

## บทที่ 6

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการออกแบบการทดลองและสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยของแต่ละการทดลองร่วมปัจจัย ดังนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 16 รูปแบบ (ดังตารางที่ 5.5 และสามารถดูรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ถูกผลิตทั้งหมดในภาคผนวก ข.) แล้วนำไปทดสอบหาค่าผลตอบต่าง ๆ ต่อไป

หลังจากได้ผลการทดสอบ ขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์ผลซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้ดังต่อไปนี้

6.1) วิเคราะห์หาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms. โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6.2) วิเคราะห์หาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms. โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6.3) วิเคราะห์หาอิทธิพลของสภาวะ Shock Pulse Duration ที่เกิดขึ้นต่อสภาวะของปัจจัยที่ทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงสุด โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6.4) วิเคราะห์หาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ธรรมชาติที่เกิดกำทอนในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6.5) ผลของการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนเมื่อคำนึงถึงผลตอบเพียง 1 ผลตอบ (G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms หรือ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms หรือ ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์)

6.6) วิเคราะห์หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ทำให้ทุก ๆ ผลตอบมีค่าสูงที่สุด ( Maximize All Response) โดยใช้หลักการ Response Optimization จากโปรแกรมสำเร็จใน Minitab

6.7) ศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะตกกระทบบนแผ่นดิสก์กับค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียน เมื่อแขนจับหัวอ่าน/เขียนอยู่ในสภาวะชอร์ก ระดับเกินค่า G-to-Lift off

## 6.1 G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms

Model	Repl cation	Std Order	Run Order	Factors				Response
				L1/Ltotal	t1	t2	W	G-to-Lift off at PD=0.1 ms
5	3	37	1	0.037	0.030	0.120	0.600	76.371
14	1	14	2	0.078	0.030	0.120	0.800	69.488
14	3	46	3	0.078	0.030	0.120	0.800	74.097
10	3	42	4	0.078	0.030	0.076	0.800	79.782
13	2	29	5	0.037	0.030	0.120	0.800	67.580
5	2	21	6	0.037	0.030	0.120	0.600	75.319
2	3	34	7	0.078	0.030	0.076	0.600	80.516
8	1	8	8	0.078	0.038	0.120	0.600	66.880
6	1	6	9	0.078	0.030	0.120	0.600	76.290
12	2	28	10	0.078	0.038	0.076	0.800	79.290
1	3	33	11	0.037	0.030	0.076	0.600	82.275
15	2	31	12	0.037	0.038	0.120	0.800	69.100
11	1	11	13	0.037	0.038	0.076	0.800	80.837
13	3	45	14	0.037	0.030	0.120	0.800	70.424
12	3	44	15	0.078	0.038	0.076	0.800	83.770
8	3	40	16	0.078	0.038	0.120	0.600	61.765
13	1	13	17	0.037	0.030	0.120	0.800	68.397
16	1	16	18	0.078	0.038	0.120	0.800	62.648
2	1	2	19	0.078	0.030	0.076	0.600	81.017
5	1	5	20	0.037	0.030	0.120	0.600	79.950
8	2	24	21	0.078	0.038	0.120	0.600	64.928
15	3	47	22	0.037	0.038	0.120	0.800	72.610
4	1	4	23	0.078	0.038	0.076	0.600	76.453
16	2	32	24	0.078	0.038	0.120	0.800	64.042
6	2	22	25	0.078	0.030	0.120	0.600	85.278
3	2	19	26	0.037	0.038	0.076	0.600	80.716

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

Model	Repl cation	Std Order	Run Order	Factors				Response
				L1/Ltotal	t1	t2	W	G-to-Lift off at PD=0.1 ms
11	2	27	27	0.037	0.038	0.076	0.800	73.618
7	3	39	28	0.037	0.038	0.120	0.600	70.003
6	3	38	29	0.078	0.030	0.120	0.600	78.847
1	1	1	30	0.037	0.030	0.076	0.600	81.758
3	1	3	31	0.037	0.038	0.076	0.600	71.305
7	1	7	32	0.037	0.038	0.120	0.600	76.011
15	1	15	33	0.037	0.038	0.120	0.800	72.340
9	2	25	34	0.037	0.030	0.076	0.800	88.230
10	1	10	35	0.078	0.030	0.076	0.800	77.286
14	2	30	36	0.078	0.030	0.120	0.800	66.246
9	3	41	37	0.037	0.030	0.076	0.800	92.505
1	2	17	38	0.037	0.030	0.076	0.600	83.227
3	3	35	39	0.037	0.038	0.076	0.600	74.592
4	2	20	40	0.078	0.038	0.076	0.600	83.395
4	3	36	41	0.078	0.038	0.076	0.600	86.325
12	1	12	42	0.078	0.038	0.076	0.800	87.344
9	1	9	43	0.037	0.030	0.076	0.800	91.836
16	3	48	44	0.078	0.038	0.120	0.800	58.669
10	2	26	45	0.078	0.030	0.076	0.800	85.168
2	2	18	46	0.078	0.030	0.076	0.600	81.440
11	3	43	47	0.037	0.038	0.076	0.800	73.286
7	2	23	48	0.037	0.038	0.120	0.600	68.946

PD คือ Shock Pulse Duration



## 6.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

### 6.1.1.1 ขั้นตอนแบบเต็มรูปแบบ (Full Model)

พิจารณาผลหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยา 2 ทาง อันตรกิริยา 3 ทาง อันตรกิริยา 4 ทาง ว่ามีพจน์ใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms. ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากตารางที่ 6.2 และกราฟพาเรโต รูปที่ 6.1

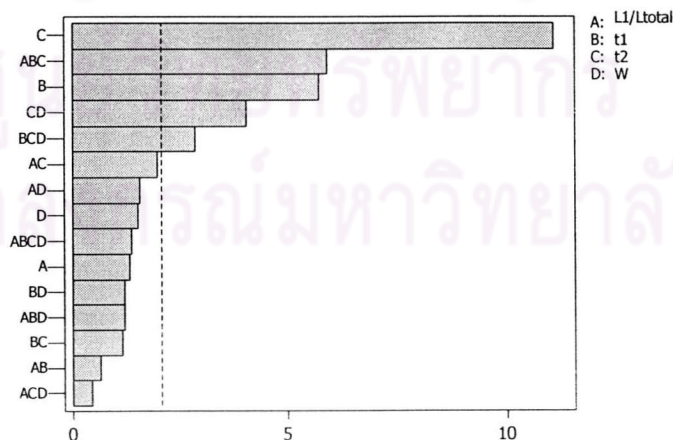
ตารางที่ 6.2 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น

Analysis of Variance for G-to-Lift off					
Source	DF	SS	MS	F	P
L1/Ltotal	1	19.09	19.09	1.67	0.206
t1	1	376.62	376.62	32.91	0.000
t2	1	1405.54	1405.54	122.81	0.000
W	1	25.54	25.54	2.23	0.145
L1/Ltotal*t1	1	4.42	4.42	0.39	0.539
L1/Ltotal*t2	1	43.08	43.08	3.76	0.061
L1/Ltotal*W	1	26.39	26.39	2.31	0.139
t1*t2	1	14.34	14.34	1.25	0.271
t1*W	1	15.74	15.74	1.38	0.250
t2*W	1	187.55	187.55	16.39	0.000
L1/Ltotal*t1*t2	1	403.26	403.26	35.24	0.000
L1/Ltotal*t1*W	1	15.40	15.40	1.35	0.255
L1/Ltotal*t2*W	1	2.21	2.21	0.19	0.663
t1*t2*W	1	90.51	90.51	7.91	0.008
L1/Ltotal*t1*t2*W	1	20.16	20.16	1.76	0.194
Error	32	366.24	11.44		
Total	47	3016.10			

หลักการพิจารณาผลจากตาราง ANOVA ให้อูที่ค่า P-value พจน์ใดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) แสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Pareto Chart of the Standardized Effects

(response is G-to-Lift off, Alpha = .05)



รูปที่ 6.1 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off



หลักการพิจารณาพจน์ใดที่มีแท่งกราฟยาวเกินเส้นประ นั้นแสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และลำดับชั้นของพารามิเตอร์แสดงถึงความรุนแรงของแต่ละพจน์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

จากตาราง ANOVA ที่ 6.2 และกราฟพารามิเตอร์ที่ 6.1 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1ms ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

- 1) ผลหลักของความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 2) ผลหลักของความหนาของ Hinge ( $t_1$ )
- 3) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 4) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่าง อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 5) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

ตารางที่ 6.3 สรุปอิทธิพลของแต่ละพจน์ต่อความผันแปรของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms (%Contribution)

Source	%Contribution
$t_2$	46.60
$L_1/L_{total} * t_1 * t_2$	13.37
$t_1$	12.49
$t_2 * w$	6.23
$t_1 * t_2 * w$	3.00
$L_1/L_{total} * t_2$	1.43
$L_1/L_{total} * w$	0.87
w	0.85
$L_1/L_{total} * t_1 * t_2 * w$	0.67
$L_1/L_{total}$	0.63
$t_1 * w$	0.52
$L_1/L_{total} * t_1 * w$	0.51
$t_1 * t_2$	0.48
$L_1/L_{total} * t_1$	0.15
$L_1/L_{total} * t_2 * w$	0.07
Error	12.12

ผลจากการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms อันเนื่องมาจาก 4 ปัจจัยหลักของผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้ 87.88 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดจากการทดลอง 12.12 เปอร์เซ็นต์

#### 6.1.1.2 แบบลดรูป (Reduced Model)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น ลดรูปจนที่ไม่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ออกจากโมเดลการวิเคราะห์และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซ้ำอีกครั้งหนึ่ง พิจารณาผลจากตาราง ANOVA ที่ 6.4

#### ตารางที่ 6.4 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Fractional Factorial Fit: G-to-Lift off at versus L1/Ltotal, t1, t2, W

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

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		76.088	0.5144	147.92	0.000
L1/Ltotal	-1.261	-0.631	0.5144	-1.23	0.227
t1	-5.602	-2.801	0.5144	-5.45	0.000
t2	-10.823	-5.411	0.5144	-10.52	0.000
W	-1.459	-0.729	0.5144	-1.42	0.164
t2*W	-3.953	-1.977	0.5144	-3.84	0.000
L1/Ltotal*t1*t2	-5.797	-2.899	0.5144	-5.64	0.000
t1*t2*W	2.746	1.373	0.5144	2.67	0.011

Analysis of Variance for G-to-Lift off (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1826.8	1826.8	456.70	35.96	0.000
2-Way Interactions	1	187.5	187.5	187.55	14.77	0.000
3-Way Interactions	2	493.8	493.8	246.89	19.44	0.000
Residual Error	40	508.0	508.0	12.70		
Lack of Fit	8	141.7	141.7	17.72	1.55	0.180
Pure Error	32	366.2	366.2	11.44		
Total	47	3016.1				

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

Term	Coef
Constant	53.4869
L1/Ltotal	185.215
t1	-602.186
t2	509.694
W	80.7569
t2*W	-1030.90
L1/Ltotal*t1*t2	-64819.8
t1*t2*W	3894.52

จากตาราง ANOVA ที่ 6.4 สามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ได้ดังนี้

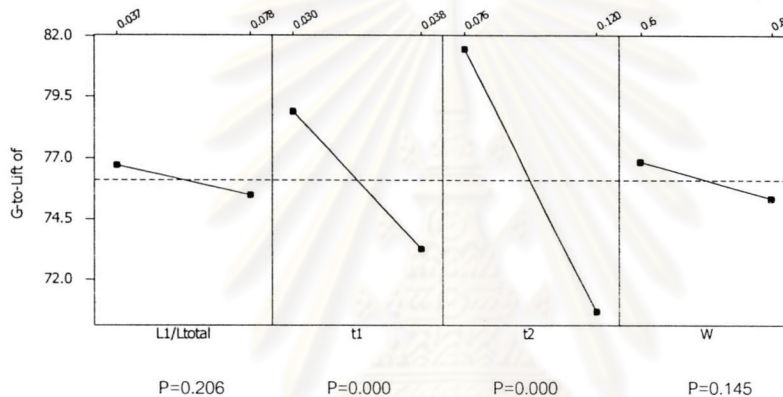
$$\begin{aligned} \text{G-to-Lift off}_{0.1 \text{ ms}} = & 53.49 + (185.22 * L_1/L_{\text{total}}) - (602.19 * t_1) + (509.69 * t_2) + (80.76 * W) \\ & - (1030.90 * t_2 * W) - (64819.8 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2) + (3894.52 * t_1 * t_2 * W) \end{aligned}$$

ซึ่งสมการนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ได้ 83.17 เปอร์เซ็นต์ (ผลรวมของ %Contribution ในตารางที่ 6.3 ของทุกพจน์ที่มีในสมการ) และสมการนี้จะถูกนำไปใช้หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยเมื่อคำนึงถึงผลตอบอื่นอีก 2 ผลตอบ (G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency))

6.1.2 วิเคราะห์ผลหลักและอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

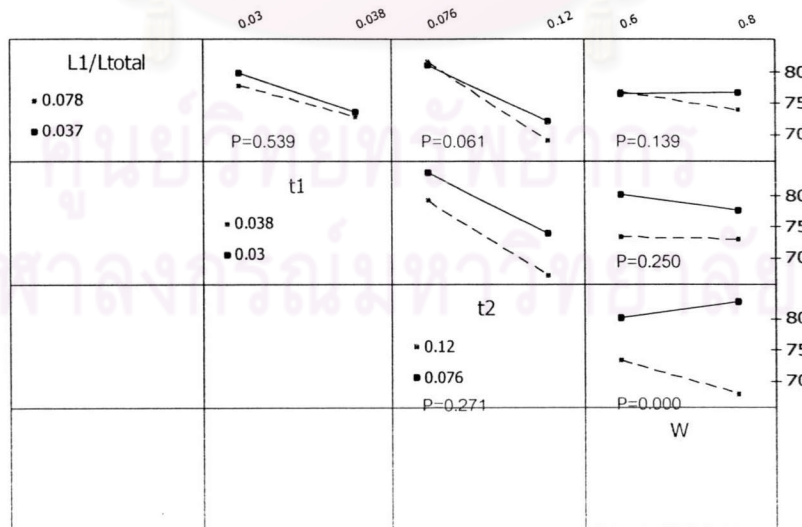
การวิเคราะห์ตรงนี้จะนำผลจากข้อ 6.1.1 มาใช้ตัดสินใจร่วมด้วยในการเลือกสภาวะเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงสุด พิจารณารูปที่ 6.2 ซึ่งแสดงผลหลักของแต่ละปัจจัย และรูปที่ 6.3 ซึ่งแสดงอันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย

Main Effect Plot for G-to-Lift off at PD=0.1ms



รูปที่ 6.2 ผลหลักของแต่ละปัจจัย

Interaction Plot for G-to-Lift off at PD=0.1ms



รูปที่ 6.3 อันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย



จากรูป 6.2 และ 6.3 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) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ควรเลือกความหนา 0.030 ม.ม.(-) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) บางลง จะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงขึ้น

3) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรเลือก 0.800 ม.ม.(+) เนื่องจากมีผลอันตรกิริยากับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) เมื่อความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) บางลงและความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรกว้างขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงขึ้น

4) อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญแต่จะส่งผลในรูปของอันตรกิริยา 3 ทาง ควรเลือก 0.078 ม.ม.(+) เนื่องจากเมื่อ  $L_1$  ยาวขึ้นจะช่วยให้ง่ายต่อการผลิตขึ้นรูปและควบคุมค่าแรงสปริง

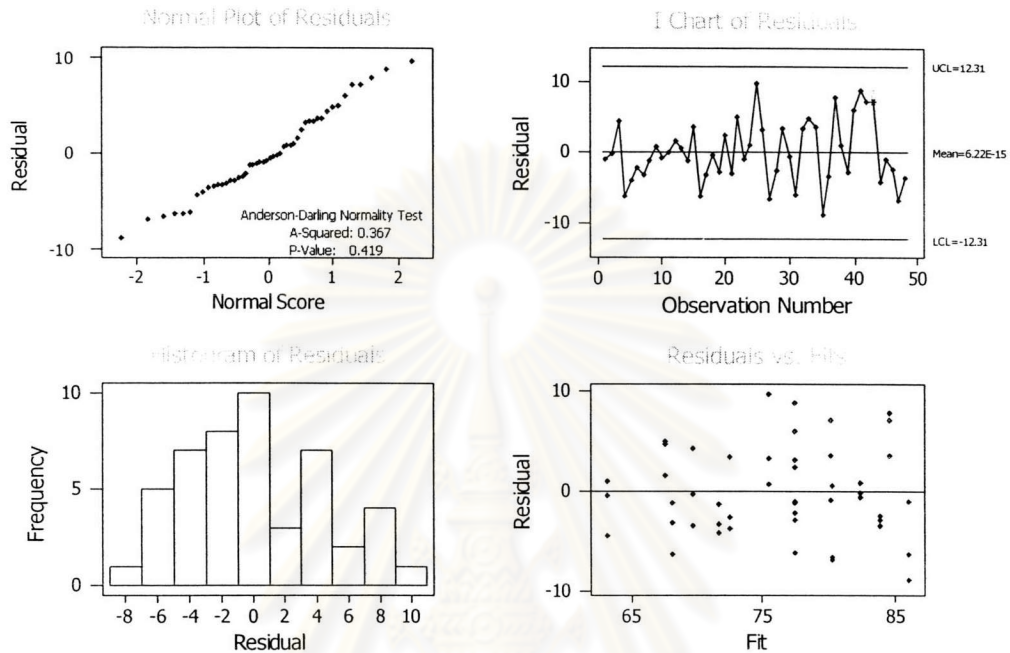
ตารางที่ 6.5 สรุประดับของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms สูงสุด

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
1) ความหนาของ Load beam ( $t_2$ )	ระดับต่ำ (บางลง)
2) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ )	ระดับต่ำ (บางลง)
3) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)	ระดับสูง (กว้างขึ้น)
4) อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$	ระดับสูง (ความยาวของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $L_1$ ) ยาวขึ้น , ความยาวของ Load beam สั้นลง)

### 6.1.3 การตรวจความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลจากการทดลองถูกต้องและเพียงพอหรือไม่ที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป (รายละเอียดดูในบทที่ 2)

#### Adequacy Check for G-to-Lift off at PD=0.1ms



รูปที่ 6.4 แสดงกราฟการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

วิเคราะห์จากกราฟรูปที่ 6.4

1) Histogram of Residual แสดงลักษณะของข้อมูลกระจายตัวแบบปกติรอบๆ ศูนย์ Normal Plot of Residual เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงและผลของ Anderson-Darling Normality Test ได้ P-value = 0.419 ( $\alpha=0.05$ ) นั้นหมายความว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

2) I Chart of Residual ข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้น ๆ ลง ๆ รอบ ๆ ศูนย์ซึ่งแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

3) Residual vs Fits ข้อมูลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบ ๆ ศูนย์ไม่บานออกหรือหุบเข้าหรือเป็นรูปแบบใด ๆ แสดงถึงความมีเสถียรของความแปรปรวน

ข้อมูลชุดนี้ถูกต้องและเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

## 6.2 G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms

Model	Repl ication	Std Order	Run Order	Factors				Response
				L1/Ltotal	t1	t2	W	G-to-Lift off at PD=0.35ms
5	3	37	1	0.037	0.030	0.120	0.600	41.715
14	1	14	2	0.078	0.030	0.120	0.800	42.575
14	3	46	3	0.078	0.030	0.120	0.800	43.027
10	3	42	4	0.078	0.030	0.076	0.800	44.860
13	2	29	5	0.037	0.030	0.120	0.800	35.960
5	2	21	6	0.037	0.030	0.120	0.600	45.230
2	3	34	7	0.078	0.030	0.076	0.600	50.897
8	1	8	8	0.078	0.038	0.120	0.600	40.281
6	1	6	9	0.078	0.030	0.120	0.600	57.149
12	2	28	10	0.078	0.038	0.076	0.800	60.236
1	3	33	11	0.037	0.030	0.076	0.600	51.916
15	2	31	12	0.037	0.038	0.120	0.800	27.497
11	1	11	13	0.037	0.038	0.076	0.800	63.426
13	3	45	14	0.037	0.030	0.120	0.800	32.810
12	3	44	15	0.078	0.038	0.076	0.800	65.785
8	3	40	16	0.078	0.038	0.120	0.600	35.651
13	1	13	17	0.037	0.030	0.120	0.800	35.426
16	1	16	18	0.078	0.038	0.120	0.800	38.803
2	1	2	19	0.078	0.030	0.076	0.600	57.919
5	1	5	20	0.037	0.030	0.120	0.600	44.700
8	2	24	21	0.078	0.038	0.120	0.600	40.936
15	3	47	22	0.037	0.038	0.120	0.800	25.470
4	1	4	23	0.078	0.038	0.076	0.600	66.328
16	2	32	24	0.078	0.038	0.120	0.800	36.898
6	2	22	25	0.078	0.030	0.120	0.600	44.161
3	2	19	26	0.037	0.038	0.076	0.600	54.295



ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

Model	Repl cation	Std Order	Run Order	Factors				Response G-to-Lift off at PD=0.35ms
				L1/Ltotal	t1	t2	W	
11	2	27	27	0.037	0.038	0.076	0.800	55.750
7	3	39	28	0.037	0.038	0.120	0.600	36.641
6	3	38	29	0.078	0.030	0.120	0.600	47.961
1	1	1	30	0.037	0.030	0.076	0.600	54.463
3	1	3	31	0.037	0.038	0.076	0.600	57.553
7	1	7	32	0.037	0.038	0.120	0.600	42.300
15	1	15	33	0.037	0.038	0.120	0.800	30.604
9	2	25	34	0.037	0.030	0.076	0.800	53.981
10	1	10	35	0.078	0.030	0.076	0.800	38.565
14	2	30	36	0.078	0.030	0.120	0.800	40.774
9	3	41	37	0.037	0.030	0.076	0.800	59.156
1	2	17	38	0.037	0.030	0.076	0.600	59.470
3	3	35	39	0.037	0.038	0.076	0.600	49.625
4	2	20	40	0.078	0.038	0.076	0.600	54.236
4	3	36	41	0.078	0.038	0.076	0.600	65.608
12	1	12	42	0.078	0.038	0.076	0.800	66.896
9	1	9	43	0.037	0.030	0.076	0.800	66.412
16	3	48	44	0.078	0.038	0.120	0.800	34.369
10	2	26	45	0.078	0.030	0.076	0.800	43.350
2	2	18	46	0.078	0.030	0.076	0.600	56.469
11	3	43	47	0.037	0.038	0.076	0.800	64.013
7	2	23	48	0.037	0.038	0.120	0.600	32.745

PD คือ Shock Pulse Duration

## 6.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

### 6.2.1.1 ขั้นตอนแบบเต็มรูป (Full Model)

พิจารณาผลหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยา 2 ทาง อันตรกิริยา 3 ทาง อันตรกิริยา 4 ทาง ว่ามีพจน์ใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms. ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากตารางที่ 6.7 และกราฟพาเรโต รูปที่ 6.5

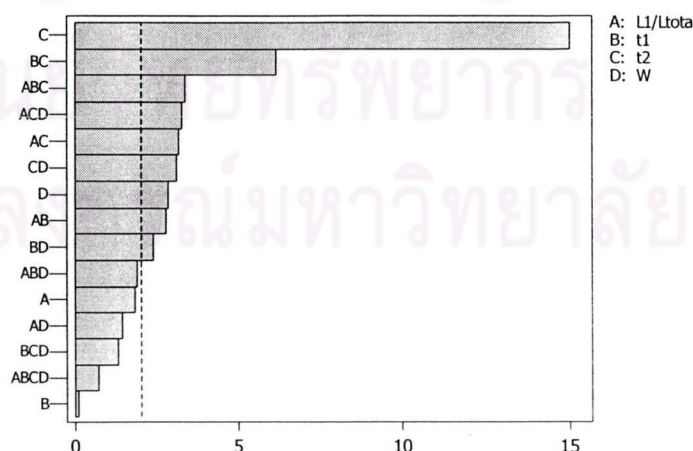
#### ตารางที่ 6.7 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น

Analysis of Variance for G-to-Lift off					
Source	DF	SS	MS	F	P
L1/Ltotal	1	57.59	57.59	3.42	0.074
t1	1	0.19	0.19	0.01	0.917
t2	1	3807.89	3807.89	225.95	0.000
W	1	138.74	138.74	8.23	0.007
L1/Ltotal*t1	1	132.14	132.14	7.84	0.009
L1/Ltotal*t2	1	170.25	170.25	10.10	0.003
L1/Ltotal*W	1	35.55	35.55	2.11	0.156
t1*t2	1	642.30	642.30	38.11	0.000
t1*W	1	98.33	98.33	5.83	0.022
t2*W	1	164.68	164.68	9.77	0.004
L1/Ltotal*t1*t2	1	191.56	191.56	11.37	0.002
L1/Ltotal*t1*W	1	60.75	60.75	3.61	0.067
L1/Ltotal*t2*W	1	180.39	180.39	10.70	0.003
t1*t2*W	1	29.83	29.83	1.77	0.193
L1/Ltotal*t1*t2*W	1	8.73	8.73	0.52	0.477
Error	32	539.29	16.85		
Total	47	6258.21			

หลักการพิจารณาผลจากตาราง ANOVA ให้ดูที่ค่า P-value พจน์ใดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) แสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Pareto Chart of the Standardized Effects

(response is G-to-Lif, Alpha = .05)



รูปที่ 6.5 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off

หลักการพิจารณาพจน์ใดที่มีแท่งกราฟยาวเกินเส้นประ นั้นแสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และลำดับชั้นของพจน์ใดแสดงถึงความรุนแรงของแต่ละพจน์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

จากตาราง ANOVA ที่ 6.7 และกราฟพาริตรูปร่างที่ 6.5 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

- 1) ผลหลักของความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 2) ผลหลักของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 3) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 4) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 5) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 6) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ )
- 7) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 8) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

ตารางที่ 6.8 สรุปอิทธิพลของแต่ละพจน์ต่อความผันแปรของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms (%Contribution)

Source	%Contribution
$t_2$	60.85
$t_1 * t_2$	10.26
$L_1/L_{total} * t_1 * t_2$	3.06
$L_1/L_{total} * t_2 * w$	2.88
$L_1/L_{total} * t_2$	2.72
$t_2 * w$	2.63
w	2.23
$L_1/L_{total} * t_1$	2.11
$t_1 * w$	1.57
$L_1/L_{total} * t_1 * w$	0.97
$L_1/L_{total}$	0.92
$L_1/L_{total} * w$	0.57
$t_1 * t_2 * w$	0.48
$L_1/L_{total} * t_1 * t_2 * w$	0.14
$t_1$	0.00
Error	8.62



ผลจากการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms อันเนื่องมาจาก 4 ปัจจัยหลักของผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้ 91.38 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดจากการทดลอง 8.62 เปอร์เซ็นต์

### 6.2.1.2 แบบลดรูป (Reduced Model)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น ลดรูปพจน์ที่ไม่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ออกจากโมเดลการวิเคราะห์และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซ้ำอีกครั้งหนึ่ง พิจารณาผลจากตาราง ANOVA ที่ 6.9

#### ตารางที่ 6.9 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Fractional Factorial Fit: G-to-Lift off at versus L1/Ltotal, t1, t2, W  
Estimated Effects and Coefficients for G-to-Lift off (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		47.810	0.6246	76.54	0.000
L1/Ltotal	2.191	1.095	0.6246	1.75	0.088
t1	-0.125	-0.063	0.6246	-0.10	0.921
t2	-17.814	-8.907	0.6246	-14.26	0.000
W	-3.400	-1.700	0.6246	-2.72	0.010
L1/Ltotal*t1	3.318	1.659	0.6246	2.66	0.012
L1/Ltotal*t2	3.767	1.883	0.6246	3.02	0.005
t1*t2	-7.316	-3.658	0.6246	-5.86	0.000
t1*W	2.863	1.431	0.6246	2.29	0.028
t2*W	-3.705	-1.852	0.6246	-2.97	0.005
L1/Ltotal*t1*t2	-3.995	-1.998	0.6246	-3.20	0.003
L1/Ltotal*t2*W	3.877	1.939	0.6246	3.10	0.004

Analysis of Variance for G-to-Lift off (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	4004.4	4004.4	1001.10	53.46	0.000
2-Way Interactions	5	1207.7	1207.7	241.54	12.90	0.000
3-Way Interactions	2	371.9	371.9	185.97	9.93	0.000
Residual Error	36	674.2	674.2	18.73		
Lack of Fit	4	134.9	134.9	33.72	2.00	0.118
Pure Error	32	539.3	539.3	16.85		
Total	47	6258.2				

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

Term	Coef
Constant	260.994
L1/Ltotal	-4733.53
t1	-5850.17
t2	-888.345
W	-56.1517
L1/Ltotal*t1	128757
L1/Ltotal*t2	43237.9
t1*t2	22105.5
t1*W	3578.23
t2*W	-726.010
L1/Ltotal*t1*t2	-1107377
L1/Ltotal*t2*W	-2016.04

จากตาราง ANOVA ที่ 6.9 สามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ได้ดังนี้

จากตาราง ANOVA ที่ 6.9 สามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ได้ดังนี้

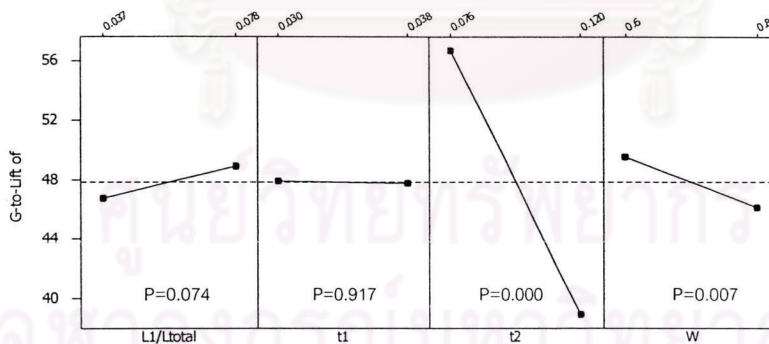
$$\begin{aligned} \text{G-to-Lift off}_{0.35 \text{ ms}} = & 260.99 - (4733.53 * L_1/L_{\text{total}}) - (5850.17 * t_1) - (888.35 * t_2) - (56.15 * W) \\ & + (128757.00 * L_1/L_{\text{total}} * t_1) + (43237.90 * L_1/L_{\text{total}} * t_2) + (22105.50 * t_1 * t_2) \\ & + (3578.23 * t_1 * W) - (726.01 * t_2 * W) - (1107377 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2) \\ & - (2016.04 * L_1/L_{\text{total}} * t_2 * W) \end{aligned}$$

ซึ่งสมการนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ได้ 89.23 เปอร์เซ็นต์ (ผลรวมของ %Contribution ในตารางที่ 6.8 ของทุกพจน์ที่มีสมการ) และสมการนี้จะถูกนำไปใช้หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยเมื่อคำนึงถึงผลตอบอื่นอีก 2 ผลตอบ (G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency))

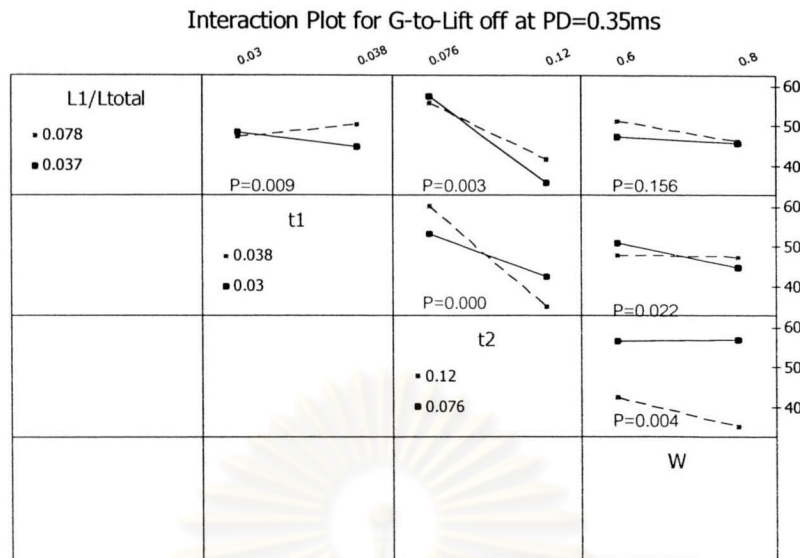
### 6.2.2 วิเคราะห์ผลหลักและอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

การวิเคราะห์ตรงนี้จะนำผลจากข้อ 6.2.1 มาใช้ตัดสินใจร่วมด้วยในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงสุด พิจารณารูปที่ 6.6 ซึ่งแสดงผลหลักของแต่ละปัจจัย และรูปที่ 6.7 ซึ่งแสดงอันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย

Main Effect Plot for G-to-Lift off at PD=0.35ms



รูปที่ 6.6 ผลหลักของแต่ละปัจจัย



รูปที่ 6.7 อันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย

จากรูป 6.6 และ 6.7 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน สามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงสุดได้ดังนี้

- 1) ความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ควรเลือกความหนา 0.076 ม.ม.(-) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) บางลง จะส่งผลให้ G-to -Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น
- 2) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรเลือกที่ 0.800 ม.ม.(+) เนื่องจากส่งผลอันตรกิริยากับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) เมื่อความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) บางลงแล้วความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรกว้างขึ้นซึ่งจะยิ่งส่งผลให้ G-to -Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น (ถึงแม้ว่าผลของผลหลักจะให้ G-to -Lift off สูงที่ความกว้าง 0.600 ม.ม. ก็ตาม)
- 3) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะส่งผลในรูปของอันตรกิริยา 2 ทาง และอันตรกิริยา 3 ทาง ควรเลือก 0.038 ม.ม.(-) เนื่องจากส่งผลอันตรกิริยากับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) เมื่อความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) บางลง แล้วความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ควรหนาขึ้นซึ่งจะยิ่งส่งผลให้ G-to -Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงขึ้น
- 4) อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญแต่จะส่งผลในรูปอันตรกิริยา 2 ทาง และอันตรกิริยา 3 ทาง ควรเลือก 0.078 ม.ม.(+) เนื่องจากส่งผลอันตรกิริยาในทางบวกประมาณ 2.11 เปอร์เซ็นต์ กับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) เมื่อความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) หนาขึ้นอัตราส่วนของ



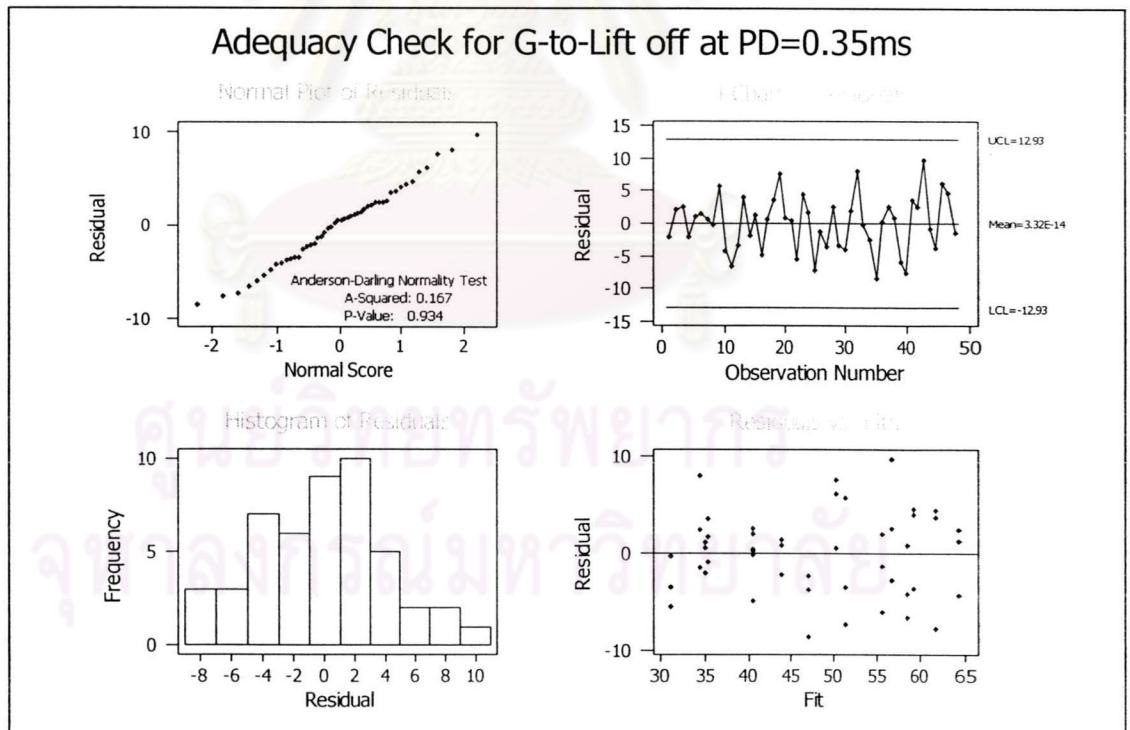
$L_1/L_{total}$  ควรมากขึ้นและช่วยให้ง่ายต่อการผลิตขึ้นรูปและการควบคุมค่าแรงสปริง ถึงแม้ว่าจะส่งผลอันตรายทางลบประมาณ 2.72 เปอร์เซนต์ กับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ก็ตาม

ตารางที่ 6.10 สรุประดับของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms สูงสุด

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
1) Load beam Thickness ( $t_2$ )	ระดับต่ำ (บางลง)
2) Hinge Thickness ( $t_1$ )	ระดับสูง (หนาขึ้น)
3) Hinge Width (W)	ระดับสูง (กว้างขึ้น)
4) อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$	ระดับสูง (ความยาวของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $L_1$ ) ยาวขึ้น , ความยาวของ Load beam สั้นลง)

### 6.2.3 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลจากการทดลองถูกต้องและเพียงพอหรือไม่ที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป (รายละเอียดดูในบทที่ 2)



รูปที่ 6.8 แสดงกราฟการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

### วิเคราะห์จากกราฟรูปที่ 6.8

1) Histogram of Residual แสดงลักษณะของข้อมูลกระจายตัวแบบปกติรอบๆ ศูนย์ Normal Plot of Residual เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงและผลของ Anderson-Darling Normality Test ได้ P-value = 0.934 ( $\alpha=0.05$ ) นั้นหมายความว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

2) I Chart of Residual ข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้น ๆ ลง ๆ รอบ ๆ ศูนย์ซึ่งแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

3) Residual vs Fits ข้อมูลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบ ๆ ศูนย์ไม่บานออกหรือหุบเข้าหรือเป็นรูปแบบใด ๆ แสดงถึงความมีเสถียรของความแปรปรวน

ข้อมูลชุดนี้ถูกต้องและเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 6.3 อิทธิพลของสภาวะ Shock Pulse Duration ที่เกิดขึ้นต่อสภาวะของปัจจัยที่ทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงสุด

การวิเคราะห์หาอิทธิพลของสภาวะ Shock Pulse Duration (ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะใช้ตัวย่อว่า PD) จำเป็นต้องจัดการให้สภาวะ Shock Pulse Duration เป็นปัจจัยตัวหนึ่งซึ่งมี 2 ระดับ (0.1 และ 0.35 ms) ดังนั้นจะได้ตารางการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 แสดงตารางการออกแบบการทดลองเมื่อให้ Shock Pulse Duration (PD) เป็นปัจจัยที่ 5

Model	Replication	Std Oder	Run Oder	Factors					Response
				L1/Ltotal (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	W (mm)	PD (ms)	G-to-Lift off (G's)
5	3	37	1	0.037	0.030	0.120	0.600	0.1	76.371
14	1	14	2	0.078	0.030	0.120	0.800	0.1	69.488
14	3	46	3	0.078	0.030	0.120	0.800	0.1	74.097
10	3	42	4	0.078	0.030	0.076	0.800	0.1	79.782
13	2	29	5	0.037	0.030	0.120	0.800	0.1	67.580
5	2	21	6	0.037	0.030	0.120	0.600	0.1	75.319
2	3	34	7	0.078	0.030	0.076	0.600	0.1	80.516
8	1	8	8	0.078	0.038	0.120	0.600	0.1	66.880
6	1	6	9	0.078	0.030	0.120	0.600	0.1	76.290
12	2	28	10	0.078	0.038	0.076	0.800	0.1	79.290
1	3	33	11	0.037	0.030	0.076	0.600	0.1	82.275
15	2	31	12	0.037	0.038	0.120	0.800	0.1	69.100
11	1	11	13	0.037	0.038	0.076	0.800	0.1	80.837
13	3	45	14	0.037	0.030	0.120	0.800	0.1	70.424
12	3	44	15	0.078	0.038	0.076	0.800	0.1	83.770
8	3	40	16	0.078	0.038	0.120	0.600	0.1	61.765
13	1	13	17	0.037	0.030	0.120	0.800	0.1	68.397
16	1	16	18	0.078	0.038	0.120	0.800	0.1	62.648
2	1	2	19	0.078	0.030	0.076	0.600	0.1	81.017
5	1	5	20	0.037	0.030	0.120	0.600	0.1	79.950
8	2	24	21	0.078	0.038	0.120	0.600	0.1	64.928
15	3	47	22	0.037	0.038	0.120	0.800	0.1	72.610



ตารางที่ 6.11 (ต่อ)

Model	Replica tion	Std Oder	Run Oder	Factors					Response
				L1/Ltotal (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	W (mm)	PD (ms)	G-to-Lift off (G's)
4	1	4	23	0.078	0.038	0.076	0.600	0.1	76.453
16	2	32	24	0.078	0.038	0.120	0.800	0.1	64.042
6	2	22	25	0.078	0.030	0.120	0.600	0.1	85.278
3	2	19	26	0.037	0.038	0.076	0.600	0.1	80.716
11	2	27	27	0.037	0.038	0.076	0.800	0.1	73.618
7	3	39	28	0.037	0.038	0.120	0.600	0.1	70.003
6	3	38	29	0.078	0.030	0.120	0.600	0.1	78.847
1	1	1	30	0.037	0.030	0.076	0.600	0.1	81.758
3	1	3	31	0.037	0.038	0.076	0.600	0.1	71.305
7	1	7	32	0.037	0.038	0.120	0.600	0.1	76.011
15	1	15	33	0.037	0.038	0.120	0.800	0.1	72.340
9	2	25	34	0.037	0.030	0.076	0.800	0.1	88.230
10	1	10	35	0.078	0.030	0.076	0.800	0.1	77.286
14	2	30	36	0.078	0.030	0.120	0.800	0.1	66.246
9	3	41	37	0.037	0.030	0.076	0.800	0.1	92.505
1	2	17	38	0.037	0.030	0.076	0.600	0.1	83.227
3	3	35	39	0.037	0.038	0.076	0.600	0.1	74.592
4	2	20	40	0.078	0.038	0.076	0.600	0.1	83.395
4	3	36	41	0.078	0.038	0.076	0.600	0.1	86.325
12	1	12	42	0.078	0.038	0.076	0.800	0.1	87.344
9	1	9	43	0.037	0.030	0.076	0.800	0.1	91.836
16	3	48	44	0.078	0.038	0.120	0.800	0.1	58.669
10	2	26	45	0.078	0.030	0.076	0.800	0.1	85.168
2	2	18	46	0.078	0.030	0.076	0.600	0.1	81.440
11	3	43	47	0.037	0.038	0.076	0.800	0.1	73.286
7	2	23	48	0.037	0.038	0.120	0.600	0.1	68.946

