



บทที่ 5

ผลการออกแบบ

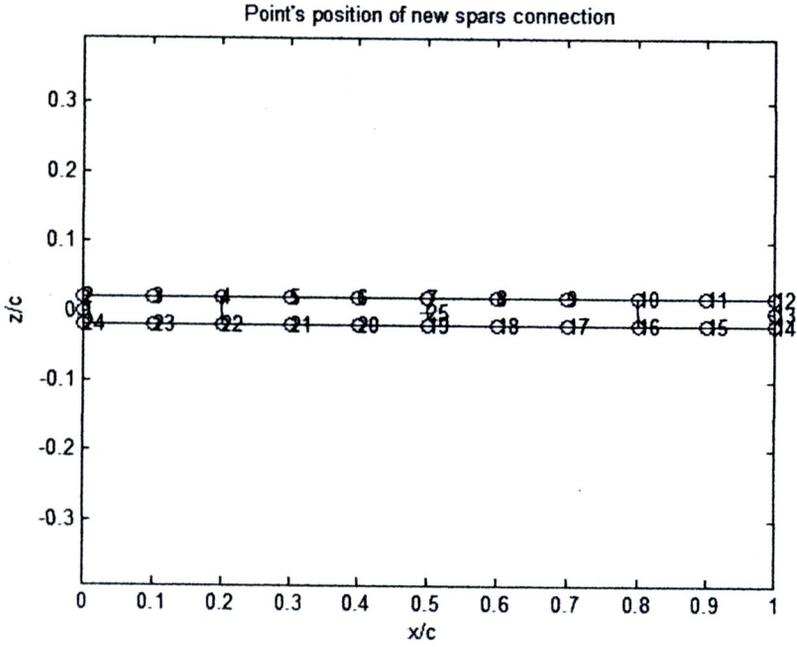
จากการออกแบบในบทที่ 4 ซึ่งใช้การพัฒนาโปรแกรมในการออกแบบ ทั้งในส่วนของปีกเครื่องบิน, แอร์ไดนามิกส์, การหาค่าแรงเชื่อมต่อของสปาร์เสริม, การหาค่าแรงที่ทำให้เกิดค่าประสิทธิผลแรงยกสูงสุด, การปรับเปลี่ยนมุมลู่วางของปีกเครื่องบิน รวมไปถึงการเปลี่ยนรูปร่างของปีกเครื่องบิน ภายใต้เงื่อนไขของค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเร็วกระพือ, ความเร็วการเบนออก, ค่าการโก่งเคาะ และค่าความเค้นสูงสุดของ Von Mises Stress ผลที่ได้จากการออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การออกแบบแบบจำลองปีกเครื่องบิน

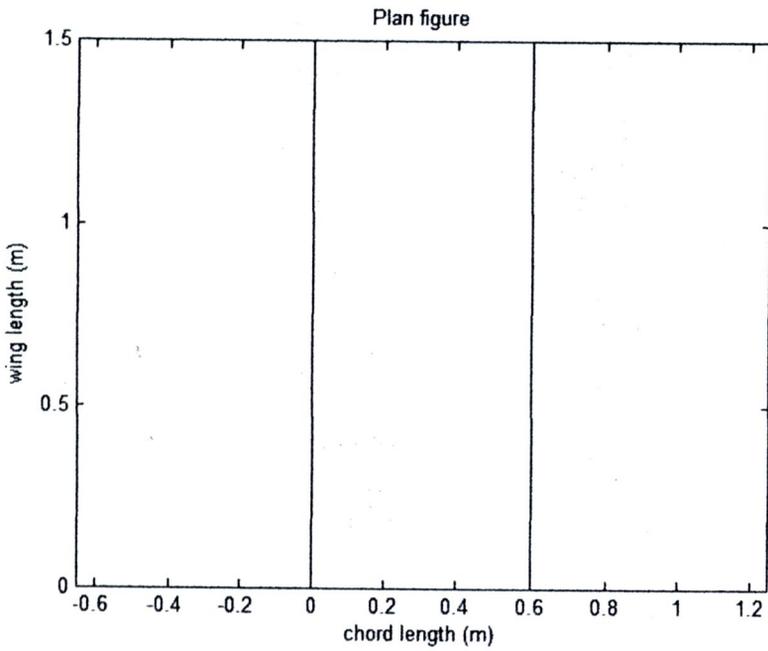
ในการออกแบบขั้นต้นจะทำการกำหนดค่าแรงกระตุ้นเป็น +50 นิวตัน (แรงดึงขึ้น) ดังภาพที่ 51 และลักษณะแผนอากาศจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาวคอรัคมีความยาวเป็นหนึ่งหน่วย จุดรับแรงกระตุ้นกำหนดให้อยู่ที่กึ่งกลางแผนอากาศ นั่นคือจุดที่ 25 ในภาพที่ 49 ส่วนรูปแปลนของปีกจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังภาพที่ 50 และลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างของปีกจะมีลักษณะคดขึ้นข้างบน เนื่องจากแรงกระตุ้นแบบดึงขึ้น โดยที่ปลายปีกจะเปลี่ยนรูปร่างมากที่สุด ดังภาพที่ 53 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งปลายโครงสร้างซึ่งมีเสถียรภาพน้อย เมื่อมีแรงกระทำจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างมาก และตัวแปรที่พิจารณาผลจากการออกแบบในขั้นตอนนี้แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งค่าแรงกระตุ้นไม่เกินค่าการโก่งเคาะ จึงสามารถใส่แรงกระตุ้นได้โดยโครงสร้างไม่เสียหาย

ตารางที่ 6 ผลจากการออกแบบแรงกระตุ้นขนาด +50 นิวตันของปีกเครื่องบิน
ที่มีหน้าตัดแผนอากาศแบบกล่องสี่เหลี่ยม

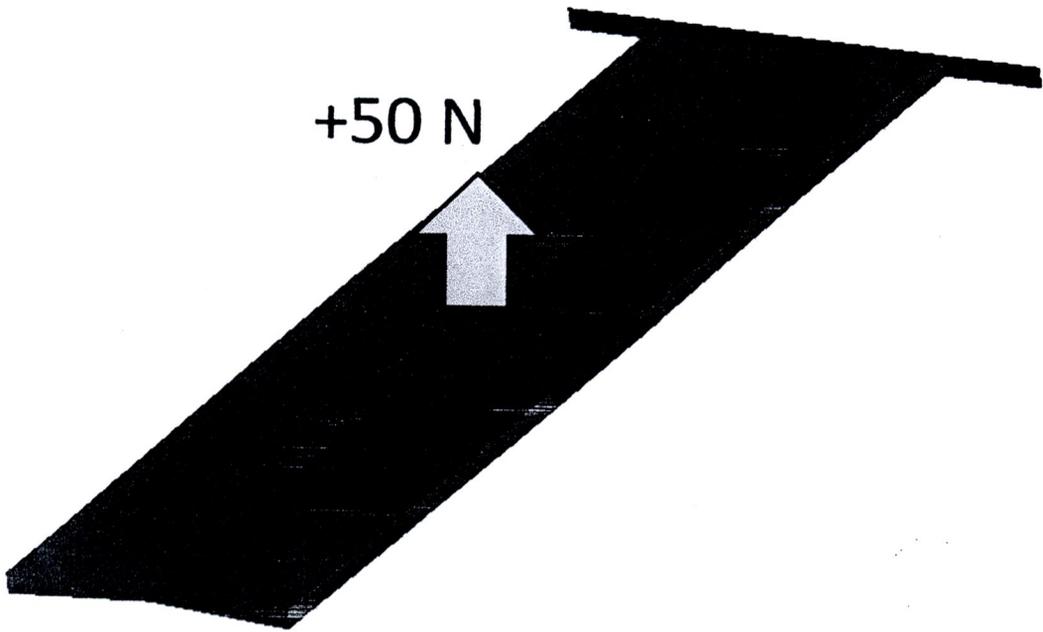
ลำดับ	รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้จากการออกแบบ
1	ตำแหน่งแกน X, (%Chord)	0.5
2	ตำแหน่งแกน Z, (%Chord)	0.0
3	ค่าประสิทธิผลแรงยก	1.0047
4	ความเร็วกระพือ, (m/s)	105
5	ความเร็วเบนออก, (m/s)	162.2160
6	ค่าการโก่งเคาะ, (N)	56.15745
7	ค่าความเค้น Von Mises, (N/m ²)	81455



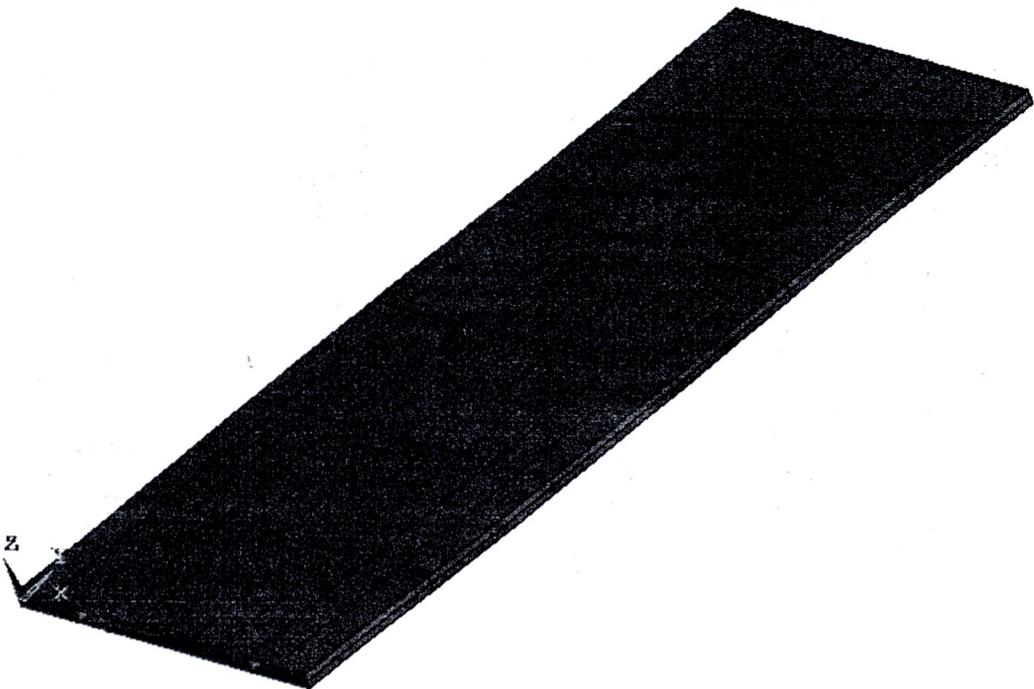
ภาพที่ 49 แสดงแผนอากาศและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระหว่างสปาร์เสริมของปีกแบบกล่องสี่เหลี่ยม



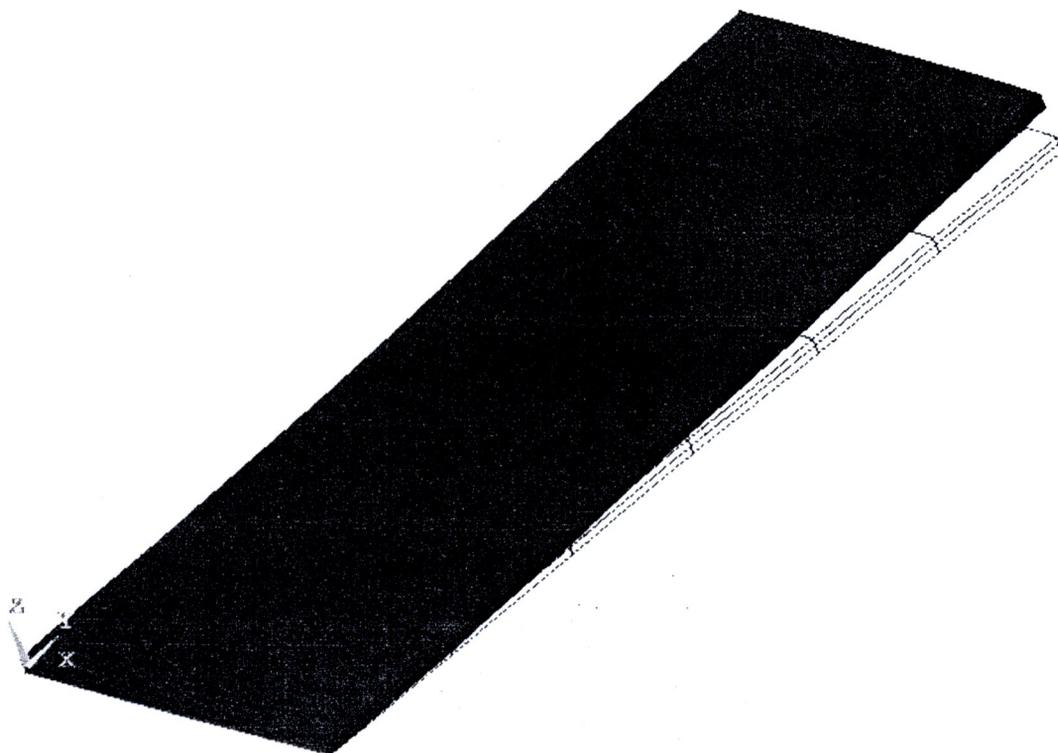
ภาพที่ 50 แสดงลักษณะแปลนปีกของปีกแบบกล่องสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 51 แสดงลักษณะการใส่แรงกระตุ้นของปีกแบบกล่องสี่เหลี่ยม



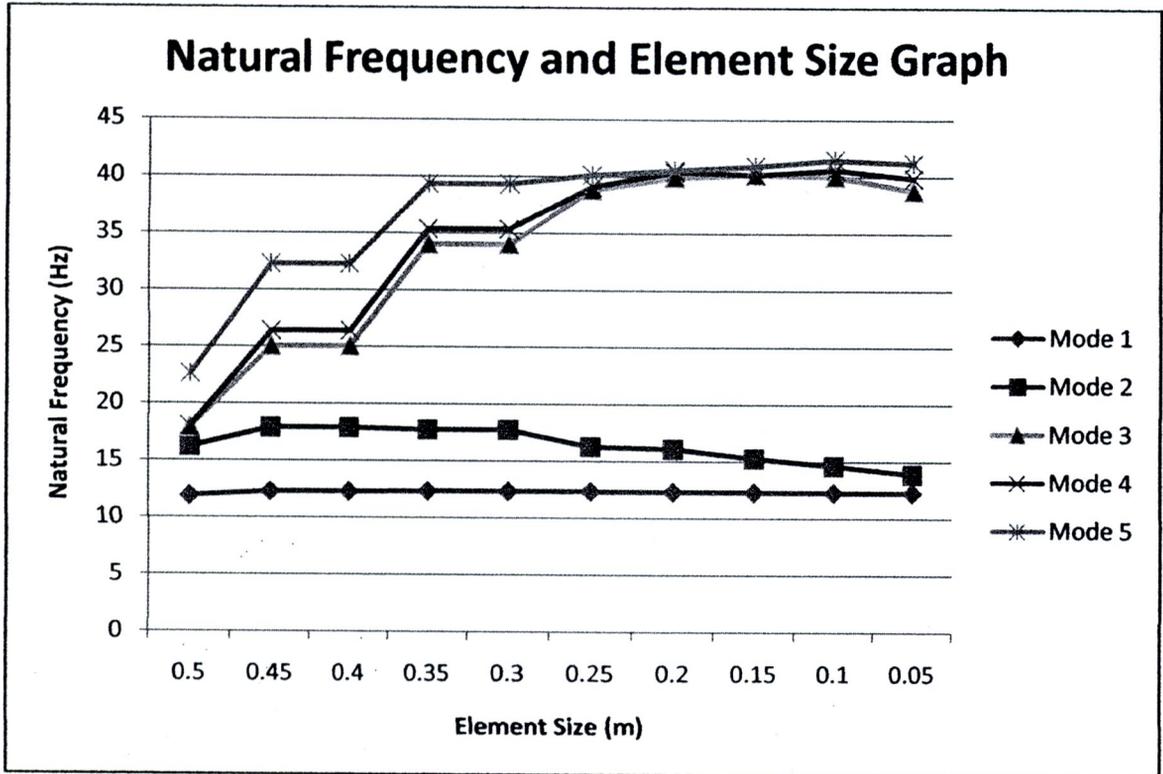
ภาพที่ 52 แสดงลักษณะโครงสร้างและการแบ่งกริดอีเลเมนต์ของปีกเครื่องบินแบบกล่องสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 53 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างของปีกเครื่องบินแบบกล่องสี่เหลี่ยม

5.1.1 ผลจากการปรับขนาดของอิเลเมนต์

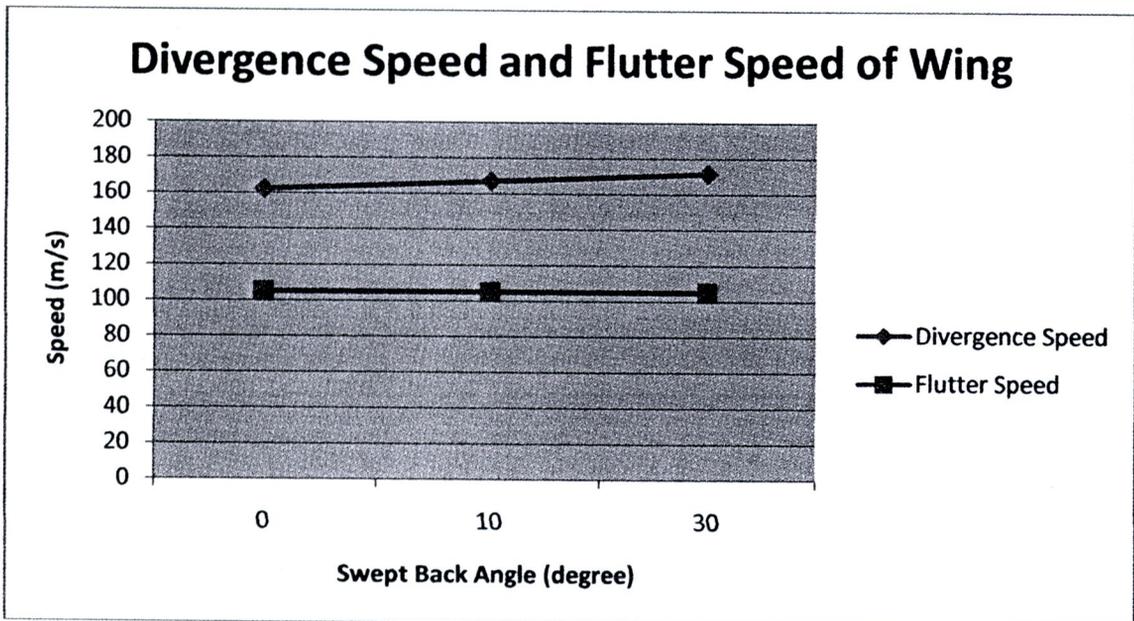
เมื่อทำการปรับขนาดของอิเลเมนต์ให้อยู่ในช่วง 0.5 - 0.05 เมตร โดยปรับค่าช่วงละ 0.05 จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติ 5 โหมด ซึ่งนำมาสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 54 เมื่อขนาดของอิเลเมนต์ลดลง ค่าความถี่ธรรมชาติทั้ง 5 โหมดจะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อขนาดของอิเลเมนต์อยู่ในช่วง 0.3 - 0.05 เมตร ค่าความถี่ธรรมชาติจะเริ่มคงที่และเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นการเลือกขนาดของอิเลเมนต์ในการออกแบบจะอยู่ในช่วง 0.3 - 0.05 เมตร



ภาพที่ 54 กราฟแสดงค่าความถี่ธรรมชาติและค่าความถี่เบนออกเมื่อเปลี่ยนขนาดของอีเลเมนต์

5.1.2 ผลจากการปรับมุมลู่หลัง

เมื่อทำการปรับมุมลู่หลัง โดยใช้มุม 0, 10 และ 30 องศา เพื่อพิจารณาค่าความถี่ธรรมชาติและค่าความถี่เบนออกเพื่อคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความถี่และนำมาสร้างกราฟ จากกราฟพบว่าค่าความถี่เบนออกมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อปรับมุมลู่หลังให้มากขึ้นซึ่งมากกว่าความถี่ธรรมชาติที่มีค่าเท่ากันเมื่อปรับมุมลู่หลังให้มากขึ้น ดังภาพที่ 55



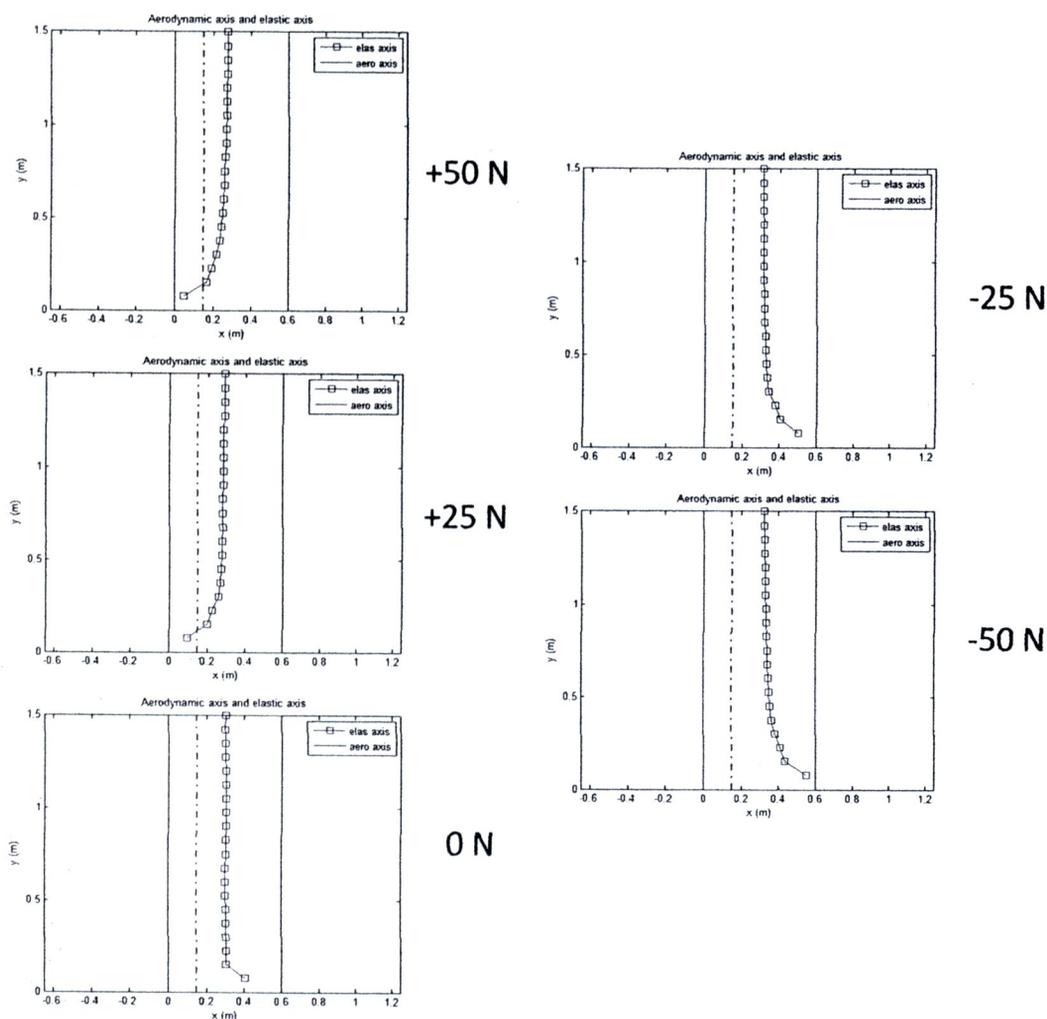
ภาพที่ 55 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างของปีกเครื่องบินแบบกล่องสี่เหลี่ยม

5.1.3 ผลจากการปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น

การปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นจะกำหนดให้ค่าแรงกระตุ้นมีค่าสูงสุดที่ 50 นิวตัน ซึ่งไม่เกินค่าภาระโก่งเคาะ ทั้งแรงดึงขึ้นและกดลง โดยจะปรับเป็นช่วงละ 25 นิวตัน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่พิจารณา ได้แก่ แกนอีลาสติก, รูปร่างแผนอากาศที่หน้าตัดรับแรงกระตุ้น, ค่าประสิทธิผลแรงยก และค่าความเค้น Von Mises ซึ่งผลการออกแบบตามลำดับมีดังนี้

5.1.3.1 แกนอีลาสติก

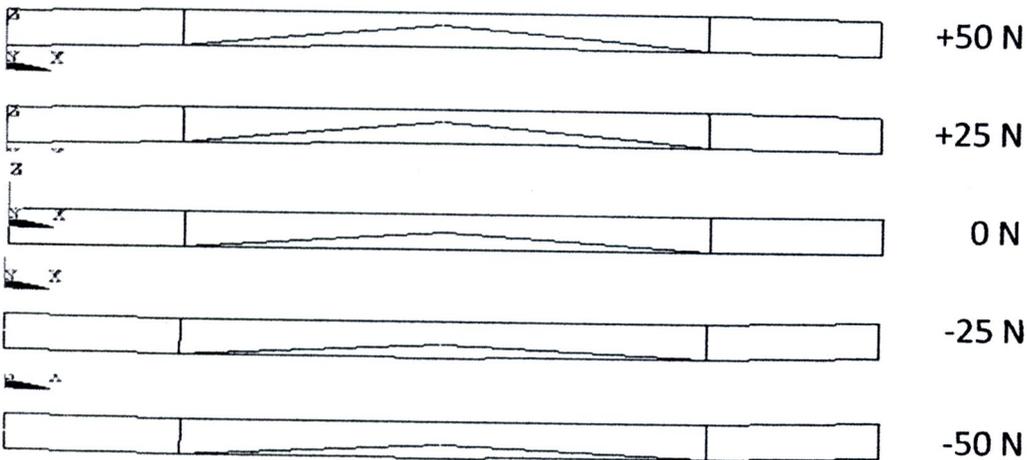
ลักษณะของแกนอีลาสติกที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นคือเมื่อใส่แรงดึงที่มีขนาดสูงสุด นั่นคือ +50 นิวตัน แนวแกนอีลาสติกจะอยู่บริเวณขอบชายหน้าของปีก และแนวแกนจะเลื่อนไปทางขอบชายหลังของปีกเมื่อลดขนาดแรงกระตุ้นลง ดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 แสดงการเปลี่ยนแปลงแกนอีลาสติกเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดแรงกระตุ้นของปีกแบบกล่องสี่เหลี่ยม

5.1.3.2 แพนอากาศที่หน้าตัดรับแรงกระตุ้น

เมื่อใส่แรงกระตุ้นสูงสุด นั่นคือ +50 (ดึงขึ้น) ลักษณะแพนอากาศจะมีลักษณะโค้งงอและยกตัวขึ้น และเมื่อลดขนาดแรงกระตุ้นลงจะทำให้ความโค้งและระดับของแพนอากาศลดลงจนค่าแรงกระตุ้นเป็นศูนย์ แพนอากาศจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมตรง และเมื่อใส่แรงกระตุ้นให้มีค่าลดลง แพนอากาศจะมีลักษณะเปลี่ยนเป็นโค้งหงายขึ้นและลดระดับต่ำลง ยิ่งขนาดแรงกดมาก ความโค้งก็จะมากขึ้นและระดับจะยิ่งลดต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 57



ภาพที่ 57 แสดงการเปลี่ยนแปลงแผนอากาศเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นของปีกแบบกล่องสี่เหลี่ยม

5.1.3.3 ค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises

จากการเปลี่ยนแรงกระตุ้นจากแรงดึงสูงสุดที่ 50 นิวตัน จะให้ค่าประสิทธิผลแรงยกสูงสุด และเมื่อลดค่าแรงกระตุ้นลง ค่าประสิทธิผลแรงยกจะลดลงเช่นกัน ส่วนค่าความเค้น Von Mises จะมีค่าเท่ากัน เมื่อใส่แรงกระตุ้นที่เท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นของปีกเครื่องบินที่มีหน้าตัดแผนอากาศแบบกล่องสี่เหลี่ยม

Actuated Load (N)	Lift Effectiveness	Von Mises Stress (N/m ²)
+50	1.0047	81455
+25	1.0036	40727
0	1.0024	0
-25	1.0013	40727
-50	1.0002	81455

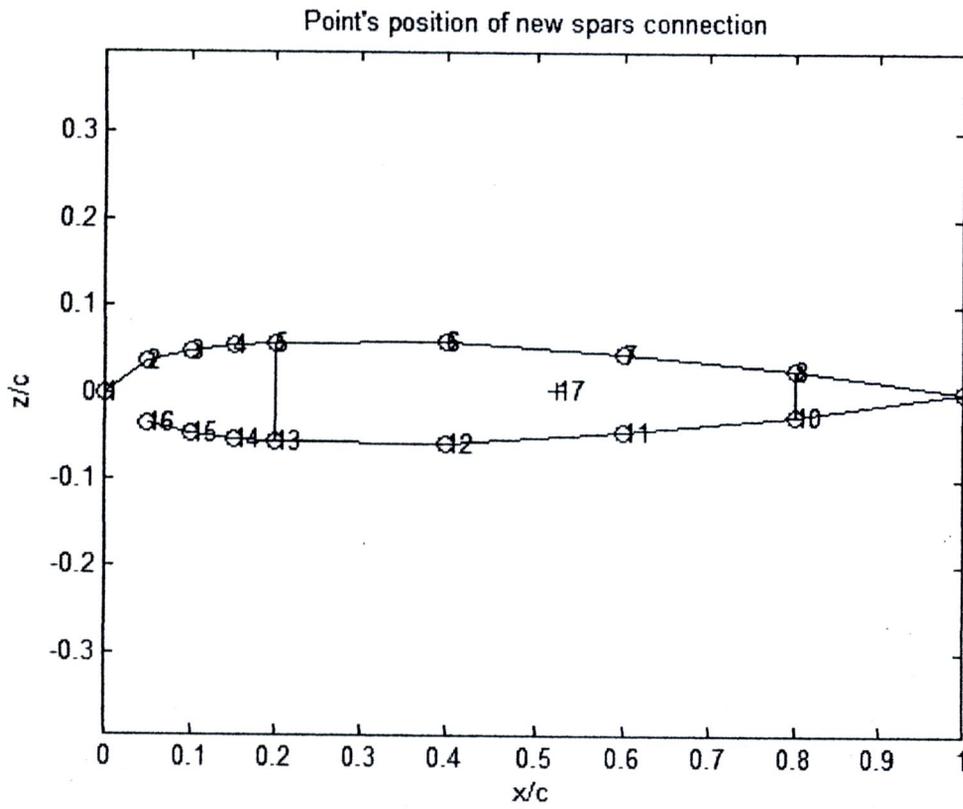
5.2 การหาตำแหน่งจุดรับแรงกระตุ้น

ในการหาตำแหน่งจุดรับแรงกระตุ้นของปีกเครื่องบินแบบ NACA0012 ที่มีมุมถ่วง 30 องศา ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยพิจารณาค่าประสิทธิผลแรงยกเป็นหลัก จากการกำหนดจุดรับแรงกระตุ้นที่ตำแหน่งต่างๆภายในพื้นที่ในภาพที่ 44 จะได้จุดรับแรงกระตุ้นที่ให้ค่าประสิทธิผลแรงยกสูงสุด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 8

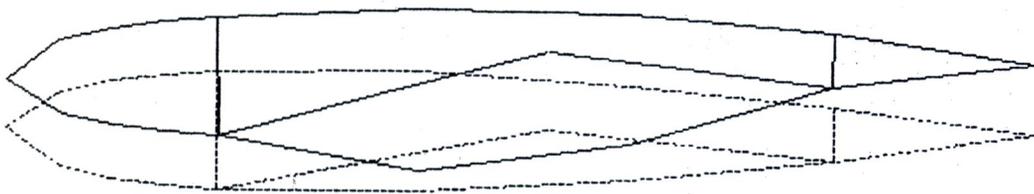
ตารางที่ 8 รายละเอียดข้อมูลที่ตำแหน่งที่ให้ค่าประสิทธิผลแรงยกสูงสุดของปีกเครื่องบิน
ที่มีหน้าตัดเพนอากาศแบบ NACA0012

ลำดับ	รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้จากการออกแบบ
1	ตำแหน่งแกน X, (%Chord)	0.5239
2	ตำแหน่งแกน Z, (%Chord)	0.0028
3	ค่าประสิทธิผลแรงยก	1.0003
4	ความเร็วกระพือ, (m/s)	499.3777
5	ความเร็วเบนออก, (m/s)	536.6953
6	ค่าการโก่งเคาะ, (N)	177.8707
7	ค่าความเค้น Von Mises, (N/m ²)	491330

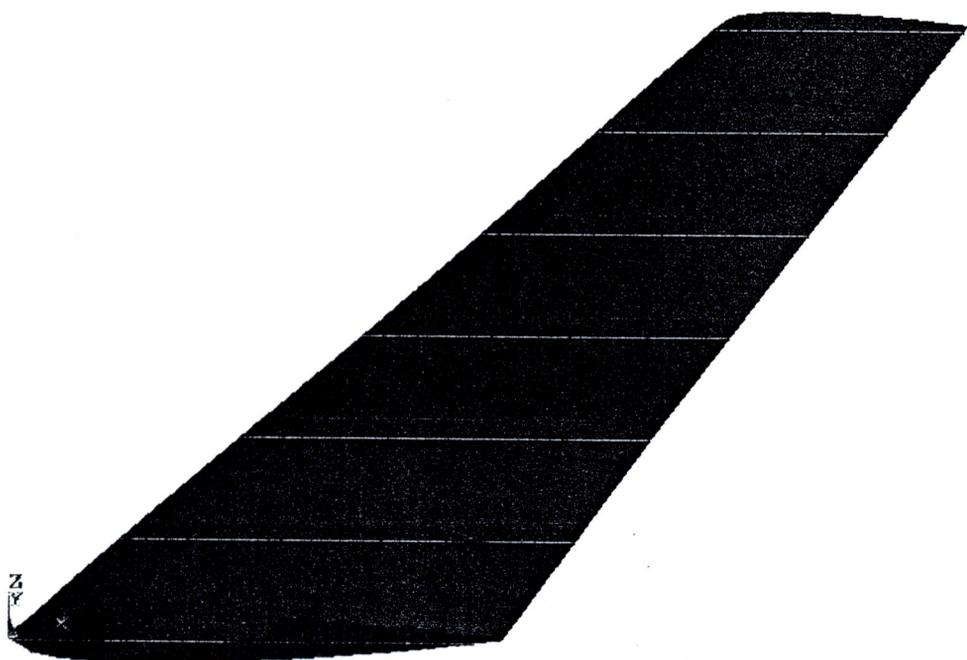
ซึ่งตำแหน่งจุดรับแรงกระตุ้นดังกล่าวแสดงในภาพที่ 58 ในจุดที่ 17 นั้นคือบริเวณกลางปีก และลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างคือปีกทั้งหมดจะโค้งงอขึ้นด้านบน โดยที่ชายหลังบริเวณปลายปีกจะโค้งงอมากที่สุด ดังภาพที่ 61 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีเสถียรภาพน้อย เมื่อมีแรงกระทำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างมาก ขณะที่เพนอากาศที่หน้าตัดรับแรง ผิวบนของปีกจะโค้งมากขึ้น สปาร์เสริมทั้งสองจะถูกดึงขึ้นด้านบน ส่วนผิวล่างของปีกบริเวณระหว่างสปาร์หลักทั้งสองจะโค้งลงด้านล่าง ดังภาพที่ 59 ซึ่งเกิดจากสปาร์เสริมทั้งสองถูกดึงขึ้น ทำให้ฐานของสปาร์เสริมถูกดึงเข้าหากัน และผลึกผิวปีกด้านล่างให้โค้งงอลงข้างล่าง



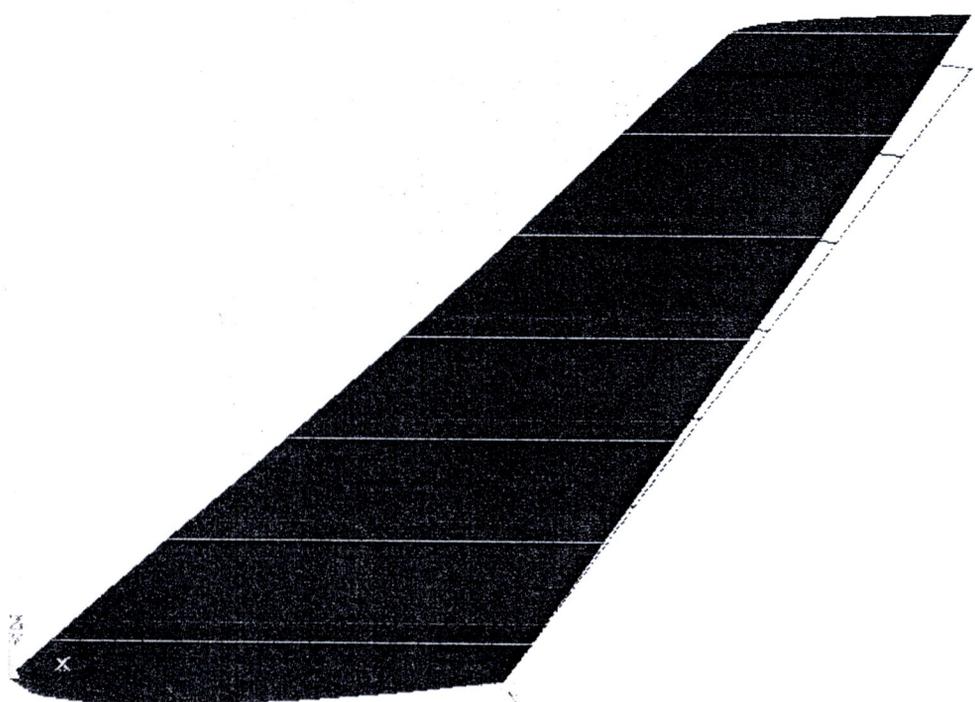
ภาพที่ 58 แสดงตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระหว่างสปาร์เสริม



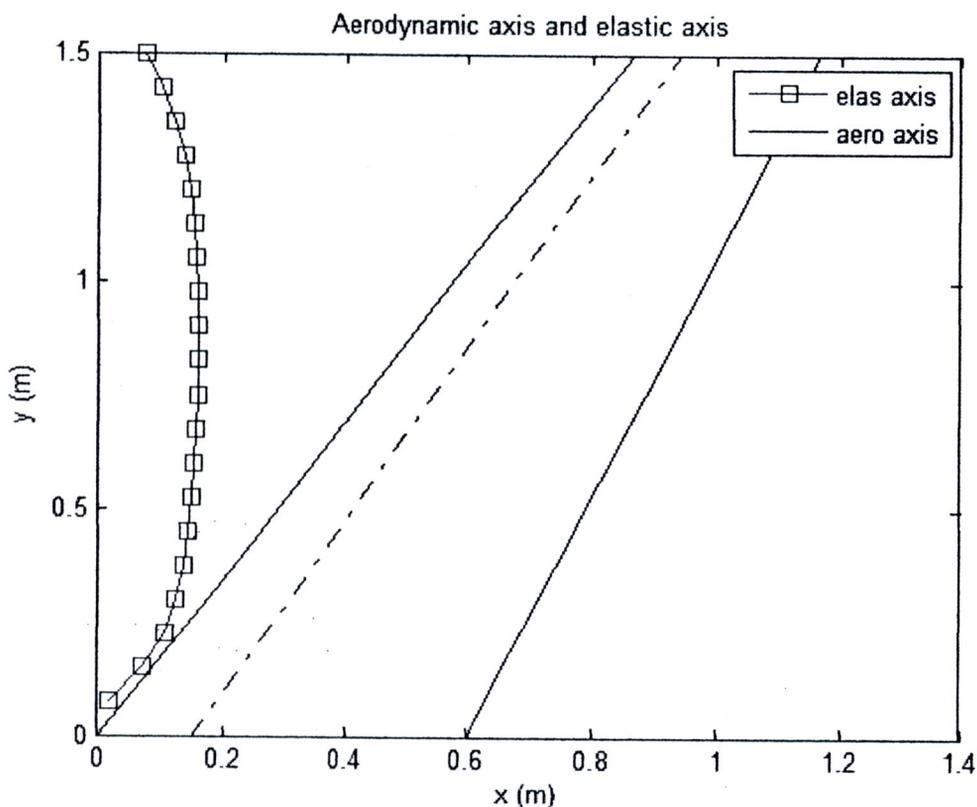
ภาพที่ 59 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปร่าง



ภาพที่ 60 แสดงลักษณะปีกเครื่องบินสามมิติ



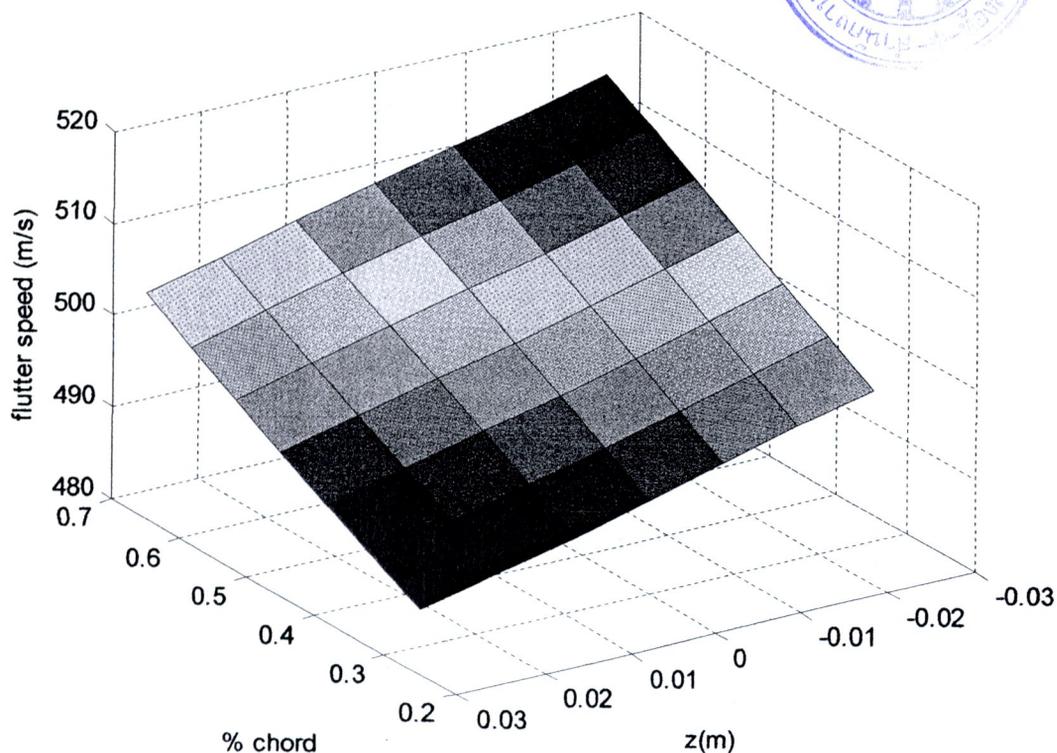
ภาพที่ 61 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างของปีกเครื่องบินในสามมิติ



ภาพที่ 62 แสดงแกนอีลาสติกและแกนอากาศพลศาสตร์

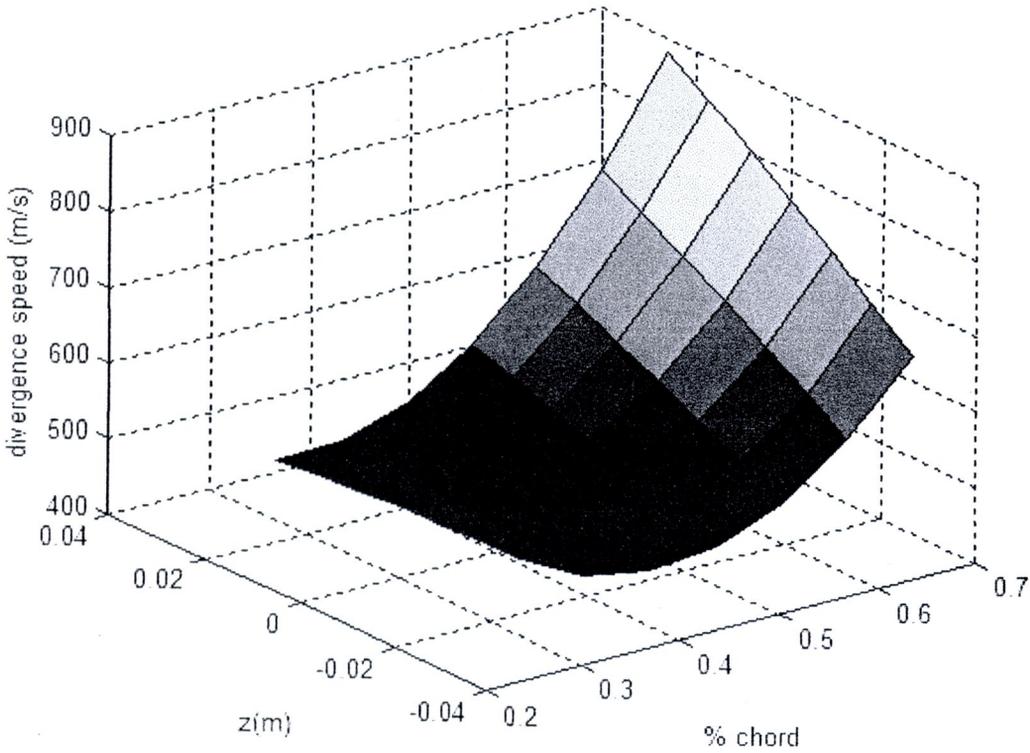
แกนอีลาสติกของแบบจำลองปีกเครื่องบินที่ออกแบบมีลักษณะโค้งงอไปทางด้านหน้า ดังภาพที่ 62 และไม่อยู่ในตัวปีก จากทฤษฎีในหัวข้อที่ 3.8 ในบทที่ 3 ซึ่งกล่าวว่า “ถ้าตำแหน่งแกนอีลาสติกทับกับแกนอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic axis) หรือแกนอากาศพลศาสตร์อยู่ด้านหลังแกนอีลาสติกจะเป็นผลให้ระบบโครงสร้างปีกเครื่องบินมีความเสถียรที่ทุกๆ ความเร็วการบิน” ดังนั้น ปีกเครื่องบินนี้มีความเสถียรในการบิน

นำค่าตัวแปรในจุดเชื่อมต่อระหว่างสปาร์เสริมต่างๆ (ดูภาพที่ 43 และ 44 ประกอบ) มาทำการสร้างกราฟเพื่อดูแนวโน้มของตัวแปรต่างๆ ได้กราฟดังนี้



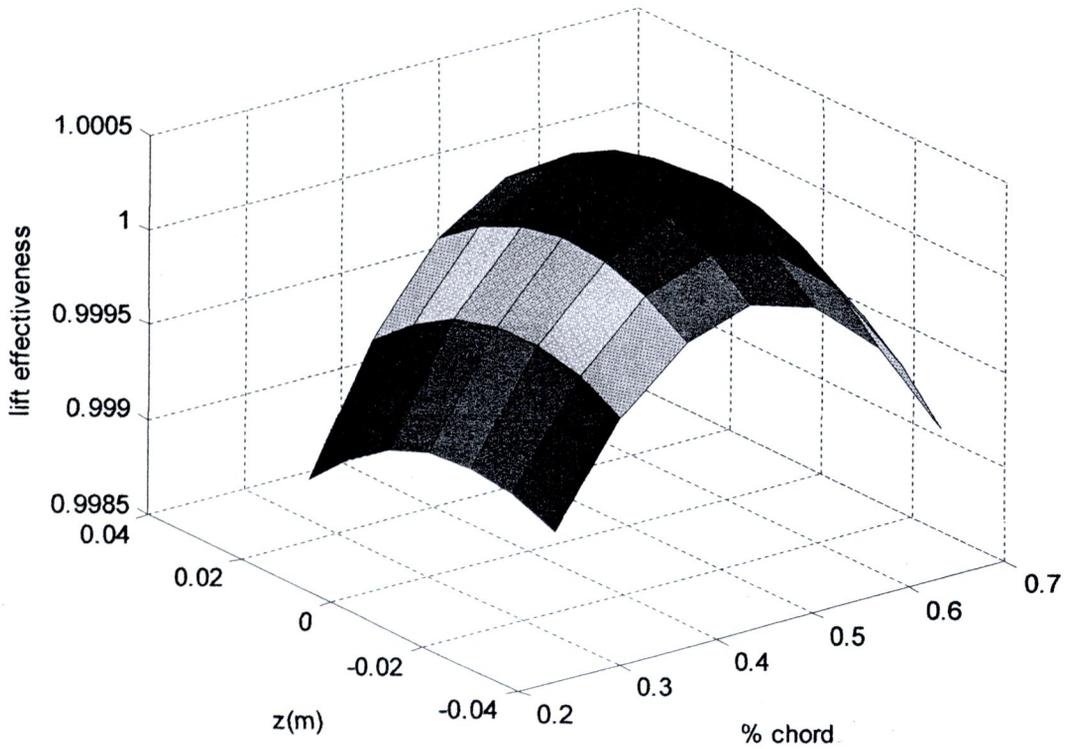
ภาพที่ 63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกระพือและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม

กราฟในภาพที่ 63 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกระพือและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม พบว่าความเร็วกระพือมีค่าสูงสุดเมื่อจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมอยู่ในตำแหน่งขอบล่างและชายปีกด้านหลัง และมีค่าต่ำสุดเมื่อจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมอยู่ในตำแหน่งขอบบนและชายปีกด้านหน้า โดยที่ขอบบนทางชายปีกด้านหลังมีความเร็วมากกว่าขอบล่างของชายปีกด้านหน้า อย่างไรก็ตาม ค่าความเร็วกระพือจากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังมีค่าที่สูง



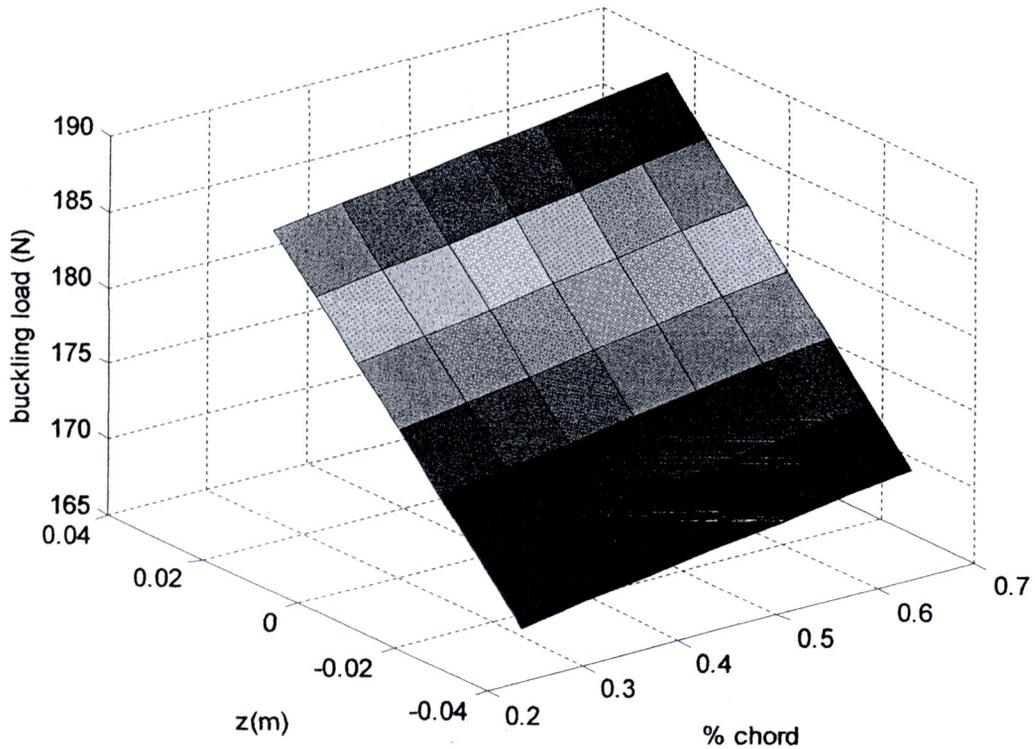
ภาพที่ 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเบนออกและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม

กราฟในภาพที่ 64 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเบนออกและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม ซึ่งค่าความเร็วเบนออกสูงสุดจะอยู่ที่ขอบบนทางซ้ายปีกด้านหลัง และกราฟมีลักษณะโค้งหงายและบิดเอียงโดยค่าต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบบนทางซ้ายปีกด้านหน้า ส่วนค่าขอบล่างนั้น ขาปีกด้านหน้าจะมีค่ามากกว่าขอบบนทางขาปีกด้านหน้า แต่มีค่าน้อยกว่าขาปีกด้านหลัง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้จุดเชื่อมต่อที่ขอบบนด้านหลังแล้ว โครงสร้างภายในจะมีความแข็งแรงต่อค่าความเร็วเบนออกมากกว่าบริเวณอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าความเร็วเบนออกยังมีค่าที่สูงอยู่



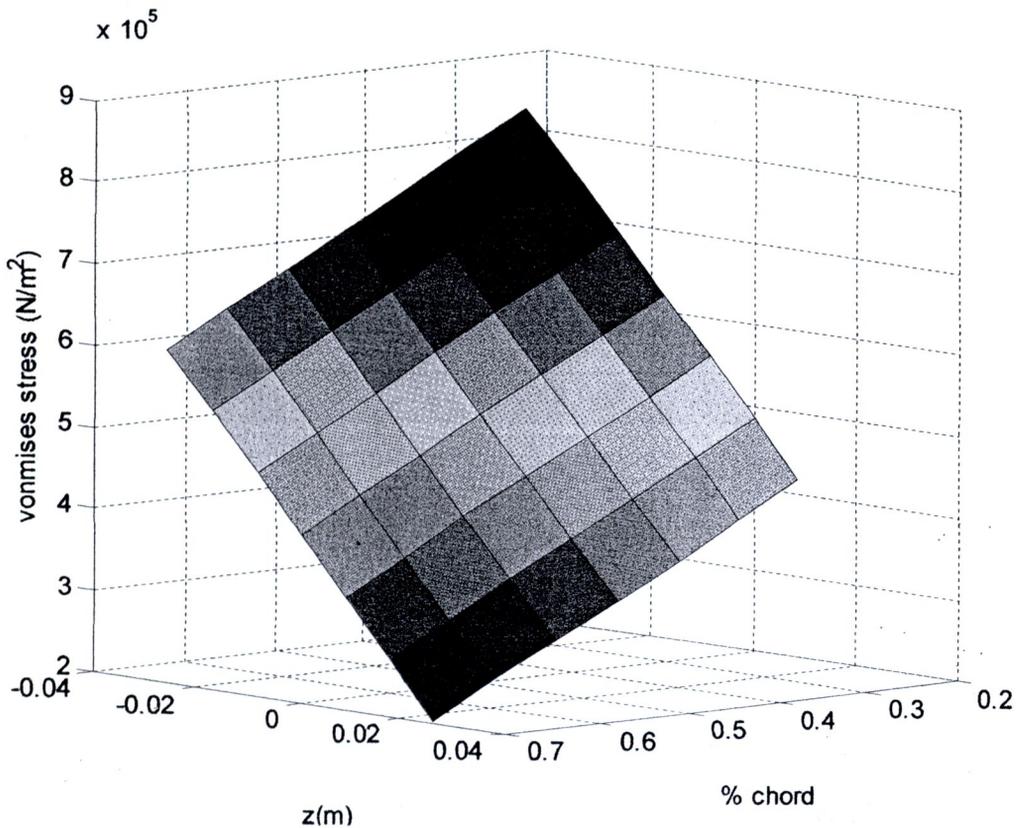
ภาพที่ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลแรงยกและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม

กราฟในภาพที่ 65 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลแรงยกและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม ซึ่งเป็นค่าที่ใช้พิจารณาในการเลือกออกแบบ ลักษณะกราฟเป็นรูปประมงคว่ำ นั่นคือ ค่าสูงสุดจะอยู่ที่ยอดระฆัง บริเวณกลางปีก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างมากที่สุด จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทางอากาศพลศาสตร์มากที่สุด และค่าประสิทธิผลแรงยกเมื่อเลื่อนตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมไปทางชายปีกด้านหลังจะมีค่ามากกว่าเลื่อนมาด้านหน้า



ภาพที่ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระ โกงเคาะและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม

ภาพที่ 66 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระ โกงเคาะและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม ซึ่งค่าสูงสุดอยู่ที่ขอบบนทางชายปีกด้านหลัง และค่าทางขอบบนของปีกเครื่องบินจะสูงกว่าค่าทางขอบล่างของปีกเครื่องบิน และค่าทางชายปีกด้านหลังจะมากกว่าค่าทางชายปีกด้านหน้า ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางชายปีกด้านหน้ามีความแข็งแรงกว่าโครงสร้างทางชายปีกด้านหลัง ทำให้เมื่อใส่แรงกระตุ้นที่เท่ากันแต่ต่างตำแหน่งกัน ค่าภาระ โกงเคาะทางชายปีกด้านหน้าจึงมีค่ามากกว่าชายปีกด้านหลัง



ภาพที่ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแบบ Von Mises และตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม

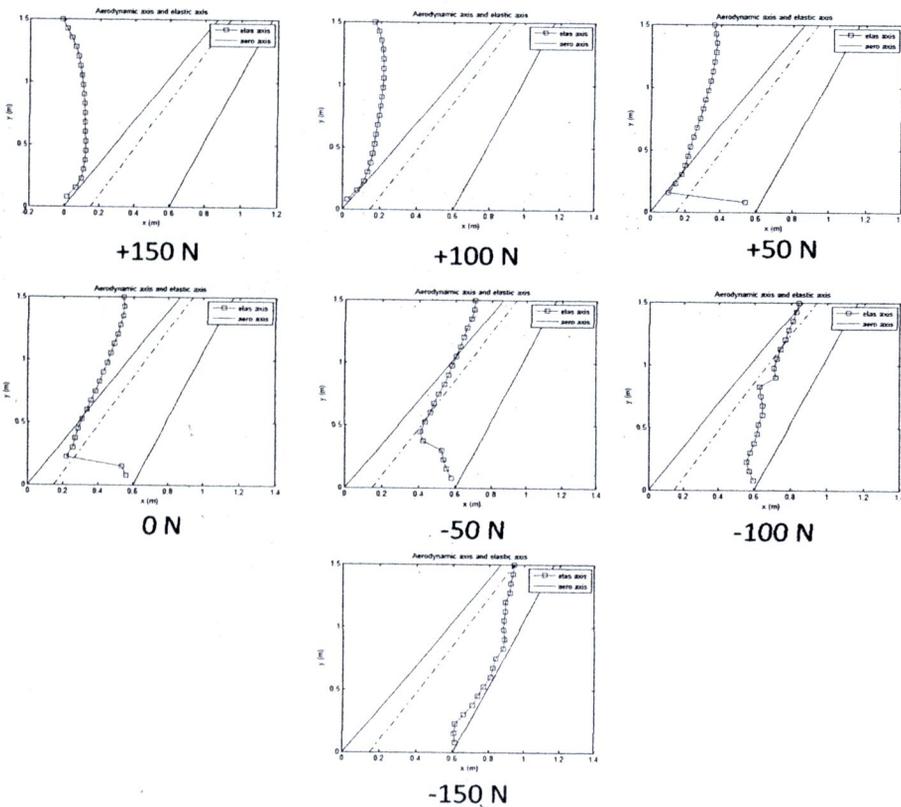
ภาพที่ 67 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแบบ Von Mises และตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริม จากกราฟจะพบว่าค่าทางขอบล่างของปีกเครื่องบินจะมีค่ามากกว่าค่าทางขอบบนของปีกเครื่องบิน และค่าสูงสุดอยู่ที่ชายปีกด้านหน้าและขอบล่าง และค่าต่ำสุดอยู่ที่ขอบบนทางชายปีกด้านหลัง เนื่องจากโครงสร้างแบบจำลองปีกเครื่องบินนี้ ทางชายปีกด้านหน้าจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงมากกว่าชายปีกด้านหลัง และโครงสร้างส่วนล่างของปีกมีสปาร์เสริมเพิ่มความแข็งแรง ทำให้ค่าความเค้นมากกว่าโครงสร้างส่วนบน

5.3 การปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น

ในส่วนของการปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น จะมีปัจจัยสำคัญควบคุมคือค่าการโก่งเดาะ นั่นคือการปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น จะทำการปรับเปลี่ยนไม่เกินค่าโก่งเดาะที่เกิดขึ้น ซึ่งในตารางที่ 8 มีค่าการโก่งเดาะเป็น 177.8707 นิวตัน ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น จะทำการกำหนดค่าแรงกระตุ้นอยู่ในช่วง ± 150 นิวตัน นั่นคือ กำหนดให้มีการดึงขึ้นและกดลงของแรงกระตุ้นสูงสุดอยู่ที่ 150 นิวตัน และทำการปรับขนาดของแรงให้เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 50 นิวตัน ซึ่งผลการออกแบบนี้ส่งผลให้รูปร่างปีกเครื่องบินเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆกันตามขนาดของแรงที่เปลี่ยนแปลงไป และตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปได้แก่ แกนอีลาสติก, ประสิทธิภาพแรงยก และความเค้น Von Mises ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงมีดังต่อไปนี้

5.3.1 แกนอีลาสติก

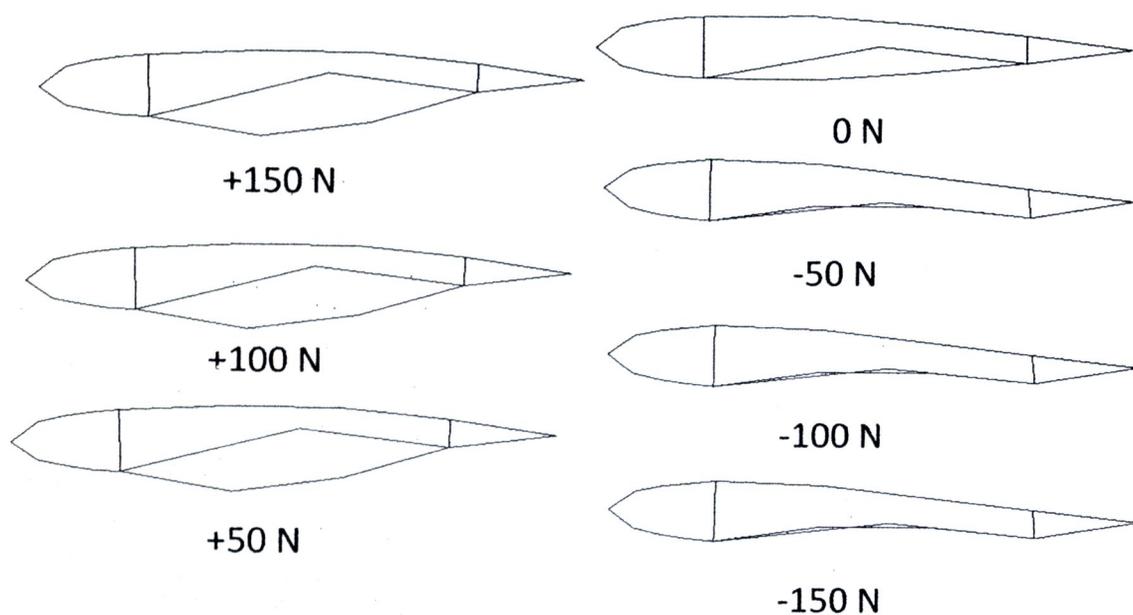
การปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นส่งผลให้แกนอีลาสติกเปลี่ยนแปลงไป โดยมีลักษณะของแกนเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายหลังของปีกเมื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงให้มีขนาดลดลง นั่นคือ เมื่อใส่ขนาดของแรงกระตุ้นให้ดึงขึ้นสูง แนวแกนอีลาสติกจะอยู่บริเวณชายหน้าของปีก เมื่อลดขนาดของแรงดึงลง แนวแกนจะเคลื่อนที่ไปทางชายหลังปีก และเมื่อเปลี่ยนแรงกระตุ้นให้กดลง แนวแกนอีลาสติกจะเคลื่อนที่ไปทางชายหลังปีกมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 68



ภาพที่ 68 แสดงการเปลี่ยนแปลงแกนอีลาสติกเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดแรงกระตุ้น

5.3.2 แพนอากาศที่หน้าค้ำรับแรงกระตุ้น

ในส่วนของรูปร่างแพนอากาศของปีกเครื่องบิน เมื่อปรับเปลี่ยนแรงกระตุ้นให้คิ่งขึ้นจะทำให้คิ้วปีกบนมีการโค้งงอมากขึ้น จุดเชื่อมสปาร์เสริมทั้งสองจะยกตัวสูงขึ้น ทำให้เกิดการคิ่งขอบล่างของสปาร์หลักทั้งสองเข้าหากัน ซึ่งทำให้คิ้วปีกด้านล่างบริเวณกึ่งกลางมีการงอโค้งลงมากขึ้น และเมื่อปรับเปลี่ยนแรงกระตุ้นให้ตกลงจะทำให้คิ้วปีกบนมีลักษณะการโค้งงอที่ลดลงจุดเชื่อมระหว่างสปาร์เสริมทั้งสองจะต่ำลง ทำให้เกิดการผลักขอบล่างของสปาร์หลักทั้งสองให้ห่างออกจากกัน และคิ่งคิ้วปีกกลางบริเวณตรงกลางให้สูงขึ้น ดังภาพที่ 69



ภาพที่ 69 แสดงการเปลี่ยนแปลงแพนอากาศเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น

5.3.3 ค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises

จากตารางที่ 9 เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น ค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปมีแค่ค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises โดยค่าประสิทธิผลแรงยกจะมีค่าลดลงเมื่อลดขนาดของแรงกระตุ้นลง และค่าความเค้น Von Mises จะมีค่าเท่ากัน เมื่อใส่แรงกระตุ้นที่มีขนาดเท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม

ตารางที่ 9 แสดงค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น

Actuated Load (N)	Lift Effectiveness	Von Mises Stress (N/m ²)
+150	1.0001	640580
+100	0.9999	427050
+50	0.9998	213530
0	0.9997	0
-50	0.9995	213530
-100	0.9994	427050
-150	0.9992	640580

5.4 การปรับเปลี่ยนมุมดู่หลัง

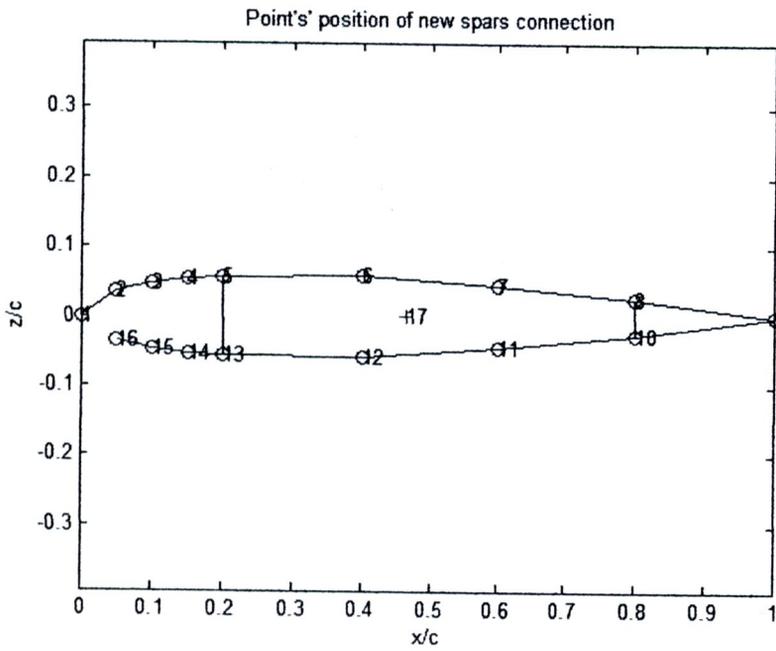
5.4.1 ตำแหน่งจุดรับแรงกระตุ้น

ในส่วนของ การปรับเปลี่ยนมุมดู่หลัง จะกำหนดให้ปรับเปลี่ยนมุมดู่หลังจาก 30 องศา ไปเป็น 10 องศา โดยใช้แรงกระตุ้นที่มีขนาดตั้งขึ้น 100 นิวตัน ส่วนข้อมูลอื่นๆ ในการออกแบบจะใช้ข้อมูลเดียวกับมุม 30 องศา ซึ่งผลการปรับเปลี่ยนมุมดู่หลังเป็น 10 องศาเป็นไปดังตารางที่ 10

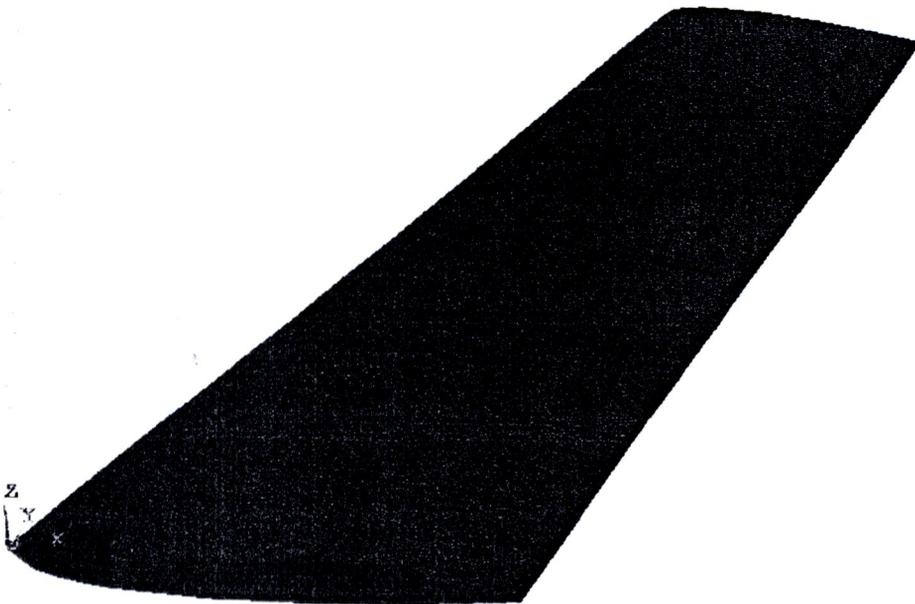
ตารางที่ 10 รายละเอียดข้อมูลที่ตำแหน่งที่ให้ค่าประสิทธิผลแรงยกสูงสุดเมื่อปรับเปลี่ยนมุมดู่หลังเป็น 10 องศา

ลำดับ	รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้จากการออกแบบ
1	ตำแหน่งแกน X, (%Chord)	0.4644
2	ตำแหน่งแกน Z, (%Chord)	0.0001
3	ค่าประสิทธิผลแรงยก	1.0002
4	ความเร็วกระพือ, (m/s)	738.8496
5	ความเร็วเบนออก, (m/s)	498.5205
6	ค่าการ โกงเคาะ, (N)	184.5166
7	ค่าความเค้น Von Mises, (N/m ²)	262290

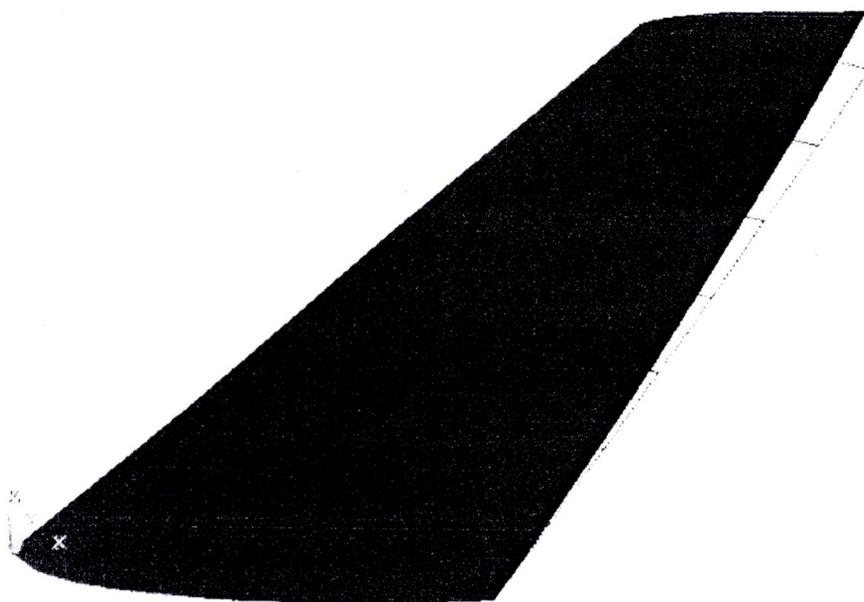
ตำแหน่งจุดรับแรงกระตุ้นแสดงในภาพที่ 68 ซึ่งอยู่จุดที่ 17 และลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปีกจะเป็นดังภาพที่ 70 และ 71



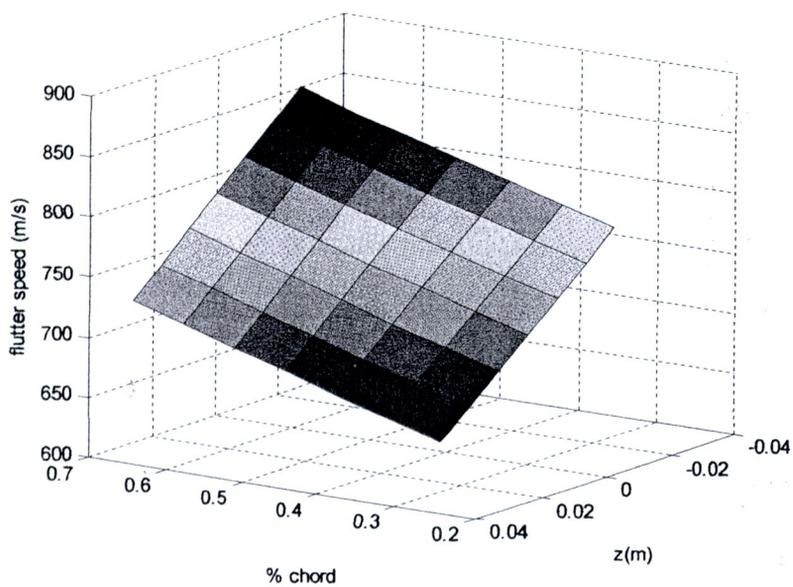
ภาพที่ 70 แสดงตำแหน่งจุดเชื่อมต่อระหว่างสปาร์เสริมของมุดูหลัง 10 องศา



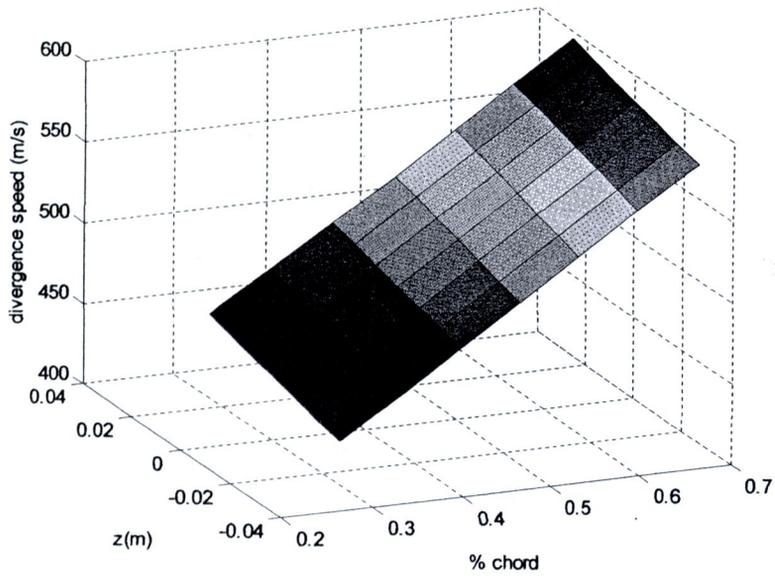
ภาพที่ 71 แสดงลักษณะปีกเครื่องบินสามมิติของมุดูหลัง 10 องศา



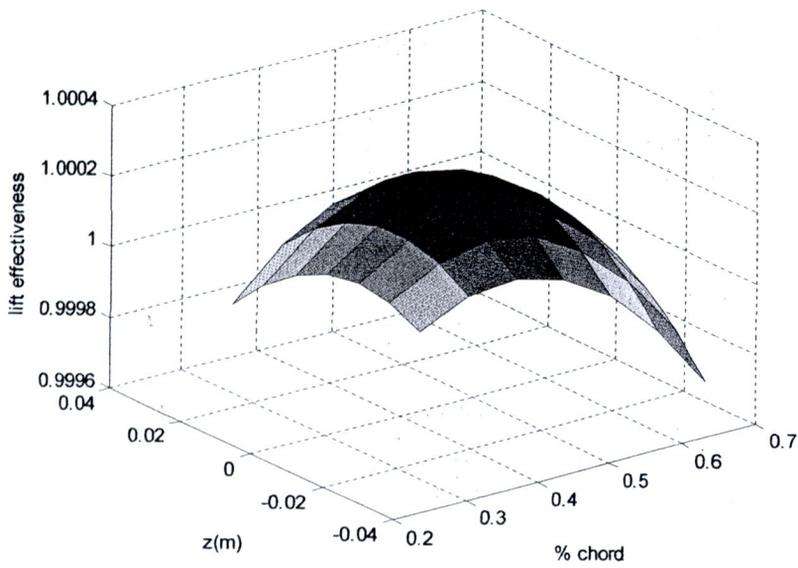
ภาพที่ 72 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูปร่างของปีกเครื่องบินในสามมิติของมุมลู่อิ่ง 10 องศา



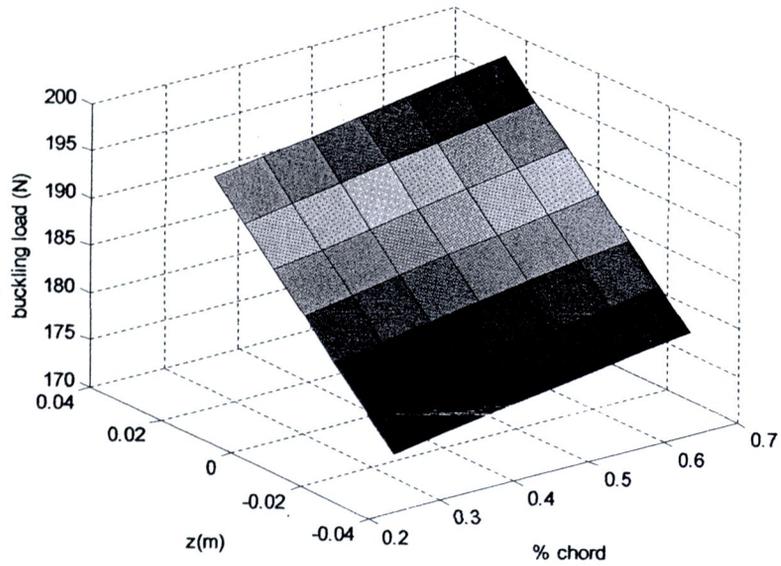
ภาพที่ 73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกระพือและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมของมุมลู่อิ่ง 10 องศา



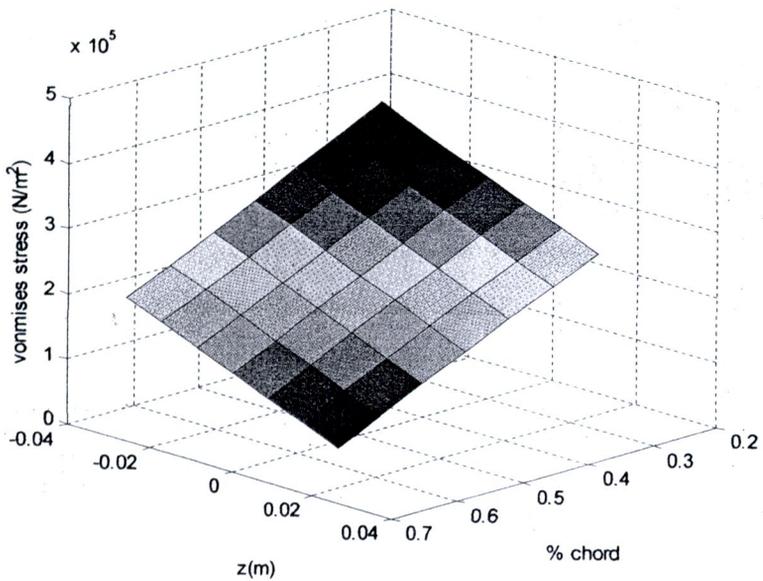
ภาพที่ 74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเบนออกและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมของมุดูหลัง 10 องศา



ภาพที่ 75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแรงยกและตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมของมุดูหลัง 10 องศา



ภาพที่ 76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโก่งเคาะและตำแหน่ง
จุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมของมุมลู่วิ่ง 10 องศา



ภาพที่ 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น Von Mises และตำแหน่ง
จุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมของมุมลู่วิ่ง 10 องศา

จากภาพที่ 73 ถึง 77 เป็นภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมซึ่งเป็นจุดเดียวกับจุดรับแรงกระตุ้น (ดูภาพที่ 43 และ 44 ประกอบ) และเป็นกราฟของมุมลู่วิ่ง 10 องศา ซึ่งรายละเอียดแต่ละกราฟเป็นดังนี้

- ภาพที่ 73 เป็นกราฟของค่าความเร็วกระพือ ซึ่งค่าสูงสุดอยู่บริเวณล่างของชายปีกด้านหลัง และค่าต่ำสุดอยู่ที่ด้านบนของชายปีกด้านหน้า โดยค่าความเร็วกระพือที่บริเวณขอบล่างของชายปีกด้านหน้าจะสูงกว่าขอบบนของชายปีกด้านหลังเล็กน้อย

- ภาพที่ 74 เป็นกราฟของค่าความเร็วเบนออก โดยค่าสูงสุดอยู่ที่ขอบบนของชายปีกด้านหลัง ซึ่งมีค่าสูงกว่าขอบล่างของชายปีกด้านหลังเล็กน้อย ส่วนค่าต่ำสุดอยู่ที่ขอบล่างของชายปีกด้านหน้า ซึ่งมีค่าต่ำกว่าขอบบนของชายปีกด้านหน้าเล็กน้อย

- ภาพที่ 75 เป็นกราฟของประสิทธิผลแรงยก โดยค่าสูงสุดอยู่บริเวณกึ่งกลางของแพนอากาศและลักษณะของกราฟคล้ายระฆังคว่ำ

- ภาพที่ 76 เป็นกราฟของค่าภาระโค้งเคาะ โดยค่าสูงสุดอยู่บริเวณขอบบนของปีก ซึ่งที่ชายปีกด้านหลังจะให้ค่าสูงที่สุดและสูงกว่าชายปีกด้านหน้าเล็กน้อย ส่วนค่าต่ำสุดอยู่ที่ขอบล่างของปีกโดยชายปีกด้านหน้าจะมีค่าต่ำสุดและต่ำกว่าชายปีกด้านหลังเล็กน้อย

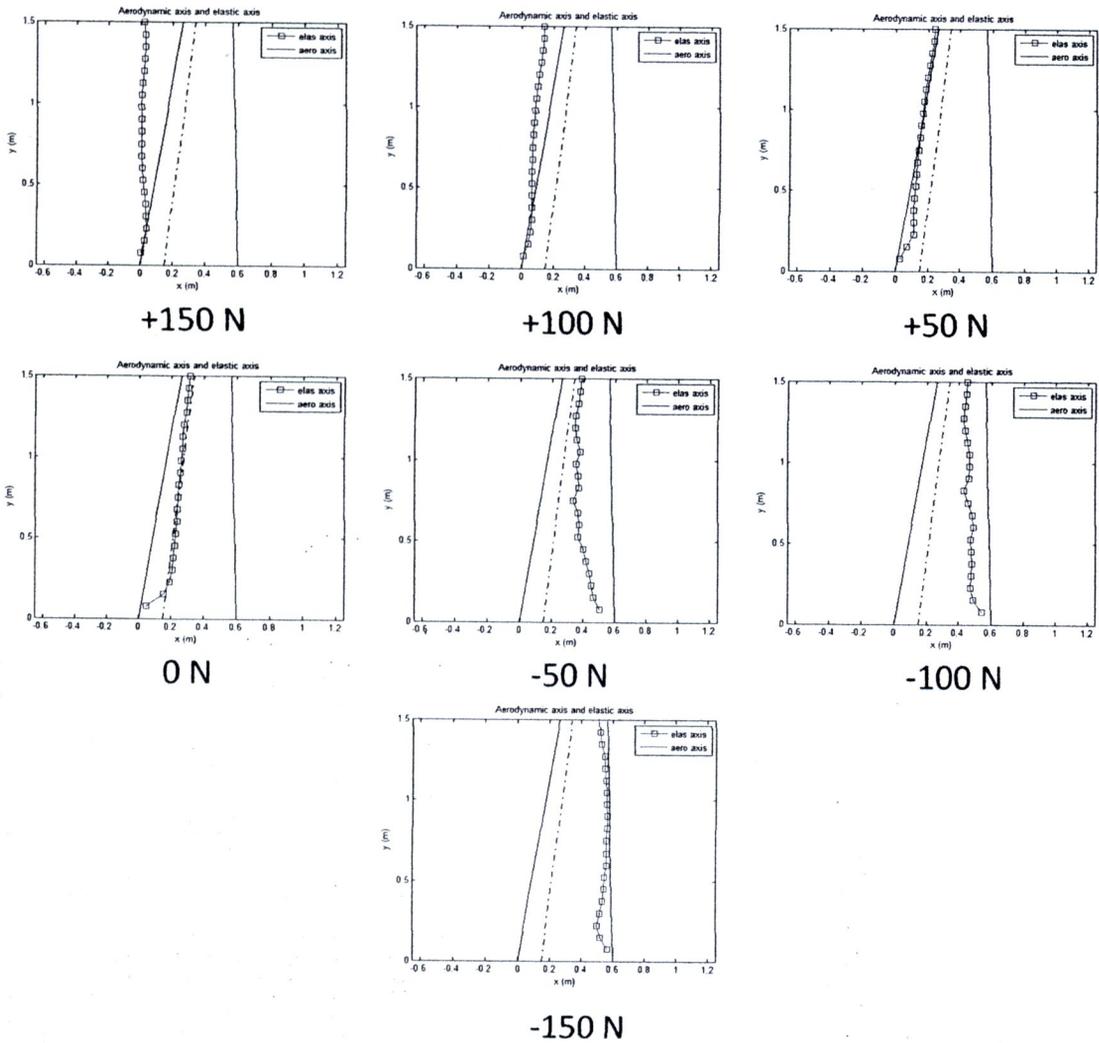
- ภาพที่ 77 เป็นกราฟของค่าความเค้น Von Mises โดยค่าสูงสุดอยู่ที่ขอบล่างของชายปีกด้านหน้า และค่าต่ำสุดอยู่ที่ขอบบนของชายปีกด้านหลัง โดยค่าที่ตำแหน่งขอบบนของชายปีกด้านหน้าจะสูงกว่าขอบล่างของชายปีกด้านหลัง

5.4.2 การปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น

เมื่อปรับเปลี่ยนมุมลู่วิ่งทำให้ค่าตัวแปรต่างๆเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม หลังจากการหาจุดเชื่อมต่อของสปาร์เสริมทั้งสองตัวที่ให้ประสิทธิผลแรงยกสูงสุดแล้ว จะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงแกนอีลาสติก, ประสิทธิผลแรงยก, ค่าความเค้น Von Mises และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแพนอากาศที่หน้าตัดรับแรงกระตุ้น โดยควบคุมการปรับเปลี่ยนขนาดแรงกระตุ้นให้ไม่เกินค่าภาระโค้งเคาะ ซึ่งที่มุมลู่วิ่งขนาด 10 องศา มีค่าเป็น 184.5166 นิวตัน ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าแรงกระตุ้นอยู่ในช่วง ± 150 นิวตัน นั่นคือ กำหนดให้มีการดึงขึ้นและกดลงของแรงกระตุ้นสูงสุดอยู่ที่ 150 นิวตัน และทำการปรับเปลี่ยนขนาดของแรงให้เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 50 นิวตัน ผลของตัวแปรต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

5.4.2.1 แกนอีลาสติก

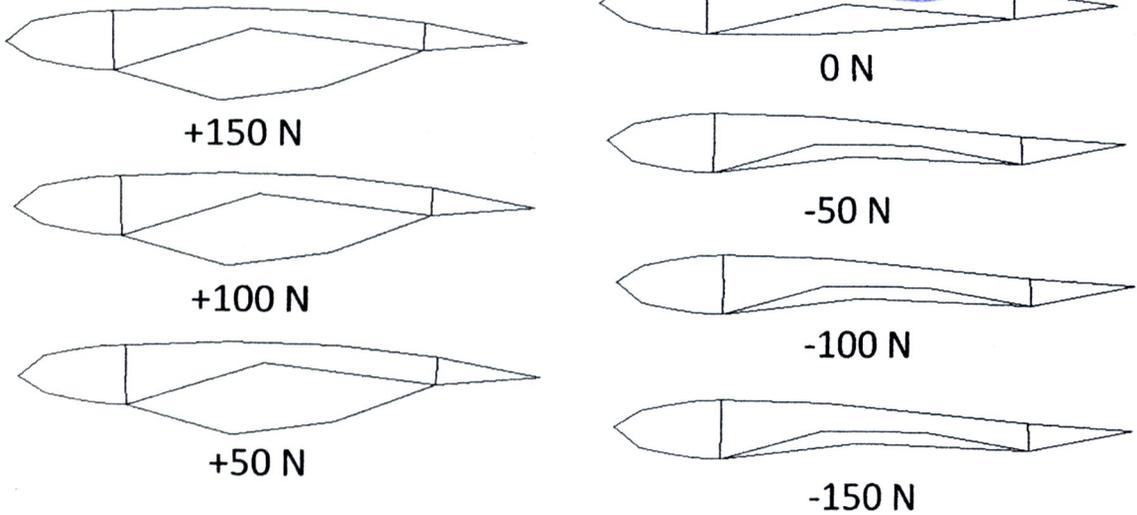
การปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นส่งผลให้แกนอีลาสติกเปลี่ยนแปลงไป โดยมีลักษณะของแกนเคลื่อนที่ไปทางด้านชายหลังของปีกเมื่อปรับเปลี่ยนค่าแรงให้มีขนาดลดลงเช่นเดียวกับค่ามุมลู่วิ่ง 30 องศา นั่นคือ เมื่อใส่ขนาดของแรงกระตุ้นให้ดึงขึ้นสูง แนวแกนอีลาสติกจะอยู่บริเวณชายหน้าของปีก เมื่อลดขนาดของแรงดึงลง แนวแกนจะเคลื่อนที่ไปทางชายหลังปีก และเมื่อเปลี่ยนแรงกระตุ้นให้กดลง แนวแกนอีลาสติกจะเคลื่อนที่ไปทางชายหลังปีกมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 78



ภาพที่ 78 แสดงการเปลี่ยนแปลงแกนอีลาสติกเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดแรงกระตุ้นของมุมลู่อหลัง 10 องศา

5.4.2.2 แพนอากาศที่หน้าค้ำรับแรงกระตุ้น

ลักษณะของแพนอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้น เมื่อแรงกระตุ้นเป็นแรงดึงขึ้น ผิวบนของปีกจะมีลักษณะ โค้งมากขึ้น จุดรับแรงกระตุ้นสูงขึ้น ทำให้สปาร์เสริมดิ่งขอบล่างของสปาร์หลักทั้งสองเข้าหากันและผลึกผิวล่างของแพนอากาศระหว่างสปาร์หลักทั้งสองให้โค้งงอลงมากขึ้น และเมื่อแรงกระตุ้นเป็นแรงกดลง ผิวบนของปีกจะ โค้งงอขึ้น จุดรับแรงกระตุ้นเคลื่อนที่ลงและสปาร์เสริมจะผลึกขอบล่างของสปาร์หลักทั้งสองให้ห่างออกจากกัน ส่งผลให้ผิวล่างของแพนอากาศระหว่างขอบล่างของสปาร์หลักเคลื่อนที่สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 79



ภาพที่ 79 แสดงการเปลี่ยนแปลงแผนอากาศเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นของมุมลู่อัง 10 องศา

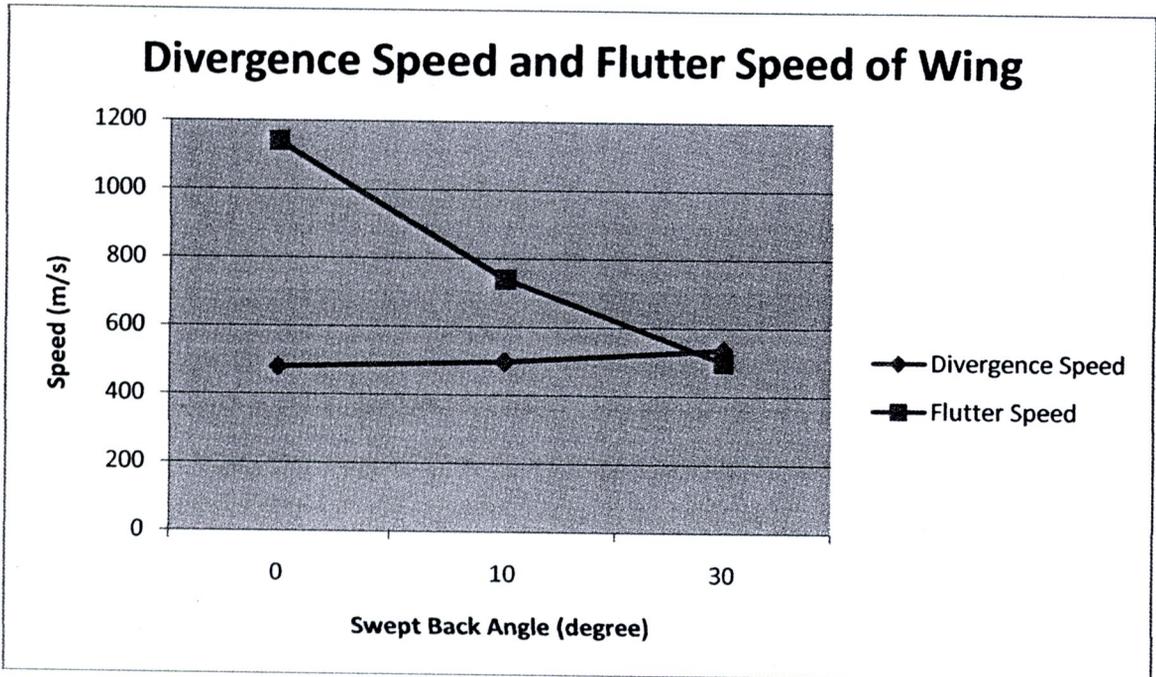
5.4.2.3 ค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises

เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นให้มีค่าสูงสุดที่ 150 นิวตัน ทั้งแรงดึงขึ้นและกดลง โดยปรับเปลี่ยนช่วง 50 นิวตัน ทำให้ค่าประสิทธิผลแรงยกเปลี่ยนแปลงไป โดยค่าประสิทธิผลแรงยกสูงสุดจะอยู่ที่ค่าแรงกระตุ้นเป็นแรงดึงสูงสุด นั่นคือ +150 นิวตัน และเมื่อลดขนาดของแรงกระตุ้นลง ค่าประสิทธิผลแรงยกจะลดลงตาม ส่วนค่าความเค้น Von Mises จะมีค่าเท่ากันเมื่อมีแรงกระตุ้นเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม และการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้น Von Mises จะมากขึ้นเมื่อมีแรงกระตุ้นที่มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงค่าประสิทธิผลแรงยกและค่าความเค้น Von Mises เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของแรงกระตุ้นของมุมลู่อัง 10 องศา

Actuated Load (N)	Lift Effectiveness	Von Mises Stress (N/m ²)
+150	1.0005	412130
+100	1.0003	274750
+50	1.0002	137380
0	1.0001	0
-50	1.0000	137380
-100	0.9998	274750
-150	0.9997	412130

5.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็ว



ภาพที่ 80 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเบนออกและความเร็วกระพือเมื่อปรับเปลี่ยนมุมลู่อัด

เมื่อทำการปรับมุมลู่อัด โดยใช้มุม 0, 10 และ 30 องศา เพื่อพิจารณาค่าความเร็วกระพือและความเร็วเบนออกเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วและนำมาสร้างกราฟ จากกราฟพบว่าค่าความเร็วเบนออกมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อปรับมุมลู่อัดให้มากขึ้น ส่วนค่าความเร็วกระพือมีค่าสูงเมื่อไม่มีมุมลู่อัดและลดลงมากเมื่อปรับมุมลู่อัดให้มากขึ้น ดังภาพที่ 80