

บทที่ 7

ผลจากไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model)

บริษัทตัวอย่างมีโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงที่เรียกว่า “ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model)” ชนิดของโปรแกรมคือ MSC.PATRAN สำหรับสร้างตัวรูปแบบ และ MSC.MARC สำหรับคำนวณหาผลตอบที่สนใจ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย (Factors) ต่อผลตอบ (Responses) ต่าง ๆ ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนทั้งในสภาวะสถิตย์ (Static) และพลศาสตร์ (Dynamic) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของค่า G-to-Lift off ที่ได้จากการทดสอบจริงกับการคำนวณจากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ เพื่อพิจารณาความเชื่อมั่นของตัวโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

7.1 ขั้นตอนการทำไฟไนต์เอลิเมนต์

7.1.1 สร้างแบบจำลอง (Models)

1) เปลี่ยนชนิดไฟล์ของแบบเขียน (Drawing) ของ Hinge 8 รูปแบบ และ Load beam 4 รูปแบบ ที่มีอยู่แล้ว (รูปร่างและขนาดอ้างอิงหัวข้อ 5.1) จากรูปโปรแกรม Autocad ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรม MSC.PATRAN และสร้างแบบจำลองของ Slider (หัวอ่าน/เขียน) ขนาด 100x125 มิลลิเมตร ในรูปโปรแกรม MSC.PATRAN ขึ้นมา 1 รูปแบบ ซึ่งทั้งหมดเป็นรูปแบบ 2D

2) แบ่งย่อยแต่ละชิ้นส่วนประกอบออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ (2D-Element Shell) ซึ่งจะทำเพียงครั้งเดียวของแต่ละแบบจำลองเท่านั้น

3) เปลี่ยนรูปแบบของแบบจำลองจากโปรแกรม MSC.PATRAN ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรม MSC.MARC สำหรับการคำนวณ

4) ทำแต่ละชิ้นส่วนประกอบที่อยู่ในรูป 2D ให้อยู่ในรูป 3D โดยใส่ความหนาของแต่ละชิ้นส่วนประกอบให้ (ความหนาของ Hinge และ Load beam ของแต่ละแบบจำลองอ้างอิงหัวข้อ 5.1 แต่สำหรับ Slider กำหนดให้หนา 0.305 มิลลิเมตร)

5) ประกอบแต่ละชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน (อ้างอิงตารางที่ 5.3) ซึ่งจะได้แบบจำลองดังรูปตัวอย่างที่ 7.1 สุดท้ายจะได้แบบจำลองทั้งสิ้น 16 รูปแบบ (แบบจำลองจะมีเพียงครึ่งโมเดลแต่จะถูกประยุกต์ใส่ฟังก์ชัน Symmetry เพื่อให้แสดงผลเสมือนเต็มโมเดล)



รูปที่ 7.1 แสดงตัวอย่างแบบจำลองที่ถูกรสร้างขึ้นโดยโปรแกรม MSC.PATRAN

6) ตั้งชื่อให้แต่ละชิ้นส่วนประกอบ

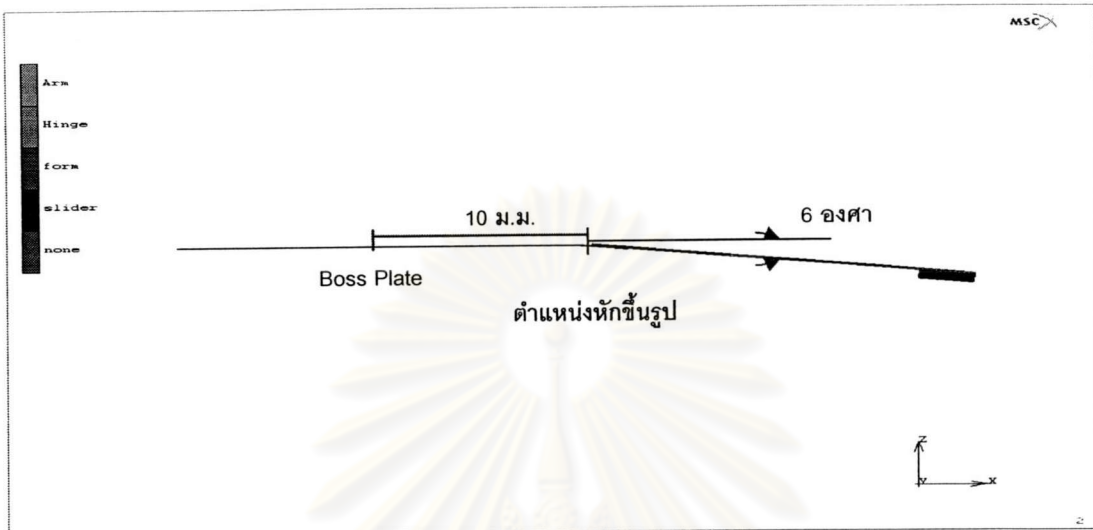
- Load beam สำหรับชิ้นส่วนที่เป็น Load beam
- Hinge สำหรับชิ้นส่วนที่เป็น Hinge
- Slider สำหรับชิ้นส่วนที่เป็น Slider
- Form สำหรับบริเวณที่ถูกขึ้นรูปให้ได้ค่ากรัมไหลด
- Load-point สำหรับจุดที่จะใส่แรง (Apply Force)
- Support สำหรับจุดยึด 2 ชิ้นส่วนติดกัน (Welding point)
- Symmetry สำหรับทำครึ่งโมเดลให้แสดงผลเสมือนเต็มโมเดล