ตารางที่ 6.11 (ต่อ)

Model	Replica tion	Std Oder	Run Oder	Factors					Response
				L1/Ltotal (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	W (mm)	PD (ms)	G-to-Lift off (G's)
5	3	37	1	0.037	0.030	0.120	0.600	0.35	41.715
14	1	14	2	0.078	0.030	0.120	0.800	0.35	42.575
14	3	46	3	0.078	0.030	0.120	0.800	0.35	43.027
10	3	42	4	0.078	0.030	0.076	0.800	0.35	44.860
13	2	29	5	0.037	0.030	0.120	0.800	0.35	35.960
5	2	21	6	0.037	0.030	0.120	0.600	0.35	45.230
2	3	34	7	0.078	0.030	0.076	0.600	0.35	50.897
8	1	8	8	0.078	0.038	0.120	0.600	0.35	40.281
6	1	6	9	0.078	0.030	0.120	0.600	0.35	57.149
12	2	28	10	0.078	0.038	0.076	0.800	0.35	60.236
1	3	33	11	0.037	0.030	0.076	0.600	0.35	51.916
15	2	31	12	0.037	0.038	0.120	0.800	0.35	27.497
11	1	11	13	0.037	0.038	0.076	0.800	0.35	63.426
13	3	45	14	0.037	0.030	0.120	0.800	0.35	32.810
12	3	44	15	0.078	0.038	0.076	0.800	0.35	65.785
8	3	40	16	0.078	0.038	0.120	0.600	0.35	35.651
13	1	13	17	0.037	0.030	0.120	0.800	0.35	35.426
16	1	16	18	0.078	0.038	0.120	0.800	0.35	38.803
2	1	2	19	0.078	0.030	0.076	0.600	0.35	57.919
5	1	5	20	0.037	0.030	0.120	0.600	0.35	44.700
8	2	24	21	0.078	0.038	0.120	0.600	0.35	40.936
15	3	47	22	0.037	0.038	0.120	0.800	0.35	25.470
4	1	4	23	0.078	0.038	0.076	0.600	0.35	66.328
16	2	32	24	0.078	0.038	0.120	0.800	0.35	36.898
6	2	22	25	0.078	0.030	0.120	0.600	0.35	44.161
3	2	19	26	0.037	0.038	0.076	0.600	0.35	54.295

ตารางที่ 6.11 (ต่อ)

Model	Replica tion	Std Oder	Run Oder	Factors					Response
				L1/Ltotal (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	W (mm)	PD (ms)	G-to-Lift off (G's)
11	2	27	27	0.037	0.038	0.076	0.800	0.35	55.750
7	3	39	28	0.037	0.038	0.120	0.600	0.35	36.641
6	3	38	29	0.078	0.030	0.120	0.600	0.35	47.961
1	1	1	30	0.037	0.030	0.076	0.600	0.35	54.463
3	1	3	31	0.037	0.038	0.076	0.600	0.35	57.553
7	1	7	32	0.037	0.038	0.120	0.600	0.35	42.300
15	1	15	33	0.037	0.038	0.120	0.800	0.35	30.604
9	2	25	34	0.037	0.030	0.076	0.800	0.35	53.981
10	1	10	35	0.078	0.030	0.076	0.800	0.35	38.565
14	2	30	36	0.078	0.030	0.120	0.800	0.35	40.774
9	3	41	37	0.037	0.030	0.076	0.800	0.35	59.156
1	2	17	38	0.037	0.030	0.076	0.600	0.35	59.470
3	3	35	39	0.037	0.038	0.076	0.600	0.35	49.625
4	2	20	40	0.078	0.038	0.076	0.600	0.35	54.236
4	3	36	41	0.078	0.038	0.076	0.600	0.35	65.608
12	1	12	42	0.078	0.038	0.076	0.800	0.35	66.896
9	1	9	43	0.037	0.030	0.076	0.800	0.35	66.412
16	3	48	44	0.078	0.038	0.120	0.800	0.35	34.369
10	2	26	45	0.078	0.030	0.076	0.800	0.35	43.350
2	2	18	46	0.078	0.030	0.076	0.600	0.35	56.469
11	3	43	47	0.037	0.038	0.076	0.800	0.35	64.013
7	2	23	48	0.037	0.038	0.120	0.600	0.35	32.745



### 6.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

#### 6.3.1.1 ขั้นตอนแบบเต็มรูป (Full Model)

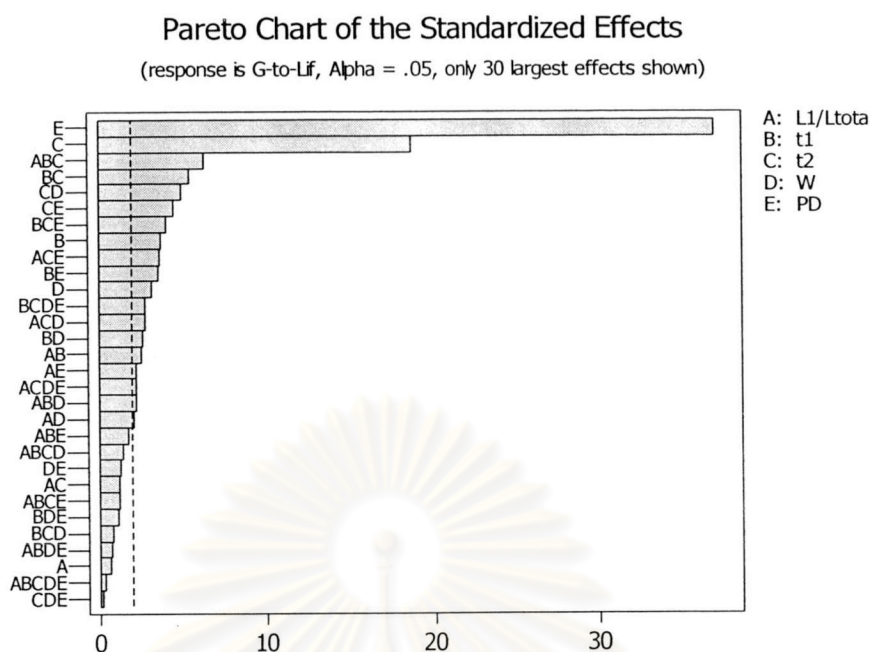
พิจารณาผลหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยา 2 ทาง อันตรกิริยา 3 ทาง อันตรกิริยา 4 ทาง อันตรกิริยา 5 ทาง ว่ามีพจน์ใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่า G-to-Lift off ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากตารางที่ 6.12 และกราฟฟาดเรโต รูปที่ 6.9

#### ตารางที่ 6.12 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
L1/Ltota	1	5.18	5.18	5.18	0.37	0.547
t1	1	196.81	196.81	196.81	13.91	0.000
t2	1	4920.18	4920.18	4920.18	347.74	0.000
W	1	141.67	141.67	141.67	10.01	0.002
PD	1	19190.47	19190.47	19190.47	1356.33	0.000
L1/Ltota*t1	1	92.44	92.44	92.44	6.53	0.013
L1/Ltota*t2	1	21.02	21.02	21.02	1.49	0.227
L1/Ltota*W	1	61.61	61.61	61.61	4.35	0.041
L1/Ltota*PD	1	71.50	71.50	71.50	5.05	0.028
t1*t2	1	424.29	424.29	424.29	29.99	0.000
t1*W	1	96.37	96.37	96.37	6.81	0.011
t1*PD	1	180.00	180.00	180.00	12.72	0.001
t2*W	1	351.85	351.85	351.85	24.87	0.000
t2*PD	1	293.24	293.24	293.24	20.73	0.000
W*PD	1	22.61	22.61	22.61	1.60	0.211
L1/Ltota*t1*t2	1	575.35	575.35	575.35	40.66	0.000
L1/Ltota*t1*W	1	68.67	68.67	68.67	4.85	0.031
L1/Ltota*t1*PD	1	44.12	44.12	44.12	3.12	0.082
L1/Ltota*t2*W	1	111.26	111.26	111.26	7.86	0.007
L1/Ltota*t2*PD	1	192.30	192.30	192.30	13.59	0.000
L1/Ltota*W*PD	1	0.34	0.34	0.34	0.02	0.877
t1*t2*W	1	8.21	8.21	8.21	0.58	0.449
t1*t2*PD	1	232.35	232.35	232.35	16.42	0.000
t1*W*PD	1	17.70	17.70	17.70	1.25	0.268
t2*W*PD	1	0.37	0.37	0.37	0.03	0.872
L1/Ltota*t1*t2*W	1	27.72	27.72	27.72	1.96	0.166
L1/Ltota*t1*t2*PD	1	19.47	19.47	19.47	1.38	0.245
L1/Ltota*t1*W*PD	1	7.49	7.49	7.49	0.53	0.470
L1/Ltota*t2*W*PD	1	71.34	71.34	71.34	5.04	0.028
t1*t2*W*PD	1	112.13	112.13	112.13	7.93	0.006
L1/Ltota*t1*t2*W*PD	1	1.18	1.18	1.18	0.08	0.774
Error	64	905.53	905.53	14.15		
Total	95	28464.78				

หลักการพิจารณาผลจากตาราง ANOVA ให้ดูที่ค่า P-value พจน์ใดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) แสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.9 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off

หลักการพิจารณาพจน์ใดที่มีแท่งกราฟยาวเกินเส้นประ นั้นแสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และลำดับชั้นของพาเรโตแสดงถึงความรุนแรงของแต่ละพจน์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

จากตาราง ANOVA ที่ 6.12 และกราฟพาเรโตรูปที่ 6.9 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

- 1) ผลหลักของความหนาของ Hinge ( $t_1$ )
- 2) ผลหลักของความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 3) ผลหลักของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 4) ผลหลักของสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)
- 5) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ )
- 6) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 7) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)
- 8) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 9) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

10) อันตรกิริยา 2 ทางระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)

11) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

12) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)

13) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )

14) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

15) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

16) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)

17) อันตรกิริยา 3 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)

18) อันตรกิริยา 4 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)

19) อันตรกิริยา 4 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) และสภาวะ Shock Pulse Duration (PD)

ผลจากการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของค่า G-to-Lift off อันเนื่องมาจาก 4 ปัจจัยหลักของผลิตภัณฑ์ต้นแบบและสภาวะ Shock Pulse Duration (PD) ที่เกิดขึ้นได้ 96.82 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดจากการทดลอง 3.18 เปอร์เซ็นต์

#### 6.3.1.2 แบบลดรูป (Reduced Model)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้นลดรูปจนที่ไม่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ออกจากโมเดลการวิเคราะห์และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซ้ำอีกครั้งหนึ่งพิจารณาผลจากตาราง ANOVA ที่ 6.13



ตารางที่ 6.13 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Fractional Factorial Fit: G-to-Lift off versus L1/Ltota, t1, t2, W, PD  
Estimated Effects and Coefficients for G-to-Lif (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		61.95	0.3865	160.27	0.000
L1/Ltota	0.46	0.23	0.3865	0.60	0.550
t1	-2.86	-1.43	0.3865	-3.70	0.000
t2	-14.32	-7.16	0.3865	-18.52	0.000
W	-2.43	-1.21	0.3865	-3.14	0.002
PD	-28.28	-14.14	0.3865	-36.58	0.000
L1/Ltota*t1	1.96	0.98	0.3865	2.54	0.013
L1/Ltota*W	-1.60	-0.80	0.3865	-2.07	0.042
L1/Ltota*PD	1.73	0.86	0.3865	2.23	0.029
t1*t2	-4.20	-2.10	0.3865	-5.44	0.000
t1*W	2.00	1.00	0.3865	2.59	0.011
t1*PD	2.74	1.37	0.3865	3.54	0.001
t2*W	-3.83	-1.91	0.3865	-4.95	0.000
t2*PD	-3.50	-1.75	0.3865	-4.52	0.000
L1/Ltota*t1*t2	-4.90	-2.45	0.3865	-6.33	0.000
L1/Ltota*t1*W	1.69	0.85	0.3865	2.19	0.032
L1/Ltota*t2*W	2.15	1.08	0.3865	2.79	0.007
L1/Ltota*t2*PD	2.83	1.42	0.3865	3.66	0.000
t1*t2*PD	-3.11	-1.56	0.3865	-4.02	0.000
L1/Ltota*t2*W*PD	1.72	0.86	0.3865	2.23	0.029
t1*t2*W*PD	-2.16	-1.08	0.3865	-2.80	0.007

Analysis of Variance for G-to-Lif (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	24454.3	24454.3	4890.86	340.98	0.000
2-Way Interactions	8	1571.3	1571.3	196.41	13.69	0.000
3-Way Interactions	5	1179.9	1179.9	235.99	16.45	0.000
4-Way Interactions	2	183.5	183.5	91.74	6.40	0.003
Residual Error	75	1075.8	1075.8	14.34		
Lack of Fit	11	170.2	170.2	15.48	1.09	0.381
Pure Error	64	905.5	905.5	14.15		
Total	95	28464.8				

Estimated Coefficients for G-to-Lif using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	48.7163
L1/Ltota	2139.38
t1	-5390.05
t2	103.497
W	422.996
PD	-477.805
L1/Ltota*t1	33561.9
L1/Ltota*W	-7528.03
L1/Ltota*PD	-2389.18
t1*t2	62964.6
t1*W	-3489.59
t1*PD	16598.8
t2*W	-3022.40
t2*PD	2573.66
L1/Ltota*t1*t2	-957093
L1/Ltota*t1*W	103143
L1/Ltota*t2*W	38759.9
L1/Ltota*t2*PD	33151.6
t1*t2*PD	-143453
L1/Ltota*t2*W*PD	-7622.3
t1*t2*W*PD	2890.0

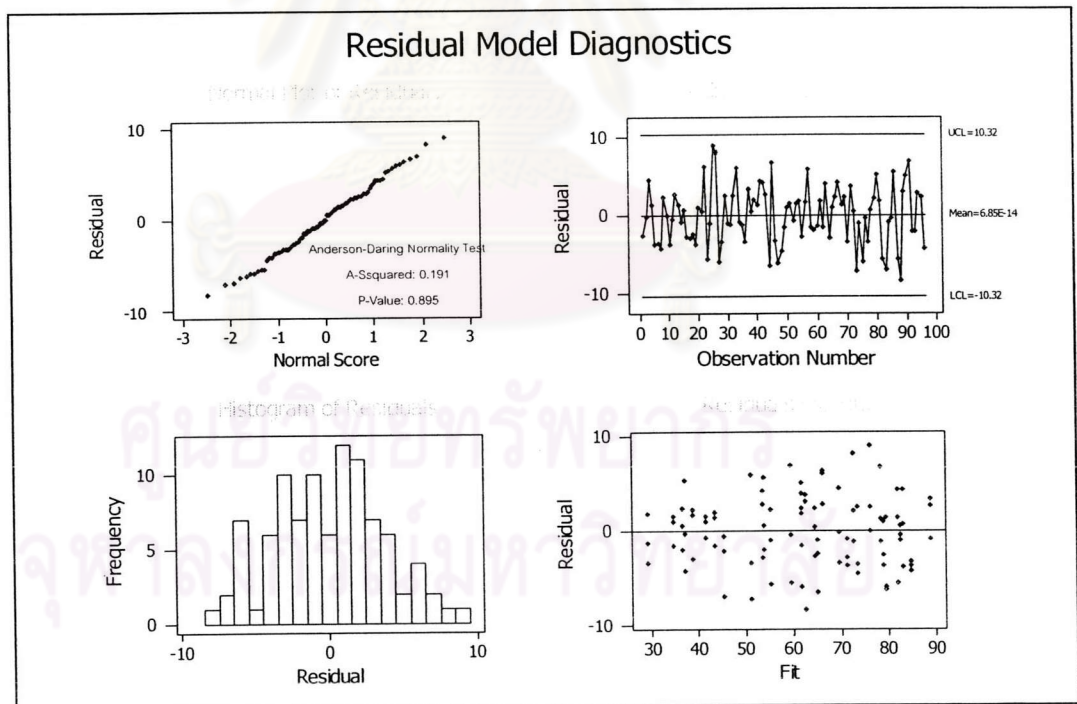
จากตาราง ANOVA ที่ 6.13 สามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่า G-to-Lift off ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \text{G-to-Lift off} = & 48.7 + (2139.4 * L_1/L_{\text{total}}) - (5390.1 * t_1) + (103.5 * t_2) + (423.0 * W) - (477.8 * PD) \\
 & + (33561.9 * L_1/L_{\text{total}} * t_1) - (7528.0 * L_1/L_{\text{total}} * W) - (2389.2 * L_1/L_{\text{total}} * PD) \\
 & + (62964.6 * t_1 * t_2) - (3489.6 * t_1 * W) + (16598.8 * t_1 * PD) - (3022.4 * t_2 * W) \\
 & + (2573.7 * t_2 * PD) - (957093.0 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2) + (103143.0 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * W) \\
 & + (38759.9 * L_1/L_{\text{total}} * t_2 * W) + (33151.6 * L_1/L_{\text{total}} * t_2 * PD) - (143453.0 * t_1 * t_2 * PD) \\
 & - (7622.3 * L_1/L_{\text{total}} * t_2 * W * PD) + (2890.0 * t_1 * t_2 * W * PD)
 \end{aligned}$$

ซึ่งสมการนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่า G-to-Lift off ในสภาวะ Shock Pulse Duration ที่เกิดขึ้นในช่วง 0.1 ถึง 0.35 ms ได้ 96.22 เปอร์เซ็นต์ (%Contribution เมื่อหักผลของ Residual Error ออกแล้ว)

### 6.3.2 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลจากการทดลองถูกต้องและเพียงพอหรือไม่ที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป (รายละเอียดดูในบทที่ 2)



รูปที่ 6.10 แสดงกราฟการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

### วิเคราะห์จากกราฟรูปที่ 6.10

1) Histogram of Residual แสดงลักษณะของข้อมูลกระจายตัวแบบปกติรอบๆ ศูนย์ Normal Plot of Residual เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงและผลของ Anderson-Darling Normality Test ได้ P-value = 0.895 ( $\alpha=0.05$ ) นั้นหมายความว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

2) I Chart of Residual ข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้น ๆ ลง ๆ รอบ ๆ ศูนย์ซึ่งแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

3) Residual vs Fits ข้อมูลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบ ๆ ศูนย์ไม่บานออกหรือหุบเข้าหรือเป็นรูปแบบใด ๆ แสดงถึงความมีเสถียรของความแปรปรวน

ข้อมูลชุดนี้ถูกต้องและเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

### 6.3.3 อิทธิพลของสภาวะ Shock Pulse Duration ที่เกิดขึ้นต่อสภาวะของปัจจัยที่ทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงสุด

จากสมการในหัวข้อ 6.3.1.2 ข้างต้น ใช้ Minitab ประยุกต์หาสภาวะของแต่ละปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่ทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงสุดในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 0.2 และ 0.35 ms ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 แสดงสภาวะของปัจจัยที่ทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงสุดในสภาวะ

Shock Pulse Duration 0.1, 0.2 และ 0.35 ms

Shock Pulse Duration (ms)	ปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียน				G-toLift off (G's)
	$L_1/L_{total}$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	W (mm)	
0.1	0.037	0.030	0.076	0.800	86.11
0.2	0.037	0.030	0.076	0.800	77.28
0.35	0.078	0.038	0.076	0.800	64.46

ผลจากตารางที่ 6.14 เมื่อเกิดชอร์คที่สภาวะ Shock Pulse Duration เปลี่ยนไป สภาวะของปัจจัยที่ทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงสุดก็อาจเปลี่ยนไปด้วย (ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 และ 0.2 ms แต่ละปัจจัยมีสภาวะเหมือนกัน แต่ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms สภาวะของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  เปลี่ยนจาก 0.037 ม.ม. เป็น 0.078 ม.ม. และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) เปลี่ยนจาก 0.030 ม.ม. เป็น 0.038 ม.ม.) นั้นแสดงว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นหนึ่งๆ จะมีคุณสมบัติของค่า G-to-Lift off ดีเลิศที่สภาวะ Shock Pulse Duration หนึ่งเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นอื่น แต่เมื่อเกิดชอร์คที่สภาวะ Shock Pulse Duration ช่วงอื่นแล้วแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นนี้อาจมีคุณสมบัติของค่า G-to-Lift off ต่ำกว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นอื่นที่



เปรียบเทียบกันก็เป็นได้ ดังนั้นการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาวะชอร์กที่อาจเกิดขึ้นว่าอยู่ในสภาวะ Shock Pulse Duration ช่วงใดด้วย

#### 6.4 ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์เมื่อเกิดกำทอน (Sway Frequency)

ตารางที่ 6.15 แสดงผลการทดลองของความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency)

Model	Repl cation	Std Order	Run Order	Factors				Response
				L1/Ltotal	t1	t2	W	Sway Frequency(kHz)
5	3	37	1	0.037	0.030	0.120	0.600	12.106
14	1	14	2	0.078	0.030	0.120	0.800	8.998
14	3	46	3	0.078	0.030	0.120	0.800	9.736
10	3	42	4	0.078	0.030	0.076	0.800	11.168
13	2	29	5	0.037	0.030	0.120	0.800	12.817
5	2	21	6	0.037	0.030	0.120	0.600	12.245
2	3	34	7	0.078	0.030	0.076	0.600	9.811
8	1	8	8	0.078	0.038	0.120	0.600	12.338
6	1	6	9	0.078	0.030	0.120	0.600	8.076
12	2	28	10	0.078	0.038	0.076	0.800	13.358
1	3	33	11	0.037	0.030	0.076	0.600	11.703
15	2	31	12	0.037	0.038	0.120	0.800	15.327
11	1	11	13	0.037	0.038	0.076	0.800	13.423
13	3	45	14	0.037	0.030	0.120	0.800	12.607
12	3	44	15	0.078	0.038	0.076	0.800	13.426
8	3	40	16	0.078	0.038	0.120	0.600	12.367
13	1	13	17	0.037	0.030	0.120	0.800	12.726
16	1	16	18	0.078	0.038	0.120	0.800	12.646
2	1	2	19	0.078	0.030	0.076	0.600	9.917
5	1	5	20	0.037	0.030	0.120	0.600	12.297
8	2	24	21	0.078	0.038	0.120	0.600	12.020
15	3	47	22	0.037	0.038	0.120	0.800	14.700
4	1	4	23	0.078	0.038	0.076	0.600	12.298

ตารางที่ 6.15 (ต่อ)

Model	Repl cation	Std Order	Run Order	Factors				Response
				L1/Ltotal	t1	t2	W	Sway Frequency(kHz)
16	2	32	24	0.078	0.038	0.120	0.800	12.450
6	2	22	25	0.078	0.030	0.120	0.600	7.937
3	2	19	26	0.037	0.038	0.076	0.600	12.767
11	2	27	27	0.037	0.038	0.076	0.800	13.455
7	3	39	28	0.037	0.038	0.120	0.600	14.363
6	3	38	29	0.078	0.030	0.120	0.600	7.922
1	1	1	30	0.037	0.030	0.076	0.600	11.626
3	1	3	31	0.037	0.038	0.076	0.600	12.890
7	1	7	32	0.037	0.038	0.120	0.600	14.627
15	1	15	33	0.037	0.038	0.120	0.800	15.177
9	2	25	34	0.037	0.030	0.076	0.800	12.497
10	1	10	35	0.078	0.030	0.076	0.800	10.841
14	2	30	36	0.078	0.030	0.120	0.800	9.487
9	3	41	37	0.037	0.030	0.076	0.800	12.463
1	2	17	38	0.037	0.030	0.076	0.600	11.448
3	3	35	39	0.037	0.038	0.076	0.600	12.978
4	2	20	40	0.078	0.038	0.076	0.600	12.170
4	3	36	41	0.078	0.038	0.076	0.600	12.200
12	1	12	42	0.078	0.038	0.076	0.800	12.912
9	1	9	43	0.037	0.030	0.076	0.800	12.503
16	3	48	44	0.078	0.038	0.120	0.800	12.600
10	2	26	45	0.078	0.030	0.076	0.800	11.022
2	2	18	46	0.078	0.030	0.076	0.600	9.901
11	3	43	47	0.037	0.038	0.076	0.800	13.115
7	2	23	48	0.037	0.038	0.120	0.600	14.665

## 6.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

### 6.4.1.1 ขั้นตอนแบบเต็มรูป (Full Model)

พิจารณามวลหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยา 2 ทาง อันตรกิริยา 3 ทาง อันตรกิริยา 4 ทาง ว่ามีพจน์ใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากตารางที่ 6.16 และกราฟพาเรโต รูปที่ 6.11

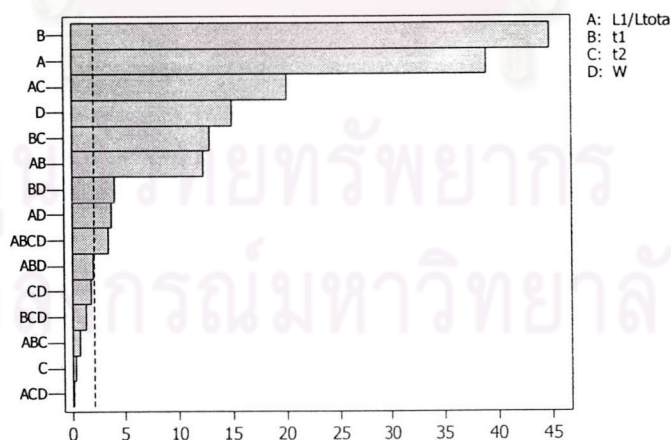
ตารางที่ 6.16 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น

Analysis of Variance for Sway Frequency					
Source	DF	SS	MS	F	P
L1/Ltota	1	49.8658	49.8658	1512.75	0.000
t1	1	66.3123	66.3123	2011.67	0.000
t2	1	0.0024	0.0024	0.07	0.787
W	1	7.3492	7.3492	222.95	0.000
L1/Ltota*t1	1	5.0181	5.0181	152.23	0.000
L1/Ltota*t2	1	13.2678	13.2678	402.50	0.000
L1/Ltota*W	1	0.4393	0.4393	13.33	0.001
t1*t2	1	5.4905	5.4905	166.56	0.000
t1*W	1	0.5146	0.5146	15.61	0.000
t2*W	1	0.0977	0.0977	2.97	0.095
L1/Ltota*t1*t2	1	0.0164	0.0164	0.50	0.485
L1/Ltota*t1*W	1	0.1208	0.1208	3.66	0.065
L1/Ltota*t2*W	1	0.0007	0.0007	0.02	0.887
t1*t2*W	1	0.0511	0.0511	1.55	0.222
L1/Ltota*t1*t2*W	1	0.3881	0.3881	11.77	0.002
Error	32	1.0548	0.0330		
Total	47	149.9898			

หลักการพิจารณาผลจากตาราง ANOVA ให้ดูที่ค่า P-value พจน์ใดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) แสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Pareto Chart of the Standardized Effects

(response is Sway Fre, Alpha = .05)



รูปที่ 6.11 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency)



หลักการพิจารณาพจน์ใดที่มีแท่งกราฟยาวเกินเส้นประ นั้นแสดงว่าพจน์นั้นมีอิทธิพลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และลำดับชั้นของพารามิเตอร์แสดงถึงความรุนแรงของแต่ละพจน์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ

จากตาราง ANOVA ที่ 6.16 และกราฟพารามิเตอร์ที่ 6.11 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

- 1) ผลหลักของความหนาของ Hinge ( $t_1$ )
- 2) ผลหลักของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$
- 3) ผลหลักของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 4) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 5) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ )
- 6) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ )
- 7) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 8) อันตรกิริยา 2 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)
- 9) อันตรกิริยา 4 ทาง ระหว่างอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

ตารางที่ 6.17 สรุปอิทธิพลของแต่ละพจน์ต่อความผันแปรของความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (%Contribution)

Source	%Contribution
$t_1$	44.21
$L_1/L_{total}$	33.25
$L_1/L_{total} * t_2$	8.85
w	4.90
$t_1 * t_2$	3.66
$L_1/L_{total} * t_1$	3.35
$t_1 * w$	0.34
$L_1/L_{total} * t_1 * t_2 * w$	0.26
$L_1/L_{total} * w$	0.23
$L_1/L_{total} * t_1 * w$	0.08
$t_2 * w$	0.06
$t_1 * t_2 * w$	0.03
$L_1/L_{total} * t_1 * t_2$	0.01
$t_2$	0.00

ตารางที่ 6.17 (ต่อ)

Source	%Contribution
$L_1/L_{total} * t_2 * w$	0.00
Error	0.70

ผลจากการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของความถี่ธรรมชาติใน โหมดสเวย์ (Sway Frequency) อันเนื่องจาก 4 ปัจจัยหลักของผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้ 99.3 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดจากการทดลอง 0.7 เปอร์เซ็นต์

#### 6.4.1.2 แบบลดรูป (Reduced Model)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้นลดรูปพจน์ที่ไม่มีอิทธิพลต่อความถี่ธรรมชาติใน โหมดสเวย์ (Sway Frequency) ออกจากโมเดลการวิเคราะห์และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซ้ำ อีกครั้งหนึ่ง พิจารณาผลจากตาราง ANOVA ที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Fractional Factorial Fit: Sway Frequency versus L1/Ltotal, t1, t2, W  
Estimated Effects and Coefficients for Sway (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		12.086	0.02748	439.74	0.000
L1/Ltotal	-2.038	-1.019	0.02748	-37.08	0.000
t1	2.351	1.175	0.02748	42.77	0.000
t2	0.014	0.007	0.02748	0.26	0.797
W	0.783	0.391	0.02748	14.24	0.000
L1/Ltotal*t1	0.647	0.323	0.02748	11.76	0.000
L1/Ltotal*t2	-1.052	-0.526	0.02748	-19.13	0.000
L1/Ltotal*W	0.191	0.096	0.02748	3.48	0.001
t1*t2	0.676	0.338	0.02748	12.31	0.000
t1*W	-0.207	-0.104	0.02748	-3.77	0.001
L1/Ltotal*t1*t2*W	-0.180	-0.090	0.02748	-3.27	0.002

Analysis of Variance for Sway (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	123.530	123.530	30.8824	851.72	0.000
2-Way Interactions	5	24.730	24.730	4.9461	136.41	0.000
4-Way Interactions	1	0.388	0.388	0.3881	10.70	0.002
Residual Error	37	1.342	1.342	0.0363		
Lack of Fit	5	0.287	0.287	0.0573	1.74	0.154
Pure Error	32	1.055	1.055	0.0330		
Total	47	149.990				

Estimated Coefficients for Sway using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	14.7092
L1/Ltotal	-151.994
t1	-212.523
t2	-77.9228
W	7.98586
L1/Ltotal*t1	4675.23
L1/Ltotal*t2	-911.735
L1/Ltotal*W	82.2278
t1*t2	4272.85
t1*W	-198.714
L1/Ltotal*t1*t2*W	-10672.6

จากตาราง ANOVA ที่ 6.18 สามารถสรุปเป็นสมการพยากรณ์ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ได้ดังนี้

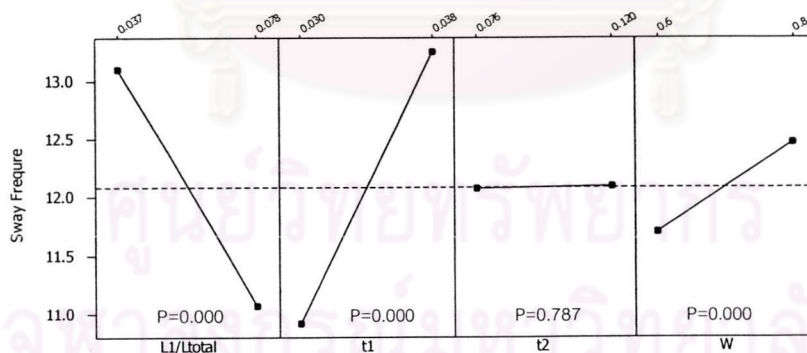
$$\begin{aligned} \text{Sway Frequency} = & 14.17 - (151.99 * L_1/L_{\text{total}}) - (212.52 * t_1) - (77.92 * t_2) + (7.99 * W) \\ & + (4675.23 * L_1/L_{\text{total}} * t_1) - (911.74 * L_1/L_{\text{total}} * t_2) + (82.23 * L_1/L_{\text{total}} * W) \\ & + (4272.85 * t_1 * t_2) - (198.71 * t_1 * W) - (10672.60 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2 * W) \end{aligned}$$

ซึ่งสมการนี้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ได้ 99.11 เปอร์เซ็นต์ (ผลรวมของ %Contribution ในตารางที่ 6.17 ของทุกพจน์ที่มีสมการ) และสมการนี้จะถูกนำไปใช้หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยเมื่อคำนึงถึงผลตอบอื่นอีก 2 ผลตอบ (G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms)

#### 6.4.2 วิเคราะห์ผลหลักและอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

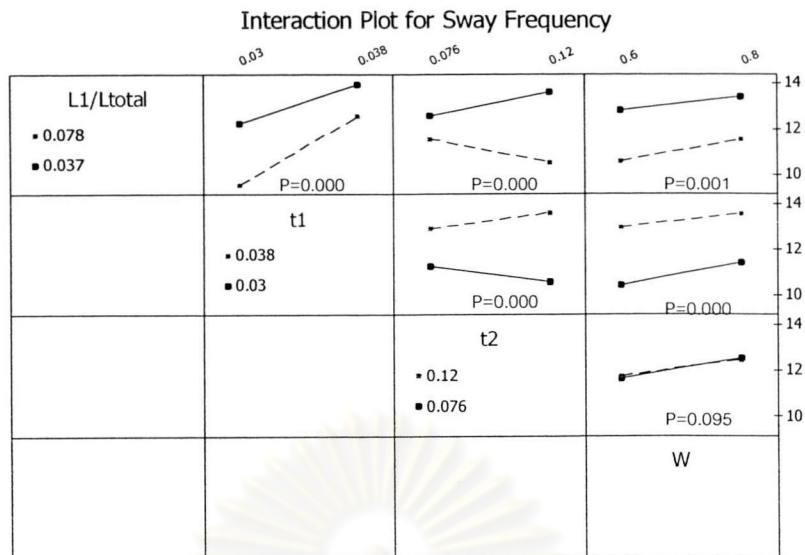
การวิเคราะห์ที่ตรงนี้จะนำผลจากข้อ 6.4.1 มาใช้ตัดสินใจร่วมด้วยในการเลือกสภาวะเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) สูงสุด พิจารณารูปที่ 6.10 ซึ่งแสดงผลหลักของแต่ละปัจจัย และรูปที่ 6.13 ซึ่งแสดงอันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย

Main Effect Plot for Sway Frequency



รูปที่ 6.12 ผลหลักของแต่ละปัจจัย





**รูปที่ 6.13** อันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย

จากรูป 6.12 และ 6.13 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน สามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) สูงสุดได้ดังนี้

1) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ควรเลือกที่ความหนา 0.038 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) หนาขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์สูงขึ้น

2) อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ควรเลือกที่ 0.037 ม.ม.(-) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญ และมีอันตรกิริยาทางบวกกับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ที่ส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์สูงขึ้น และสามารถกล่าวได้ว่า เมื่อความยาวของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $L_1$ ) สั้นลง ( $L_{total}$  เท่าเดิม) จะส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) สูงขึ้น

3) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรเลือกที่ 0.800 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและมีอันตรกิริยาทางบวกกับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  และสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) กว้างขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) สูงขึ้น

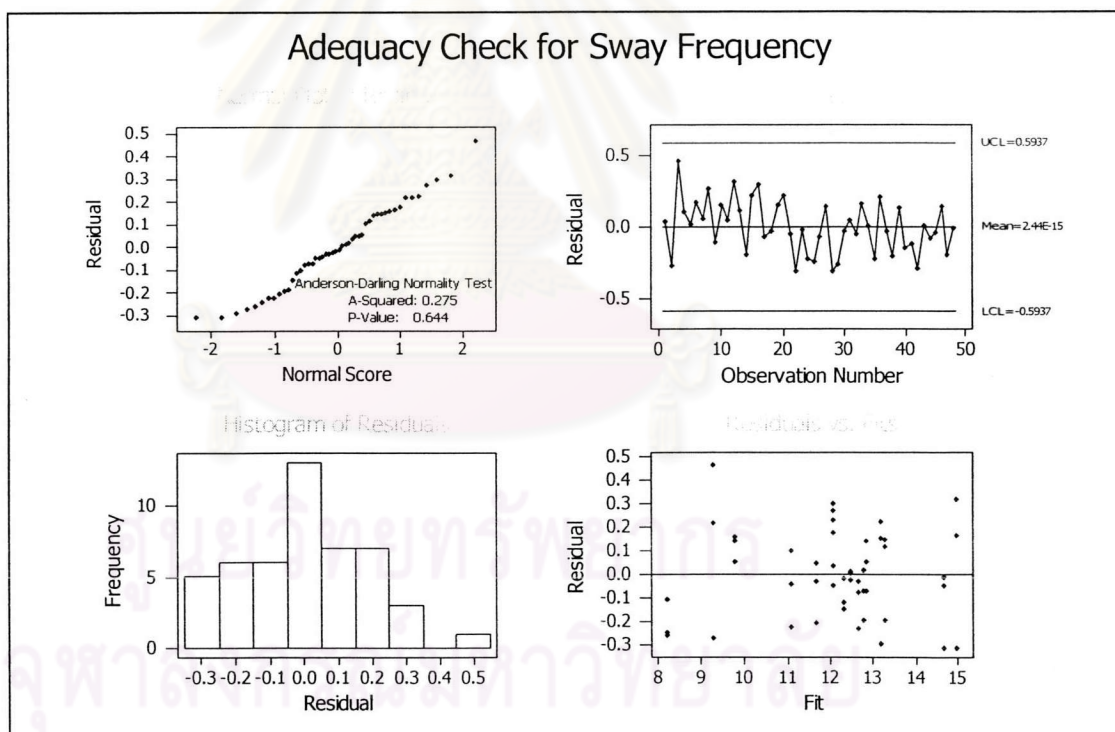
4) ความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ควรเลือกที่ความหนา 0.120 ม.ม.(+) เนื่องจากมีผลของอันตรกิริยาทางบวกกับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  นั่นคือเมื่อความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) หนาขึ้น และความยาวของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $L_1$ ) สั้นลง ( $L_{total}$  เท่าเดิม) และความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) หนาขึ้นก็จะส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) สูงขึ้น

ตารางที่ 6.19 สรุประดับของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) สูงสุด

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
1) Load beam Thickness ( $t_2$ )	ระดับสูง (หนาขึ้น)
2) Hinge Thickness ( $t_1$ )	ระดับสูง (หนาขึ้น)
3) Hinge Width (W)	ระดับสูง (กว้างขึ้น)
4) อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$	ระดับต่ำ (ความยาวของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $L_1$ ) สั้นลง, ความยาวของ Load beam ยาวขึ้น)

### 6.4.3 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลจากการทดลองถูกต้องและเพียงพอหรือไม่ที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป (รายละเอียดดูในบทที่ 2)



รูปที่ 6.14 แสดงกราฟการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

### วิเคราะห์จากกราฟรูปที่ 6.14

1) Histogram of Residual แสดงลักษณะของข้อมูลกระจายตัวแบบปกติรอบๆ ศูนย์ Normal Plot of Residual เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงและผลของ Anderson-Daring Normality Test ได้ P-value = 0.644 ( $\alpha=0.05$ ) นั้นหมายความว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

2) I Chart of Residual ข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้น ๆ ลง ๆ รอบ ๆ ศูนย์ซึ่งแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

3) Residual vs Fits ข้อมูลกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบ ๆ ศูนย์ไม่บานออกหรือหุบเข้าหรือเป็นรูปแบบใด ๆ แสดงถึงความมีเสถียรของความแปรปรวน

ข้อมูลชุดนี้ถูกต้องและเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



6.5 ผลของการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนเมื่อคำนึงถึงผลตอบเพียง 1 ผลตอบ (G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms หรือ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms หรือ ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์)

ในหัวข้อ 6.1 6.2 และ 6.4 เป็นการหาจุดเหมาะสมของแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่คำนึงต่อผลตอบเพียง 1 ผลตอบเท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปในมุมมองของปริมาณที่ได้จากการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบนี้ได้ดังตารางที่ 6.20

ตารางที่ 6.20 แสดงขนาดที่สูงสุดของผลตอบที่สนใจ 1 ผลตอบและขนาดของผลตอบอื่นที่เปลี่ยนไปตามขนาดของปัจจัยที่กำหนดให้กับผลตอบที่สนใจนั้น ๆ

สภาวะของปัจจัย	ผลตอบ (Responses)					
	G-toLift off (G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms		G-toLift off (G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms		ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (kHz)	
	ค่าที่อ่านได้	ลดลงจากค่าสูงสุด	ค่าที่อ่านได้	ลดลงจากค่าสูงสุด	ค่าที่อ่านได้	ลดลงจากค่าสูงสุด
1) ผลตอบแต่ละตัวมีค่าสูงสุด	86.11	-	64.45	-	15.01	-
2) ปรับระดับของปัจจัยให้ G-toLift off (G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms มีค่าสูงสุด	86.11	-	47.08	17.37 (26.95%)	11.07	3.94 (26.25%)
3) ปรับระดับของปัจจัยให้ G-toLift off (G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms มีค่าสูงสุด	80.11	6.0 (6.97%)	64.45	-	13.2	1.81 (12.06%)
4) ปรับระดับของปัจจัยให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์มีค่าสูงสุด	67.53	18.58 (21.58 %)	30.92	33.53 (52.02%)	15.01	-

จากตารางที่ 6.20 เมื่อออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms มีค่าสูงสุดแล้ว ความสามารถของ G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms จะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลง 26.95 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์จะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลง 26.25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms มีค่าสูงสุดแล้ว ความสามารถของ G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms จะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลง 6.97 เปอร์เซ็นต์ และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์จะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลง 12.06 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์มีค่าสูงสุดแล้วความสามารถของ G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms จะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลง 21.58 เปอร์เซ็นต์ และ G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ก็ จะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลง 52.02 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าเมื่อทำการออกแบบและคำนึงถึงผลตอบตัวใด

ตัวหนึ่งเพียง 1 ผลตอบเท่านั้น แล้วขนาดของผลตอบอื่นที่ไม่ได้ถูกพิจารณาจะลดจากค่าสูงสุดที่เป็นได้ลงมาค่อนข้างมาก

เมื่อพิจารณาในมุมมองของการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนทั่วไปของแขนจับหัวอ่าน/เขียน รั่นความยาว 14.5 ม.ม. สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.21

ตารางที่ 6.21 แสดงแนวโน้มของแต่ละปัจจัยเมื่อผลตอบแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน

ปัจจัย (Factors)	ผลตอบ (Responses)		
	G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms	G-to-Lift-off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms	ความถี่ธรรมชาติ ในโหมดสเวย์
$L_1/L_{total}$	ระดับสูง ( $L_1$ ยาวขึ้น)	ระดับสูง ( $L_1$ ยาวขึ้น)	ระดับต่ำ ( $L_1$ สั้นลง)
$t_1$	ระดับต่ำ (บางลง)	ระดับสูง (หนาขึ้น)	ระดับสูง (หนาขึ้น)
$t_2$	ระดับต่ำ (บางลง)	ระดับต่ำ (บางลง)	ระดับสูง (หนาขึ้น)
W	ระดับสูง (กว้างขึ้น)	ระดับสูง (กว้างขึ้น)	ระดับสูง (กว้างขึ้น)

จากตารางที่ 6.17 เมื่ออัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  เมื่อยาวขึ้นจะส่งผลให้ G-to-Lift off ทั้ง 2 สถานะมีค่าสูงขึ้น แต่จะส่งผลเสียกับความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ทำให้ค่าต่ำลง สำหรับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) เมื่อความหนาบางลงจะส่งผลเฉพาะ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ได้ค่าสูงขึ้นแต่จะส่งผลเสียกับ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ได้ค่าต่ำลง สำหรับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) เมื่อความหนาบางลงจะส่งผลดีกับ G-to-Lift off ทั้ง 2 สถานะได้ค่าสูงขึ้น แต่จะส่งผลเสียกับความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ทำให้ค่าต่ำลง สำหรับความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) เมื่อกว้างขึ้นจะส่งผลดีกับทุก ๆ ผลตอบทำให้ค่าสูงขึ้น จะเห็นว่าเมื่อคำนึงถึงผลตอบแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ปัจจัยแต่ละตัวกับระดับหรือสถานะที่ถูกเลือกจะส่งผลทางบวกกับผลตอบนั้นแต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลทางลบกับผลตอบอื่น

ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียน จำเป็นจะต้องคำนึงถึงทุกผลตอบไปพร้อมกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของทุกผลตอบสูงที่สุดที่ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

## 6.6 วิเคราะห์หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ทำให้ทุก ๆ ผลตอบมีค่าสูงสุด (Maximize All Response)

จากหัวข้อ 6.5 ขั้นตอนการออกแบบแผนจับหัวอ่าน/เขียนควรต้องคำนึงถึงทุกผลตอบไปพร้อมกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของทุกผลตอบสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ นำสมการพยากรณ์ที่ได้ของแต่ละผลตอบในหัวข้อ 6.1 6.2 และ 6.4 มาวิเคราะห์หรร่วมกันโดยใช้หลักการของ Optimization และประยุกต์ใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์หาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ทุกผลตอบมีค่าสูงสุดที่ดีที่สุด โดยตั้งเป้าหมายให้แต่ละผลตอบมีค่าสูงสุด (Maximize All Responses) และให้นำหน้าความสำคัญของแต่ละผลตอบเท่ากัน ตาราง 6.23 แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab

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

$$\begin{aligned} \text{G-to-Lift off}_{0.1 \text{ ms}} = & 53.49 + (185.22 * L_1/L_{\text{total}}) - (602.19 * t_1) + (509.69 * t_2) + (80.76 * W) \\ & - (1030.90 * t_2 * W) - (64819.8 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2) + (3894.52 * t_1 * t_2 * W) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{G-to-Lift off}_{0.35 \text{ ms}} = & 260.99 - (4733.53 * L_1/L_{\text{total}}) - (5850.17 * t_1) - (888.35 * t_2) - (56.15 * W) \\ & + (128757.00 * L_1/L_{\text{total}} * t_1) + (43237.90 * L_1/L_{\text{total}} * t_2) + (22105.50 * t_1 * t_2) \\ & + (3578.23 * t_1 * W) - (726.01 * t_2 * W) - (1107377 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2) \\ & - (2016.04 * L_1/L_{\text{total}} * t_2 * W) \end{aligned}$$

สมการพยากรณ์ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency)

$$\begin{aligned} \text{Sway Frequency} = & 14.17 - (151.99 * L_1/L_{\text{total}}) - (212.52 * t_1) - (77.92 * t_2) + (7.99 * W) \\ & + (4675.23 * L_1/L_{\text{total}} * t_1) - (911.74 * L_1/L_{\text{total}} * t_2) + (82.23 * L_1/L_{\text{total}} * W) \\ & + (4272.85 * t_1 * t_2) - (198.71 * t_1 * W) - (10672.60 * L_1/L_{\text{total}} * t_1 * t_2 * W) \end{aligned}$$



ตาราง 6.22 แสดงผลวิเคราะห์ของ Response Optimization

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
G-to-Lift off <sub>0.1ms</sub>	Maximum	0	100	100	1
G-to-Lift off <sub>0.35ms</sub>	Maximum	0	100	100	1
Sway Frequency	Maximum	0	20	20	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 <sub>0.1ms</sub>	=	80.1107 G's
G-to-Lift off <sub>0.35ms</sub>	=	64.4508 G's
Sway Frequency	=	13.2037 kHz

จากตารางที่ 6.22 สามารถสรุประดับของปัจจัยและขนาดของผลตอบที่ดีที่สุดดังในตารางที่ 6.23  
ตาราง 6.23 สรุประดับของปัจจัยและขนาดของผลตอบที่ดีที่สุดเมื่อคำนึงถึงทุกผลตอบ

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	Sway Frequency(kHz)
อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$	0.078	80.11	64.45	13.20
ความหนาของ Hinge ( $t_1$ )	0.038			
ความหนาของ Load beam ( $t_2$ )	0.076			
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)	0.800			

ตาราง 6.24 แสดงค่าพยากรณ์เปรียบเทียบของผลตอบเมื่อพิจารณาอิสระต่อกัน  
กับพิจารณาทุกผลตอบร่วมกัน

ผลตอบ	แต่ละผลตอบอิสระต่อกัน	ทุกผลตอบถูกพิจารณาร่วมกัน	ผลต่าง (ส่วนลด)	
			ค่าจริง	เปอร์เซ็นต์
G-to-Lift off (G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms	86.11	80.11	6.00	6.97%
G-to-Lift off (G's) ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms	64.45	64.45	0.00	0%
Sway Frequency (kHz)	15.01	13.20	1.81	12.06%

หมายเหตุ : ผลต่าง = ผลตอบเมื่ออิสระต่อกัน - ผลตอบเมื่อพิจารณาร่วมกัน

จากตารางที่ 6.24 ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ลดลง 6.97 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผลกระทบจากผลหลักของความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ที่เปลี่ยนจากระดับต่ำ (0.030 ม.ม.) เป็นระดับสูง (0.038 ม.ม.) เพื่อคงรักษาความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ให้เปลี่ยนน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ลดลง 12.06 เปอร์เซ็นต์เป็นผลมาจากผลหลักของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ที่เปลี่ยนจากระดับต่ำ (0.037 ม.ม.) เป็นระดับสูง (0.078 ม.ม.) เพื่อคงรักษา G-to-Lift off ทั้งสองสถานะให้มีค่าเปลี่ยนน้อยที่สุด

จากรูปแบบที่สมดุลของผลิตภัณฑ์ต้นแบบต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) นี้ ถ้าต้องการ

1) เพิ่มความสามารถของค่า G-to-Lift off ทั้งสองสถานะให้สูงขึ้นควรพิจารณาปรับเปลี่ยนเฉพาะความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ให้มีความหนาบางลงซึ่งจะกระทบต่อความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) น้อยที่สุด

2) เพิ่มความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ให้สูงขึ้นควรพิจารณาปรับเปลี่ยนเฉพาะความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ให้กว้างขึ้นซึ่งไม่มีผลกระทบกับ G-to-Lift off ทั้ง 2 สถานะ ถ้าเพิ่มความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ให้หนาขึ้น จะส่งผลกระทบต่อ G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms ลดลงประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) เปลี่ยนจาก 0.030 ม.ม. เป็น 0.038 ม.ม.)

### 6.7) ศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะตกกระทบบนแผ่นดิสก์กับค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียน เมื่อแขนจับหัวอ่าน/เขียนอยู่ในสภาวะชอร์กระดับเกินค่า G-to-Lift off

จากที่กล่าวไว้ในข้างต้นของบทที่ 3 ว่าความสามารถต้านทานสภาวะชอร์คของแขนจับหัวอ่าน/เขียน สามารถพิจารณาได้ใน 2 ช่วง นั่นคือ

ช่วงที่ 1 ความรุนแรงของชอร์คที่กระทำกับแขนจับหัวอ่าน/เขียนไม่เกินระดับ G-to-Lift off หัวอ่าน/เขียนยังคงสภาพหนึ่งบนแผ่นดิสก์ซึ่งวัดความสามารถด้วยค่า G-to-Lift off แขนจับหัวอ่าน/เขียนรูปแบบที่มีค่า G-to-Lift off มากในสภาวะ Shock Pulse Duration เดียวกัน แสดงว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรูปแบบนั้นมีความสามารถต้านทานชอร์คได้สูงกว่า

ช่วงที่ 2 ความรุนแรงของชอร์คที่กระทำกับแขนจับหัวอ่าน/เขียนเกินระดับค่า G-to-Lift off หัวอ่าน/เขียน แยกตัวออกจากแผ่นดิสก์และเกิด Head Slap จนกระทั่งหยุด วิธีการวัดความสามารถมี 2 วิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องทดสอบ คือ

วิธีที่ 1 ตรวจจับความเสียหายบนแผ่นดิสก์ (ขนาดรอยจิก) แขนจับหัวอ่าน/เขียนรูปแบบที่ไม่ทำให้เกิดรอยจิกหรือมีขนาดรอยจิกน้อยกว่าในสภาวะความรุนแรงของชอร์คเดียวกัน แสดงว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรูปแบบนั้นมีความสามารถต้านทานสภาวะชอร์คสูงกว่า

วิธีที่ 2 ตรวจจับความเร็วของการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน/เขียน ซึ่งมีข้อสมมุติฐานว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรูปแบบที่สามารถควบคุมความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนบนแผ่นดิสก์ได้ต่ำกว่าในสภาวะความรุนแรงของชอร์คเดียวกัน ความเสียหายที่พบบนแผ่นดิสก์ (ขนาดรอยจิก) ก็จะน้อยเป็นสัดส่วนตามกัน และถือว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรูปแบบนั้นมีความสามารถต้านทานชอร์คได้สูงกว่า (อ้างอิงผลงานวิจัยในหัวข้อ 2.3 ของ T. Kouhei T. Yamada Y. Kuroba และ K. Aruga ในปี ค.ศ. 1995 ที่กล่าวว่าเมื่อแขนจับหัวอ่าน/เขียนอยู่ในสภาวะ Head Slap แล้วความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะเคลื่อนที่ตกกระทบแผ่นดิสก์จะแปรผันตรงกับความเร็วที่เกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์) ซึ่งวิธีนี้จะถูกใช้กับงานวิจัยในหัวข้อนี้

ในหัวข้อ 6.1-6.6 เป็นการศึกษาความสามารถต้านทานสภาวะชอร์คของแขนจับหัวอ่าน/เขียนในช่วงที่ 1 เพื่อหาปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่มีอิทธิพลต่อ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1ms และ 0.35 ms และขณะเดียวกันก็ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยชุดเดียวกันนี้ต่อความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ด้วยสุดท้ายศึกษาแนวโน้มการออกแบบของปัจจัยแต่ละตัวเมื่อต้องการทุกผลตอบมีค่าสูงที่สุด ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาความสามารถต้านทานสภาวะชอร์คของแขนจับหัวอ่าน/เขียนในช่วงที่ 2 เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะตกกระทบบนแผ่นดิสก์ (ความเร็วตกกระทบ) กับค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร ถ้าไม่มีความสัมพันธ์กันเลยหรือมีความสัมพันธ์กัน

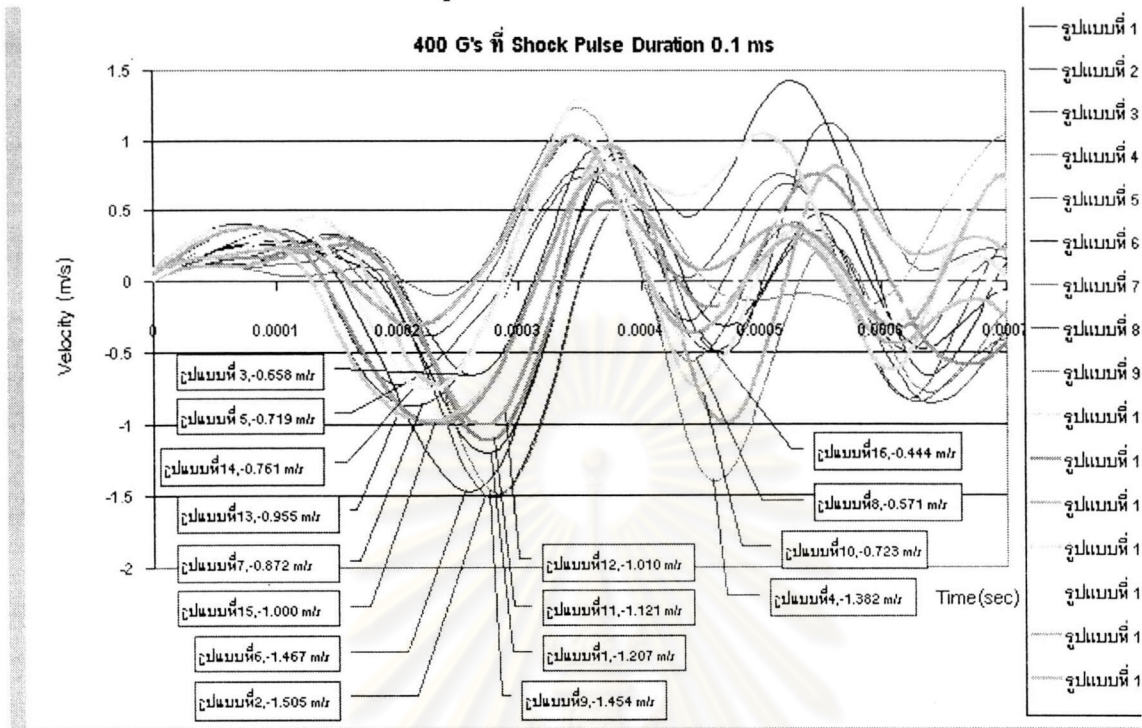


แบบแปรตามแล้วการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนจำเป็นต้องออกแบบส่วนอื่นเพิ่มเติม อาทิเช่น มี Roof เพื่อช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวของ Gimbal ในขณะที่เกิด Head Slap (งานวิจัยของ M. Tokuyama , Y. Katoa ,J.Shimizu ,S.Hirose , Y. Kojima และ H.Nishid ในปี ค.ศ.1999) แต่ถ้ามีความสัมพันธ์กันแบบผกผันแล้วการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนก็พิจารณาออกแบบให้มีค่า G-to-Lift off สูงเท่าที่เป็นไปได้ (เมื่อคำนึงถึงความถี่ธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ด้วย)

นำชิ้นงานตัวอย่าง 16 รูปแบบที่เตรียมไว้ 2 ชุด (ตามหัวข้อ 5.3.5) ชุดหนึ่งถูกทดสอบในสภาวะความรุนแรงชอร์ค 400 G's ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms (รุนแรงพอที่หัวอ่าน/เขียนจะยกตัวขึ้นและเกิด Head Slap และเป็นสภาวะที่สามารถควบคุมการทดลองได้ง่าย) และอีกชุดหนึ่งถูกทดสอบในสภาวะความรุนแรงชอร์ค 400 G's ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms (รุนแรงพอที่หัวอ่าน/เขียนจะยกตัวขึ้นและเกิด Head Slap และเป็นสภาวะที่สามารถควบคุมการทดลองได้ง่าย) ซึ่งลำดับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการสุ่มสมบูรณ์ตามตารางที่ 5.7 (สาเหตุที่ไม่ใช้ชิ้นงานตัวอย่างชุดเดียวกันเพราะต้องการจำกัดความแปรปรวนอันเกิดจากความล่าช้าของชิ้นงาน) และเก็บข้อมูลความเร็วของหัวอ่าน/เขียน ขณะเคลื่อนที่และนำไปวิเคราะห์ร่วมกับค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบแต่ละรูปแบบที่ถูกทดสอบได้ในหัวข้อ 6.1 และ 6.2 ต่อไป โดยการทดลองครั้งนี้เสมือนเป็นการเปลี่ยนแปลงค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่ค่าต่างๆ และตรวจจับความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติในแต่ละสภาวะ Shock Pulse Duration

### 6.7.1 ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms

พิจารณาผลการทดสอบในรูป 6.15



รูป 6.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของผลเฉลี่ยของความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะเคลื่อนที่

จากกราฟรูปที่ 6.15 สามารถตรวจจับความเร็วตกกระทบสูงสุดของหัวอ่าน/เขียนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบแต่ละรูปแบบได้ดังตารางที่ 6.25 (นำไปเฉพาะขนาด ไม่แสดงเครื่องหมายที่หมายถึงทิศทางการเคลื่อนที่)

ตารางที่ 6.25 แสดงความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนและค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบแต่ละรูปแบบ

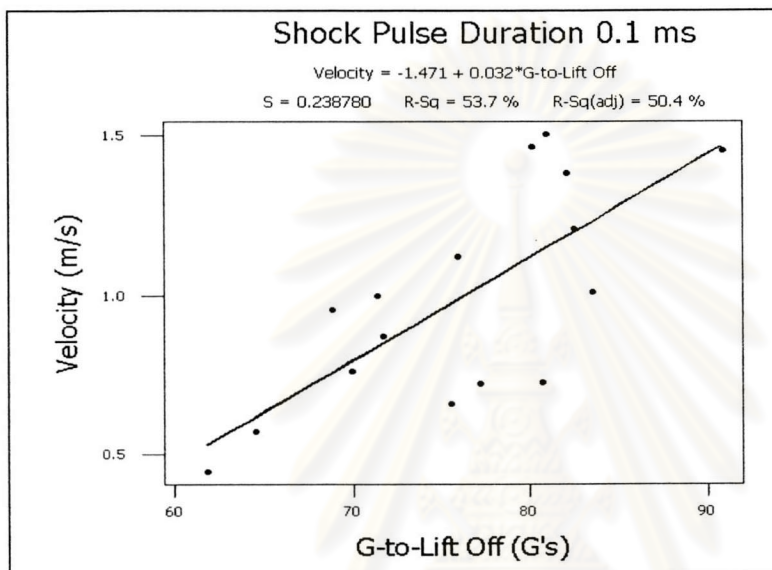
รูปแบบที่	ความเร็วตกกระทบ (m/s)	G-to-Lift Off ที่ Shock Pulse Duration 0.1ms	รูปแบบที่	ความเร็วตกกระทบ (m/s)	G-to-Lift Off ที่ Shock Pulse Duration 0.1ms
รูปแบบที่ 1	1.207	82.420	รูปแบบที่ 9	1.454	90.857
รูปแบบที่ 2	1.505	80.991	รูปแบบที่ 10	0.723	80.745
รูปแบบที่ 3	0.658	75.538	รูปแบบที่ 11	1.121	75.914
รูปแบบที่ 4	1.382	82.058	รูปแบบที่ 12	1.010	83.468
รูปแบบที่ 5	0.719	77.213	รูปแบบที่ 13	0.955	68.801
รูปแบบที่ 6	1.467	80.139	รูปแบบที่ 14	0.761	69.944
รูปแบบที่ 7	0.872	71.653	รูปแบบที่ 15	1.000	71.350
รูปแบบที่ 8	0.571	64.524	รูปแบบที่ 16	0.444	61.786

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบของข้อมูลจากตารางที่ 6.25 โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมมินิแท็บซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 6.26 และรูปที่ 6.16 ตามลำดับ

#### ตารางที่ 6.26 แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวน

##### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.92446	0.924460	16.2141	0.001
Error	14	0.79822	0.057016		
Total	15	1.72268			

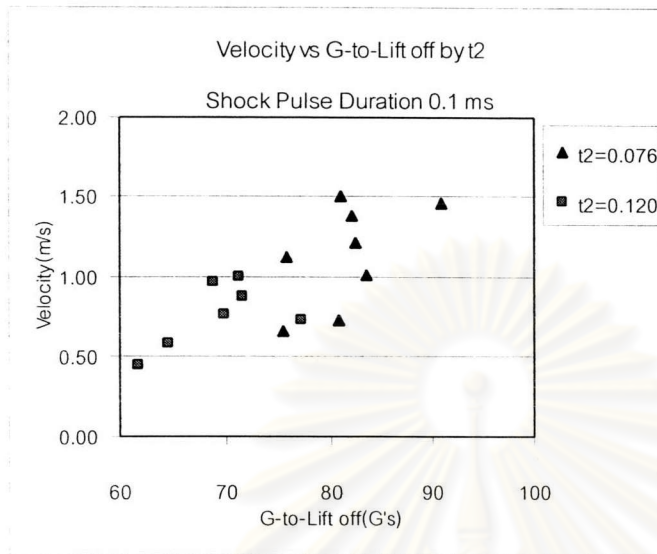


รูปที่ 6.16 แสดงความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

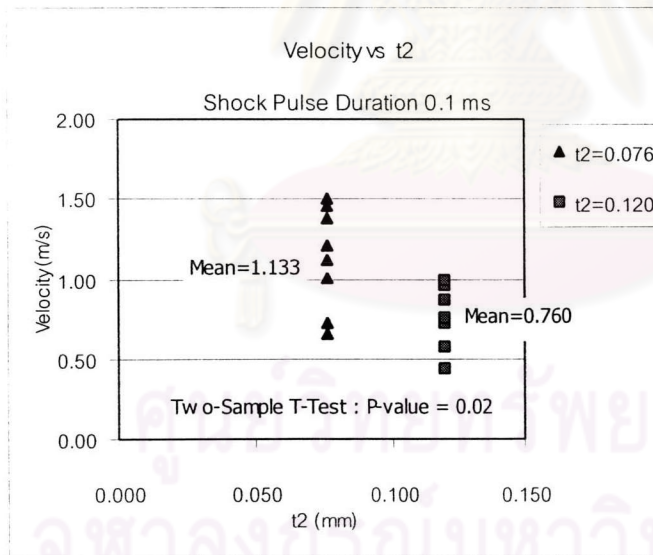
จากตารางที่ 6.26 และรูปที่ 6.16 สามารถกล่าวได้ว่า ในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms เมื่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า G-to-Lift off สูงขึ้นแล้วความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะเกิด Head Slap จะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-Value < 0.05 เมื่อ  $\alpha=0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 6.16 อย่างละเอียดข้อมูลส่วนใหญ่รวมกลุ่มกันอยู่อย่างไม่มีรูปแบบและมีข้อมูลเพียง 3 จุดเท่านั้นที่อยู่นอกกลุ่ม (ข้อมูลของรูปแบบที่ 8 รูปแบบที่ 9 และรูปแบบที่ 16) ทำให้เกิดรูปแบบที่ดูเหมือนมีแนวโน้มว่า เมื่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า G-to-Lift off สูงขึ้นแล้วความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะเกิด Head Slap จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ผู้วิจัยจึงเขียนกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับ G-to-Lift off ใหม่อีกครั้งและจัดกลุ่มตามปัจจัยที่ศึกษา ดังรูปที่ 6.17 รูปที่ 6.19 รูปที่ 6.21 และรูปที่ 6.23 และเขียนกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับปัจจัยนั้นๆ ดังรูปที่ 6.18 รูปที่ 6.20 รูปที่ 6.22 และรูป



ที่ 6.24 พิจารณาควบคู่ไปด้วย เพื่อวิเคราะห์ว่าความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขึ้นอยู่กับปัจจัยใดหรือไม่

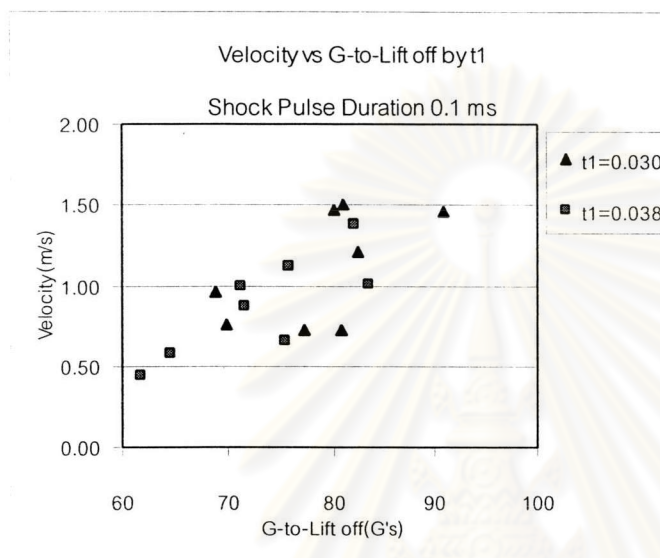


รูปที่ 6.17 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามความหนาของ Load beam ( $t_2$ )

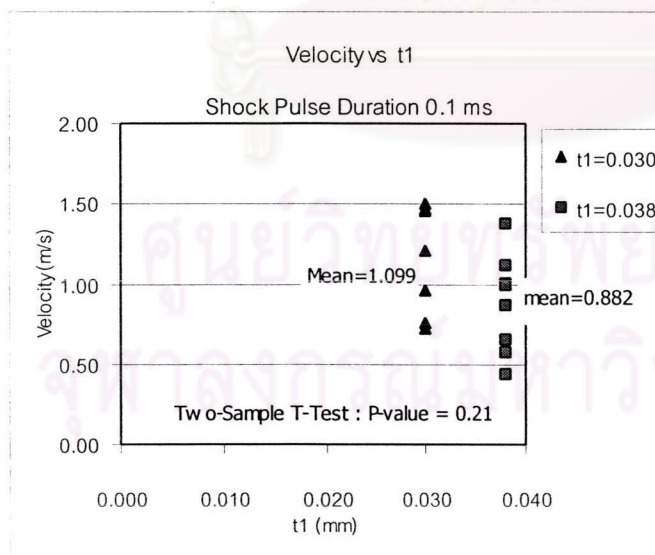


รูปที่ 6.18 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ที่เปลี่ยนระดับไป

จากรูปที่ 6.17 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลแยกกลุ่มกันอย่างชัดเจน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ดังรูปที่ 6.18 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $P\text{-value}=0.02$ ) นั้นแสดงว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) มีผลมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน

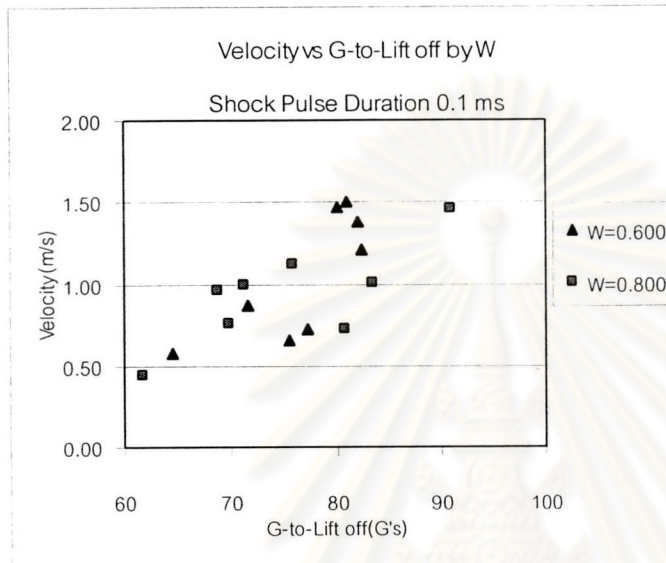


รูปที่ 6.19 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามความหนาของ Hinge ( $t_1$ )

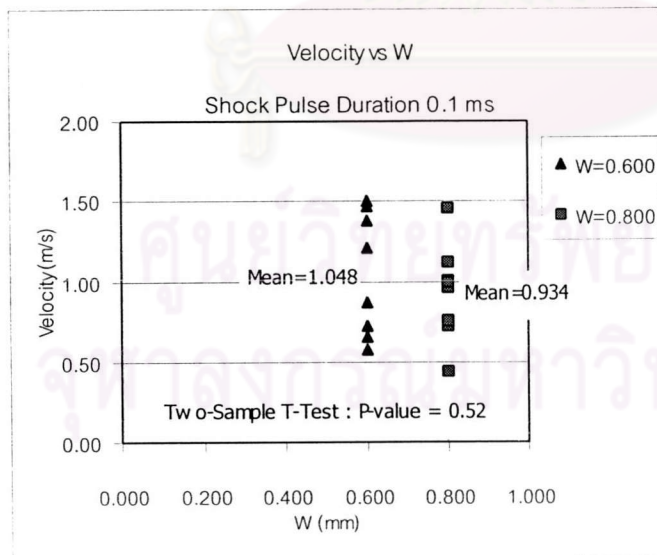


รูปที่ 6.20 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ที่เปลี่ยนระดับไป

จากรูปที่ 6.19 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลจะจัดกระจายปนกัน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ดังรูปที่ 6.20 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $P\text{-value}=0.21$ ) นั่นแสดงว่าความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ไม่มีผลหรืออาจมีผลน้อยต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน



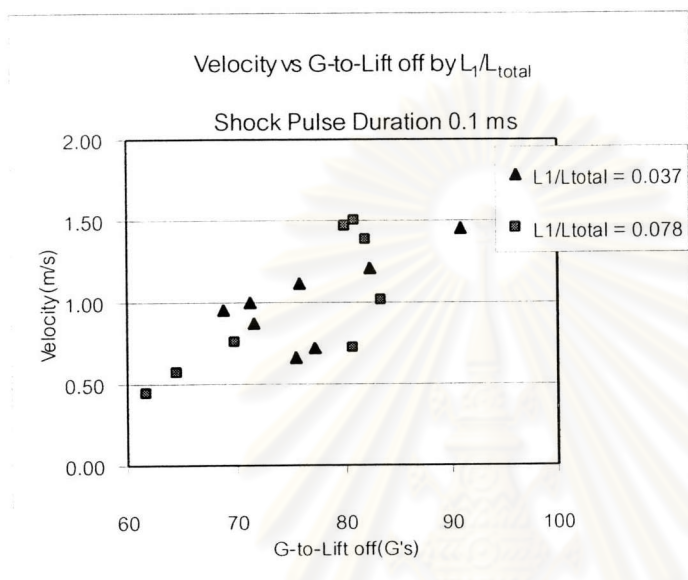
รูปที่ 6.21 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)



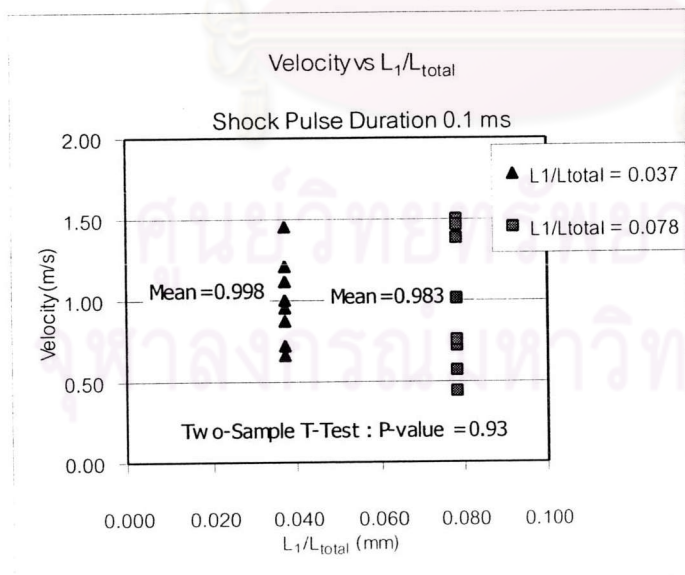
รูปที่ 6.22 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)



จากรูปที่ 6.21 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลจะจัดกระจายปนกัน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ดังรูปที่ 6.22 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value=0.52) นั่นแสดงว่าความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ไม่มีผลหรืออาจมีผลน้อยต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน



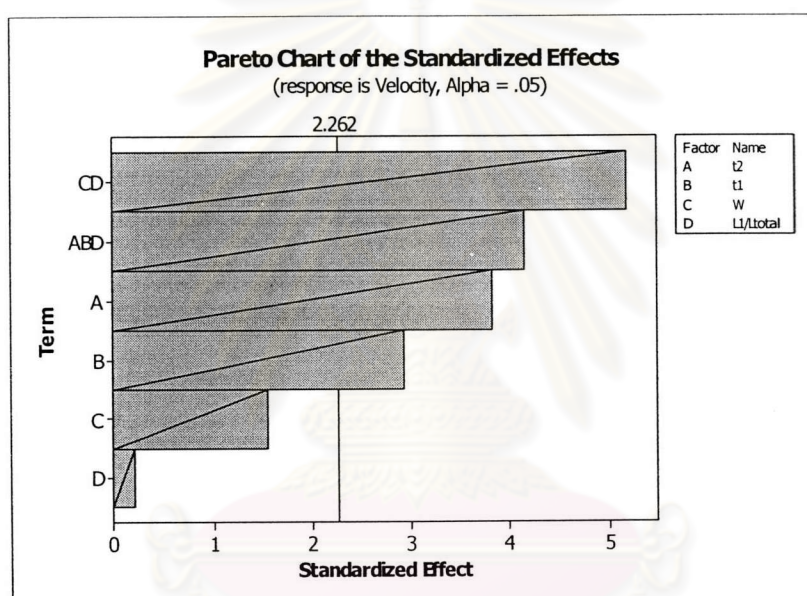
รูปที่ 6.23 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$



รูปที่ 6.24 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$

จากรูปที่ 6.23 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลจะจัดกระจายปนกัน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ดังรูปที่ 6.24 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value=0.93) นั่นแสดงว่าระดับของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ไม่มีผลหรืออาจมีผลน้อยต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน

เพื่อความชัดเจนของอิทธิพลของปัจจัยต่างๆต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสถานะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังแสดงตามรูปที่ 6.25 และตารางที่ 6.27 ตามลำดับ



รูปที่ 6.25 กราฟพารेटโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่านเขียนเมื่อลดรูปโมเดล

ตารางที่ 6.27 ตาราง ANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อลดรูปโมเดล

Estimated Effects and Coefficients for Velocity (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.9906	0.03696	26.80	0.000
t <sub>2</sub>	-0.2839	-0.1419	0.03696	-3.84	0.004
t <sub>1</sub>	-0.2166	-0.1083	0.03696	-2.93	0.017
W	-0.1141	-0.0571	0.03696	-1.54	0.157
L <sub>1</sub> /L <sub>total</sub>	-0.0154	-0.0077	0.03696	-0.21	0.840
W*L <sub>1</sub> /L <sub>total</sub>	-0.3826	-0.1913	0.03696	-5.18	0.001
t <sub>2</sub> *t <sub>1</sub> *L <sub>1</sub> /L <sub>total</sub>	-0.3071	-0.1536	0.03696	-4.16	0.002

S = 0.147829    R-Sq = 88.58%    R-Sq(adj) = 80.97%

จากกราฟพาเรโตรูปที่ 6.25 และ ตาราง ANOVA ที่ 6.27 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms อย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์สามารถเรียงตามลำดับได้ดังนี้

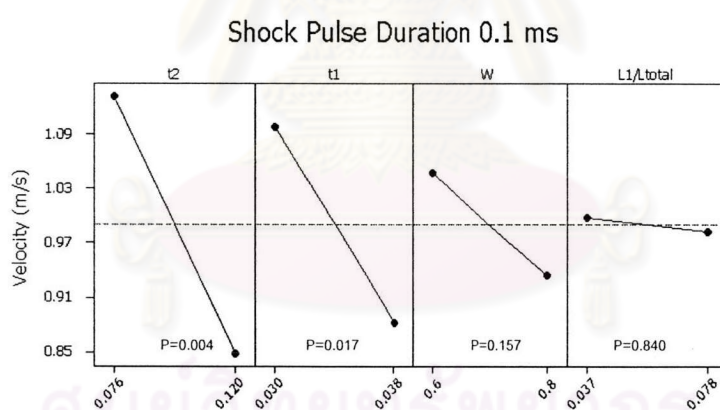
1) อันตรกิริยา 2 ทางระหว่างความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) และอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$

2) อันตรกิริยา 3 ทางระหว่างความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) และความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$

3) ผลหลักของความหนาของ Load beam ( $t_2$ )

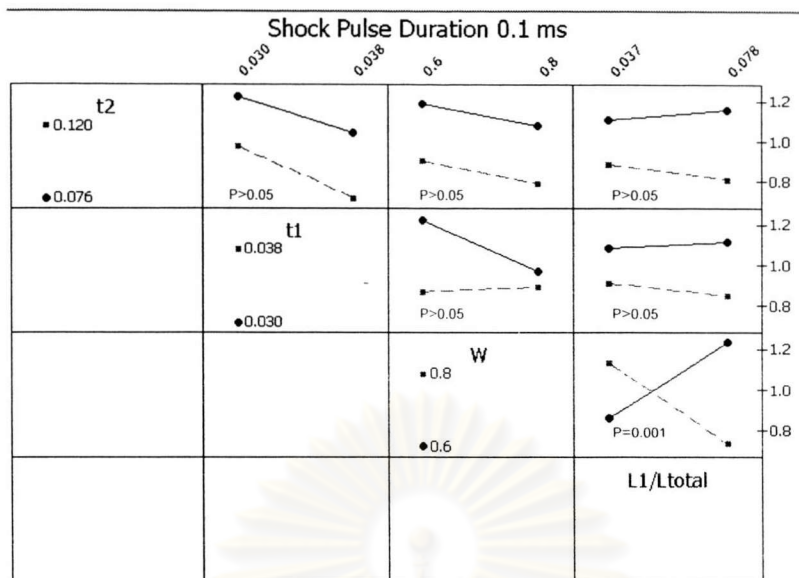
4) ผลหลักของความหนาของ Hinge ( $t_1$ )

วิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms มีค่าต่ำสุด โดยพิจารณากราฟผลหลักดังรูปที่ 6.26 และกราฟอันตรกิริยา 2 ทางดังรูปที่ 6.27 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นประกอบได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.26 ผลหลักของแต่ละปัจจัย





รูปที่ 6.27 อันตรกิริยา 2 ทางของแต่ละคู่ปัจจัย

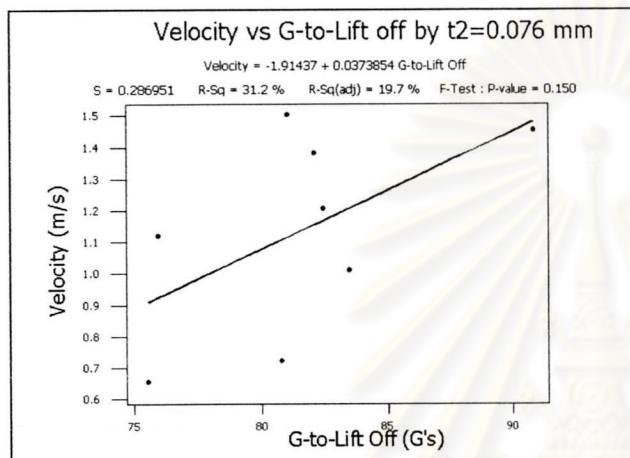
1) ความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ควรเลือกความหนา 0.120 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) หนาขึ้น จะส่งผลให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสถานะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ต่ำลง

2) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ควรเลือกความหนา 0.038 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) หนาขึ้น จะส่งผลให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสถานะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ต่ำลง

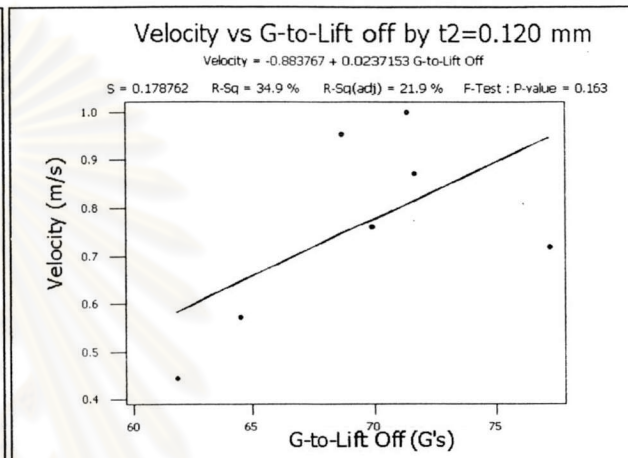
3) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $W$ ) ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญแต่ควรเลือก 0.800 ม.ม.(+) เนื่องจากจะส่งผลให้ค่า G-to-Lift off และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) มีค่าสูงขึ้น

4) อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญแต่จะส่งผลในรูปอันตรกิริยา 2 ทาง และอันตรกิริยา 3 ทาง ควรเลือก 0.078 ม.ม.(+) เนื่องจากส่งผลอันตรกิริยากับความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $W$ ) เมื่อความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง ( $W$ ) นี้กว้างขึ้นแล้วอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ควรมากขึ้นซึ่งจะยิ่งส่งผลให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสถานะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ต่ำลง

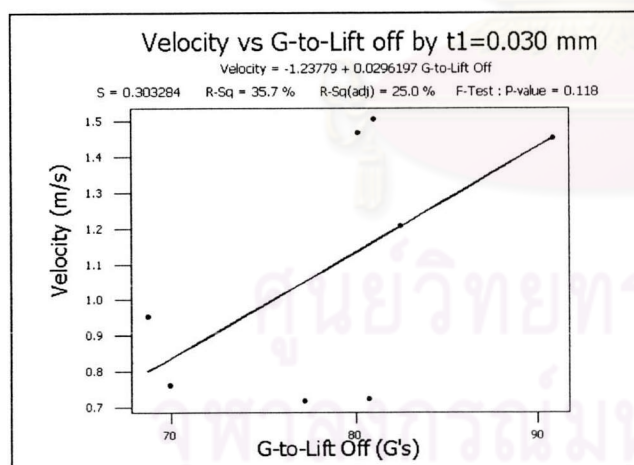
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปได้ว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) มีอิทธิพลเป็นอันดับหนึ่งต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ร่องลงมาเป็นอิทธิพลของความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ดังนั้นความสัมพันธ์เชิงสถิติที่เกิดขึ้นระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ดังรูปที่ 6.16 น่าจะแฝงอยู่ในรูปของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) โดยพิจารณาจัดกลุ่มตามระดับของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 6.28, 6.29, 6.30, 6.31, 6.32, 6.33, 6.34 และ 6.35 ตามลำดับ และสรุปผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 6.28



