาราโบลิค 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



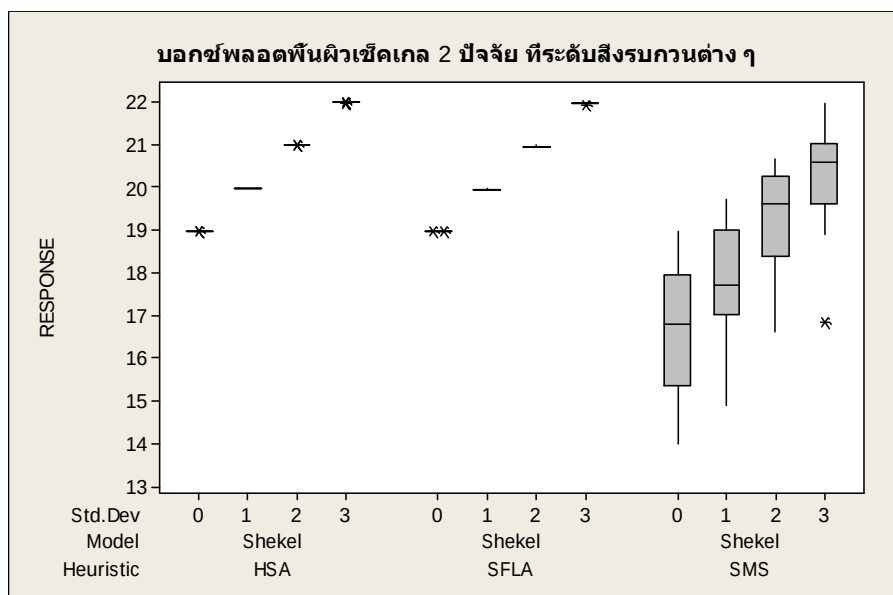
ภาพที่ 4.1.5

บอกร์พลอตพื้นผิวราสตริจิน 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



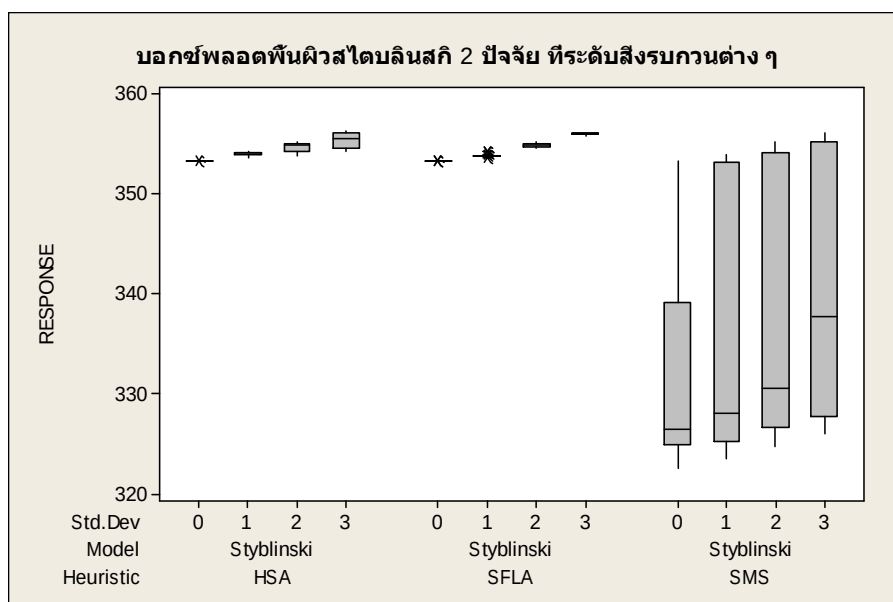
ภาพที่ 4.1.6

บอกร์พลอตพื้นผิวโรเซนบรอก 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



ภาพที่ 4.1.7

บอกร์ฟลอดพื้นผิวเชคเกล 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



ภาพที่ 4.1.8

บอกร์ฟลอดพื้นผิวสไตบลินสกี 2 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ

4.1.2 การทดสอบผ่านสมการที่มีปัจจัยอิสระ 3 ปัจจัย

การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีซัพเฟลฟรอกลิปปิง สำหรับกรณี 3 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสิ่งรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ประกอบด้วยค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วยจำนวนวนซ้ำ (Iteration) มีค่าเท่ากับ 80 จำนวนของกบ (Number of Frogs) มีค่าเท่ากับ 100 ตัวและมีมิเมเพล็กซ์ (Memplex) มีค่าเท่ากับ 25 (ภาคผนวก ก) และมีผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.1.27 - 4.1.31

ตารางที่ 4.1.27

ผลการทดสอบ Parabolic 3 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟลฟรอกลิปปิง

Factor = 3	Parabolic											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	12.000	124.641	2000	13.000	116.901	2000	14.000	118.670	2000	14.999	118.700
Std. Dev.	0	0.000	1.355	0	0.000	1.085	0	0.000	1.328	0	0.000	1.502
Max	2000	12.000	126.390	2000	13.000	118.237	2000	14.000	121.227	2000	15.000	121.155
Min	0	12.000	121.967	0	13.000	114.757	0	14.000	117.045	0	14.998	116.095
S/Nratio	0	21.584		0	22.279		0	22.922		0	23.521	

ตารางที่ 4.1.28

ผลการทดสอบ Rastrigin 3 ปัจจัย ด้วยวิธีซัพเฟลฟรอกลิปปิง

Factor = 3	Rastrigin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	120.00	99.722	121.00	99.919	122.00	116.222	122.999	116.600	120.00	99.722	121.00	99.919
Std.Dev.	0	1.367	0.000	1.057	0.000	1.010	0.001	0.897	0.000	1.367	0.000	1.057
Max	120.00	102.00	121.00	101.60	122.00	117.684	123.000	117.540	120.00	102.00	121.00	101.60
Min	120.00	97.503	121.00	97.660	122.00	114.192	122.996	114.220	120.00	97.503	121.00	97.656
S/Nratio	41.58		41.66		41.727		41.798		41.584		41.656	

ตารางที่ 4.1.29

ผลการทดสอบ Rosenbrock 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีง

Factor = 3	Rosenbrock											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	80.000	105.687	2000	81.000	109.121	2000	82.000	117.866	2000	83.000	121.139
Std.Dev.	0	0.000	1.003	0	0.000	1.049	0	0.000	4.386	0	0.000	1.096
Max	2000	80.000	107.399	2000	81.000	111.219	2000	82.000	121.147	2000	83.000	122.624
Min	0	80.000	104.306	0	80.999	107.321	0	81.999	102.480	0	82.999	119.333
S/Nratio	0	38.062		0	38.170		0	38.276		0	38.382	

ตารางที่ 4.1.30

ผลการทดสอบ Shekel 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีง

Factor = 3	Shekel											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	18.680	102.028	2000	19.679	100.260	2000	20.624	98.822	2000	21.648	105.628
Std.Dev.	0	0.000	1.452	0	0.000	0.938	0	0.000	1.853	0	0.006	1.306
Max	2000	18.680	104.409	2000	19.680	102.591	2000	20.624	101.775	2000	21.651	108.517
Min	0	18.680	99.673	0	19.678	98.723	0	20.623	95.898	0	21.635	103.890
S/Nratio	0	25.427		0	25.880		0	26.287		0	26.708	

ตารางที่ 4.1.31

ผลการทดสอบ Styblinski 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฟิสิกส์เฟลพรอกลิปปีง

Factor = 3	Styblinski											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	353.332	100.558	2000	353.690	101.351	2000	355.025	100.889	2000	355.836	106.690
Std.Dev.	0	0.000	0.992	0	0.000	1.208	0	0.000	1.061	0	0.000	0.950
Max	2000	353.332	102.482	2000	353.690	103.432	2000	355.025	102.749	2000	355.836	108.994
Min	0	353.332	99.109	0	353.690	99.248	0	355.025	99.047	0	355.836	104.528
S/Nratio	0	50.964		0	50.972		0	51.005		0	51.025	

การทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชสำหรับกรณี 3 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสิ่งรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ประกอบด้วย ค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ คือ จำนวนวนซ้ำ (Iteration) มีค่าเท่ากับ 2000, ตัวแปรตัดสินใจ (HMCR) มีค่าเท่ากับ 0.90, ตัวแปรปรับระดับ (PAR) มีค่าเท่ากับ 0.5, ขนาดของความจำ (HMS) มีค่าเท่ากับ 20 (ภาคผนวก ก) และมีผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.1.32 – 4.1.36

ตารางที่ 4.1.32

ผลการทดสอบ Parabolic 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช

Factor = 3	Parabolic											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	12.000	83.626	2000	13.000	82.842	2000	13.994	82.188	2000	14.995	81.218
Std. Dev.	0	0.000	1.195	0	0.000	1.186	0	0.000	1.036	0	0.000	0.956
Max	2000	12.000	85.606	2000	13.000	85.052	2000	13.994	83.669	2000	14.995	82.980
Min	0	12.000	81.676	0	13.000	81.029	0	13.993	80.310	0	14.995	79.145
S/N ratio	0	21.584		0	22.279		0	22.919		0	23.519	

ตารางที่ 4.1.33

ผลการทดสอบ Rastrigin 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช

Factor = 3	Rastrigin											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	120.000	82.728	2000	121.000	81.505	2000	121.999	82.356	2000	122.999	80.406
Std.Dev.	0	0.000	0.964	0	0.000	1.059	0	0.000	1.131	0	0.000	1.046
Max	2000	120.000	84.713	2000	121.000	83.212	2000	121.999	84.723	2000	123.000	82.077
Min	0	120.000	81.191	0	121.000	79.808	0	121.999	80.797	0	122.999	78.463
S/N ratio	0	41.584		0	41.656		0	41.727		0	41.798	

ตารางที่ 4.1.34

ผลการทดสอบ Rosenbrock 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช

Factor = 3	Rosenbrock											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	80.000	101.147	2000	81.000	100.823	2000	82.000	101.221	2000	83.000	103.176
Std.Dev.	0	0.000	1.379	0	0.000	1.325	0	0.000	1.916	0	0.000	1.496
Max	2000	80.000	103.362	2000	81.000	103.165	2000	82.000	103.291	2000	83.000	105.550
Min	0	80.000	99.012	0	80.999	98.248	0	81.999	95.294	0	83.000	100.753
S/N ratio	0	38.062		0	38.170		0	38.276		0	38.382	

ตารางที่ 4.1.35

ผลการทดสอบ Shekel 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช

Factor = 3	Shekel											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	18.680	99.470	2000	19.679	92.195	2000	20.678	108.301	2000	21.671	101.692
Std. Dev.	0	0.000	1.175	0	0.000	1.654	0	0.001	2.303	0	0.025	0.863
Max	2000	18.680	101.790	2000	19.680	94.306	2000	20.679	111.941	2000	21.679	103.220
Min	0	18.680	97.280	0	19.678	89.198	0	20.677	104.951	0	21.581	100.565
S/N ratio	0	25.427		0	25.880		0	26.310		0	26.718	

ตารางที่ 4.1.36

ผลการทดสอบ Styblinski 3 ปัจจัย ด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช

Factor = 3	Styblinski											
	Std. Dev. = 0			Std. Dev. = 1			Std. Dev. = 2			Std. Dev. = 3		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	2000	353.332	87.998	2000	354.330	84.441	2000	355.331	94.422	2000	356.332	137.996
Std.Dev.	0	0.000	1.155	0	0.000	1.194	0	0.000	1.272	0	0.000	1.519
Max	2000	353.332	90.404	2000	354.330	86.485	2000	355.331	96.762	2000	356.332	140.117
Min	0	353.332	85.961	0	354.330	82.065	0	355.331	92.349	0	356.331	134.984
S/Nratio	0	50.964		0	50.988		0	51.013		0	51.037	

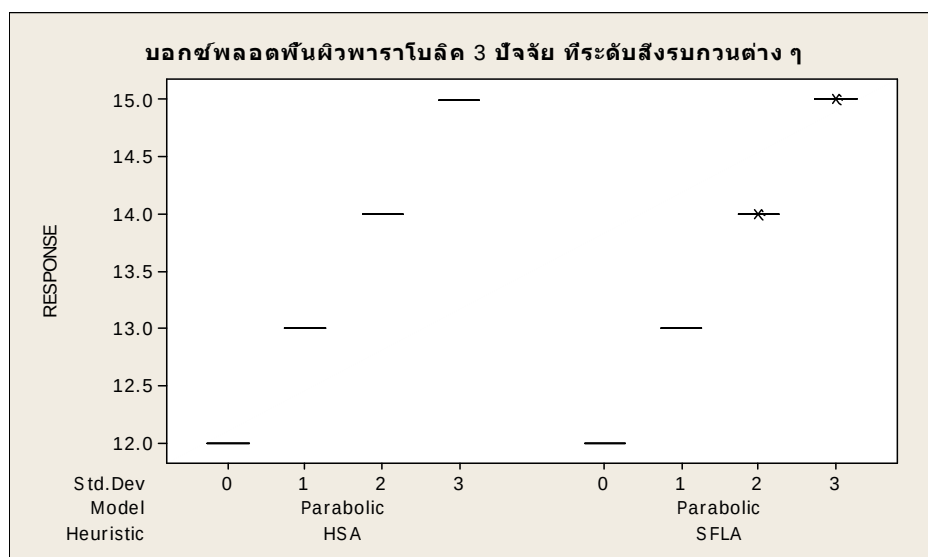
จากผลการทดลอง กรณี 3 ปัจจัยพบว่า ค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) ที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 และ ค่าอัตราส่วนเอสต่อเอ็นของผลตอบแทนที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้จากวิธีการแก้ไขปัญหาวีธีฮาร์โมนีเชิร์ชและวิธีฟิเลฟรอกลิปปีง ให้ค่าที่

ใกล้เคียงกัน ในทุกๆสมการ โดยจะให้ผลตอบสนองที่ช้า (Response Time) มากกว่าเมื่ออยู่ในสภาพที่มีสิ่งรบกวนสูงขึ้น

สิ่งที่น่าสังเกตระหว่างกรณี 2 ปัจจัย 3 ปัจจัย พบว่าเวลาในการทดสอบ (Response Time) แต่ครั้งจะมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อจำนวนปัจจัยมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบข้อสังเกตว่า ผลตอบสนองเฉลี่ยภายใต้สิ่งรบกวนต่ำ จะมีค่าน้อยกว่าภายใต้สิ่งรบกวนสูงตามลำดับ

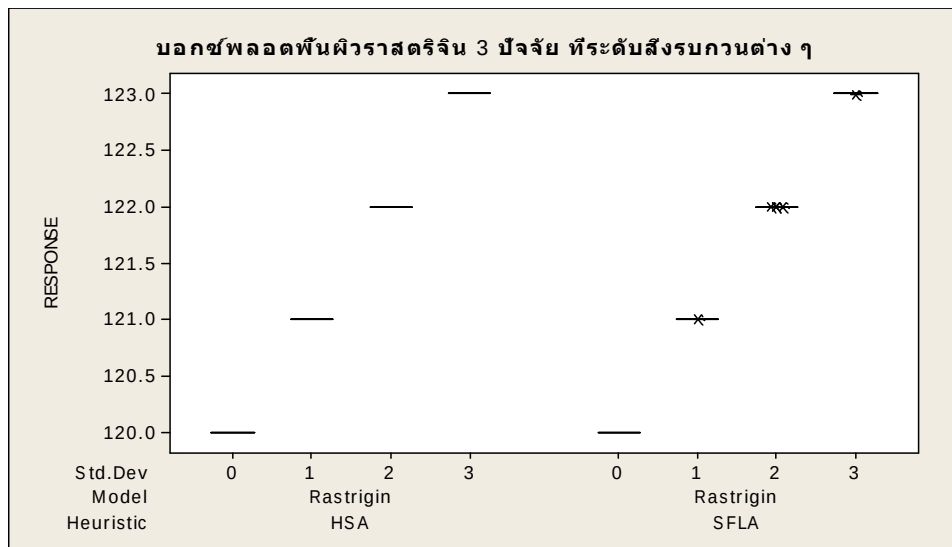
สำหรับกรณี 3 ปัจจัยที่มีการพิจารณาสีรบกวนระบบที่ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 ในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ ประกอบด้วย ค่าผลตอบสนอง (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยมีบอซพลอตแสดงได้ดังภาพที่ 4.1.9 – 4.1.13

โดยค่าที่ได้จากบอซพลอตพบว่า วิธีฮาร์โมนิเซิร์ช (HSA) และวิธีวิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิง (SFLA) มีประสิทธิภาพในการหาค่าผลตอบสนองค่าผลตอบสนองใกล้เคียงกัน รวมทั้งการกระจายของข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นบอซพลอตพื้นผิวสไตบลิติกที่วิธีวิธีฮาร์โมนิเซิร์ช (HSA) สามารถหาค่าผลตอบสนองได้ดีกว่าใน ระดับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1, 2 และ 3



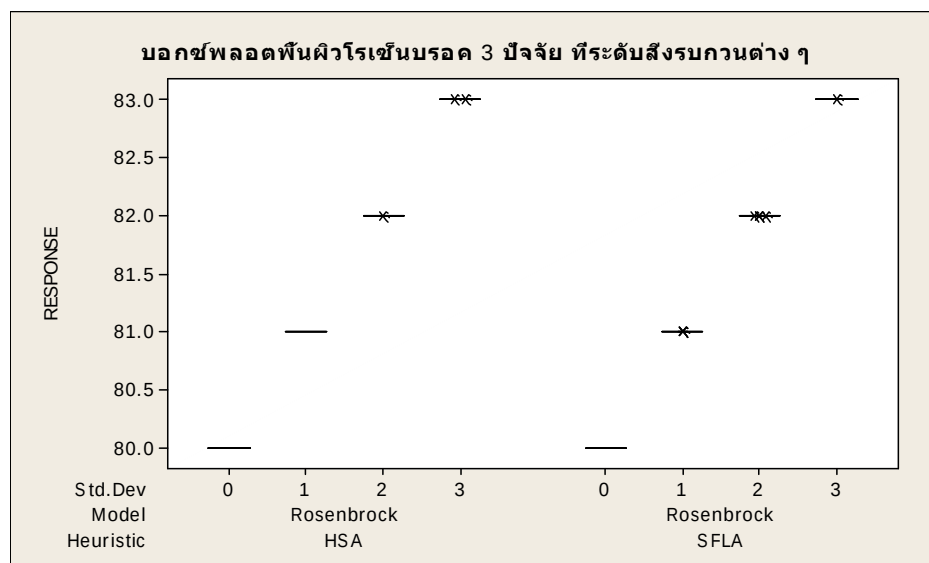
ภาพที่ 4.1.9

บอซพลอตพื้นผิวพาราโบลิก 3 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



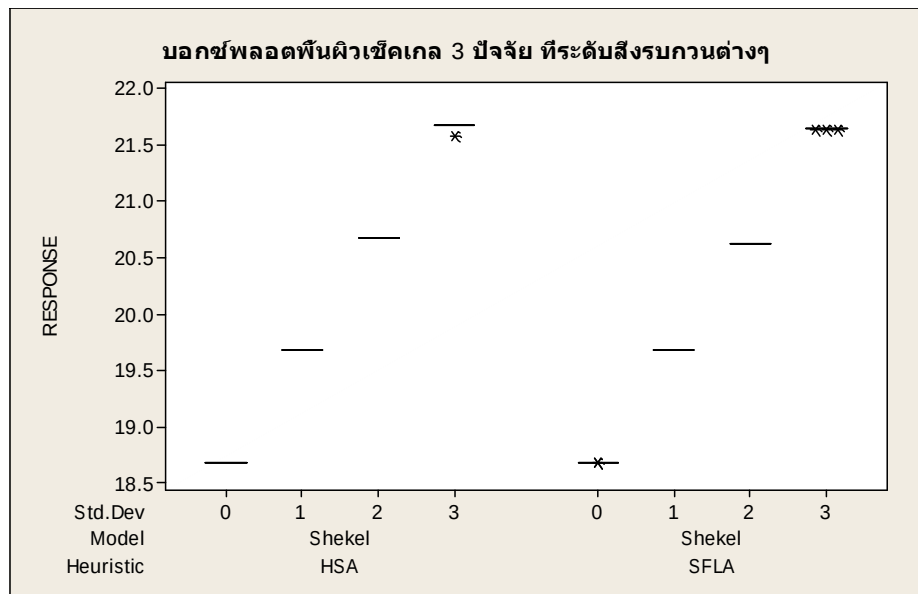
ภาพที่ 4.1.10

บอกซ์พลอตพื้นผิวราสตริน 3 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



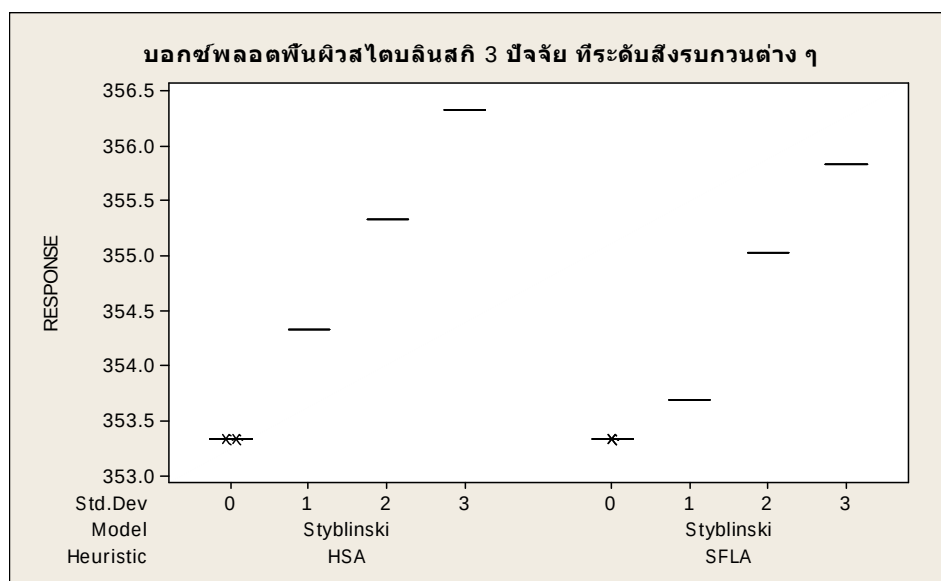
ภาพที่ 4.1.11

บอกซ์พลอตพื้นผิวโรเซนบรอก 3 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ



ภาพที่ 4.1.12

บอกซ์พลอตพื้นผิวเชคเกิล 3 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่างๆ



ภาพที่ 4.1.13

บอกซ์พลอตพื้นผิวสไตบลินสกี 3 ปัจจัย ที่ระดับสิ่งรบกวนต่าง ๆ

4.1.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบกับโมเดลของปัญหา

ในการพิจารณาข้อมูลที่ทดสอบมาข้างต้น (ตั้งแต่ตารางที่ 4.1.27 – 4.1.36) พบว่าปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความลักษณะของปัญหา (ฟังก์ชัน) ขนาดของปัญหา (จำนวนปัจจัย) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0, 1, 2 และ 3 สามารถสรุปและจัดหมวดหมู่ตามผลวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยผลตอบแทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าอัตราส่วนเอสต่อเอ็น (S/N ratio) ดังตารางที่ 4.1.37

โดยลักษณะของปัญหา (ชนิดของฟังก์ชัน) จะส่งผลต่อวิธีการต่าง ๆ ในกรณีี่ขนาดของปัญหา (จำนวนปัจจัย 2 ปัจจัย) และระดับสิ่งรบกวนเท่ากับ 0 นั้น วิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษเป็นวิธีการที่อ้างอิงจากจุดเริ่มต้น ถ้าจุดเริ่มต้นเป็นจุดที่ดีก็จะส่งผลต่อกระบวนการค้นหาคำตอบ ที่ดีด้วย ดังนั้นจึงหยุดการทดสอบ วิธีซิมเพล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษไว้ที่จำนวน ปัจจัยที่ 2 ปัจจัยเท่านั้น

ในกรณีของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช และวิธีซฟเฟิลพรอกลิปปิงเป็นวิธีการที่สร้างคำตอบไว้เป็นชุด ก่อนทำการปรับปรุงซึ่งถือเป็นวิธีการที่ดี เนื่องจากข้อมูลที่มากขึ้นทำให้ความเป็นไปได้ในการค้นหาคำตอบมากขึ้นตามลำดับ ในข้อมูลที่นำมาทดสอบข้างต้น แบ่งออกเป็นหมวดหมู่ของสมการได้ 3 รูปแบบ คือ สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดเพียงจุดเดียว สมการที่มีค่าที่สูงที่สุดอยู่ ณ บริเวณขอบของพื้นที่ และสมการที่มีจุดที่สูงที่สุดหลายยอด

ผลจากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าผลตอบแทน (Yield) ที่เหมาะสมที่สุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่าง ที่หาได้ภายใต้สิ่งรบกวนที่มีค่าสุ่มที่ 0 – 3 มีความแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละสมการ ผลตอบแทนเฉลี่ยภายใต้สิ่งรบกวนต่ำจะมีค่าน้อยกว่าภายใต้สิ่งรบกวนสูงตามลำดับ ค่าอัตราส่วนเอสต่อเอ็น (S/N ratio) มีค่าใกล้เคียงกัน เวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) วิธีซฟเฟิลพรอกลิปปิง ใ้เวลามากกว่า วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช และ ในกรณีของสมการคาเมลแบค ค่าผลตอบแทน (Yield) ของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชดีกว่าวิธีซฟเฟิลพรอกลิปปิง เนื่องจากองค์ประกอบของสมการ มี ฟังก์ชัน Log เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งมีผลทำให้ค่าของสมการลู่เข้าสู่ 0 ระบบการค้นหาคำตอบวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชถือว่าเป็นวิธีการที่ดีมากในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากให้ค่าที่สูงกว่าระบบการค้นหาคำตอบแบบอื่นมาก

ในส่วนสมการอื่นจะไม่สามารถเห็นความแตกต่างกัน ในการหาคำตอบของแต่ละวิธีการได้มากนัก เนื่องจากสมการที่นำมาทดสอบอาจมีความซับซ้อนไม่มากเพียงพอแสดงได้ดังตาราง ที่ 4.1.37 ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้จากสมการที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดทางทรัพยากร

ตารางที่ 4.1.37
สรุปผลค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ S/N-Ratio

Model	Heuristic	2 Variables			3 Variables		
		Average response	SD	S/N ratio	Average response	SD	S/N ratio
Branin	SFLA	5.400	0.000	14.648	-	-	-
	HSA	5.400	0.000	14.648	-	-	-
	SMS	3.921	0.369	11.762	-	-	-
Camelback	SFLA	31.969	0.613	30.090	-	-	-
	HSA	116.209	1.466	41.303	-	-	-
	SMS	7.496	1.924	16.710	-	-	-
Goldstein Price	SFLA	9.523	0.000	19.575	-	-	-
	HSA	9.523	0.000	19.575	-	-	-
	SMS	5.602	1.074	14.534	-	-	-
Parabolic	SFLA	12.000	0.000	21.584	12.000	0.000	21.584
	HSA	12.000	0.000	21.584	12.000	0.000	21.584
	SMS	11.973	0.087	21.564	-	-	-
Rastrigin	SFLA	100.000	0.000	40.000	120.000	0.000	41.584
	HSA	100.000	0.000	40.000	120.000	0.000	41.584
	SMS	86.540	8.296	38.630	-	-	-
Rosenbrock	SFLA	80.000	0.000	38.062	80.000	0.000	38.062
	HSA	80.000	0.000	38.062	80.000	0.000	38.062
	SMS	79.821	0.390	38.042	-	-	-
Shekel	SFLA	18.981	0.000	25.566	18.680	0.000	25.427
	HSA	18.981	0.000	25.566	18.680	0.000	25.427
	SMS	16.661	1.630	24.316	-	-	-
Styblinski	SFLA	353.332	0.000	50.964	353.332	0.000	50.964
	HSA	353.328	0.006	50.964	353.332	0.000	50.964
	SMS	331.813	10.437	50.408	-	-	-

จากข้อมูลข้างต้นสามารถทำการสรุปผลการทดสอบกับปัญหาพื้นผิวตอบสนอง ทั้ง ส่วนของข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1.38

สรุปข้อดีและข้อด้อยระหว่างวิธีฮาร์โมนีซีรีส์และ วิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปีง

	ข้อดี	ข้อด้อย
วิธีซิมเพิล็กซ์ปรับขนาดแบบพิเศษ	1. เวลาในการหาคำตอบ ในกรณีที่มีสิ่งรบกวนในระบบต่ำ หรือระบบไม่มีสิ่งรบกวนทำงานได้เร็วมาก 2. การกระจายตัวของข้อมูลทำได้ค่อนข้างดีที่สภาพไม่มีสิ่งรบกวนในระบบ 3. ค่าผลตอบสนองที่ได้ในกรณีสิ่งรบกวนต่ำอยู่ในเกณฑ์ดี 4. สามารถใช้หาคำตอบของปัญหาพื้นผิวได้ดีที่ปัญหาขนาด 2 ปัจจัย บางสมการ	1. ค่าผลตอบสนองและเวลาในการหาคำตอบ ขึ้นอยู่กับจุดเริ่มต้นและความซับซ้อนของปัญหา 2. การกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง และความสามารถทนต่อสิ่งรบกวน และสภาพความซับซ้อนค่อนข้างต่ำ 3. ค่าผลตอบสนองที่ได้ในกรณีสิ่งรบกวนสูง และขนาดของปัญหาตั้งแต่ 2 ปัจจัยระดับปานกลาง
วิธีฮาร์โมนีซีรีส์	1. เวลาในการหาคำตอบ ค่อนข้างเร็ว และค่อนข้างสม่ำเสมอทั้ง ๆ ที่มีสิ่งรบกวนแตกต่างกัน หรือ มีความซับซ้อนของปัญหาต่างกัน 2. การกระจายของคำตอบในแต่ละซ้ำค่อนข้างสม่ำเสมอ และทนต่อสิ่งรบกวนในระบบสูง 3. ใช้จำนวนชุดของข้อมูลไม่มาก ไม่มี การปรับระดับทั้งเพิ่มและลดและมีเงื่อนไขการหยุดที่ชัดเจน 4. ความซับซ้อนของอัลกอริทึมต่ำ	1. ค่าผลตอบสนองและเวลาในการหาคำตอบ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของค่าพารามิเตอร์ และค่าคงที่ต่างๆในระบบและความซับซ้อนของปัญหา 2. การกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างต่ำ และความสามารถทนต่อสิ่งรบกวน และสภาพความซับซ้อนค่อนข้างสูง 3. ค่าผลตอบสนองที่ได้ในกรณีสิ่งรบกวนสูง และขนาดของปัญหาตั้งแต่ 2 และ 3 ปัจจัยระดับสูงมาก
วิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปีง	1. เวลาในการหาคำตอบ ค่อนข้างเร็ว และค่อนข้างสม่ำเสมอทั้ง ๆ ที่มีสิ่งรบกวนแตกต่างกัน หรือ มีความซับซ้อนของปัญหาต่างกัน 2. การกระจายของคำตอบในแต่ละซ้ำค่อนข้างสม่ำเสมอ และทนต่อสิ่งรบกวนในระบบสูง 3. ใช้จำนวนชุดของข้อมูลจำนวนมาก มีการปรับปรุงจากตัวที่แย่ที่สุดและมีเงื่อนไขการหยุดที่ชัดเจน 4. ความซับซ้อนของอัลกอริทึมปานกลาง	1. เวลาในการหาคำตอบจะยิ่งนานขึ้น ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด(จำนวนกบและมิมิเฟลิก)และความซับซ้อนของปัญหา 2. การปรับปรุงคำตอบไม่มีโอกาสที่จะสุ่มค่าใหม่ขึ้นมาเพิ่มเติม 3. การปรับปรุงแต่เพียงค่าที่แย่ที่สุดในแต่ละ มิมิเฟลิก เท่านั้น 4. การกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างต่ำ และความสามารถทนต่อสิ่งรบกวน และสภาพความซับซ้อนค่อนข้างสูง

4.2 การทดสอบวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช และวิธีฟิเลฟรอกลิปกับตัวแบบของปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากร

การนำวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชและวิธีฟิเลฟรอกลิปมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหา ในกรณีที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากร เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยรูปแบบของปัญหาที่นำมาทดสอบเป็นลักษณะของปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดของสมการ โดยมีเงื่อนไขของตัวแปรในแต่ละแบบที่แตกต่างกันในแต่ละตัวแบบปัญหา โดยมีค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ ประกอบด้วย ค่าผลตอบแทน (Yield) ค่าจำนวนครั้งในการได้รับคำตอบสุดท้าย (Design Points) และเวลาในการประมวลผลโปรแกรม (Execution Time) โดยมีผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.2.1 – 4.2.4 ซึ่งสามารถระบุความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ โดยไม่มีสิ่งรบกวน (Noise) ออกมาในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ แบบมีข้อจำกัด (Constraints) ต่าง ๆ

โดยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชใช้ค่าพารามิเตอร์ คือ จำนวนวนซ้ำ (Iteration) มีค่าเท่ากับ 20,000, ตัวแปรตัดสินใจ (HMCR) มีค่าเท่ากับ 0.90, ตัวแปรปรับระดับ (PAR) มีค่าเท่ากับ 0.5, ขนาดของความจำ (HMS) มีค่าเท่ากับ 20 (ภาคผนวก ก) ส่วนวิธีฟิเลฟรอกลิปใช้ค่าพารามิเตอร์ จำนวนวนซ้ำ (Iteration) มีค่าเท่ากับ 800 จำนวนของกบ (Number of Frogs) มีค่าเท่ากับ 100 และมิมิเพล็กซ์ (Memeplex) มีค่าเท่ากับ 25 (ภาคผนวก ก)

4.2.1 ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 1 (Constrained Problem I)

$$\begin{aligned} \text{MIN } f(x) &= (x_1^2 + x_2 - 11)^2 + (x_1 + x_2^2 - 7)^2, \\ \text{Subject to} \\ 4.84 - (x_1 - 0.05)^2 - (x_2 - 2.5)^2 &\geq 0 \\ x_1^2 + (x_2 - 2.5)^2 - 4.84 &\geq 0 \\ 0 \leq x_1 \leq 6, 0 \leq x_2 \leq 6 \end{aligned}$$

สมการที่นำมาทดสอบอัลกอริทึมของวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชและวิธีฟิเลฟรอกลิป เป็นสมการที่ต้องการหาผลตอบแทนที่น้อยที่สุด โดยมีสมการเงื่อนไขที่มีการยกกำลังและมีตัวแปร 2 ค่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 1 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1

ผลการทดสอบปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 1

	Constrained Problem 1					
	HSA			SFLA		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	5000	13.591	1103.803	5000	13.773	1001.588
Std. Dev.	0	0.000	2.530	0	0.149	1.022
Max	5000	13.592	1106.969	5000	14.099	1002.977
Min	0	13.591	1097.875	0	13.600	1000.176
S/N ratio	0	22.665		0	22.779	

4.2.2 ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 2 (Constrained Problem 2)

$$\text{MIN } f(x) = 5.357847x_3^2 + 0.8356891x_1x_5 + 37.293239x_1 + 40792.141$$

Subject to

$$85.334407 + 0.0056858x_2x_5 + 0.0006262x_1x_4 - 0.002205x_3x_5 \geq 0$$

$$85.334407 + 0.0056858x_2x_5 + 0.0006262x_1x_4 - 0.002205x_3x_5 \leq 92$$

$$80.51249 + 0.0071317x_2x_5 + 0.0029955x_1x_2 - 0.0021813x_3^2 \geq 90$$

$$80.51249 + 0.0071317x_2x_5 + 0.0029955x_1x_2 - 0.0021813x_3^2 \leq 110$$

$$9.300961 + 0.0047026x_3x_5 + 0.0012547x_1x_3 - 0.0019085x_3x_4 \geq 20$$

$$9.300961 + 0.0047026x_3x_5 + 0.0012547x_1x_3 - 0.0019085x_3x_4 \leq 25$$

$$78 \leq x_1 \leq 102, 33 \leq x_2 \leq 45, 27 \leq x_i \leq 45, i=3,4,5$$

สมการที่นำมาทดสอบอัลกอริทึมของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชและวิธีซีฟเฟิลฟรอกลิปปิงเป็นสมการที่ต้องการหาผลคูณของที่น้อยที่สุด โดยมี สมการเงื่อนไขที่มีการยกกำลังและมีตัวแปร 5 ค่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 2 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2.2

ตารางที่ 4.2.2

ผลการทดสอบปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 2

	Constrained Problem 2					
	HSA			SFLA		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	20000	-31521.012	2174.385	20000	-30721.035	1268.200
Std. Dev.	0	86.222	58.672	0	64.240	6.097
Max	20000	-31393.146	2240.083	20000	-30666.575	1276.999
Min	0	-31726.641	2095.608	0	-30843.988	1259.345
S/N ratio	0	89.972		0	89.749	

4.2.3 ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 3 (Constrained Problem 3)

$$\begin{aligned}
 \text{MIN } f(x) &= (x_1 - 10)^2 + 5(x_2 - 12)^2 + x_3^4 + 3(x_4 - 11)^2 \\
 &+ 10x_5^6 + 7x_6^2 + x_7^4 - 4x_6x_7 - 10x_6 - 8x_7 \\
 \text{subject to} \\
 127 - 2x_1^2 - 3x_2^4 - x_3 - 4x_4^2 - 5x_5 &\geq 0 \\
 282 - 7x_1 - 3x_2 - 10x_3^2 - x_4 + x_5 &\geq 0 \\
 196 - 23x_1 - x_2^2 - 6x_6^2 + 8x_7 &\geq 0 \\
 -4x_1^2 - x_2^2 + 3x_1x_2 - 2x_3^2 - 5x_6 + 11x_7 &\geq 0 \\
 -10 \leq x_i \leq 10, i=1, \dots, 7
 \end{aligned}$$

สมการที่นำมาทดสอบอัลกอริทึมของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชและวิธีซัพเฟิลพรอกลิปปีง เป็นสมการที่ต้องการหาผลตอบสนองที่น้อยที่สุด โดยมีสมการเงื่อนไขที่มีการยกกำลังและมีตัวแปร 7 ค่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 2 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2.3

ตารางที่ 4.2.3

ผลการทดสอบปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 3

	Constrained Problem 3					
	HSA			SFLA		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	20000	683.415	2649.814	20000	693.554	1933.367
Std. Dev.	0	0.491	235.819	0	4.238	19.251
Max	20000	684.463	2889.604	20000	698.871	2001.625
Min	0	682.959	2310.697	0	686.963	1923.981
S/N ratio	0	56.694		0	56.821	

4.2.4 ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 4 (Constrained Problem 4)

$$\text{MIN } f(x) = -x_1 - x_5 + 0.4x_1^{0.67}x_3^{-0.67} + 0.4x_5^{0.67}x_7^{-0.67}$$

Subject to

$$0.05882x_3x_4 + 0.1x_1 \leq 1$$

$$0.05882x_7x_8 + 0.1x_1 + 0.1x_5 \leq 1$$

$$4x_2x_4^{-1} + 2x_2^{-0.71}x_4^{-1} + 0.05882x_2^{-1.3}x_3 \leq 1$$

$$4x_6x_8^{-1} + 2x_6^{-0.71}x_8^{-1} + 0.05882x_6^{-1.3}x_7 \leq 1$$

$$0.01 \leq x_i \leq 10, i = 1, \dots, 8$$

สมการที่นำมาทดสอบอัลกอริทึมของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชและวิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิง เป็นสมการที่ต้องการหาผลตอบสนองที่น้อยที่สุด โดยมี สมการเงื่อนไขที่มีการยกกำลังที่มีค่าเป็นจุดทศนิยม และมีตัวแปร 8 ค่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 4 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2.4

ตารางที่ 4.2.4

ผลการทดสอบปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 4

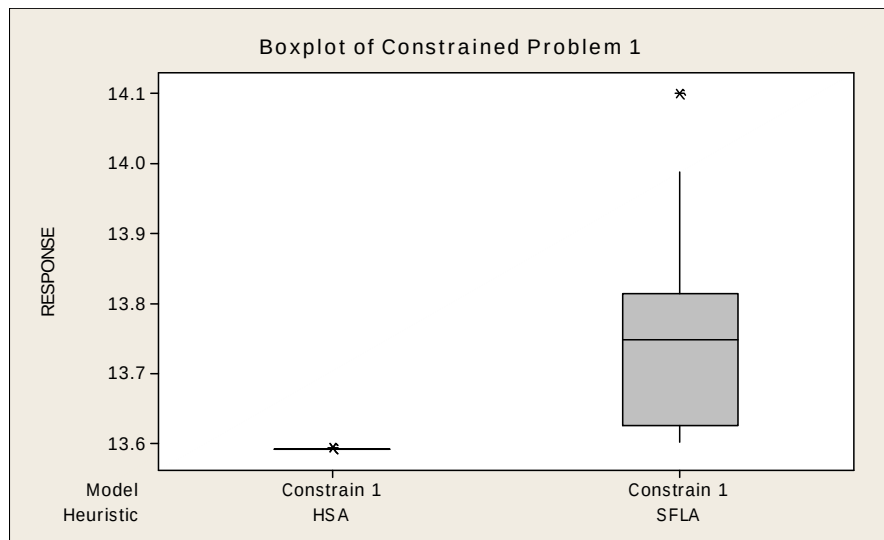
	Constrained Problem 4					
	HSA			SFLA		
	ครั้ง	Yield	เวลา	ครั้ง	Yield	เวลา
Average	20000	-16.896	2015.412	20000	-16.603	2366.523
Std. Dev.	0	0.403	65.635	0	0.254	18.483
Max	20000	-16.395	2125.599	20000	-16.092	2392.411
Min	0	-17.840	1963.861	0	-17.006	2340.135
S/N ratio	0	24.550		0	24.401	

4.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบกับปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากร

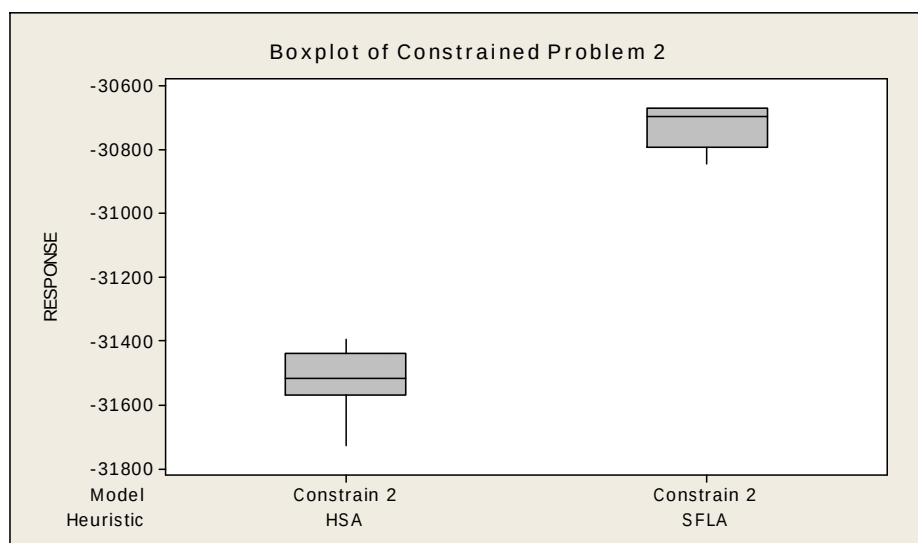
ข้อมูลที่ได้จากปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรมาข้างต้นพบว่า ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความลักษณะของปัญหา (ฟังก์ชัน) ขนาดของปัญหา (จำนวนปัจจัย) สามารถสรุปและจัดหมวดหมู่ตามผลวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยผลตอบแทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าอัตราส่วนเอสต่อเอ็น (S/N ratio) ตารางที่ 4.38 – 4.41

วิธีฮาร์โมนีซีรีส์และวิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิงซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาในกรณีที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุด (Minimization) พบว่า ค่าเฉลี่ยของผลตอบแทนที่เหมาะสมที่สุด วิธีฮาร์โมนีซีรีส์ (HSA) สามารถหาค่าได้ดีกว่าวิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิง (SFLA) ค่าอัตราส่วนเอสต่อเอ็น (S/N ratio) มีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของการกระจายของข้อมูลที่เกิดขึ้นพบว่า วิธีฮาร์โมนีซีรีส์ (HSA) ดีกว่า วิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิง (SFLA)

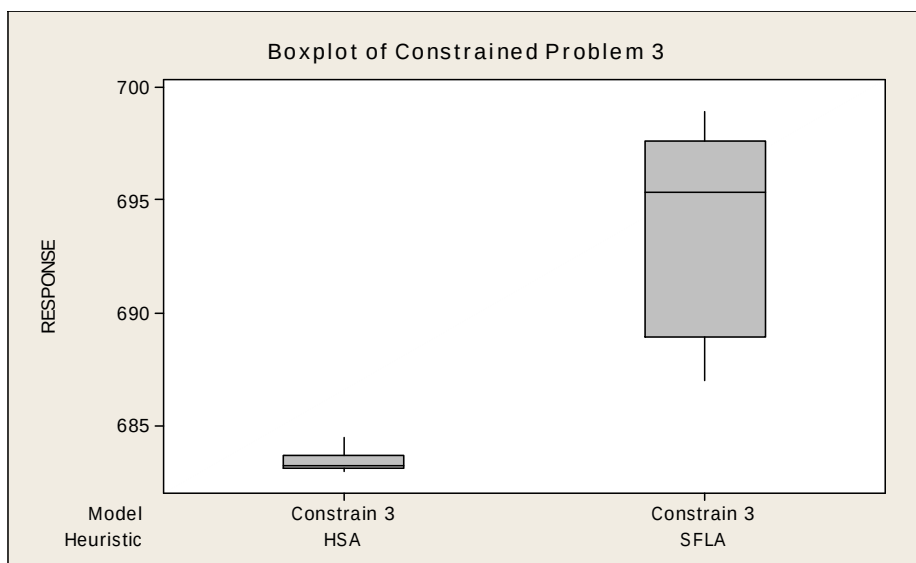
หากทำการพิจารณาบอกซ์พลอตดังภาพที่ 4.2.1 - 4.2.4 จะสังเกตได้ว่า วิธีฮาร์โมนีซีรีส์ (HSA) มีค่าผลตอบแทนที่ดีกว่า วิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิง (SFLA) และยังพบข้อสังเกตที่น่าสนใจจะระหว่างการทดสอบกรณีที่สมการมีข้อจำกัดทางทรัพยากรกล่าวคือ วิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิงจะให้คำตอบได้เร็วกว่าวิธีฮาร์โมนี แต่ในตัวของปัญหาที่ไม่มีสมการข้อจำกัดจะพบว่าวิธีฮาร์โมนี จะสามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงวิธีซัพเฟิลพรอกลิปปิง



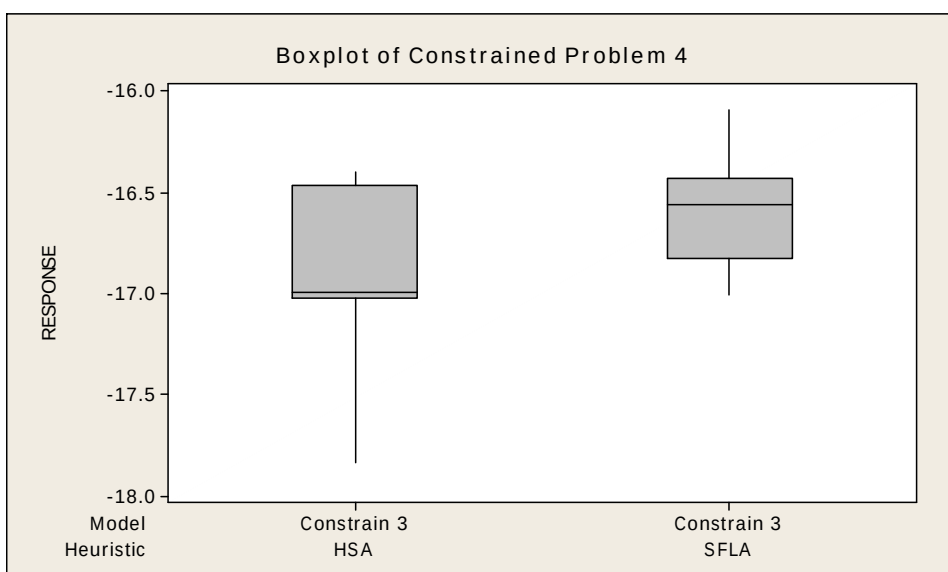
ภาพที่ 4.2.1
 บ็อกซ์พลอต ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 1



ภาพที่ 4.2.2
 บ็อกซ์พลอต ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 2



ภาพที่ 4.2.3
 บอกร์พลอต ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 3



ภาพที่ 4.2.4
 บอกร์พลอต ปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรที่ 4

จากข้อมูลที่ได้จากปัญหาที่มีข้อจำกัดทางทรัพยากรมาข้างต้น พบว่าปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความลักษณะของปัญหา (ฟังก์ชัน) ขนาดของปัญหา (จำนวนปัจจัย) สามารถสรุปข้อดีข้อเสีย ตารางที่ 4.2.5

ตารางที่ 4.2.5

สรุปข้อดีและข้อด้อยระหว่างวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชและ วิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปีง

	ข้อดี	ข้อด้อย
วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (HSA)	1. เวลาในการหาคำตอบ ค่อนข้างมาก 2. การกระจายตัวของข้อมูลทำได้ดี 3. ค่าผลตอบแทนที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี 4. ความซับซ้อนของอัลกอริทึมต่ำ	1. ค่าผลตอบแทนและเวลาในการหาคำตอบ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของค่าพารามิเตอร์และค่าคงที่ต่างๆในระบบและความซับซ้อนของปัญหา 2. การกระจายของข้อมูลที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูงในบางสมการ
วิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปีง (SFLA)	1. เวลาในการหาคำตอบค่อนข้างดี 2. การกระจายตัวของข้อมูลทำได้ดี 3. ค่าผลตอบแทนที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี 4. ความซับซ้อนของอัลกอริทึมต่ำ	1. ค่าผลตอบแทนและเวลาในการหาคำตอบ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของค่าพารามิเตอร์และค่าคงที่ต่างๆในระบบและความซับซ้อนของปัญหา 2. การกระจายของข้อมูลที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูงในบางสมการ

กล่าวโดยสรุป สามารถระบุได้ว่าวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช ที่พัฒนาขึ้นมาโดยการนำวิธีการสำรวจตัวแปรใกล้เคียงมาผสมผสานนั้นสามารถค้นหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีซัพเฟิลฟรอกลิปปีงที่พัฒนาขึ้นมาโดยการนำ วิธีการสำรวจตัวแปรใกล้เคียงมาผสมผสาน ดังนั้นการเลือกใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชจึงเหมาะสมกับปัญหาต่าง ๆ จึงน่าจะเป็นการจัดการในการหาคำตอบของปัญหาได้ดีที่สุด