7) กำหนดชนิดและคุณสมบัติของวัสดุ

- Type : SUS 304
- Young modulus : 181,300 MPa
- Poisson ratio : 0.305
- Density : 8071.4 kg/m³

7.1.2 กำหนดขนาดมุมของการขึ้นรูปของแต่ละแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่ากรัมโหลด 3 กรัม

1) กำหนดให้มุมของการขึ้นรูปที่สภาวะอิสระ (Free-State) เริ่มต้นที่ 6 องศา ห่างจาก Boss Plate 6.10 ม.ม. ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แสดงตัวอย่างแบบจำลองที่ถูกขึ้นรูปแล้วในสภาวะ Free-State

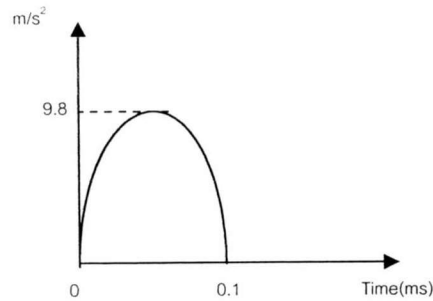
- 2) กำหนดจุดยึด จุดใส่แรงและระยะที่ถูกดันเพื่อให้ได้ตำแหน่ง Load Position ของตัวงาน
- 3) สั่งให้แบบจำลองจากสภาวะอิสระ (Free-State) ไปสู่สภาวะ Load Position
- 4) คำนวณแรงปฏิกิริยา (Reaction Force)
- 5) เปลี่ยนมุมของการขึ้นรูปที่สภาวะอิสระจาก 6 องศา เป็น 10 องศา
- 6) ทำซ้ำข้อ 2) - 4) จะได้แรงปฏิกิริยาอีกค่าหนึ่ง
- 7) คำนวณบรรทัดตรียางค์ เพื่อหามุมของการขึ้นรูปที่สภาวะอิสระ และได้แรงปฏิกิริยา 3.0

กรัม

7.1.3 คำนวณหาค่า G-to-Lift off

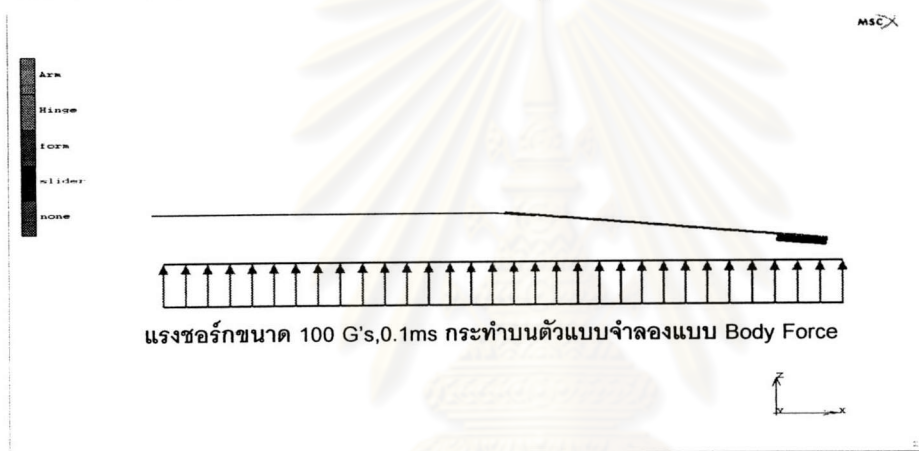
7.1.3.1 ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms

1) กำหนดขนาดความรุนแรงชอร์ค 9.8 m/s^2 (1 G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ซึ่งมีรูปร่างดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 แสดงรูปร่างและขนาดของแรงช็อกเริ่มต้น

2) กำหนดขนาดความรุนแรงช็อก 100 G's ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms โดยโปรแกรมจะคำนวณให้โดยใช้ 100 เท่าของข้อ 1 และกำหนดให้แรงช็อกนี้กระทำบนแบบจำลองเป็นแบบ Body Load นั่นคือทุกๆชิ้นส่วนย่อยที่ถูกแบ่งของชิ้นส่วนประกอบทุกชิ้นจะถูกกระทำด้วยแรงช็อก 100 G's ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงทิศทางของแรงช็อกที่กระทำบนแบบจำลอง

3) สร้างระนาบอ้างอิงได้ Slider

4) กำหนดปัญหาให้เป็นแบบ Dynamic Transient และสั่งให้โปรแกรมรัน สุดท้ายโปรแกรมจะคำนวณระยะห่างระหว่าง Slider กับระนาบอ้างอิงให้

5) ผลของความรุนแรงช็อก 100 G's นี้ ระยะห่างระหว่าง Slider กับระนาบอ้างอิงคำนวณได้เท่ากับศูนย์ นั่นแสดงว่า Slider ยังคงไม่แยกออกจากระนาบอ้างอิง

6) กำหนดขนาดความรุนแรงช็อก 1000 G's และสั่งให้โปรแกรมรันแล้วตรวจสอบดูระยะห่างระหว่าง Slider กับระนาบอ้างอิง ผลปรากฏว่า Slider แยกออกจากระนาบอ้างอิงแล้ว

7) ใช้ Bisection Algorithm หาความรุนแรงช็อกที่สภาวะ G-to-Lift off (หลักการของ Bisection Algorithm คือนำขนาดความรุนแรงช็อกทั้ง 2 สภาวะข้างต้นบวกกันและหารด้วย 2 ซึ่งจะได้ $(100+1000)/2 = 550$ G's แล้วสั่งให้โปรแกรมรันที่ขนาดความรุนแรงช็อก 550 G's แล้วตรวจสอบดูระยะห่างระหว่าง Slider กับระนาบอ้างอิง สมมติว่าผลออกมา Slider แยกออกจากระนาบอ้างอิง