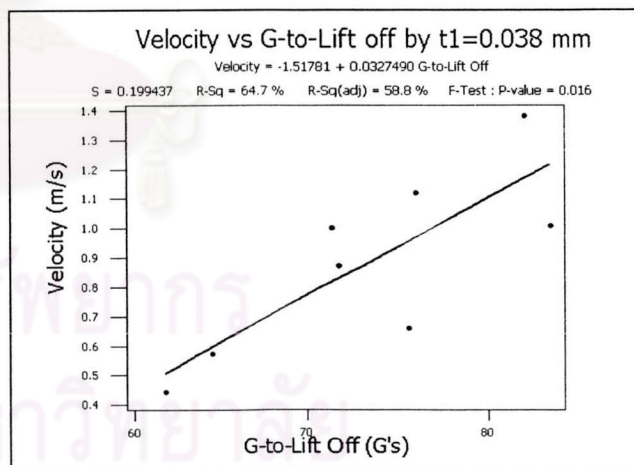
รูปที่ 6.28 Velocity vs G-to-Lift off  
by  $t_2 = 0.076$  mm



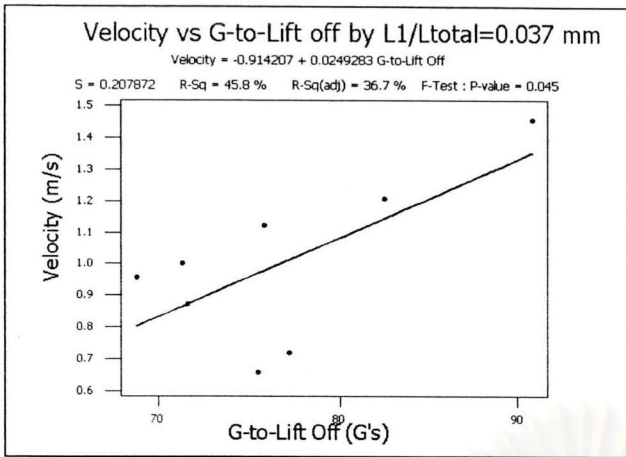
รูปที่ 6.29 Velocity vs G-to-Lift off  
by  $t_2 = 0.120$  mm



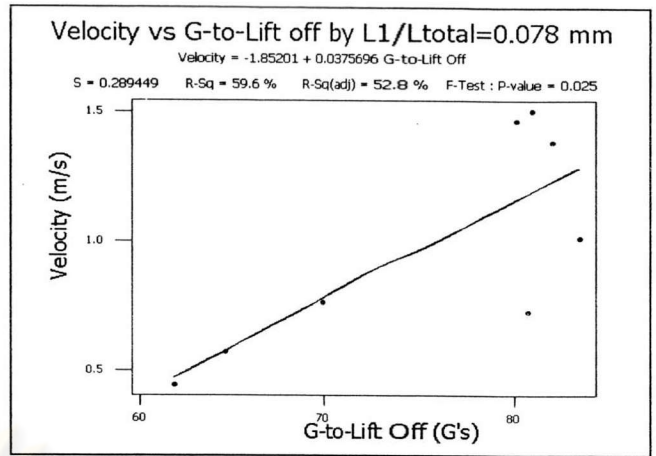
รูปที่ 6.30 Velocity vs G-to-Lift off  
by  $t_1 = 0.030$  mm



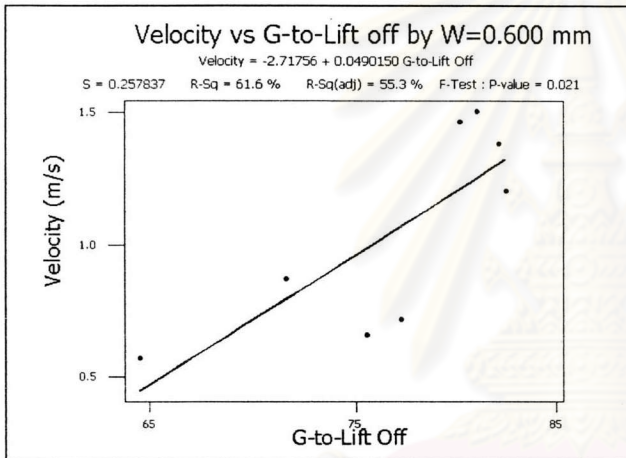
รูปที่ 6.31 Velocity vs G-to-Lift off  
by  $t_1 = 0.038$  mm



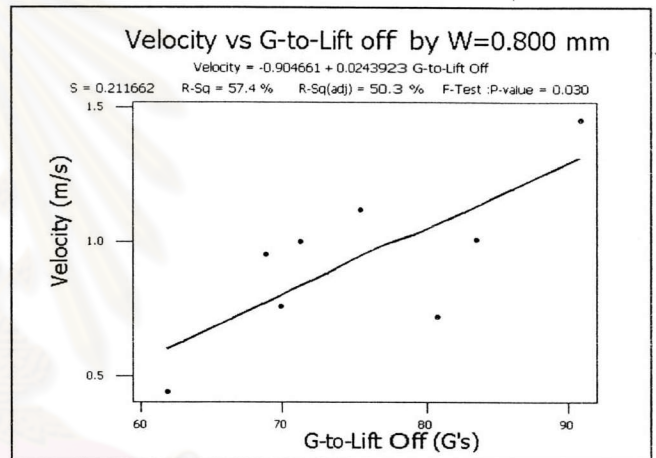
รูปที่ 6.32 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $L_1/L_{total} = 0.037$  mm



รูปที่ 6.33 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $L_1/L_{total} = 0.078$  mm



รูปที่ 6.34 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $W = 0.600$  mm



รูปที่ 6.35 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $W = 0.800$  mm

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



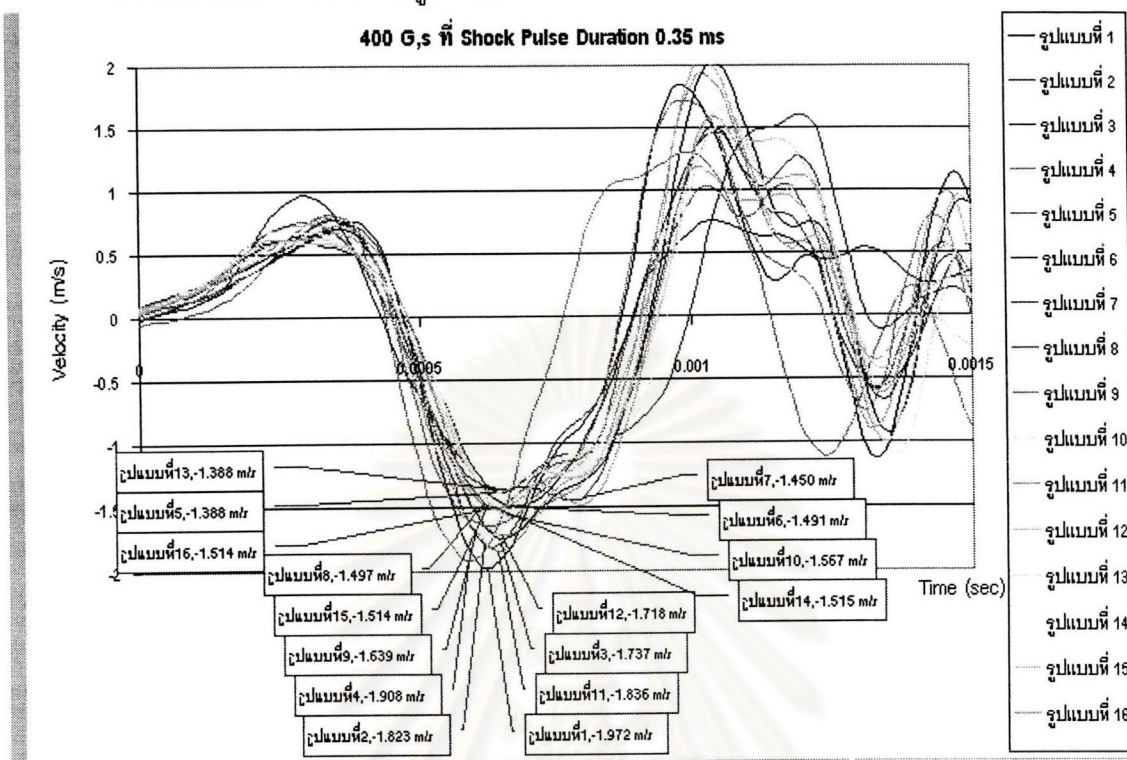
ตารางที่ 6.28 สรุปความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off เมื่อจัดกลุ่มตามระดับของแต่ละปัจจัย

จัดกลุ่มตาม	P-value for F-Test ( $\alpha=0.05$ )	ความสัมพันธ์ เชิงสถิติ	เหตุผล
ความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) 0.076 ม.ม.	0.150	ไม่มี	3 ปัจจัยที่เหลือมีผลน้อยมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน
ความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) 0.120 ม.ม.	0.163	ไม่มี	3 ปัจจัยที่เหลือมีผลน้อยมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน
ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) 0.030 ม.ม.	0.118	ไม่มี	3 ปัจจัยที่เหลือมีผลน้อยมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน
ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) 0.038 ม.ม.	0.016	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่ และผลของอันตรกิริยาที่ระดับนี้
อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$ 0.037 ม.ม.	0.045	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$ 0.078 ม.ม.	0.025	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้าย สปริง (W) 0.600 ม.ม.	0.021	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้าย สปริง (W) 0.800 ม.ม.	0.030	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 6.16 เป็นผลมาจากผลหลักของความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่เปลี่ยนระดับไป

6.7.2 ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms

พิจารณาผลการทดสอบในรูป 6.36



รูป 6.36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของผลเฉลี่ย  
ของความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะเคลื่อนที่

จากกราฟรูปที่ 6.36 สามารถตรวจจับความเร็วตกกระทบสูงสุดของหัวอ่าน/เขียนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบแต่ละรูปแบบได้ดังตารางที่ 6.29 (นำไปเฉพาะขนาด ไม่แสดงเครื่องหมายที่หมายถึงทิศทางการเคลื่อนที่)

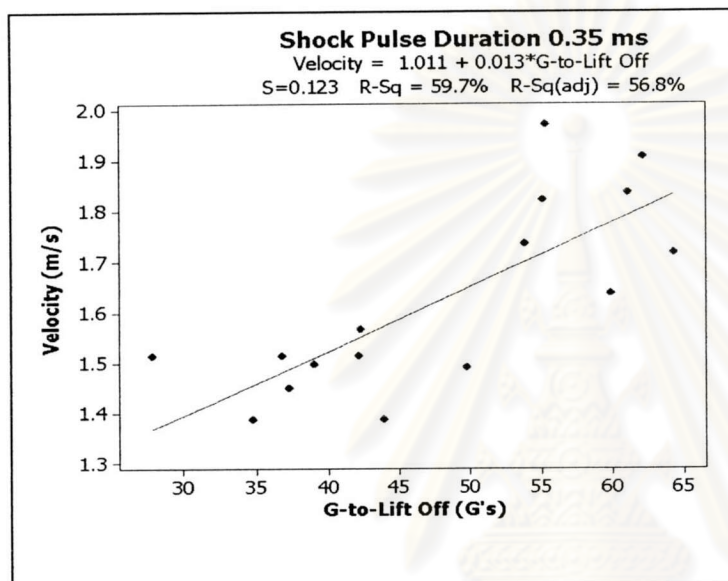
ตารางที่ 6.29 แสดงความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนและค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบแต่ละรูปแบบ

รูปแบบที่	ความเร็วตกกระทบ (m/s)	G-to-Lift Off ที่ Shock Pulse Duration 0.35ms	รูปแบบที่	ความเร็วตกกระทบ (m/s)	G-to-Lift Off ที่ Shock Pulse Duration 0.35ms
รูปแบบที่1	1.972	55.283	รูปแบบที่9	1.639	59.850
รูปแบบที่2	1.823	55.095	รูปแบบที่10	1.567	42.258
รูปแบบที่3	1.737	53.824	รูปแบบที่11	1.836	61.063
รูปแบบที่4	1.908	62.057	รูปแบบที่12	1.718	64.306
รูปแบบที่5	1.388	43.882	รูปแบบที่13	1.388	34.732
รูปแบบที่6	1.491	49.757	รูปแบบที่14	1.515	42.125
รูปแบบที่7	1.450	37.228	รูปแบบที่15	1.514	27.857
รูปแบบที่8	1.497	38.956	รูปแบบที่16	1.514	36.690

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบของข้อมูลจากตารางที่ 6.29 โดยประยุกต์ใช้ Minitab ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 6.30 และรูปที่ 6.37 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.30 แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวน

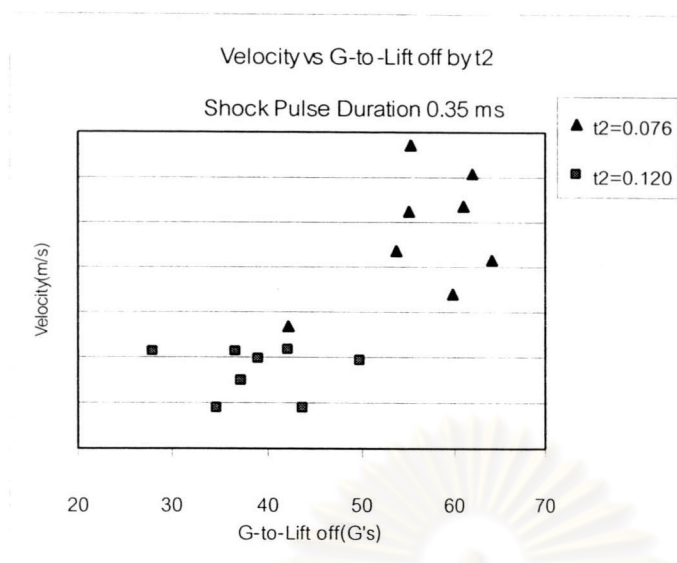
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.312083	0.312083	20.7244	0.000
Error	14	0.210822	0.015059		
Total	15	0.522905			



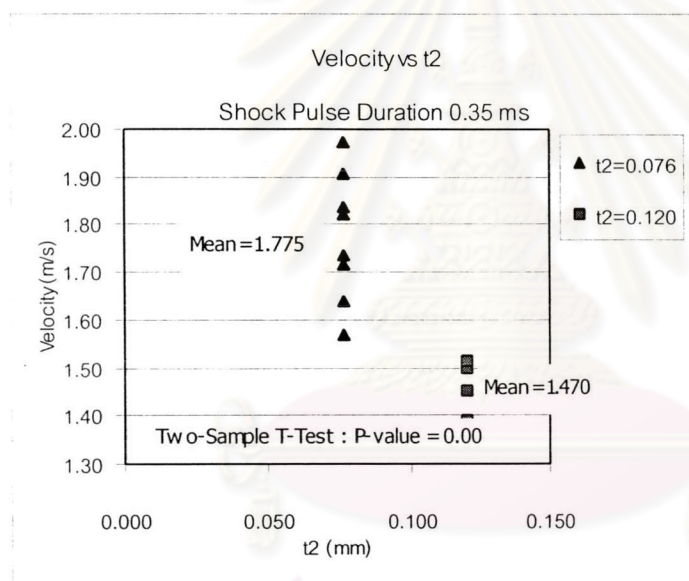
รูปที่ 6.37 แสดงความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

จากตารางที่ 6.30 และรูปที่ 6.37 สามารถกล่าวได้ว่า ในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms เมื่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า G-to-Lift off สูงขึ้นแล้วความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะเกิด Head Slap จะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-Value < 0.05 เมื่อ  $\alpha=0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 6.37 อย่างละเอียดข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆตามระดับของปัจจัยที่เปลี่ยนไปทำให้เกิดรูปแบบที่ดูเหมือนมีแนวโน้มว่าเมื่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีค่า G-to-Lift off สูงขึ้นแล้วความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะเกิด Head Slap จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ผู้วิจัยจึงเขียนกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับ G-to-Lift off ใหม่อีกครั้ง และจัดกลุ่มตามปัจจัยที่ศึกษา ดังรูปที่ 6.38 รูปที่ 6.40 รูปที่ 6.42 และรูปที่ 6.44 และเขียนกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับปัจจัยนั้นๆ ดังรูปที่ 6.39 รูปที่ 6.41 รูปที่ 6.43 และรูปที่ 6.45 พิจารณาควบคู่ไปด้วยเพื่อวิเคราะห์ว่าความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขึ้นอยู่กับปัจจัยใดหรือไม่



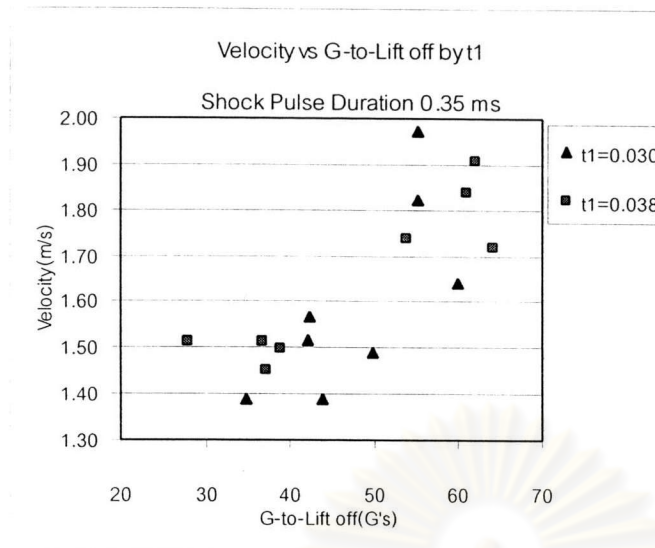


รูปที่ 6.38 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามความหนาของ Load beam ( $t_2$ )

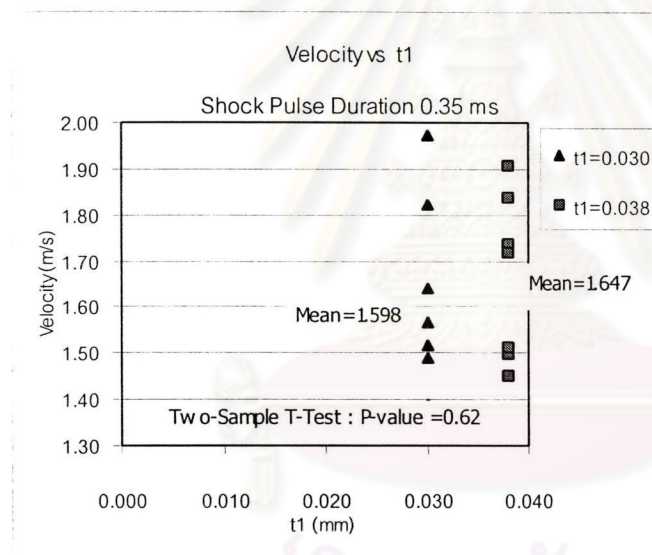


รูปที่ 6.39 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ที่เปลี่ยนระดับไป

จากรูปที่ 6.38 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลแยกกลุ่มกันอย่างชัดเจน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ดังรูปที่ 6.39 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value=0.00) นั่นแสดงว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) มีผลมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน

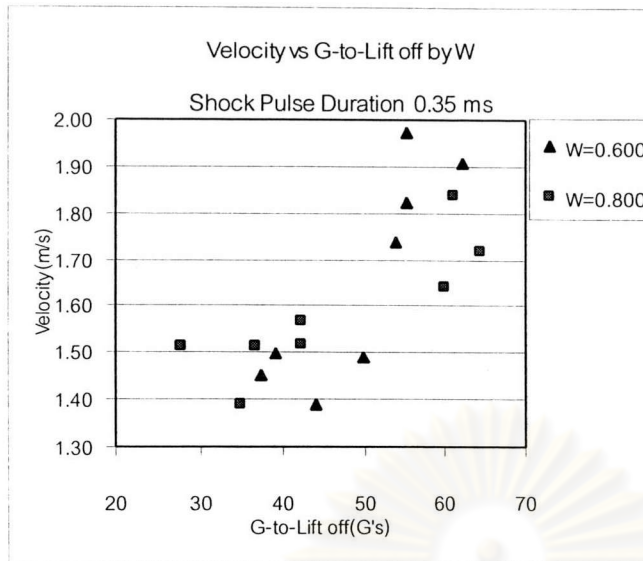


รูปที่ 6.40 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามความหนาของ Hinge ( $t_1$ )

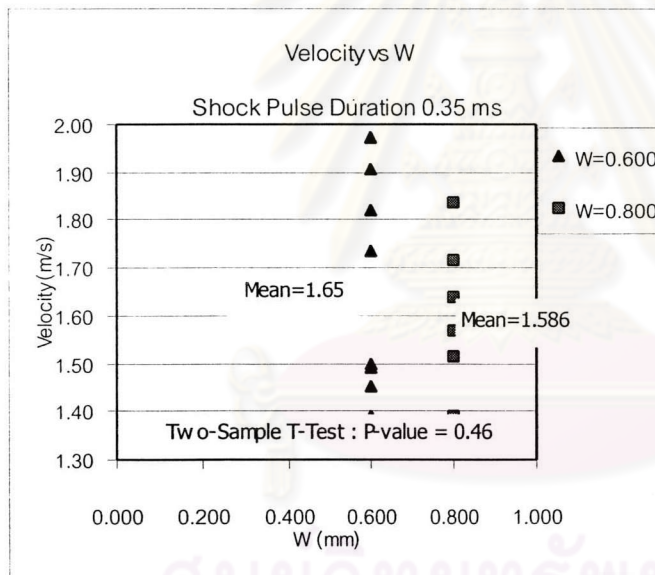


รูปที่ 6.41 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ที่เปลี่ยนระดับไป

จากรูปที่ 6.40 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลกระจัดกระจายปนกัน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ดังรูปที่ 6.41 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value=0.62) นั่นแสดงว่าความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ไม่มีผลหรืออาจมีผลน้อยต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน



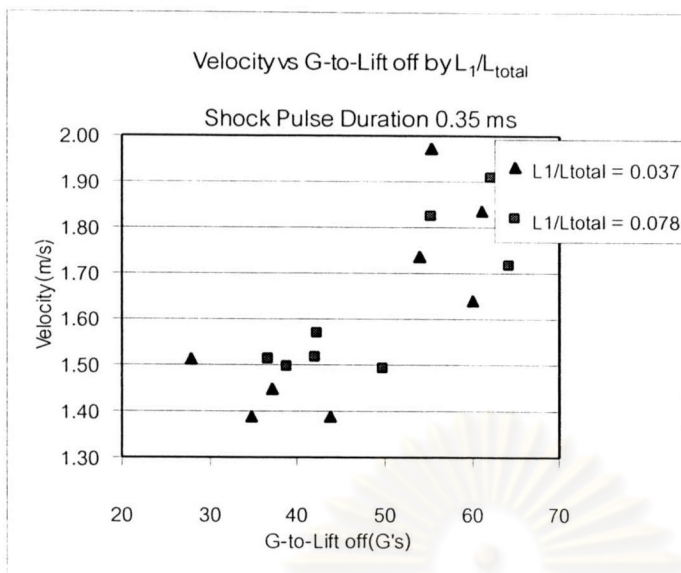
รูปที่ 6.42 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)



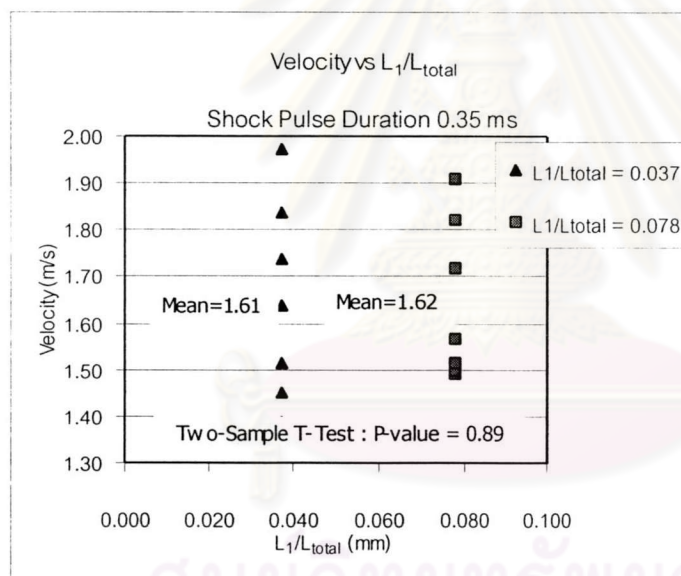
รูปที่ 6.43 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W)

จากรูปที่ 6.42 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลกระจายระเจจายปนกัน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ดังรูปที่ 6.43 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value=0.46) นั่นแสดงว่าความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ไม่มีผลหรืออาจมีผลน้อยต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน





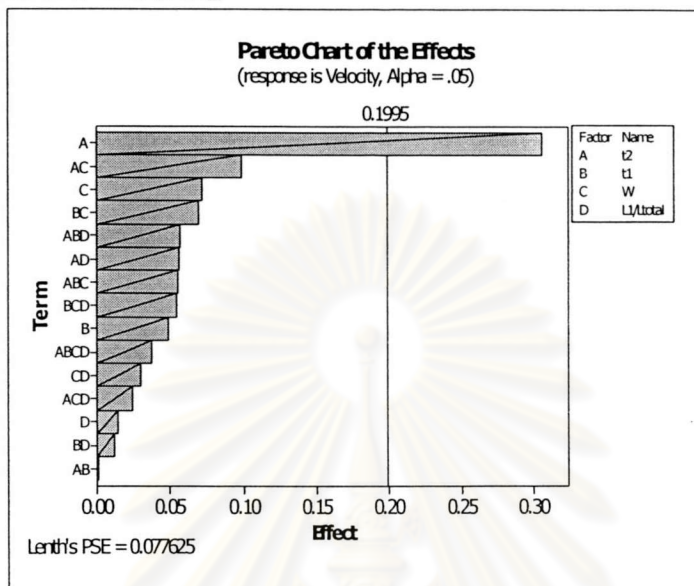
รูปที่ 6.44 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับค่า G-to-Lift off โดยจัดกลุ่มตามอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$



รูปที่ 6.45 แสดงกราฟจุดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน กับอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$

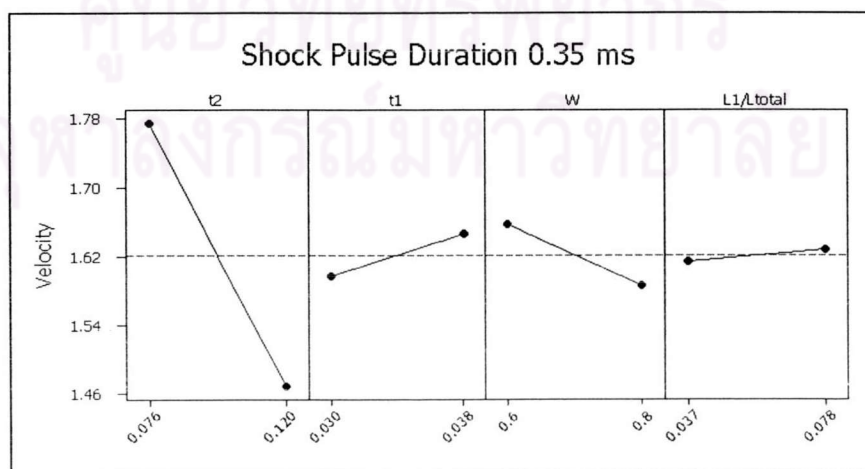
จากรูปที่ 6.44 จะเห็นว่าเมื่อแยกข้อมูลตามระดับของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ที่เปลี่ยนไป ข้อมูลจะจัดกระจายปนกัน และเมื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Two-Sample T-Test โดยแบ่งกลุ่มตามระดับของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ดังรูปที่ 6.45 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-value=0.89) นั่นแสดงว่าระดับของอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ไม่มีผลหรืออาจมีผลน้อยต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน

เพื่อความชัดเจนของอิทธิพลของปัจจัยต่างๆต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสถานะ Shock Pulse Duration 0.35 ms ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลดังแสดงตามรูปที่ 6.46 และรูปที่ 6.47 ตามลำดับ



รูปที่ 6.46 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่านเขียนเมื่อลดรูปโมเดล

จากรูปที่ 6.39 พบว่ามีเพียงผลหลักของความหนา Load beam ( $t_2$ ) เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสถานะ Shock Pulse Duration 0.35 ms อย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสถานะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสถานะนี้มีค่าต่ำสุดสามารถพิจารณาได้จากกราฟผลหลักดังรูปที่ 6.40



รูปที่ 6.47 ผลหลักของแต่ละปัจจัย

สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms มีค่าต่ำสุดก็คือ

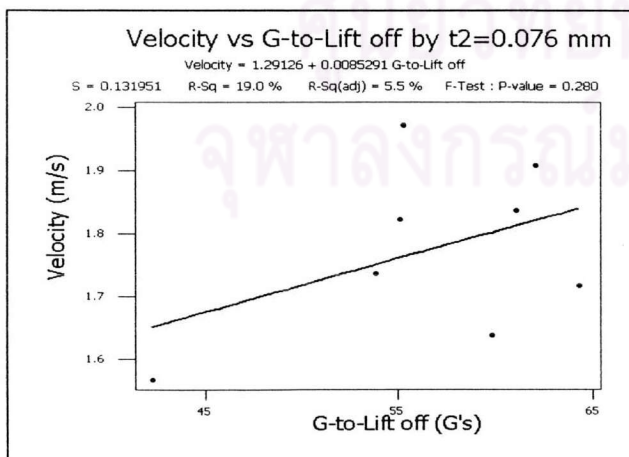
1) ความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ควรเลือกความหนา 0.120 ม.ม.(+) เนื่องจากผลหลักแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญและสามารถกล่าวได้ว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) หนาขึ้น จะส่งผลให้ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ในสภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ต่ำลง

2) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญดังนั้นสามารถเลือกกระดัดใดก็ได้

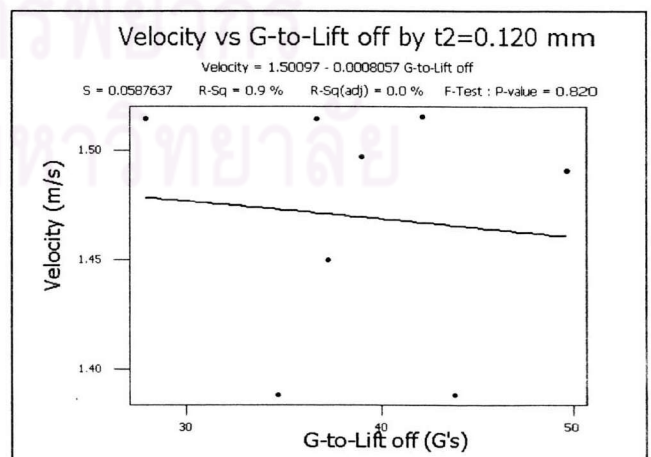
3) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญดังนั้นสามารถเลือกกระดัดใดก็ได้

4) อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ผลหลักไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญดังนั้นสามารถเลือกกระดัดใดก็ได้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปได้ว่าความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) มีอิทธิพลต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์กเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms ดังนั้นความสัมพันธ์เชิงสถิติที่เกิดขึ้นระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ดังรูปที่ 6.37 น่าจะแฝงอยู่ในรูปของความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) โดยพิจารณาจัดกลุ่มตามระดับของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 6.48, 6.49, 6.50, 6.51, 6.52, 6.53, 6.54 และ 6.55 ตามลำดับ และสรุปผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 6.31

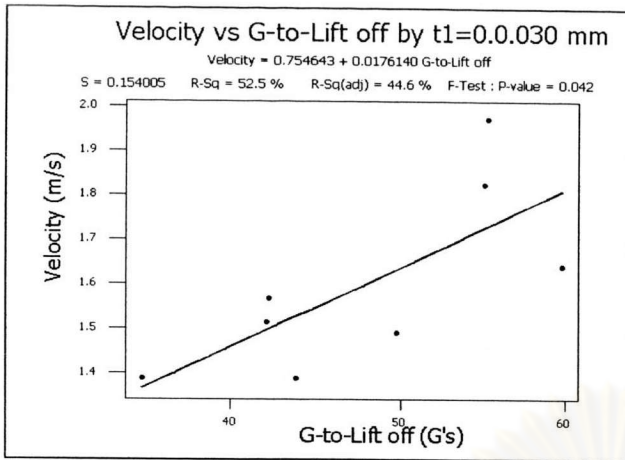


รูปที่ 6.48 Velocity vs G-to-Lift off  
by  $t_2 = 0.076$  mm

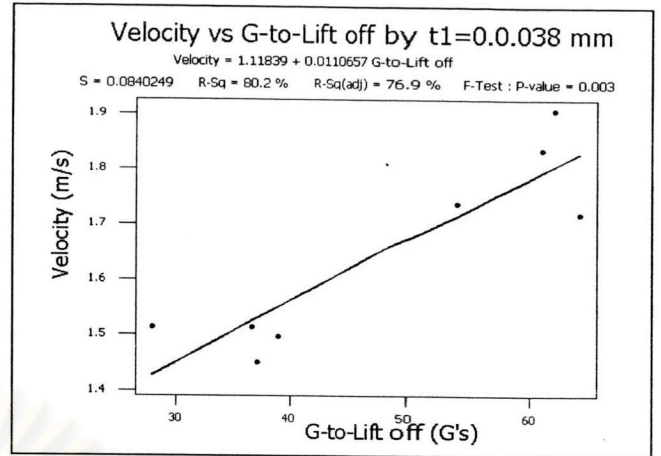


รูปที่ 6.49 Velocity vs G-to-Lift off  
by  $t_2 = 0.120$  mm

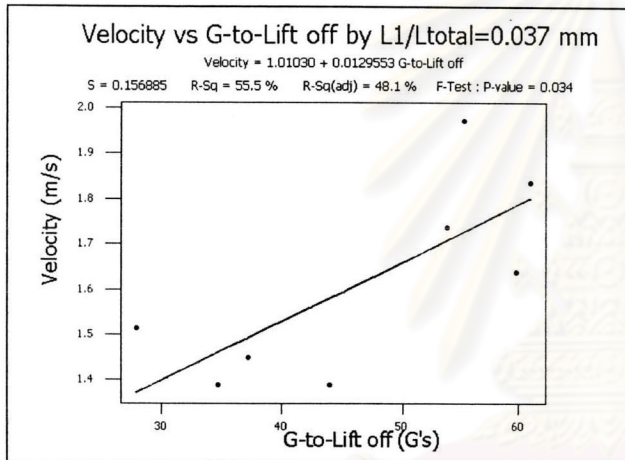




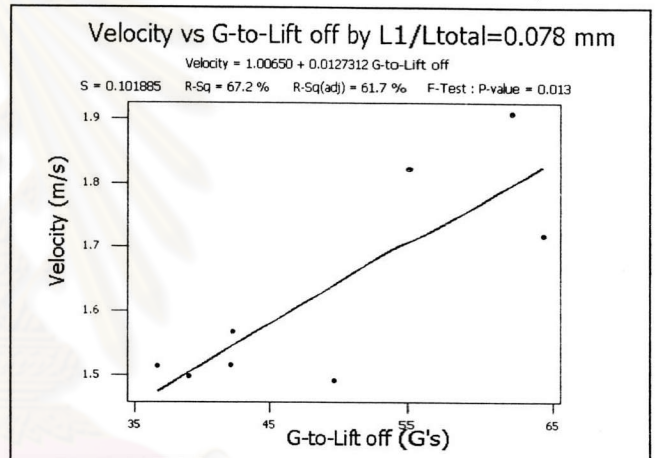
รูปที่ 6.50 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $t_1 = 0.030$  mm



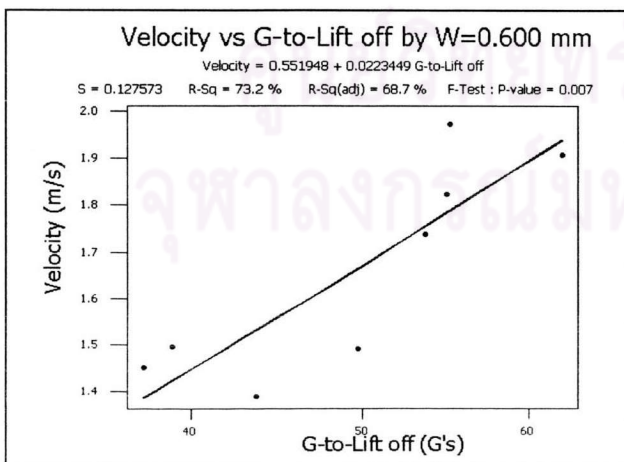
รูปที่ 6.51 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $t_1 = 0.038$  mm



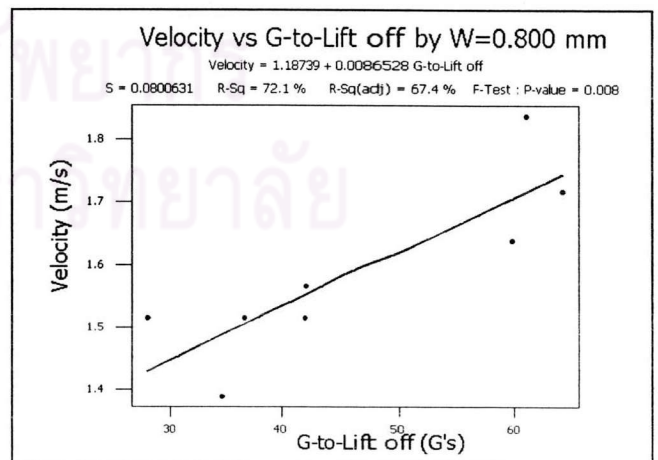
รูปที่ 6.52 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $L_1/L_{total} = 0.037$  mm



รูปที่ 6.53 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $L_1/L_{total} = 0.078$  mm



รูปที่ 6.54 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $W = 0.600$  mm



รูปที่ 6.55 Velocity vs G-to-Lift off  
 by  $W = 0.800$  mm

ตารางที่ 6.31 สรุปความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off เมื่อจัดกลุ่มตามระดับของแต่ละปัจจัย

จัดกลุ่มตาม	P-value for F-Test ( $\alpha=0.05$ )	ความสัมพันธ์ เชิงสถิติ	เหตุผล
ความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) 0.076 ม.ม.	0.280	ไม่มี	3 ปัจจัยที่เหลือมีผลน้อยมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน
ความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) 0.120 ม.ม.	0.820	ไม่มี	3 ปัจจัยที่เหลือมีผลน้อยมากต่อความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียน
ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) 0.030 ม.ม.	0.042	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) 0.038 ม.ม.	0.003	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$ 0.037 ม.ม.	0.034	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
อัตราส่วนของ $L_1/L_{total}$ 0.078 ม.ม.	0.013	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้าย สปริง (W) 0.600 ม.ม.	0.007	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่
ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้าย สปริง (W) 0.800 ม.ม.	0.008	มี	อิทธิพลจากความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่ปะปนอยู่

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างระหว่างความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนกับค่า G-to-Lift off ขณะอยู่ในสภาวะช็อกเกินระดับค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms ที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 6.37 เป็นผลมาจากผลหลักของความหนาของLoad beam ( $t_2$ ) ที่เปลี่ยนระดับไป

## 6.8 สรุป

1) ความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) มีอิทธิพลต่อค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration ทั้ง 2 สภาวะมากที่สุด ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนทั้งหมด ซึ่งความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) บางลงจะทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงขึ้น

2) แนวโน้มของบางปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่ทำให้ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms และ 0.35 ms สูงสุดมีทิศทางตรงข้ามกัน นั้นแสดงว่าสภาวะ Shock Pulse Duration ที่เกิดชอร์ก็มีผลต่อความสามารถของค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียน ซึ่งหมายความว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นหนึ่งๆ จะมีคุณสมบัติของค่า G-to-Lift off ดีเลิศที่สภาวะ Shock Pulse Duration หนึ่งเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นอื่น แต่เมื่อเกิดชอร์ที่สภาวะ Shock Pulse Duration ช่วงอื่นแล้วแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นนี้อาจมีคุณสมบัติของค่า G-to-Lift off ดีกว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นอื่นที่เปรียบเทียบกับกันก็เป็นได้

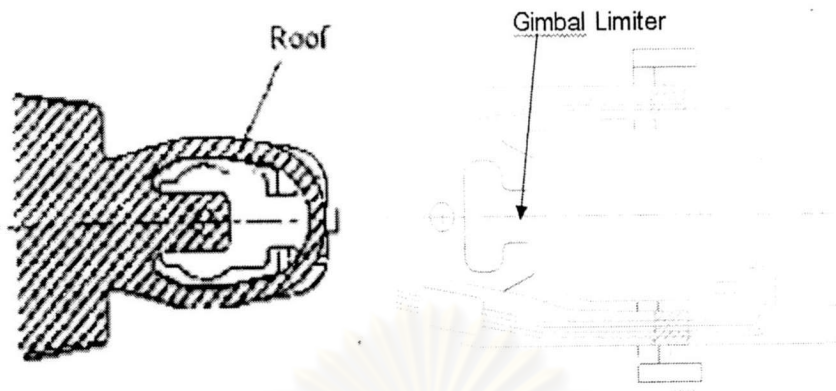
3) ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) และ อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  มีอิทธิพลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) เป็นอันดับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยมีอิทธิพลมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนทั้งหมด ซึ่งเมื่อความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) หนาขึ้นและอัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  สั้นลงจะทำให้ความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) มีค่าสูงขึ้น

4) การออกแบบให้แขนจับหัวอ่าน/เขียนมีค่า G-to-Lift off สูงสุดจะส่งผลกระทบต่อความสามารถของความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) มีค่าลดลง

5) แนวโน้มการออกแบบของปัจจัยทั้ง 4 ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนเพื่อให้ค่า G-to-Lift off ที่ Shock Pulse Duration 0.1 และ 0.35 ms และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) มีค่าสูงที่สุดเป็นดังนี้ คือ อัตราส่วนของ  $L_1/L_{total}$  ควรยาวขึ้น ความหนาของ Hinge ( $t_1$ ) ควรหนาขึ้น ความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) ควรบางลง และความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) ควรกว้างขึ้น

6) ความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนขณะอยู่ในสภาวะชอร์ระดับเกินค่า G-to-Lift off และเกิด Head Slap จะแปรผกผันกับความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) เป็นหลัก (ในฟังก์ชันของมวล) ซึ่งเมื่อความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) หนาขึ้น (มวลเพิ่มขึ้น) แล้วความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนจะมีแนวโน้มลดลง แต่จะส่งผลทำให้ความสามารถของค่า G-to-Lift off ลดต่ำลงด้วย ดังนั้นการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนหลังจากที่ออกแบบให้มีความสามารถของค่า G-to-Lift off สูงๆ โดยการลดความหนาของ Load beam ( $t_2$ ) (ลดมวลลง)แล้วจำเป็นต้องออกแบบส่วนอื่นเพิ่มเติม เช่น มี Roof ที่ Load beam หรือ Limiter ที่ Gimbal เป็นต้น ดังรูปที่ 6.56 เพื่อช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวของ Gimbal ในขณะเกิด Head Slap ให้หัวอ่าน/เขียนมีความเร็วตกกระทบลดลง ป้องกันไม่ให้แผ่นดิสก์และหัวอ่าน/เขียนเกิดความเสียหาย





รูปที่ 6.56 แสดงรูปลักษณะของ Roof และ Limiter

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย