

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาการวางแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบ ได้แก่ แผนการทดลองละตินไฮเปอร์คิวบ์อย่างสุ่ม แผนการทดลองละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่สมมาตรและแผนการทดลองละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่สร้างจากหลักการแถวลำดับเชิงตั้งฉาก สำหรับใช้ในการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการพิจารณาคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบที่กล่าวมาข้างต้น เปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ของตัวแบบทางสถิติ ได้แก่ RSM และตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิจัยตามลำดับ ดังนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ผลการวิจัย

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย

สัญลักษณ์ที่ใช้ในผลการวิจัย มีดังนี้

n	แทน จำนวนจุดทดลอง
d	แทน จำนวนตัวแปรอิสระ
RLHD	แทน แผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์อย่างสุ่ม
SLHD	แทน แผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่สมมาตร
OALHD	แทน แผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่สร้างจากหลักการแถว

ลำดับเชิงตั้งฉาก

Corr แทน ค่าที่ได้จากเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม คือค่าเฉลี่ยของ

สหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง

MinD	แทน ค่าต่ำที่สุดของระยะทางแบบยุคลิด
Min	แทน ค่าต่ำสุด
Max	แทน ค่าสูงสุด

พิสัย	แทน	ผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด (พิสัย = Max - Min)
Mean	แทน	ค่าเฉลี่ย
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
C.V.	แทน	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variation)

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม

ส่วนที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ของตัวแบบทางสถิติที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม

ซึ่งรายละเอียดของผลการวิจัยทั้งหมดแสดงในภาคผนวกตั้งแต่นำ 92-104 และรายละเอียดของผลการวิจัยในแต่ละส่วน มีดังนี้

ส่วนที่ 1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม

การวิจัยในครั้งนี้ สิ่งที่ต้องสร้างเป็นอันดับแรกคือ แผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ RLHD, SLHD และ OALHD จากขั้นตอนวิธีการสืบค้น คือ SA ภายใต้เกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสมคือ เกณฑ์ ϕ_p ซึ่งผู้วิจัยจะสร้างแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมแบบต่าง ๆ แบบละ 10 แผนการทดลองที่แตกต่างกันโดยใช้ค่าตั้งต้นที่แตกต่างกัน เมื่อสร้างแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมแบบต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไป คือ การเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมแบบต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่าสถิติเบื้องต้นคือ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันภายใต้การพิจารณาเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม 3 เกณฑ์ได้แก่ เกณฑ์ ϕ_p เกณฑ์แมกซิมินและค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง ซึ่งผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมจากเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม 3 เกณฑ์ดังกล่าว จะแสดงในตาราง 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

ตาราง 5 แสดงค่าที่ได้จากเกณฑ์ ϕ_p ของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์
ที่เหมาะสม 3 แบบ สำหรับ CSE

d	n	แผนการทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
2	9	RLHD	4.2735	4.3446	0.0711	4.3011	0.03563	0.8284
		SLHD	4.2735	5.2685	0.9950	4.7771	0.29	6.0697
		OALHD	4.2735	4.3446	0.0711	4.3011	0.03563	0.8284
3	16	RLHD	4.3483	4.4358	0.0875	4.3875	0.0303	0.6897
		SLHD	4.4544	4.6449	0.1905	4.4948	0.0558	1.2406
		OALHD	4.3436	4.4156	0.0720	4.3749	0.0224	0.5118
4	16	RLHD	3.3633	3.4050	0.0417	3.3783	0.0129	0.3812
		SLHD	3.4077	3.4725	0.0648	3.4351	0.0188	0.5484
		OALHD	3.3654	3.3935	0.0281	3.3729	0.0100	0.2965
5	16	RLHD	2.8411	2.8600	0.0189	2.8495	0.0063	0.2213
		SLHD	2.8830	2.9430	0.0600	2.8953	0.0183	0.6337
		OALHD	2.8405	2.8616	0.0211	2.8482	0.0066	0.2316
6	25	RLHD	3.2324	3.2612	0.0289	3.2441	0.0092	0.2832
		SLHD	3.3274	3.3389	0.0114	3.3314	0.0036	0.1078
		OALHD	3.2356	3.2513	0.0157	3.2428	0.0053	0.1648
7	49	RLHD	4.1200	4.1460	0.0260	4.1250	0.0077	0.1871
		SLHD	4.1543	4.1723	0.0180	4.1622	0.0065	0.1559
		OALHD	4.1165	4.1338	0.0173	4.1236	0.0053	0.1276
8	49	RLHD	3.7656	3.7793	0.0136	3.7721	0.0039	0.1037
		SLHD	3.8211	3.8281	0.0070	3.8243	0.0023	0.0600
		OALHD	3.7665	3.7839	0.0174	3.7714	0.0052	0.1375

ตาราง 5 (ต่อ)

d	n	แผนการทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
9	64	RLHD	3.9630	3.9730	0.0100	3.9673	0.0032	0.0817
		SLHD	3.9753	3.9848	0.0095	3.9784	0.0032	0.0800
		OALHD	3.9639	3.9706	0.0067	3.9669	0.0018	0.0466
10	81	RLHD	4.1332	4.1409	0.0076	4.1368	0.0025	0.0601
		SLHD	4.1714	4.1798	0.0084	4.1755	0.0026	0.0616
		OALHD	4.1322	4.1388	0.0066	4.1363	0.0022	0.0530

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตาราง 5 เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบ คือ RLHD, SLHD และ OALHD จากเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสมคือ เกณฑ์ ϕ_p พบว่า ส่วนใหญ่แล้ว OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นแผนการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยของ ϕ_p ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่นๆ สำหรับ แต่ละมิติปัญหา ($d = 2, 3, \dots, 10$) รองลงมาคือ RLHD และ SLHD ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาพิสัยและ C.V. ของ ϕ_p เพื่อดูความเสถียรของวิธีการสร้างแผนการทดลองในแต่ละมิติปัญหา พบว่า ในกรณี $d = 3, 4, 7, 9$ และ 10 นั้น OALHD จะมีค่าพิสัยและ C.V. ของ ϕ_p น้อยกว่า RLHD และ SLHD ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มิติปัญหาดังกล่าว OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรมากกว่าแผนการทดลองแบบอื่นๆ สำหรับกรณีที่ $d = 6$ นั้น พิสัยและ C.V. ของ SLHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรที่สุด อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแผนการทดลองแบบ SLHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของ ϕ_p สำหรับแผนการทดลองแบบ OALHD มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของ ϕ_p สำหรับแผนการทดลองแบบ SLHD จึงกล่าวได้ว่า ในมิติปัญหา 6 มิตินั้น OALHD จึงเป็นแผนการทดลองที่เหมาะสม เมื่อพิจารณากรณี $d = 5$ RLHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรที่สุด รองลงมาคือ OALHD และ SLHD ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า ϕ_p จะได้ว่า แผนการทดลอง RLHD และ OALHD มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ส่วนกรณี $d = 8$ นั้น SLHD จะมีค่าพิสัยและ C.V. น้อยที่สุด ดังนั้นแผนการทดลองดังกล่าวจึงเป็นแผนการทดลองที่เสถียรที่สุด รองลงมาคือ RLHD และ OALHD ตามลำดับ นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจที่ในกรณีที่ $d = 2$ นั้น RLHD และ OALHD ต่างก็มี

ค่าพิสัยและ C.V. น้อยกว่า SLHD จึงกล่าวได้ว่า แผนการทดลองทั้งสองเป็นแผนการทดลองที่เสถียรกว่าแผนการทดลองแบบ SLHD ในมิติปัญหาดังกล่าว

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การค้นหาแผนการทดลองที่เหมาะสมโดยใช้แผนการทดลองที่แตกต่างกันจำนวน 10 ข้างของแผนการทดลองแบบ LHD ทั้ง 3 แบบนี้ ส่วนใหญ่แล้ว OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่ดีที่สุดและเสถียรที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่า OALHD เป็นแผนการทดลองที่มีความแกร่งต่อแผนการทดลองตั้งต้นที่แตกต่างกัน

ตาราง 6 แสดงค่าที่ได้จากเกณฑ์แม็กซิมินของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบ สำหรับ CSE

d	n	แผนการ- ทดลอง	ค่าต่ำสุด ของ MinD	ค่าสูงสุด ของ MinD	พิสัยของ MinD	ค่าเฉลี่ย ของ MinD	S.D. ของ MinD	C.V.(%) ของ MinD
2	9	RLHD	0.3536	0.3953	0.0417	0.3786	0.0215	5.6921
		SLHD	0.2795	0.3536	0.0740	0.3133	0.0453	14.4452
		OALHD	0.3536	0.3953	0.0417	0.3786	0.0215	5.6921
3	16	RLHD	0.3944	0.4472	0.0528	0.4219	0.0150	3.5648
		SLHD	0.3651	0.4320	0.0669	0.4051	0.0193	4.7570
		OALHD	0.3944	0.4472	0.0528	0.4229	0.0180	4.2482
4	16	RLHD	0.5774	0.6037	0.0263	0.5891	0.0067	1.1440
		SLHD	0.5249	0.5888	0.0639	0.5657	0.0222	3.9207
		OALHD	0.5735	0.6146	0.0411	0.5909	0.0117	1.9839
5	16	RLHD	0.7180	0.7572	0.0392	0.7371	0.0142	1.9275
		SLHD	0.6700	0.7272	0.0573	0.7069	0.0167	2.3600
		OALHD	0.7303	0.7601	0.0298	0.7441	0.0106	1.4304
6	25	RLHD	0.7009	0.7884	0.0874	0.7544	0.0242	3.2093
		SLHD	0.7059	0.7348	0.0289	0.7191	0.0095	1.3197
		OALHD	0.7229	0.7828	0.0600	0.7603	0.0158	2.0801
7	49	RLHD	0.7068	0.7555	0.0487	0.7381	0.0151	2.0447
		SLHD	0.7108	0.7635	0.0527	0.7412	0.0159	2.1486
		OALHD	0.7184	0.7578	0.0394	0.7413	0.0110	1.4894

ตาราง 6 (ต่อ)

d	n	แผนการ- ทดลอง	ค่าต่ำสุด ของ MinD	ค่าสูงสุด ของ MinD	พิสัยของ MinD	ค่าเฉลี่ย ของ MinD	S.D. ของ MinD	C.V.(%) ของ MinD
8	49	RLHD	0.8074	0.8580	0.0506	0.8264	0.0143	1.7346
		SLHD	0.8058	0.8265	0.0207	0.8188	0.0064	0.7805
		OALHD	0.7892	0.8498	0.0606	0.8302	0.0196	2.3622
9	64	RLHD	0.8398	0.8791	0.0393	0.8677	0.0139	1.6046
		SLHD	0.8535	0.8892	0.0357	0.8690	0.0137	1.5725
		OALHD	0.8639	0.8896	0.0257	0.8770	0.0080	0.9175
10	81	RLHD	0.8700	0.9321	0.0621	0.9092	0.0185	2.0332
		SLHD	0.9057	0.9153	0.0096	0.9113	0.0036	0.3999
		OALHD	0.8688	0.9279	0.0590	0.9116	0.0180	1.9795

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีการสร้างแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมแต่ละแบบ โดยใช้แผนการทดลองตั้งต้นที่แตกต่างกันแบบละ 10 แผนการทดลองที่ได้จากการใช้ขั้นตอนวิธีการ สืบค้น SA ภายใต้เกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม ϕ_p ดังนั้นในการพิจารณาเกณฑ์แม็กซิมิน จะพิจารณาจากค่าระยะทางแบบยุคลิดที่ต่ำที่สุด (MinD) ในแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมแบบละ 10 ค่า จากนั้นจึงนำ MinD ทั้ง 10 ค่ามาคำนวณค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็น ค่าเฉลี่ยของ MinD ในแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมทั้ง 3 แบบ ดังนั้นสำหรับแต่ละมิติ ปัญหาจึงสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของ MinD จำนวน 3 ค่าสำหรับแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน 3 แบบ จากนั้นจึงพิจารณาเปรียบเทียบค่าทั้ง 3 ค่านี้ โดยใช้เกณฑ์ว่า แผนการทดลองแบบใดมีค่าดังกล่าวสูงที่สุด จะถือว่าเป็นแผนการทดลองที่ดีที่สุด ในมิติปัญหานั้น ๆ

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตาราง 6 เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสม 3 แบบจากเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสมคือ เกณฑ์แม็กซิมิน พบว่า OALHD จะมีค่า MinD โดยเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ RLHD และ SLHD ตามลำดับสำหรับกรณีนี้ $d = 3, 4, 5, 6, 8$ ส่วนในกรณีที่ $d = 7, 9, 10$ นั้น OALHD จะมีค่า MinD โดยเฉลี่ยสูงที่สุดเช่นเดิม รองลงมาคือ SLHD และ RLHD ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่า ส่วนใหญ่แล้ว OALHD จะเป็น แผนการทดลองที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาพิสัยและ C.V. ของเกณฑ์แม็กซิมินสำหรับมิติปัญหา 3 ถึง 10 มิติ เพื่อดู ความเสถียรของวิธีการสร้างแผนการทดลองพบว่า การค้นหาแผนการทดลองแบบ LHD

ที่เหมาะสมจากการใช้แผนการทดลองตั้งต้นแบบต่าง ๆ ที่แตกต่างกันแบบละ 10 ชั่วโมง ในกรณีมิติปัญหา 5 มิติ 7 มิติ และ 9 มิติ นั้น OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรมากกว่าแผนการทดลองแบบอื่น ๆ ส่วนกรณีมิติปัญหา 6 มิติ 8 มิติ และ 10 มิติ นั้น SLHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรที่สุดและ RLHD จะเป็นแผนการทดลองที่เสถียรมากกว่าแผนการทดลองอื่น ๆ ในมิติปัญหา 3 มิติ และ 4 มิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเกณฑ์แมกซ์มินจะได้ว่า แผนการทดลองแบบ OALHD และ SLHD มีคุณสมบัติที่ดีกว่า RLHD

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณามิติปัญหา 2 มิติ นั้น พบว่า RLHD และ OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่ดีใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีค่า MinD โดยเฉลี่ยที่เท่ากันและมีค่าสูงกว่าค่า MinD โดยเฉลี่ยของ SLHD ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการพิจารณาพิสัยและ C.V. ของเกณฑ์แมกซ์มิน เนื่องจากทั้งสองแผนการทดลองต่างก็มีค่าพิสัยและ C.V. ที่น้อยกว่า SLHD จึงกล่าวได้ว่า แผนการทดลองทั้งสองแบบเป็นแผนการทดลองที่เสถียรมากกว่าแผนการทดลองแบบ SLHD สำหรับมิติปัญหา 2 มิติ

ตาราง 7 แสดงค่าที่ได้จากค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลองในแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบ สำหรับ CSE

d	n	แผนการทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
2	9	RLHD	0.0000	0.0833	0.0833	0.0167	0.0351	210.8185
		SLHD	-0.5000	0.6000	1.1000	0.1733	0.4391	253.3147
		OALHD	-0.0833	0.0833	0.1667	0	0.0393	-
3	16	RLHD	-0.0382	0.0471	0.0853	0.0079	0.0331	416.7345
		SLHD	-0.1275	0.1098	0.2373	0.0216	0.0808	374.4601
		OALHD	-0.0324	0.0471	0.0794	-0.0019	0.0262	-1405.7984
4	16	RLHD	-0.0578	0.0647	0.1225	-0.0079	0.0356	-448.5766
		SLHD	-0.0554	0.0980	0.1534	0.0053	0.0415	783.0241
		OALHD	-0.0407	0.0314	0.0721	-0.0027	0.0181	-671.7847

ตาราง 7 (ต่อ)

<i>d</i>	<i>n</i>	แผนการ- ทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
5	16	RLHD	-0.0150	0.0256	0.0406	-0.0028	0.0123	-441.0526
		SLHD	-0.0376	0.0506	0.0882	0.0022	0.0248	1141.5553
		OALHD	-0.0129	0.0182	0.0312	0.0006	0.0108	1933.4012
6	25	RLHD	-0.0088	0.0156	0.0244	0.0039	0.0080	201.6135
		SLHD	-0.0218	0.0119	0.0337	-0.0036	0.0100	-276.0487
		OALHD	-0.0082	0.0193	0.0275	0.0034	0.0104	301.6435
7	49	RLHD	-0.0072	0.0083	0.0154	0.0017	0.0043	257.8105
		SLHD	-0.0116	0.0086	0.0202	-0.0019	0.0075	-403.8402
		OALHD	-0.0038	0.0086	0.0124	0.0013	0.0046	339.7717
8	49	RLHD	-0.0036	0.0067	0.0103	0.0010	0.0035	339.0918
		SLHD	-0.0164	0.0095	0.0259	-0.0038	0.0075	-200.9162
		OALHD	-0.0040	0.0078	0.0118	-0.0002	0.0037	-1702.5178
9	64	RLHD	-0.0018	0.0035	0.0054	0.0010	0.0019	185.6331
		SLHD	-0.0032	0.0155	0.0187	0.0023	0.0053	233.1272
		OALHD	-0.0027	0.0032	0.0059	-4.07E-06	0.0021	-50587.9601
10	81	RLHD	-0.0027	0.0030	0.0058	0.0002	0.0021	883.9840
		SLHD	-0.0029	0.0076	0.0105	0.0025	0.0037	146.1437
		OALHD	-0.0033	0.0043	0.0076	0.0001	0.0022	1579.4033

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตาราง 7 เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม 3 แบบจากเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสมคือ ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง พบว่า สำหรับมิติปัญหา 2 มิติ 3 มิติ 7 มิติ 8 มิติ 9 มิติ และ 10 มิติ นั้น OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นแผนการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยของ Corr เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด รองลงมาคือ RLHD และ SLHD ตามลำดับ ส่วนในกรณีที่มีมิติปัญหา 4 มิติ 5 มิติ และ 6 มิติ OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่ดีที่สุดเช่นเดียวกัน แต่แผนการทดลองที่ดีรองลงมาคือ SLHD และ RLHD ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาพิสัยและ C.V. ของ Corr เพื่อดูความเสถียรของวิธีการสร้างแผนการทดลองในแต่ละมิติปัญหา พบว่า ในมิติปัญหา 3 มิติ 4 มิติ 5 มิติ และ 7 มิติ นั้น แผนการทดลองแบบ

OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่มีความเสถียรที่สุด เนื่องจากมีค่าพิสัยที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแผนการทดลองแบบอื่นๆ ถึงแม้ว่าค่า C.V. ของ Corr สำหรับ OALHD ในมิติปัญหาดังกล่าวจะมีค่ามากกว่าแผนการทดลองแบบอื่นๆ แต่เนื่องจากแผนการทดลองแบบ OALHD มีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของ Corr ของแผนการทดลอง 10 ซ้ำที่เข้าใกล้ศูนย์มากกว่าแผนการทดลองแบบอื่นๆ

ตาราง 8 แสดงผลสรุปจากการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผนการทดลองแบบละดินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม

d	n	เกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม	แผนการทดลองที่ดีที่สุด
2	9	เกณฑ์ ϕ_p	RLHD, OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	RLHD, OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
3	16	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
4	16	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
5	16	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
6	25	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
7	49	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD

ตาราง 8 (ต่อ)

d	n	เกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม	แผนการทดลองที่ดีที่สุด
8	49	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
9	64	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD
10	81	เกณฑ์ ϕ_p	OALHD
		เกณฑ์แม็กซิมิน	OALHD
		ค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง	OALHD

จากตาราง 8 จะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่แล้ว OALHD จะเป็นแผนการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละมิติปัญหาเมื่อเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสมที่พิจารณาคือ เกณฑ์ ϕ_p เกณฑ์แม็กซิมิน และค่าเฉลี่ยของสหสัมพันธ์ระหว่างสดมภ์ของแผนการทดลอง และกรณีที่มีมิติปัญหามีขนาดเล็ก คือ กรณีที่ $d = 2$ นั้นเมื่อเกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสมที่ใช้คือ เกณฑ์ ϕ_p และเกณฑ์แม็กซิมิน พบว่า RLHD และ OALHD เป็นแผนการทดลองที่ดีพอๆ กัน

หลังจากพิจารณาคูณลักษณะของแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมทั้ง 3 แบบ ซึ่งแต่ละแบบประกอบด้วยแผนการทดลองที่แตกต่างกัน 10 แผนการทดลองภายใต้เกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม 3 เกณฑ์แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการพิจารณาความแม่นยำในการพยากรณ์ของตัวแบบทางสถิติที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสม ดังรายละเอียดที่กล่าวถึงในส่วนที่ 2 ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 2 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ของตัวแบบทางสถิติที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม

ผลการวิจัยในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ของตัวแบบทางสถิติ ได้แก่ RSM และตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมแบบต่างๆ 3 แบบคือ RLHD, SLHD และ OALHD โดยใช้ปัญหาทดสอบตามตาราง 2 ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ RMSE โดยพิจารณาจากค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด พิสัย

ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันของ RMSE ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดง
ในตาราง 9

ตาราง 9 แสดงค่า RMSE ของ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบละติน
ไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมแบบต่างๆ ในแต่ละปัญหาทดสอบ

<i>d</i>	ปัญหา ทดสอบ	แผนการ- ทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
2	Welch function	RLHD	3.1486	3.4021	0.2535	3.3092	0.1114	3.3661
		SLHD	3.1721	3.9791	0.8070	3.6703	0.3124	8.5123
		OALHD	3.1493	3.4021	0.2528	3.3081	0.0898	2.7140
3	3D function	RLHD	111.7826	126.9699	15.1873	115.655	5.8368	5.0467
		SLHD	101.9583	123.9113	21.9530	109.3415	6.6224	6.0566
		OALHD	91.0759	108.9176	17.8417	97.1094	4.6363	4.7743
4	Pressure Vessel function	RLHD	2375.013	5233.234	2858.2210	3437.166	1137.349	33.0897
		SLHD	2738.057	9257.517	6519.4600	5006.157	2754.982	55.0319
		OALHD	3069.904	3379.913	310.0090	3241.666	94.0428	2.9011
5	MS5 function	RLHD	1757.918	2183.080	425.1620	1906.064	135.9250	7.1312
		SLHD	1618.673	2012.676	394.0030	1756.048	118.3650	6.7404
		OALHD	1553.543	1911.904	358.3610	1738.536	126.4788	7.275
6	6D function	RLHD	0.0280	0.0684	0.0404	0.0449	0.0125	27.7881
		SLHD	0.0271	0.0604	0.0333	0.0391	0.0106	26.9658
		OALHD	0.0264	0.0586	0.0322	0.0383	0.0108	28.1520
7	Cyclone model	RLHD	0.0342	0.0845	0.0502	0.0494	0.0170	34.4645
		SLHD	0.0358	0.0886	0.0528	0.0527	0.0165	31.2989
		OALHD	0.0367	0.0672	0.0305	0.0487	0.0112	23.0076
8	Borehole function	RLHD	10.0405	629.7965	619.7560	201.6870	224.8513	111.4853
		SLHD	9.5162	163.3134	153.7972	46.4112	52.5110	113.1428
		OALHD	9.8896	192.3704	182.4808	34.4127	58.8035	170.8773
9	9D function	RLHD	0.2388	0.6501	0.4113	0.3318	0.1461	44.0241
		SLHD	0.6965	0.7547	0.0582	0.7229	0.0223	3.0786
		OALHD	0.2257	0.7490	0.5233	0.3069	0.1609	52.4272

ตาราง 9 (ต่อ)

d	ปัญหาทดสอบ	แผนการทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
10	10D function	RLHD	0.2574	0.7302	0.4728	0.3207	0.1442	44.9729
		SLHD	0.2954	0.3173	0.0218	0.3057	0.0082	2.6869
		OALHD	0.2441	0.7312	0.4871	0.3030	0.1507	49.7409

จากตาราง 9 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของ RMSE สำหรับตัวแบบทางสถิติคือ RSM พบว่าส่วนใหญ่แล้ว RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด กล่าวคือในปัญหาทดสอบ 3 มิติ 5 มิติ 6 มิติ 8 มิติ และ 10 มิติ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีค่าเฉลี่ยของ RMSE ที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ SLHD และ RLHD ตามลำดับ ส่วนในปัญหาทดสอบอื่น ๆ ที่เหลือ (ปัญหาทดสอบ 2 มิติ 4 มิติ 7 มิติ และ 9 มิติ) นั้น RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีค่าเฉลี่ยของ RMSE ที่ต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน รองลงมาคือ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD และ SLHD ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาพิสัยและ C.V. ของ RMSE สำหรับ RSM พบว่า ในปัญหาทดสอบ 2 มิติ 4 มิติ และ 7 มิติ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีค่าพิสัยและ C.V. ของ RMSE ต่ำที่สุด รองลงมาคือ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD และ SLHD ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่า RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีการกระจายของข้อมูลน้อยกว่า RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบอื่น ๆ ตลอดจนมีความแม่นยำในการพยากรณ์ที่เสถียรที่สุดในปัญหาทดสอบมิติดังกล่าว

สำหรับปัญหาทดสอบ 3 มิติ นั้น C.V. ของ RMSE สำหรับ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ RLHD และ SLHD ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาพิสัยของ RMSE จะเห็นได้ว่า RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD จะมีพิสัยน้อยที่สุด รองลงมาคือ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD และ SLHD ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าพิสัยของ RMSE สำหรับ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีค่ามากกว่า RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของ RMSE สำหรับ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD แล้ว ค่าดังกล่าวมีค่าน้อย

กว่าค่าต่ำสุดของ RMSE สำหรับ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD จึงกล่าวได้ว่า RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD มีความแม่นยำในการพยากรณ์ที่เสถียรที่สุดในปัญหาทดสอบมิติดังกล่าว

และสำหรับปัญหาทดสอบมิตีอื่นๆ คือ ปัญหาทดสอบ 5 มิติ 6 มิติ 8 มิติ 9 มิติ และ 10 มิตินั้น ส่วนใหญ่แล้ว RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ SLHD จะมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงสุด รองลงมาคือ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD และ OALHD ตามลำดับ

ตาราง 10 แสดงค่า RMSE ของตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสมแบบต่างๆ ในแต่ละปัญหาทดสอบ

<i>d</i>	ปัญหาทดสอบ	แผนการทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
2	Welch function	RLHD	3.0701	4.3598	1.2897	3.8744	0.4972	12.8320
		SLHD	3.2249	5.9326	2.7077	4.5583	0.6699	14.6973
		OALHD	3.0701	4.4550	1.3849	3.7331	0.5079	13.6061
3	3D function	RLHD	24.1548	31.0630	6.9082	28.6686	1.9842	6.9213
		SLHD	22.7651	51.1810	28.4159	28.8497	8.7014	30.1612
		OALHD	22.5844	27.7588	5.1744	24.9280	1.4909	5.9807
4	Pressure Vessel function	RLHD	3594.027	4558.396	964.3690	4128.815	266.3703	6.4515
		SLHD	3355.952	3992.061	636.1090	3620.801	229.6331	6.3421
		OALHD	2181.389	4056.335	1874.9460	2745.891	640.0495	23.3094
5	MS5 function	RLHD	1832.870	9017.001	7184.1310	3122.840	2435.961	78.0047
		SLHD	1792.907	6021.868	4228.9610	2737.321	1197.453	43.7454
		OALHD	1823.635	4833.031	3009.3960	2431.231	909.0789	37.3917
6	6D function	RLHD	0.0345	0.0597	0.0252	0.0456	0.0089	19.5415
		SLHD	0.0334	0.0628	0.0294	0.0437	0.0092	21.1329
		OALHD	0.0341	0.0552	0.0210	0.0403	0.0061	15.0747
7	Cyclone model	RLHD	0.0411	0.0833	0.0422	0.0534	0.0150	28.1537
		SLHD	0.0407	0.0917	0.0510	0.0569	0.0157	27.6163
		OALHD	0.0435	0.0703	0.0267	0.0537	0.0097	18.1185

ตาราง 10 (ต่อ)

<i>d</i>	ปัญหาทดสอบ	แผนการทดลอง	Min	Max	พิสัย	Mean	S.D.	C.V.(%)
8	Borehole function	RLHD	15.0083	16.5388	1.5305	15.9201	0.5328	3.3465
		SLHD	15.4240	16.8335	1.4094	16.0270	0.4245	2.6486
		OALHD	13.8033	16.1364	2.3331	14.9726	0.6337	4.2327
9	9D function	RLHD	0.2436	0.2584	0.0148	0.2501	0.0054	2.1571
		SLHD	0.4909	0.6634	0.1725	0.5390	0.0548	10.1654
		OALHD	0.2263	0.2478	0.0214	0.2381	0.0068	2.8475
10	10D function	RLHD	0.2559	0.2755	0.0196	0.2645	0.0058	2.2078
		SLHD	0.2720	0.3018	0.0299	0.2830	0.0101	3.5619
		OALHD	0.2402	0.2589	0.0187	0.2496	0.0065	2.5923

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตาราง 10 เมื่อตัวแบบทางสถิติที่พิจารณาคือ ตัวแบบ Kriging พบว่า สำหรับปัญหาทดสอบ 7 มิติ ตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD จะมีค่าเฉลี่ยของ RMSE ที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ แผนการทดลองแบบ OALHD และ SLHD ตามลำดับ ดังนั้นตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD จึงมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบ 7 มิติ ส่วนปัญหาทดสอบในมิติปัญหาอื่น ๆ นั้น ตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด

เมื่อพิจารณาพิสัยและ C.V. ของ RMSE สำหรับตัวแบบ Kriging จะได้ว่าในปัญหาทดสอบ 3 มิติ 5 ถึง 7 มิติ นั้น พิสัยและ C.V. ของ RMSE สำหรับตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองแบบอื่น ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในปัญหาทดสอบมิติดังกล่าวนั้นตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีความแม่นยำในการพยากรณ์เสถียรที่สุด

ส่วนปัญหาทดสอบมิติอื่น ๆ (ปัญหาทดสอบ 2 มิติ 4 มิติ 8 มิติ 9 มิติ และ 10 มิติ) นั้น ตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD จะมีความแม่นยำในการพยากรณ์ที่เสถียรมากกว่าตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบอื่น สำหรับปัญหาทดสอบ 2 มิติ 9 มิติ และ 10 มิติ ส่วนปัญหาทดสอบมิติอื่น ๆ ที่เหลือ คือ ปัญหาทดสอบ 4 มิติ และ 8 มิติ นั้น มีค่า C.V. ของ RMSE สำหรับตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ SLHD ที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ RLHD และ OALHD ตามลำดับ ดังนั้นตัวแบบ

Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ SLHD จึงมีความแม่นยำในการพยากรณ์ เสถียรที่สุด จากผลลัพธ์ที่นำเสนอในส่วนที่ 2 สามารถสรุปได้ดังตาราง 11

ตาราง 11 แสดงผลสรุปจากการเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ของตัวแบบ ทางสถิติที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ ที่เหมาะสม

d	ปัญหาทดสอบ	แผนการทดลอง	ตัวแบบทางสถิติ
2	Welch function	OALHD	RSM
3	3D function	OALHD	Kriging
4	Pressure vessel function	OALHD	Kriging
5	MS5 function	OALHD	RSM
6	6D function	OALHD	RSM
7	Cyclone model	RLHD	RSM
		OALHD	RSM
8	Borehole function	OALHD	Kriging
9	9D function	OALHD	Kriging
10	10D function	OALHD	Kriging

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตาราง 11 เนื่องจากปัญหาทดสอบ 2 มิติถึง 6 มิติและปัญหาทดสอบ 8 มิติถึง 10 มิตินั้น ตัวแบบทางสถิติทั้งสองคือ RSM และตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD ต่างก็มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด ดังนั้นในกรณีปัญหาทดสอบ 2 มิติ 5 มิติและ 6 มิติ ตัวแบบ RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD ส่วนกรณีปัญหาทดสอบ 3 มิติ 4 มิติ 8 มิติ 9 มิติและ 10 มิติ ตัวแบบ Kriging ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ OALHD จะมีประสิทธิภาพดีกว่า RSM

นอกจากนี้สำหรับปัญหาทดสอบ 7 มิติพบว่า RSM ที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบ RLHD และ OALHD จะมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวแบบ Kriging