ขั้นตอนต่อไปโปรแกรมก็จะคำนวณหาขนาดความรุนแรงชอร์คใหม่โดยใช้ $(100+550)/2 = 325$ G's แล้วสั่งให้โปรแกรมรันใหม่ เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งได้ค่า G-to-Lift off ออกมา)

7.1.3.2 ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms

ทำซ้ำในหัวข้อ 7.1.3.1 แต่เปลี่ยนสถานะ Shock Pulse Duration จาก 0.1ms เป็น 0.35 ms

7.2 วิเคราะห์ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms ของแบบจำลองแต่ละรูปแบบจากโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์แสดงดังตารางที่ 7.1 และผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้โปรแกรมมินิแท็บในการวิเคราะห์

ตารางที่ 7.1 แสดงค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms ของแบบจำลองแต่ละรูปแบบจากโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์

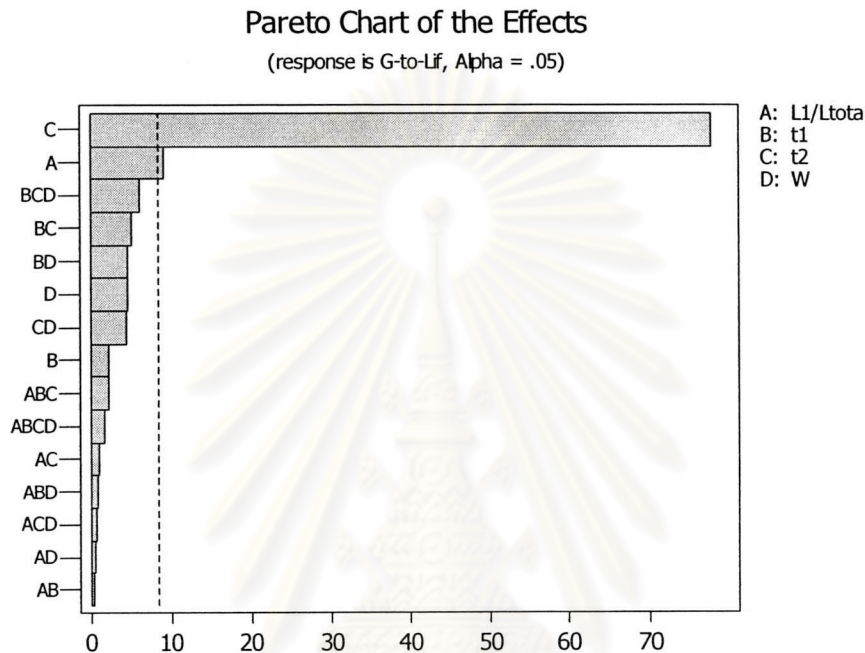
รูปแบบ	ปัจจัย (Factors)				ผลตอบ (Responses)	
	L_1/L_{total}	t_1	t_2	W	G-to-Lift off ที่ PD=0.1ms	G-to-Lift off ที่ PD=0.35ms
1	0.037	0.030	0.076	0.600	170.167	85.167
2	0.078	0.030	0.076	0.600	177.767	88.700
3	0.037	0.038	0.076	0.600	188.600	87.233
4	0.078	0.038	0.076	0.600	194.767	91.333
5	0.037	0.030	0.120	0.600	105.967	50.900
6	0.078	0.030	0.120	0.600	117.700	58.800
7	0.037	0.038	0.120	0.600	103.333	55.867
8	0.078	0.038	0.120	0.600	111.833	59.100
9	0.037	0.030	0.076	0.800	190.933	87.500
10	0.078	0.030	0.076	0.800	195.633	91.033
11	0.037	0.038	0.076	0.800	183.033	88.967
12	0.078	0.038	0.076	0.800	196.800	91.333
13	0.037	0.030	0.120	0.800	103.933	55.867
14	0.078	0.030	0.120	0.800	117.100	58.800
15	0.037	0.038	0.120	0.800	105.700	56.467
16	0.078	0.038	0.120	0.800	112.433	58.500

PD คือ Shock Pulse Duration

7.2.1 G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms

7.2.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้นแบบเต็มรูป (Full model)

เนื่องจากข้อมูลได้จากการคำนวณ จึงทำให้การออกแบบการทดลองในหัวข้อนี้ไม่มีการทำซ้ำ (Replicate = 1) ดังนั้นการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้นแบบเต็มรูป (Full model) จึงต้องพิจารณาจากกราฟพาเรโตรูปที่ 7.5 เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 7.5 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off

หลักการพิจารณาพจน์ใดที่มีแท่งกราฟยาวเกินเส้นประ นั้นแสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และลำดับชั้นของพาเรโตแสดงถึงความรุนแรงของแต่ละพจน์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

จากกราฟพาเรโตรูปที่ 7.5 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

- 1) ผลหลักของความหนาของ Load beam (t_2)
- 2) ผลหลักของอัตราส่วนของ L_1/L_{total}

7.2.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูป (Reduced Model)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น ลดรูปพจน์ที่ไม่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ออกจากโมเดล แต่ครั้งนี้ขอเก็บผลหลักของทุกปัจจัยไว้ในโมเดลเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของผลิตภัณฑ์จริงภายหลัง พิจารณาผลจากตาราง ANOVA ที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Analysis of Variance for G-to-Lift off, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
L1/Ltota	1	327.3	327.3	327.3	8.13	0.016
t1	1	18.7	18.7	18.7	0.46	0.510
t2	1	24001.8	24001.8	24001.8	596.09	0.000
W	1	78.5	78.5	78.5	1.95	0.190
Error	11	442.9	442.9	40.3		
Total	15	24869.2				

Estimated Effects and Coefficients for G-to-Lift off (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		148.48	1.586	93.60	0.000
L1/Ltota	9.05	4.52	1.586	2.85	0.016
t1	2.16	1.08	1.586	0.68	0.510
t2	-77.46	-38.73	1.586	-24.41	0.000
W	4.43	2.21	1.586	1.40	0.190

Estimated Coefficients for G-to-Lift off using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	283.632
L1/Ltota	220.630
t1	270.313
t2	-1760.51
W	22.1458

ตารางที่ 7.3 สรุปอิทธิพลของผลหลักแต่ละปัจจัยต่อความผันแปรของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse

Duration 0.1 ms (%Contribution)

Source	%Contribution
t ₂	96.51
L ₁ /L _{total}	1.32
W	0.32
t ₁	0.08

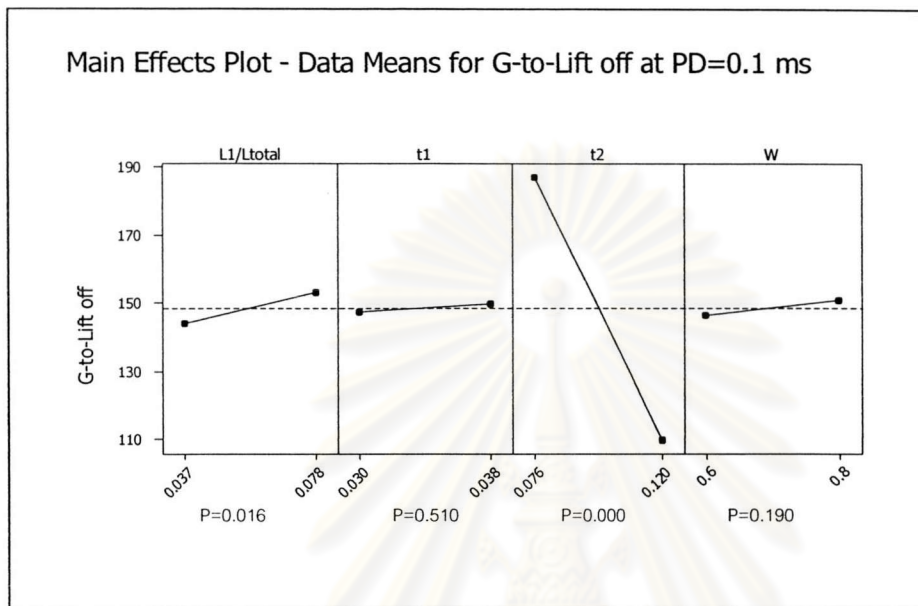
จากตาราง ANOVA ที่ 7.2 สามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ได้ดังนี้

$$\text{G-to-Lift off}_{0.1 \text{ ms}} = 283.63 + (220.63 * L_1/L_{\text{total}}) + (270.31 * t_1) - (1760.51 * t_2) + (22.15 * W)$$

ซึ่งสมการนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ได้ 98.23 เปอร์เซ็นต์ (ผลรวมของ %Contribution ในตารางที่ 7.3) และสมการนี้จะถูกนำไปใช้หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยเมื่อคำนึงถึง G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ร่วมด้วยในภายหลัง

7.2.1.3 วิเคราะห์ผลหลักของแต่ละปัจจัย

การวิเคราะห์ตรงนี้จะนำผลจากข้อ 7.2.1.2 มาใช้ตัดสินใจร่วมด้วยในการเลือกสภาวะเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงสุด พิจารณา รูปที่ 7.6 ซึ่งแสดงผลหลักของแต่ละปัจจัย



รูปที่ 7.6 ผลหลักของแต่ละปัจจัย

จากรูป 7.6 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน สามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงสุดได้ดังนี้

1) ความหนาของ Load beam (t_2) ควรเลือกความหนา 0.076 ม.ม.(-) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Load beam (t_2) บางลงจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงขึ้น

2) อัตราส่วนของ L_1/L_{total} ควรเลือก 0.078 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของ L_1/L_{total} ยาวขึ้นจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงขึ้น

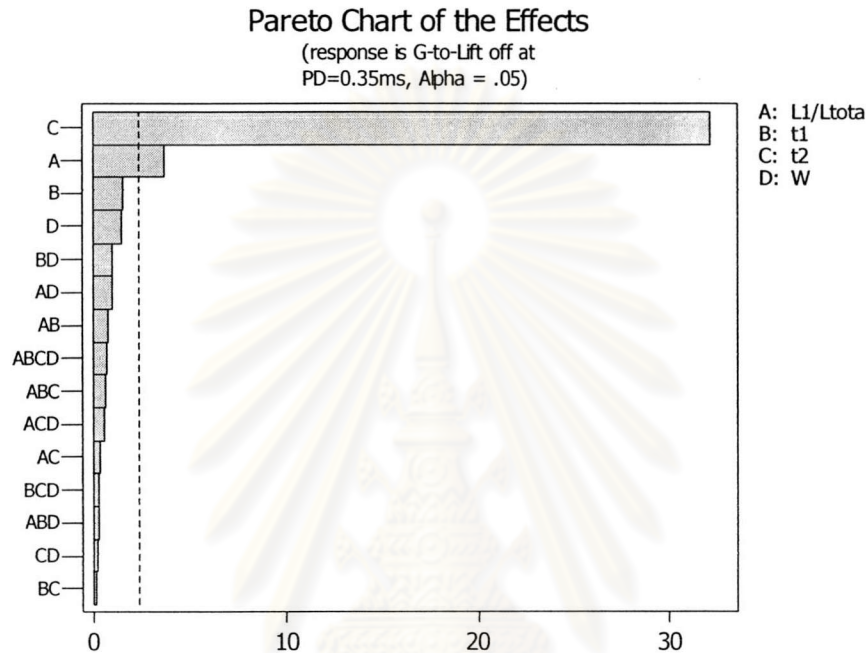
3) ความหนาของ Hinge (t_1) ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญ เลือกระดับใดก็ได้

4) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญ เลือกระดับใดก็ได้

7.2.2 G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms

7.2.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้นแบบเต็มรูป (Full model)

เนื่องจากข้อมูลได้จากการคำนวณ จึงทำให้การออกแบบการทดลองในหัวข้อนี้ไม่มีการทำซ้ำ (Replicate = 1) ดังนั้นการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้นแบบเต็มรูป (Full model) จึงต้องพิจารณาจากกราฟพาเรโตรูปที่ 7.7 เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 7.7 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off

หลักการพิจารณาพจน์ใดที่มีแท่งกราฟยาวเกินเส้นประ นั้นแสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และลำดับชั้นของพาเรโตแสดงถึงความรุนแรงของแต่ละพจน์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

จากกราฟพาเรโตรูปที่ 7.7 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

- 1) ผลหลักของความหนาของ Load beam (t_2)
- 2) ผลหลักของอัตราส่วนของ L_1/L_{total}

7.2.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูป (Reduced Model)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น ลดรูปพจน์ที่ไม่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ออกจากโมเดล แต่ครั้งนี้ขอเก็บผลหลักของทุกปัจจัยไว้ในโมเดลเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของผลิตภัณฑ์จริงภายหลัง พิจารณาผลจากตาราง ANOVA ที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Analysis of Variance for G-to-Lift off, using Adjusted SS for Tests.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
L1/Ltota	1	54.9	54.9	54.9	37.86	0.000
t1	1	9.1	9.1	9.1	6.24	0.030
t2	1	4127.0	4127.0	4127.0	2846.86	0.000
W	1	8.1	8.1	8.1	5.57	0.038
Error	11	15.9	15.9	1.4		
Total	15	4214.9				

Estimated Effects and Coefficients for G-to-Lift off (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		72.85	0.3010	242.02	0.000
L1/Ltota	3.70	1.85	0.3010	6.15	0.000
t1	1.50	0.75	0.3010	2.50	0.030
t2	-32.12	-16.06	0.3010	-53.36	0.000
W	1.42	0.71	0.3010	2.36	0.038

Estimated Coefficients for G-to-Lift off using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	127.829
L1/Ltota	90.3455
t1	188.021
t2	-730.019
W	7.10417

ตารางที่ 7.5 สรุปอิทธิพลของผลหลักแต่ละปัจจัยต่อความผันแปรของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse

Duration 0.35 ms (%Contribution)

Source	%Contribution
t ₂	97.91
L ₁ /L _{total}	1.30
t ₁	0.22
W	0.19

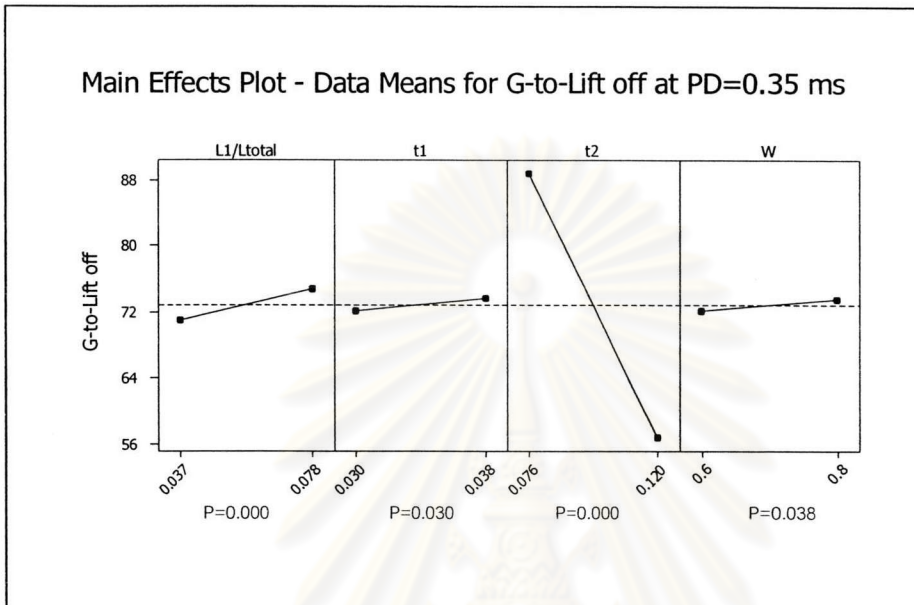
จากตาราง ANOVA ที่ 7.5 หลังจากทีลดรูปพจน์ของอันตรกิริยาออกจากโมเดลแล้วทำให้ผลหลักของความหนาของ Hinge (t₁) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) มีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ได้ดังนี้

$$G\text{-to-Lift off}_{0.35\text{ ms}} = 127.83 + (90.35 * L_1/L_{total}) + (188.02 * t_1) - (730.02 * t_2) + (7.10 * W)$$

ซึ่งสมการนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ได้ 99.61 เปอร์เซ็นต์ (ผลรวมของ %Contribution ในตารางที่ 7.5) และสมการนี้จะถูกนำไปใช้หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยเมื่อคำนึงถึง G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ร่วมด้วยในภายหลัง

7.2.2.3 วิเคราะห์ผลหลักของแต่ละปัจจัย

การวิเคราะห์ตรงนี้จะนำผลจากข้อ 7.2.2.2 มาใช้ตัดสินใจร่วมด้วยในการเลือกสภาวะเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงสุด พิจารณา รูปที่ 7.8 ซึ่งแสดงผลหลักของแต่ละปัจจัย



รูปที่ 7.8 ผลหลักของแต่ละปัจจัย

จากรูป 7.8 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน สามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงสุดได้ดังนี้

1) ความหนาของ Load beam (t_2) ควรเลือกความหนา 0.076 ม.ม.(-) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Load beam (t_2) บางลงจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น

2) อัตราส่วนของ L_1/L_{total} ควรเลือก 0.078 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของ L_1/L_{total} ยาวขึ้นจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น

3) ความหนาของ Hinge (t_1) ควรเลือกความหนา 0.038 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Hinge (t_1) หนาขึ้นจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น

4) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรเลือกความกว้าง 0.800 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) กว้างขึ้นจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น

7.2.3 วิเคราะห์หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยของแบบจำลองที่ทำให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms มีค่าสูงสุดทั้งคู่

นำสมการพยากรณ์ที่ได้ของแต่ละผลตอบในหัวข้อ 7.2.1 และ 7.2.2 มาวิเคราะห์ร่วมกันโดยใช้หลักการของ Optimization และประยุกต์ใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ทุกผลตอบมีค่าสูงสุด โดยตั้งเป้าหมายให้แต่ละผลตอบมีค่าสูงสุด (Maximize All Responses) และให้นำน้ำหนักความสำคัญของแต่ละผลตอบเท่ากัน ตาราง 7.6 แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab

ตาราง 7.6 แสดงผลวิเคราะห์ของ Response Optimization

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
G-to-Lift off _{0.1ms}	Maximum	0	200	200	1
G-to-Lift off _{0.35ms}	Maximum	0	100	100	1

Global Solution

L1/Ltotal	=	0.078 mm
t1	=	0.038 mm
t2	=	0.076 mm
W	=	0.800 mm

Predicted Responses

G-to-Lift off _{0.1ms}	=	195.031 G's
G-to-Lift off _{0.35ms}	=	92.223 G's

จากตารางที่ 7.6 สามารถสรุประดับของปัจจัยและขนาดของผลตอบที่ดีที่สุดดังในตารางที่ 7.7

ตาราง 7.7 สรุประดับของปัจจัยและขนาดของผลตอบที่ดีที่สุดเมื่อคำนึงถึง G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms

ปัจจัย (Factors)		ขนาดของผลตอบ (Responses)	
ชนิดของปัจจัย	ขนาด (mm)	G-to-Lift off(G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms	G-to-Lift off(G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms
อัตราส่วนของ L_1/L_{total}	0.078	195.03	92.22
ความหนาของ Hinge (t_1)	0.038		
ความหนาของ Load beam (t_2)	0.076		
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)	0.800		

7.3 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนต์อีลิเมนต์กับการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง

7.3.1 เปรียบเทียบในเชิงดูแนวโน้มการออกแบบ

จากหัวข้อ 6.5 (ข้อมูลจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง) ต้องการหาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms มีค่าสูงดีที่สุดโดยไม่คำนึงถึงความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์(Sway frequency) ตาราง 7.8 แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab

ตาราง 7.8 แสดงผลวิเคราะห์ของ Response Optimization

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
G-to-Lift off _{0.1ms}	Maximum	0	100	100	1
G-to-Lift off _{0.35ms}	Maximum	0	100	100	1

Global Solution

L1/Ltotal	=	0.078 mm
t1	=	0.038 mm
t2	=	0.076 mm
W	=	0.800 mm

Predicted Responses

G-to-Lift off _{0.1ms}	=	80.1107 G's
G-to-Lift off _{0.35ms}	=	64.4508 G's

จากตารางที่ 7.8 สามารถสรุประดับของปัจจัยและขนาดของผลตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบจริงดังในตารางที่ 7.9

ตาราง 7.9 สรุประดับของปัจจัยและขนาดของผลตอบที่ดีที่สุดเมื่อคำนึงถึง

G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms

ปัจจัย (Factors)		ขนาดของผลตอบ (Responses)	
ชนิดของปัจจัย	ขนาด (mm)	G-to-Lift off(G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms	G-to-Lift off(G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms
อัตราส่วนของ L _i /L _{total}	0.078	80.11	64.45
ความหนาของ Hinge (t ₁)	0.038		
ความหนาของ Load beam (t ₂)	0.076		
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)	0.800		

จากผลการวิเคราะห์หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms มีค่าสูงที่สุดของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนต์เอลิเมนต์ (ตารางที่ 7.7) และการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง (ตารางที่ 7.9) สามารถสรุปเปรียบเทียบในเชิงดูแนวโน้มการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนเพื่อให้มีค่า G-to-Lift off สูงได้ดังตารางที่ 7.10

ตาราง 7.10 สรุปเปรียบเทียบแนวโน้มการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนเพื่อให้ได้ค่า G-to-Lift off สูง จากข้อมูลที่คำนวณโดยไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		แนวโน้มการออกแบบ	
	ไฟไนต์เอลิเมนต์	ทดสอบจริง	ไฟไนต์เอลิเมนต์	ทดสอบจริง
อัตราส่วนของ L_1/L_{total}	ระดับสูง(0.078)	ระดับสูง(0.078)	อัตราส่วนของ L_1/L_{total} ยาวขึ้น	อัตราส่วนของ L_1/L_{total} ยาวขึ้น
ความหนาของ Hinge (t_1)	ระดับสูง(0.038)	ระดับสูง(0.038)	ความหนาของ Hinge หนาขึ้น	ความหนาของ Hinge หนาขึ้น
ความหนาของ Load beam (t_2)	ระดับต่ำ(0.076)	ระดับต่ำ(0.076)	ความหนาของ Load beam บางลง	ความหนาของ Load beam บางลง
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)	ระดับสูง(0.800)	ระดับสูง(0.800)	ความกว้างของ Hinge กว้างขึ้น	ความกว้างของ Hinge กว้างขึ้น

จากตารางที่ 7.10 แนวโน้มการออกแบบขนาดของปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงมีแนวโน้มตรงกันในทุกปัจจัย ดังนั้นความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากไฟไนต์เอลิเมนต์ในเชิงดูแนวโน้มการออกแบบสามารถเชื่อถือได้ 100 เปอร์เซ็นต์

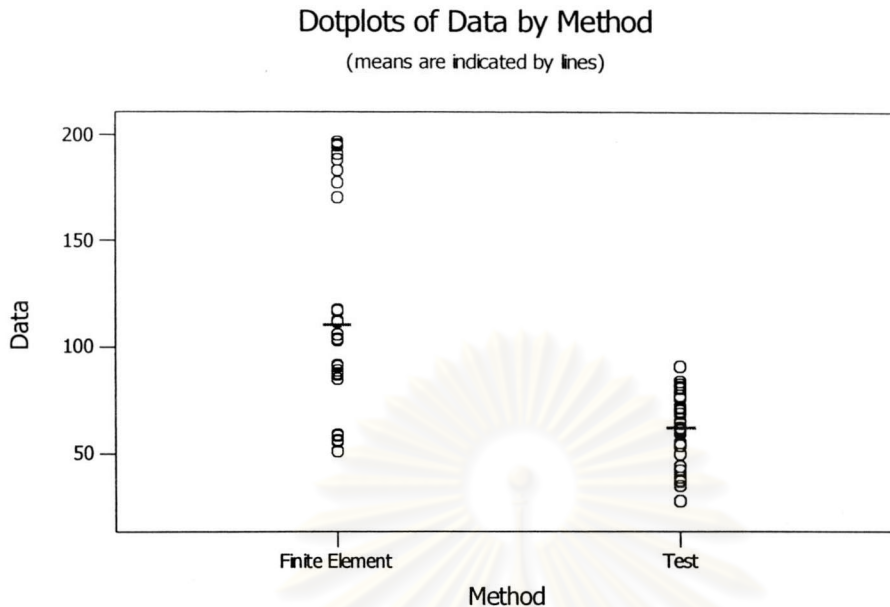
7.3.2 เปรียบเทียบในเชิงปริมาณ

ค่า G-to-Lift off ที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนอิลีเมนต์และการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงถูกแสดงในตารางที่ 7.11

ตาราง 7.11 แสดงค่า G-to-Lift off ที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนอิลีเมนต์และการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง

รูปแบบ	G-to-Lift off(G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms		G-to-Lift off(G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms	
	ไฟไนอิลีเมนต์	ทดสอบจริง	ไฟไนอิลีเมนต์	ทดสอบจริง
1	170.17	82.42	85.17	55.28
2	177.77	80.99	88.70	55.09
3	188.60	75.54	87.23	53.82
4	194.77	82.06	91.33	62.06
5	105.97	77.21	50.90	43.88
6	117.70	80.14	58.80	49.76
7	103.33	71.65	55.87	37.23
8	111.83	64.52	59.10	38.96
9	190.93	90.86	87.50	59.85
10	195.63	80.75	91.03	42.26
11	183.03	75.91	88.97	61.06
12	196.80	83.47	91.33	64.31
13	103.93	68.80	55.87	34.73
14	117.10	69.94	58.80	42.13
15	105.70	71.35	56.47	27.86
16	112.43	61.79	58.50	36.69

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลจากตารางที่ 7.11 โดยประยุกต์ใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยแบบ Two-Sample T-Test และตั้งข้อสมมุติว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน (รวมข้อมูลของค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms เป็นกลุ่มเดียวกัน) พิจารณาผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 7.9 และตารางที่ 7.12 ตามลำดับ



รูปที่ 7.9 แสดง Dot Plots ของค่า G-to-Lift off ที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนต์อีลิเมนต์ และการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง

ตาราง 7.12 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบ Two-Sample T-Test

Two-sample T for Data				
Method	N	Mean	StDev	SE Mean
Finite Ele	32	110.7	49.1	8.7
Test	32	61.9	17.2	3.0

Difference = μ (Finite Ele) - μ (Test)
 Estimate for difference: 48.72
 95% CI for difference: (30.32, 67.11)
 T-Test of difference = 0 (vs not =):
 T-Value = 5.29 P-Value = 0.000 DF = 62

Both use Pooled StDev = 36.8

ผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 7.9 และตารางที่ 7.12 แสดงให้เห็นว่าค่า G-to-Lift off ที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนต์อีลิเมนต์และการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลจากไฟไนต์อีลิเมนต์สูงกว่าการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงโดยเฉลี่ย 48.72 G's หรือ 78.7 เปอร์เซ็นต์

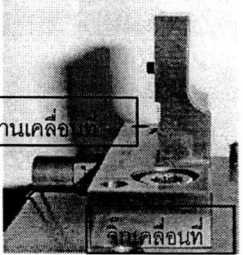

ข้อมูลจากไฟไนต์อีลิเมนต์ในเชิงปริมาณครั้งนี้ไม่สามารถเชื่อถือได้ ดังนั้นจึงควรต้องหาข้อผิดพลาดและวิธีการใหม่เพื่อปรับปรุงให้ปริมาณของข้อมูลจากไฟไนต์อีลิเมนต์ใกล้เคียงกับการทดสอบผลิตภัณฑ์จริงมากขึ้นต่อไป

ข้อสรุปจากที่มงานถึงสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลจากไฟไนอิลีเมนต์มีปริมาณสูงกว่าข้อมูลจากการทดสอบผลิตภัณฑ์จริงเกือบ 2 เท่าน่าจะมาจากวิธีการที่ต่างกันเป็นหลัก เนื่องจากเป็นครั้งแรกของการใช้โปรแกรมไฟไนอิลีเมนต์ในการคำนวณค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนในสภาวะพลศาสตร์จึงทำให้ที่มงานยังขาดประสบการณ์ในการประยุกต์ใช้โปรแกรมไฟไนอิลีเมนต์ให้เสมือนกับสภาวะของการทดสอบผลิตภัณฑ์จริง วิธีการที่แตกต่างสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7.13

ตาราง 7.13 แสดงความแตกต่างของวิธีการที่ประยุกต์ให้กับไฟไนอิลีเมนต์กับการทดสอบผลิตภัณฑ์จริง

สาเหตุ	ไฟไนอิลีเมนต์	การทดสอบผลิตภัณฑ์จริง
1) ค่า G's ที่ถูกวัด	เป็นค่า G's บนตัวงาน (เสมือนมี Accelerometer ติดอยู่บนตัวงาน)	เป็นค่า G's ที่ถูกวัดบนจิกจับตัวงาน 
2) วิธีการ	เป็นการประยุกต์แรงชอริกแบบ Body Force บนตัวแบบจำลองเพื่อเอาชนะค่ากรัมโหลดที่กดหัวอ่าน/เขียนบนระนาบอ้างอิง (รายละเอียดดูในหัวข้อ 7.1.3)	สามารถอธิบายเป็นลำดับได้ดังนี้ 1) ประยุกต์แรงชอริกบนจิกจับตัวงาน  2) จิกและตัวงานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกัน 

ตาราง 7.13 (ต่อ)

สาเหตุ	ไฟไนต์ลิเมนต์	การทดสอบผลิตภัณฑ์จริง
		<p>3) จิ๊กเคลื่อนที่จนกระทั่งหยุดนิ่งและเคลื่อนที่กลับ</p> <p>3.1) กรณีแรงซอร์กรุนแรง ตัวงานในช่วงปลายอิสระยังคงเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้าด้วยแรงเฉื่อย ทำให้หัวอ่าน/เขียนแยกออกจากจิ๊ก</p>  <p>3.2) กรณีแรงซอร์กไม่รุนแรงพอ ตัวงานหยุดและเคลื่อนที่กลับพร้อมจิ๊ก ทำให้หัวอ่าน/เขียนไม่แยกออกจากจิ๊ก</p> 

ดังนั้นถ้าต้องการให้ข้อมูลจากไฟไนต์ลิเมนต์มีปริมาณใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดสอบผลิตภัณฑ์จริงมากขึ้นจึงควรต้องปฏิบัติดังนี้

- 1) สร้างแบบจำลองให้เหมือนกับการทดสอบผลิตภัณฑ์จริง ตัวงานถูกยึดติดบนจิ๊ก
- 2) ประยุกต์การเคลื่อนที่ของจิ๊กในสภาวะการทดสอบจริง (ข้อมูลของความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา) ให้กับโปรแกรมไฟไนต์ลิเมนต์
- 3) คำนวณระยะห่างระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับระนาบอ้างอิงของจิ๊ก
- 4) ทำซ้ำข้อ 2 และข้อ 3 โดยใช้วิธีการ Tial&Error จนกระทั่งได้ผลที่สภาวะ G-to-Lift off
- 5) คำนวณกลับจากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา เป็น ความเร่งกับเวลา สุด

ทำเปลี่ยนแปลงหน่วยเป็น G's

เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้มีหน้าที่การงานด้านไฟไนลิ่งเมนต์ และทีมงานที่เกี่ยวข้องยังคงมีงานอื่นที่ได้รับมอบหมายโดยตรงค่อนข้างมากในขณะนี้ ดังนั้นวิธีใหม่ที่กล่าวข้างต้นจึงยังไม่ได้ถูกลงปฏิบัติ

7.4 สรุป

ผลเปรียบเทียบในเชิงคุณวณโน้มการออกแบบของปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่ได้ข้อมูลจากการคำนวณโดยไฟไนลิ่งเมนต์กับการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงมีแนวโน้มการออกแบบตรงกันในทุกปัจจัย ดังนั้นความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากไฟไนลิ่งเมนต์ในเชิงคุณวณโน้มการออกแบบนี้สามารถเชื่อถือได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ผลเปรียบเทียบในเชิงปริมาณของค่า G-to-Lift off ที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนลิ่งเมนต์และการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงมีความต่างกันประมาณ 78.7 เปอร์เซ็นต์ หรือเกือบ 2 เท่าโดยข้อมูลจากไฟไนลิ่งเมนต์สูงกว่าการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง ดังนั้นขนาดของข้อมูลที่คำนวณได้จากไฟไนลิ่งเมนต์ครั้งนี้จึงไม่สามารถเชื่อถือได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย