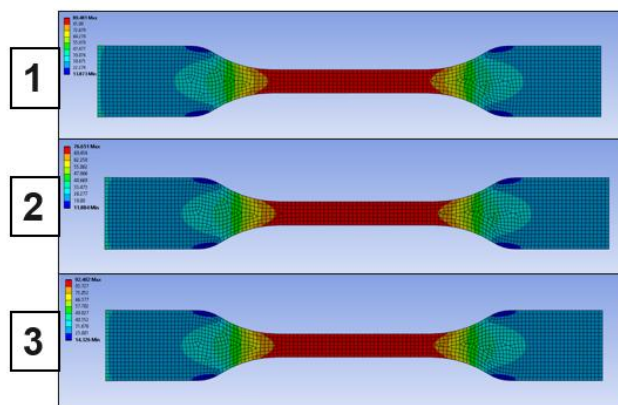


บทที่ 6

ผลการดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 2

6.1 การยืนยันผลวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ จากการเทียบค่าผลการทดลอง

เนื่องจากมีความแตกต่างจากการจับยึดชิ้นงานจริง คือไม่มีการใช้ปากกาจับชิ้นงานในการจับยึดวัสดุทดสอบ ทำให้ไม่มีแรงกระทำบริเวณ Grip length ของการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ แสดงการจับยึดชิ้นงาน และการให้ภาระแรงกระทำดังรูปที่ 5.5 เมื่อพิจารณาการแสดงผลความเค้นหลักสูงสุด จะพบว่ามีการกระจายการเสียหายใกล้เคียงกับการทดสอบจริงแสดงดังรูปที่ 6.1 และมีค่าผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 6.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ยืนยันผลได้ว่าการตั้งค่าคุณสมบัติ การตั้งค่าการวิเคราะห์ด้วย ANSYS ACP สามารถใช้ทดแทนการทดสอบจริงได้



รูปที่ 6.1 ภาพแสดงผลความเค้นจากการทดสอบเทียบค่าเพื่อยืนยันผลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 6.1 แสดงการเทียบค่ายืนยันผลการทดสอบจากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

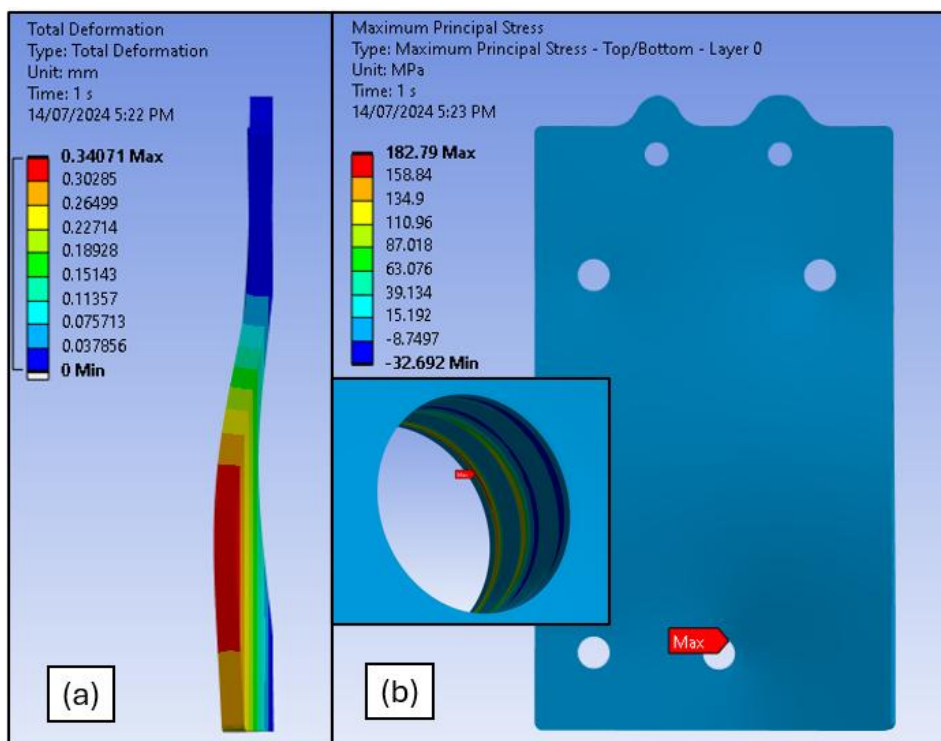
ชิ้นงาน	ค่าจากการทดลองจริง (MPa)	ค่าจากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (MPa)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1	82.509	89.481	8.450
2	81.198	76.651	5.599
3	85.401	92.402	8.198

6.2 ผลการทดสอบแผ่นต้านแรงบิดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

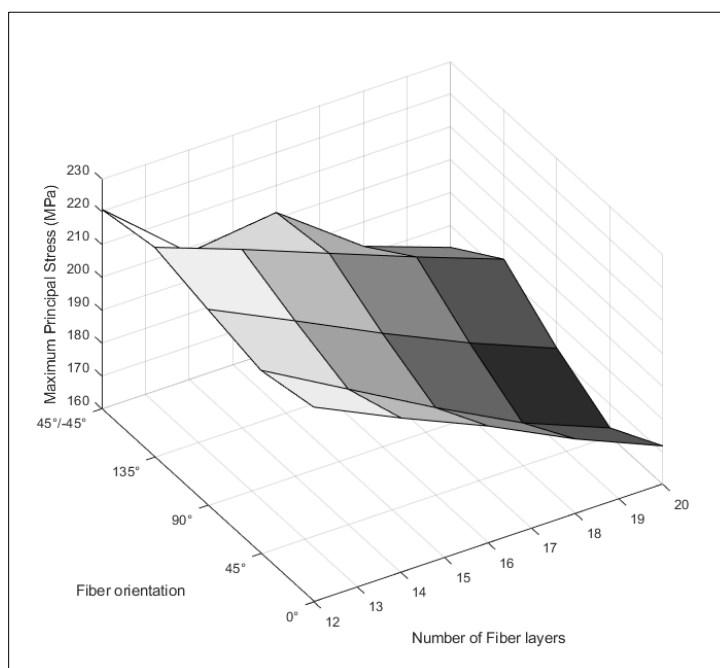
6.2.1 ผลการทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในขั้นตอนการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ทำการทดลองจำนวน 25 ครั้ง ตามการออกแบบตัวแปรการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลแบบเต็มรูป โดยรูปที่ 6.2 แสดงตัวอย่างผลจากการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีลักษณะการเสียรูปเป็นการโก่งตัวตามทฤษฎีจากแรงสู่ศูนย์กลางเนื่องจากการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 6.2 (a) และเกิดความเค้นหลักสูงสุดที่บริเวณจุดยึดของแผ่นต้านแรงบิด ณ ชั้นของเส้นใยคาร์บอนแสดงดังรูปที่ 6.2 (b)

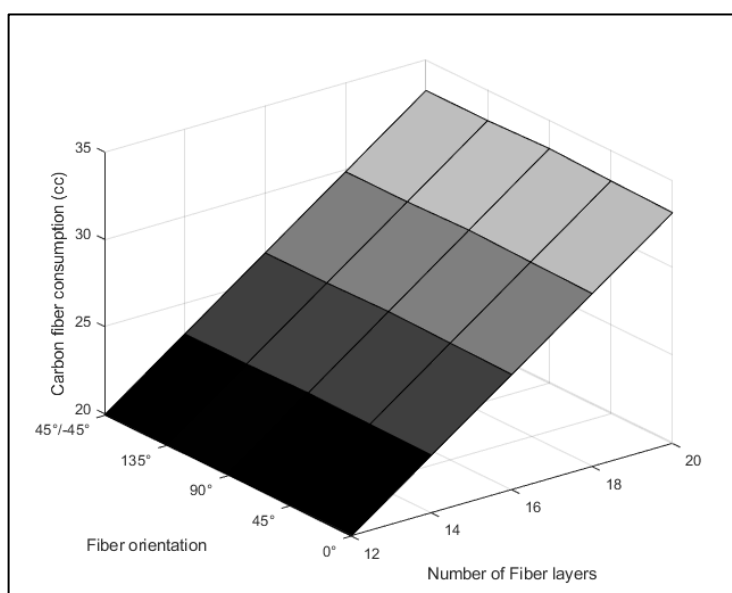
เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงเส้นใยคาร์บอน (Consumption of Carbon fiber) ค่าความเค้นหลักสูงสุด (Maximum Principal Stress) จะได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.2 และสามารถสร้างเป็นกราฟพื้นผิวแบบสามมิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการออกแบบและตัวแปรตามได้ดังรูปที่ 6.3 และ 6.4 ซึ่งรูปที่ 6.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เชิงเส้นของการเปลี่ยนแปลงเส้นใยคาร์บอนและจำนวนชั้นในการพิมพ์เส้นใย



รูปที่ 6.2 แสดงผลจากการทดลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของตัวอย่างที่ 18A



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและค่าความเค้นหลักสูงสุด



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและค่าความสิ้นเปลืองเส้นใยคาร์บอน

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองแผ่นต้านแรงบิดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

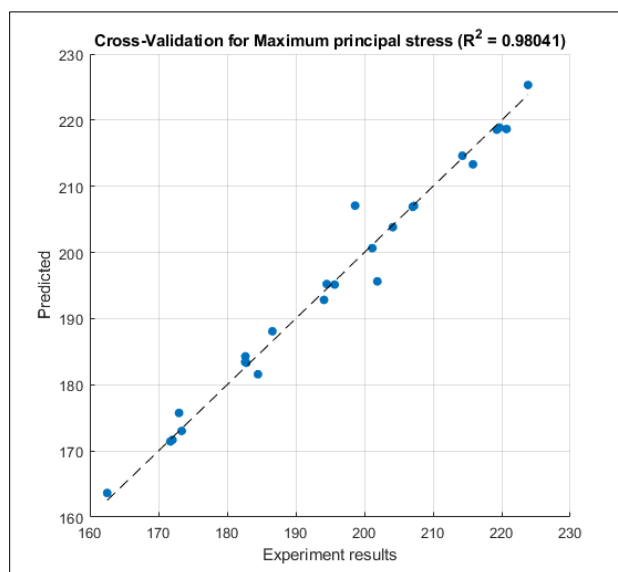
จำนวนชั้นที่มี วัสดุเสริมแรง (ชั้น)	การวางองศาของเส้น ใยวัสดุเสริมแรง (องศา)	Consumption of Carbon Fiber (cc)	Maximum Principal Stress (MPa)
12	0	19.90	219.29
12	45	19.93	215.81
12	90	19.98	219.68
12	-45	19.93	223.84
12	45/-45	19.93	220.72
14	0	23.21	207.04
14	45	23.25	201.15
14	90	23.32	207.23
14	-45	23.25	214.28
14	45/-45	23.25	198.65
16	0	26.51	195.66
16	45	26.58	186.60
16	90	26.66	194.52
16	-45	26.57	204.15
16	45/-45	26.57	201.89
18	0	29.82	182.79
18	45	29.90	173.00
18	90	30.00	182.64
18	-45	29.89	194.12
18	45/-45	29.89	182.66
20	0	33.13	171.74
20	45	33.22	162.54
20	90	33.35	172.05
20	-45	33.22	184.50
20	45/-45	33.22	173.38

6.3 การหาค่าเหมาะสมที่สุดของการทดสอบ

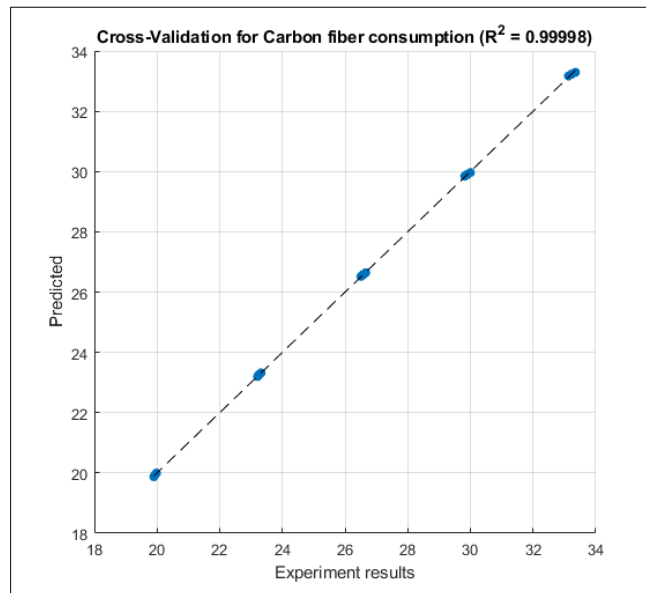
การหาค่าเหมาะสมที่สุดในส่วนที่ 2 ของการดำเนินการวิจัยจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การหาเหมาะสมสุดจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ภาพรวมของผลการทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

6.3.1 การหาค่าเหมาะสมที่สุดจากการทดสอบด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

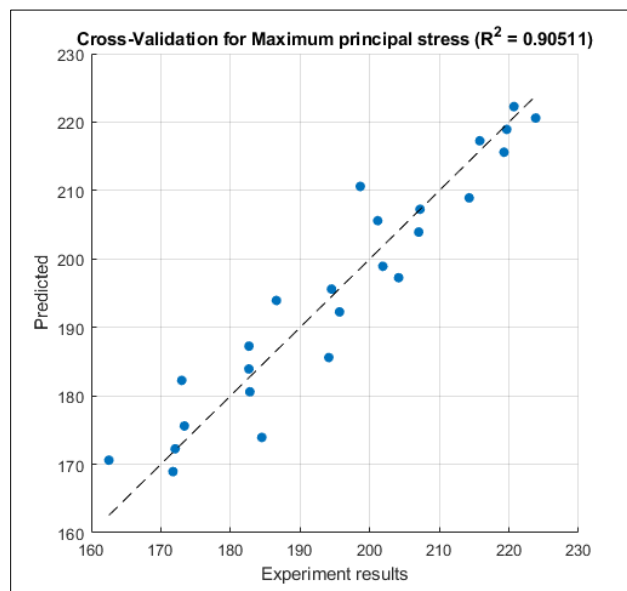
ในขั้นตอนตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการจำลองในส่วนที่ 2 ของการดำเนินการวิจัย ได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายด้วยสมการจำลองทดแทนจากการสร้างด้วยสมการจำลองคริกกิง (Kriging surrogate model) แสดงการตรวจสอบไขว้ ดังรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ และการทำนายด้วยสมการจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression surrogate model) แสดงการตรวจสอบไขว้ ดังรูปที่ 6.7 และ 6.8 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบผลของค่า R^2 พบว่าความแม่นยำในการทำนายความสิ้นเปลืองเส้นใยคาร์บอนของสมการจำลองการถดถอยเชิงเส้น ($R^2 = 0.99990$) มีค่าใกล้เคียงมากกับการทำนายด้วยสมการจำลองคริกกิง ($R^2 = 0.99998$) แต่ในการทำนายค่าความเค้นหลักสูงสุด ความแม่นยำของการทำนายค่าด้วยสมการจำลองคริกกิง ($R^2 = 0.98041$) มีค่าสูงกว่าการทำนายด้วยสมการจำลองการถดถอยเชิงเส้น ($R^2 = 0.90511$) เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามสอดคล้องกับการทำนายด้วยฟังก์ชันของสมการ Gaussian ซึ่งเป็นพื้นฐานของสมการจำลองคริกกิง มากกว่าสมการจำลองการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง



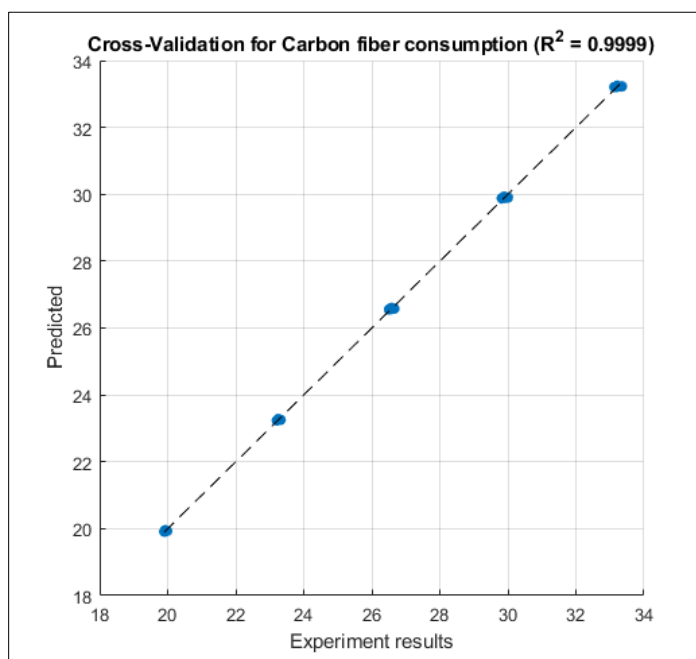
รูปที่ 6.5 ภาพแสดงการตรวจสอบไขว้สมการจำลองคริกกิงกับผลความเค้นหลักสูงสุด



รูปที่ 6.6 ภาพแสดงการตรวจสอบไข้วสมการจำลองคริกกิ้งกับค่าความสิ้นเปลืองเส้นใยคาร์บอน



รูปที่ 6.7 ภาพแสดงการตรวจสอบไข้วสมการจำลองการถดถอยเชิงเส้นกับผลความเค้นหลักสูงสุด



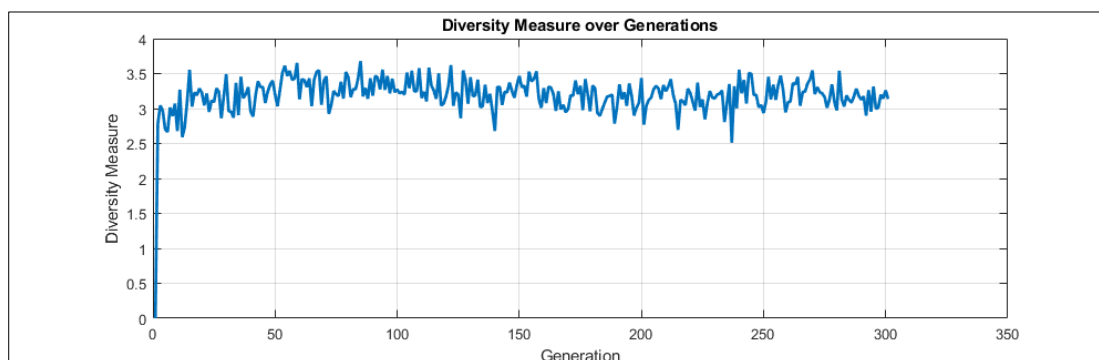
รูปที่ 6.8 ภาพแสดงการตรวจสอบไขว้สมการจำลองการถดถอยเชิงเส้นกับค่าความเปลี่ยนแปลงเส้นใยคาร์บอน

ค่าจากตารางที่ 4.4 แสดงถึงค่าจากการเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำต่าง ๆ ของสมการจำลองที่ใช้ในการวิจัยส่วนที่ 2 โดยประกอบด้วยเกณฑ์ ได้แก่ เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) และ เกณฑ์ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) โดยพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทุกเกณฑ์ของสมการจำลองคริกกิ้งมีค่าต่ำกว่าสมการจำลองการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีกว่าของสมการจำลองคริกกิ้ง

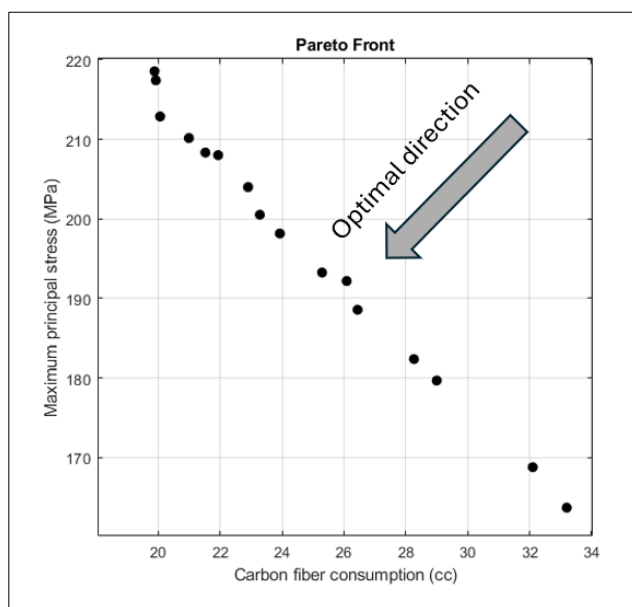
ตารางที่ 6.3 ค่าจากการเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำต่าง ๆ ของสมการจำลอง ส่วนที่ 2

เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ	สมการจำลองค ริกกิ้ง	สมการจำลองการถดถอยเชิง เส้น
RMSE for Carbon fiber consumption	0.0189	0.0474
RMSE for Maximum principal stress	2.452	5.3972
MSE for Carbon fiber consumption	0.0004	0.0022
MSE for Maximum principal stress	6.0122	29.1293
MAE for Carbon fiber consumption	0.0124	0.0363
MAE for Maximum principal stress	1.5394	4.2783

รูปที่ 6.9 แสดงการลู่เข้าของค่าความหลากหลายของคำตอบในแต่ละรุ่นของประชากรที่ได้จากการหาคำตอบด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด พบว่าในช่วงรุ่น 0 ถึง 50 จะมีความหลากหลายคำตอบที่สูงมาก (0 ถึง 3.5) และจากนั้นจึงเริ่มลู่เข้าและความหลากหลายในการทำนายคำตอบจึงอยู่ในช่วง 2.5 – 3.5 ของค่าการวัดความหลากหลาย และจึงสรุปได้ว่าค่าจากคำตอบของจำนวนรุ่นประชากรที่ 100 เป็นต้นไปมีความหลากหลายที่น้อยกว่าช่วงแรก และสามารถนำคำตอบมาใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากการทำนายด้วยจำนวนรุ่นประชากรที่ 100 เป็นต้นไป ไม่แสดงถึงความหลากหลายของคำตอบ



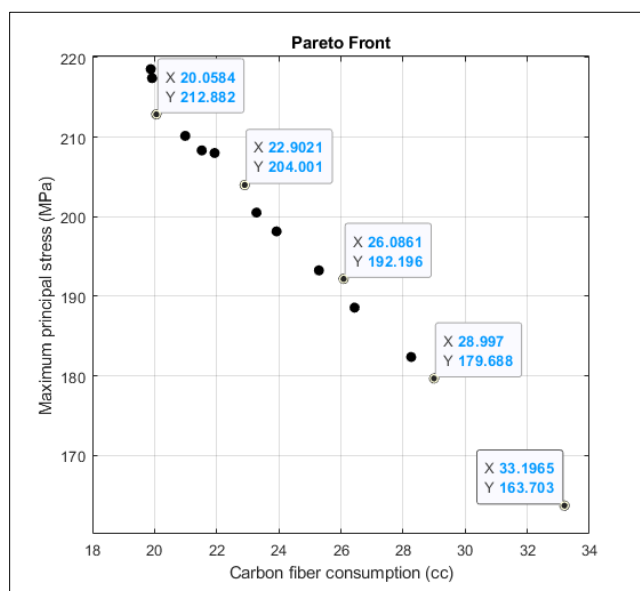
รูปที่ 6.9 การลู่เข้าของค่าวัดความหลากหลายคำตอบในแต่ละรุ่นประชากรในการวิจัยส่วนที่ 2



รูปที่ 6.10 ขอบหน้าพารेटอของคำตอบจากการหาค่าเหมาะสมที่สุดในส่วนที่ 2

เมื่อพิจารณาจากขอบหน้าพารेटอ (Pareto front) รูปที่ 6.10 ซึ่งได้จากการใช้สมการจำลองคริกกิงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมการจัดลำดับที่ไม่ครอบงำในการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยทิศทางของคำตอบที่ดีที่สุดที่ถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือทิศทางที่ผลคำตอบมีค่าความเค้นหลักสูงสุดต่ำที่สุดและค่าความสิ้นเปลืองเส้นใยคาร์บอนต่ำที่สุดจะพบว่าขอบหน้าพารेटอที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นสมการเส้นตรง

ค่าจากตารางที่ 6.4 คือการแสดงตัวอย่างของผลการทำนายและข้อมูลนำเข้าจากรูป 6.11แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลคำตอบทั้งหมด และตัวแปรการออกแบบการปรับตั้งค่าการพิมพ์ โดยแสดงให้เห็นแนวโน้มผลคำตอบที่มีค่าความเค้นหลักสูงสุดต่ำที่สุดที่ 163.703 MPa มีค่าความสิ้นเปลืองในการพิมพ์เส้นใยคาร์บอนที่ 33.1965 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีการปรับองศาการพิมพ์เป็นแบบ 45 องศา และมีจำนวนชั้นที่พิมพ์เส้นใยคาร์บอนมากที่สุด ซึ่งค่าความเค้นหลักสูงสุดมีค่าแปรผกผันกับจำนวนชั้นที่พิมพ์เส้นใยคาร์บอน เนื่องจากค่าสมบัติทางกลในการต้านทานแรงดึงของเส้นใยคาร์บอนดีกว่าโพลิเมอร์



รูปที่ 6.11 ภาพแสดงผลข้อมูลขาออกของตัวอย่างจากขอบหน้าพาเรโตจากการหาค่าเหมาะสมที่สุด ส่วนที่ 2

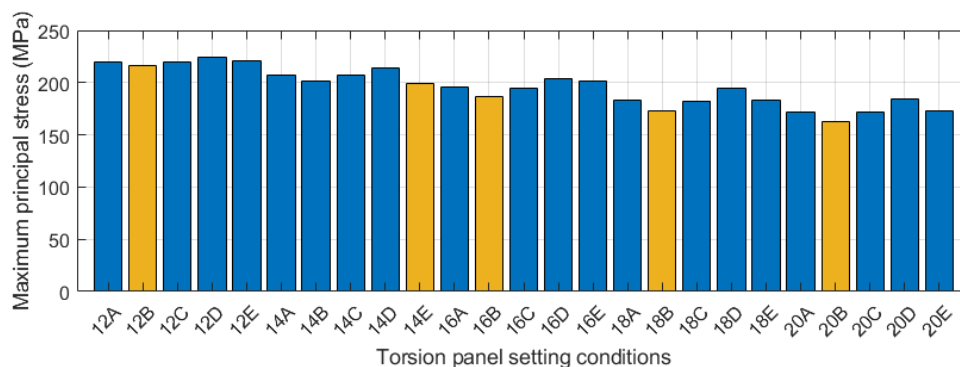
ตารางที่ 6.4 ข้อมูลขาเข้าและขาออกของกลุ่มตัวอย่างจากขอบหน้าพาเรโต ในการวิจัยส่วนที่ 1

จำนวนชั้นที่ พิมพ์เส้นใย	องศาการพิมพ์ (°)	ความสิ้นเปลืองเส้นใย คาร์บอน (cc)	ค่าความเค้นหลักสูงสุด (MPa)
12	45°	20.0584	212.882
14	0°	22.9021	204.001
16	0°	26.0861	192.196
18	0°	28.997	179.688
20	45°	33.1965	163.703

6.3.2 การวิเคราะห์ค่าเหมาะสมสุดโดยตรงจากผลการทดสอบ

เมื่อนำตารางผลการทดลองที่ 6.2 มาวิเคราะห์ค่าความเค้นหลักสูงสุดจะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 6.12 ซึ่งแสดงถึงการตั้งค่าวัสดุคอมโพสิตทั้งหมดและเปรียบเทียบผลความเค้นหลัก

สูงสุด แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มว่าจำนวนชั้นไฟเบอร์ที่มากกว่า จะให้ค่าความเค้นหลักที่น้อยกว่าซึ่งหมายถึงวัสดุคอมโพสิตได้รับความเสียหายน้อยกว่า



รูปที่ 6.12 กราฟเปรียบเทียบผลความเค้นหลักสูงสุดซึ่งได้จากการทดลอง

รูปที่ 6.12 แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าชั้นวัสดุเสริมแรงส่วนกลางเป็น 45 องศาทั้งหมด (ชั้นงาน 12B 16B 18B และ 20B) แสดงดังกราฟแท่งสีเหลือง ทำให้ความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งตรงตามทฤษฎีเมื่อวัสดุเสริมแรงรับแรงตรงกับแนวแกนการวางตัว แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลที่เกิดจากโมเมนต์ของมอเตอร์ไฟฟ้ารวมกับแรงฉุดที่เกิดจากใบพัดว่ามีอิทธิพลมากที่สุดในขณะที่การวางตัวเส้นใยเสริมแรงที่ 45 องศา สลับกับ -45 องศา เกิดความเค้นหลักน้อยเมื่อจำนวนชั้นเส้นใยคาร์บอน 14 ชั้น

และเมื่อพิจารณาจากกราฟพื้นผิวแสดงดังรูปที่ 6.3 และ 6.4 พบว่าองศาการวางเส้นใยของวัสดุ มีผลน้อยมากต่อความสิ้นเปลืองของการพิมพ์เส้นใยไฟเบอร์ ดังนั้นในการเลือกการตั้งค่าการพิมพ์ที่เหมาะสมที่สุดจึงควรพิจารณาความสิ้นเปลืองจากจำนวนชั้นในการพิมพ์เป็นหลัก แล้วจึงเลือกองศาการวางตัวที่เหมาะสมกับการรับแรง (45 องศา)