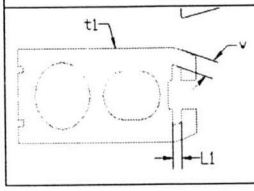
บทที่ 5
ขั้นตอนการดำเนินงาน

5.1 เตรียมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

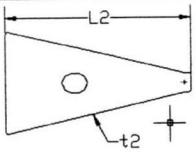
หลังจากกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบแต่ละรูปแบบเพื่อนำไปทดสอบหาคุณสมบัติการต้านทานชอร์ก (G-to-lift off) และความถี่ธรรมชาติโหมดสเวย์ ซึ่งมีขั้นตอนตามลำดับดังต่อไปนี้

5.1.1 สร้างรูปแบบภาพเขียน (Drawing) ของ Hinge และ Load beam แต่ละรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยตามระดับที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 แสดงรูปแบบภาพและขนาดของปัจจัยที่เปลี่ยนไปของ Hinge

รูปแบบภาพเขียน	ปัจจัย	รูปแบบ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	L_1(ม.ม.)	0.320	0.320	0.320	0.320	0.680	0.680	0.680	0.680
	t_1(ม.ม.)	0.030	0.030	0.038	0.038	0.030	0.030	0.038	0.038
	W(ม.ม.)	0.600	0.800	0.600	0.800	0.600	0.800	0.600	0.800

ตารางที่ 5.2 แสดงรูปแบบภาพและขนาดของปัจจัยที่เปลี่ยนไปของ Load beam

รูปแบบภาพเขียน	ปัจจัย	รูปแบบ			
		1	2	3	4
	t_2(ม.ม.)	0.076	0.120	0.076	0.120
	L_2(ม.ม.)	8.410	8.410	8.050	8.050

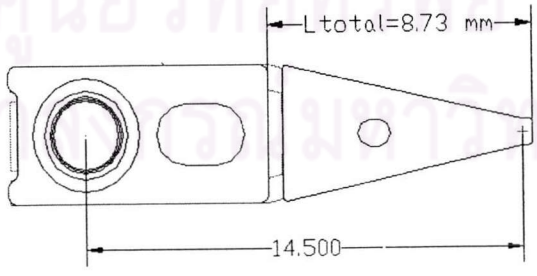
5.1.2 ยื่นคำร้องต่อแผนกกัดโลหะด้วยน้ำยาเคมี (Etching Department) ให้ผลิต Hinge และ Load beam ตามรูปแบบภาพเขียน (รายละเอียดของขบวนการกัดโลหะด้วยน้ำยาเคมีสามารถดูในภาคผนวก ก.)

5.1.3 เชื่อมประกอบชิ้นส่วนด้วยแสงเลเซอร์ (Laser welding process)

เมื่อได้รับงานสำเร็จของ Hinge 8 รูปแบบ และ Load beam 4 รูปแบบแล้วก็ทำการเชื่อมประกอบ Hinge, Load beam และ Plate เข้าด้วยกันด้วยแสงเลเซอร์ สุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 16 รูปแบบดังตารางที่ 5.3 รูปที่ 5.1แสดงรูปแบบภาพเขียนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และรูปที่ 5.2 แสดงกระบวนการเชื่อมประกอบด้วยแสงเลเซอร์

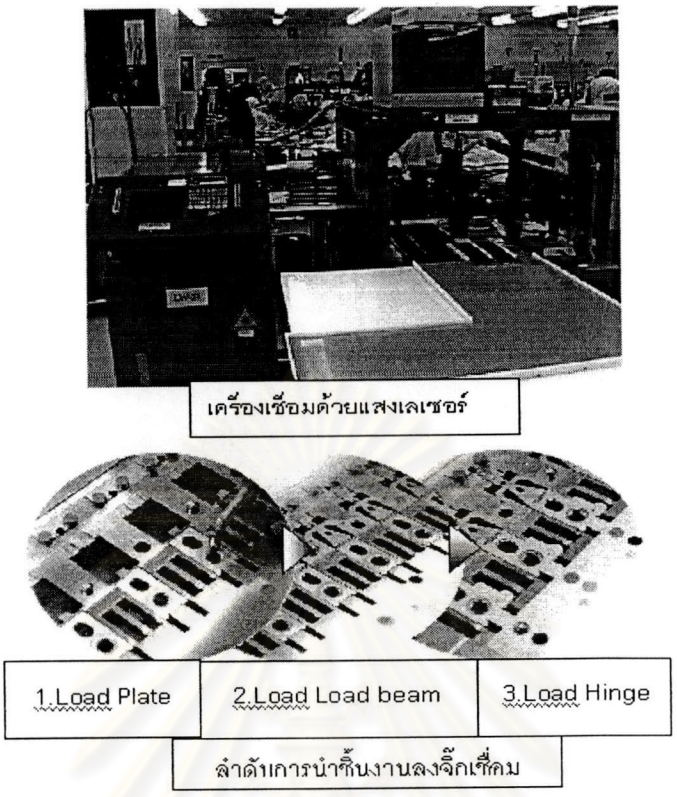
ตารางที่ 5.3 แสดงขนาดของปัจจัยของผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้ง 16 รูปแบบ

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	รูปแบบของ Hinge และ Load beam ที่เชื่อมคู่กัน		ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลง			
	Hinge	Load beam	L_1/L_{total}	t_1	W	t_2
1	1	1	0.037	0.030	0.600	0.076
2	5	3	0.078	0.030	0.600	0.076
3	3	1	0.037	0.038	0.600	0.076
4	7	3	0.078	0.038	0.600	0.076
5	1	2	0.037	0.030	0.600	0.120
6	5	4	0.078	0.030	0.600	0.120
7	3	2	0.037	0.038	0.600	0.120
8	7	4	0.078	0.038	0.600	0.120
9	2	1	0.037	0.030	0.800	0.076
10	6	3	0.078	0.030	0.800	0.076
11	4	1	0.037	0.038	0.800	0.076
12	8	3	0.078	0.038	0.800	0.076
13	2	2	0.037	0.030	0.800	0.120
14	6	4	0.078	0.030	0.800	0.120
15	4	2	0.037	0.038	0.800	0.120
16	8	4	0.078	0.038	0.800	0.120



รูปที่ 5.1แสดงรูปแบบภาพเขียนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

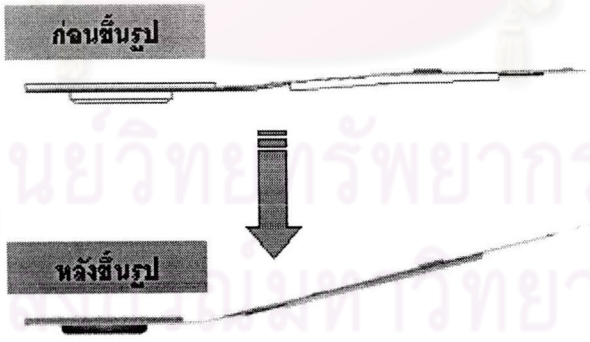
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 แสดงกระบวนการเชื่อมประกอบด้วยแสงเลเซอร์

5.1.4 ขึ้นรูปค่าสปริง (3 in 1 process)

เป็นกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อให้ได้รูปร่าง ค่าสปริง ตามที่กำหนด 4.0 กรัม รูปที่ 5.3 แสดงผลิตภัณฑ์ต้นแบบก่อนและหลังขึ้นรูปค่าสปริง

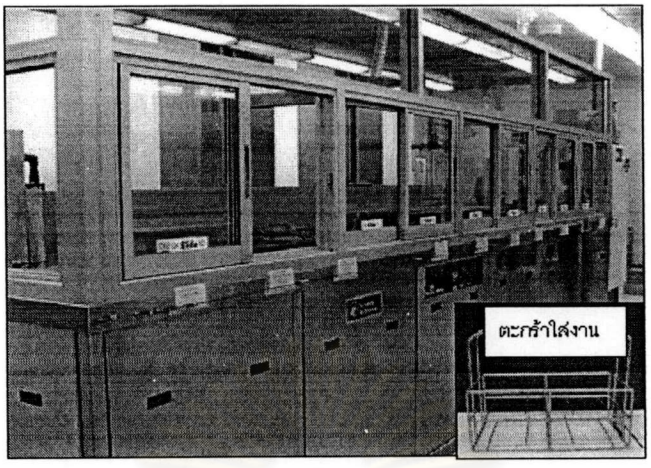


รูปที่ 5.3 แสดงผลิตภัณฑ์ต้นแบบก่อนและหลังขึ้นรูปค่าสปริง

5.1.5 การล้างชิ้นงาน (Aqueous precision cleaning process)

เป็นกระบวนการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน เพื่อล้างคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากตัวงานหลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูป รูปที่ 5.4 แสดงเครื่องล้าง APC

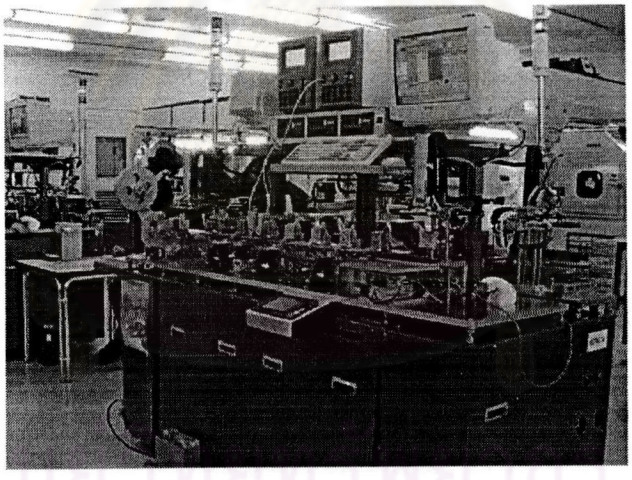
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 แสดงเครื่องล้าง APC

5.1.6 ดัดค่าสปริงละเอียด (Gram adjusted process)

เป็นกระบวนการที่ทำการปรับค่าสปริงแบบละเอียดของตัวงานเพื่อให้มีค่าสปริงตามข้อกำหนดสุดท้าย 3.0 กรัม รูปที่ 5.5 แสดงเครื่องปรับค่าสปริงแบบละเอียด

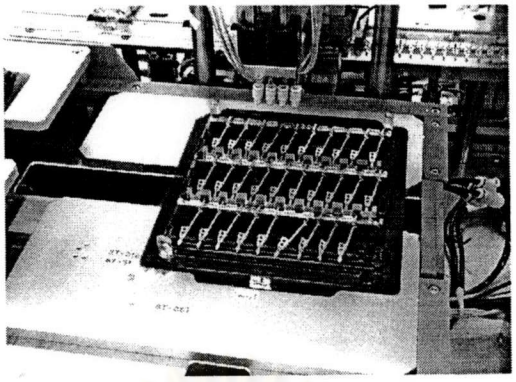


รูปที่ 5.5 แสดงเครื่องปรับค่าสปริงแบบละเอียด

5.1.7 ตัดขาและแยกแยะกลุ่มงานดีงานเสีย (Intelligent detab process)

เป็นกระบวนการตัดขาของชิ้นงานที่เป็นแผ่นเชื่อมยึดระหว่างชิ้นงานแต่ละตัว ให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน และเครื่องจักรจะคัดแยกชิ้นงานดีที่อยู่ในข้อกำหนดและชิ้นงานเสียที่ออกจากข้อกำหนดออกจากกันและจัดเก็บชิ้นงานที่ได้ตัดแยกแล้วใส่ลงในบรรจุภัณฑ์โดยอัตโนมัติ รูปที่ 5.6 แสดงเครื่องตัดขาและแยกแยะกลุ่มงานดีงานเสีย

ผลิตภัณฑ์กลุ่มงานดีที่อยู่ในข้อกำหนดจะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติการต้านทานชอร์ก (G-to-Lift off) และความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์ต่อไป



รูปที่ 5.6 แสดงเครื่องตัดขาและแยกแยะกลุ่มงานดีงานเสีย

5.2 เตรียมเครื่องทดสอบคุณสมบัติการต้านทานซอร์กและกำทอนของผลิตภัณฑ์

ก่อนทำการทดสอบจะต้องแน่ใจก่อนว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบนั้นๆน่าเชื่อถือได้ จากหัวข้อ 2.2 Gage R&R เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากเครื่องทดสอบซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่อ่านได้นั้นมาจากที่ใดบ้าง จากตัวเครื่องทดสอบเท่าใด จากคนวัดเท่าใด จากคนวัดและชิ้นงานผลิตภัณฑ์เท่าใด สุดท้ายสามารถสรุปได้ว่าเครื่องทดสอบนั้นๆให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือหรือไม่ ดังนั้นเครื่องทดสอบคุณสมบัติการต้านทานซอร์กและกำทอนของผลิตภัณฑ์นี้จะต้องผ่านการทำ Gage R&R ก่อน

การทำ Gage R&R ในงานวิจัยนี้จะใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 10 ตัวจากผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 10 รูปแบบ คนวัด 2 คน ซึ่งแต่ละคนจะวัดชิ้นงานหนึ่งๆ ซ้ำ 3 ครั้ง

สิ่งที่ต้องพิจารณาหลักๆในข้อมูล Gage R&R มีดังต่อไปนี้

1) Number of Distinct Categories เป็นตัวเลขที่บ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่นำมาทำ Gage R&R นั้นมีข้อมูลกระจัดกระจายพอหรือไม่ หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าความสามารถในการแบ่งแยกข้อมูล ซึ่งข้อมูลจากสถาบัน BMG ผู้ฝึกอบรม Six Sigma ระบุว่าตัวเลขนี้ไม่ควรต่ำกว่า 3 ถ้าต่ำกว่า 3 ควรจะทำใหม่

2) %Contribution of Total Gage R&R เป็นตัวเลขที่บ่งชี้ว่าเครื่องทดสอบให้ข้อมูลน่าเชื่อถือหรือไม่ ซึ่งข้อมูลจากสถาบัน BMG ผู้ฝึกอบรม Six Sigma ระบุว่าตัวเลขนี้ไม่ควรเกิน 9 เปอร์เซ็นต์

5.2.1 Gage R&R ของเครื่องทดสอบคุณสมบัติการต้านทานซอร์กของผลิตภัณฑ์

5.2.1.1 G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms

ดูผลที่ตาราง 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผล Gage R&R ของ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part No.	9	9592.4	1065.82	71.3396	0.00000
Operator	1	64.6	64.65	4.3271	0.06725
Operator*Part No.	9	134.5	14.94	1.6924	0.12298
Repeatability	40	353.1	8.83		
Total	59	10144.6			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	12.52	6.67
Repeatability	8.83	4.70
Reproducibility	3.69	1.97
Operator	1.66	0.88
Operator*Part No.	2.04	1.09
Part-To-Part	175.15	93.33
Total Variation	187.67	100.00

Number of Distinct Categories = 5

ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของเครื่องทดสอบ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms ได้ Number of Distinct Categories เท่ากับ 5 และ %Contribution of Total Gage R&R เท่ากับ 6.67 ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ข้างต้นทั้งคู่ นั่นแสดงว่าข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบนี้น่าเชื่อถือ

5.2.1.2 G-to-Lift of ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms

ดูผลที่ตาราง 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผล Gage R&R ของ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part No.	9	980.62	108.957	54.6123	0.00000
Operator	1	3.40	3.403	1.7059	0.22391
Operator*Part No.	9	17.96	1.995	1.7727	0.10427
Repeatability	40	45.02	1.125		
Total	59	1047.00			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1.462	7.58
Repeatability	1.125	5.83
Reproducibility	0.337	1.75
Operator	0.047	0.24
Operator*Part No.	0.290	1.50
Part-To-Part	17.827	92.42
Total Variation	19.289	100.00

Number of Distinct Categories = 5

ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของเครื่องทดสอบ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms ได้ Number of Distinct Categories เท่ากับ 5 และ %Contribution of Total Gage R&R เท่ากับ 7.58 ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ข้างต้นทั้งคู่ นั่นแสดงว่าข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบนี้น่าเชื่อถือ

5.2.2 Gage R&R ของเครื่องทดสอบกำทอนในโหมดสเวย์ (Resonance Tester)

ดูผลที่ตาราง 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงผล Gage R&R ของเครื่องทดสอบความถี่ธรรมชาติในโหมดสเวย์

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part No.	9	6098099	677567	83.0642	0.00000
Operator	1	874	874	0.1071	0.74481
Repeatability	49	399700	8157		
Total	59	6498673			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	8157	6.81
Repeatability	8157	6.81
Reproducibility	0	0.00
Operator	0	0.00
Part-To-Part	111568	93.19
Total Variation	119725	100.00

Number of Distinct Categories = 5

ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของเครื่องเครื่องทดสอบกำทอนในโหมดสเวย์ (Resonance Tester) ได้ Number of Distinct Categories เท่ากับ 5 และ %Contribution of Total Gage R&R เท่ากับ 6.81 ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ข้างต้นทั้งคู่ นั่นแสดงว่าข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบนี้น่าเชื่อถือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

หลังจากเตรียมผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้ง 16 รูปแบบ และเครื่องทดสอบคุณสมบัติการต้านทานซอร์กและกำทอนของผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นการดำเนินการทดลองซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.3.1 คัดเลือกชิ้นงานตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้ง 16 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ตัวที่ปราศจากรอยตำหนิตามข้อกำหนดของแขนจับหัวอ่าน/เขียนของบริษัทตัวอย่าง และค่ากรัมของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในข้อกำหนด 3.0 $\pm$ 0.05 กรัม

5.3.2 นำชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมดไปทำการทดสอบกำทอนในโหมดสเวย์โดยเครื่องทดสอบเครื่องเดียว คนทดสอบคนเดียวและทดสอบอย่างต่อเนื่องจนเสร็จ และลำดับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการสุ่มสมบูรณ์ดังตารางที่ 5.7 สุดท้ายบันทึกผล

ตารางที่ 5.7 แสดงลำดับการทดสอบของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ลำดับทดสอบ	ผลิตภัณฑ์รูปแบบที่	ทดสอบซ้ำตัวที่	ลำดับทดสอบ	ผลิตภัณฑ์รูปแบบที่	ทดสอบซ้ำตัวที่	ลำดับทดสอบ	ผลิตภัณฑ์รูปแบบที่	ทดสอบซ้ำตัวที่
1	5	3	21	8	2	41	4	3
2	14	1	22	15	3	42	12	1
3	14	3	23	4	1	43	9	1
4	10	3	24	16	2	44	16	3
5	13	2	25	6	2	45	10	2
6	5	2	26	3	2	46	2	2
7	2	3	27	11	2	47	11	3
8	8	1	28	7	3	48	7	2
9	6	1	29	6	3			
10	12	2	30	1	1			
11	1	3	31	3	1			
12	15	2	32	7	1			
13	11	1	33	15	1			
14	13	3	34	9	2			
15	12	3	35	10	1			
16	8	3	36	14	2			
17	13	1	37	9	3			
18	16	1	38	1	2			
19	2	1	39	3	3			
20	5	1	40	4	2			

5.3.3 นำชิ้นงานตัวอย่างชุดเดียวกันในข้อ 5.3.2 ไปทำการทดสอบ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms โดยเครื่องทดสอบเครื่องเดียว คนทดสอบคนเดียว และทดสอบอย่างต่อเนื่องจนเสร็จ และลำดับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการสุ่มสมบูรณ์ดังตารางที่ 5.7 สุดท้ายบันทึกผล

5.3.4 นำชิ้นงานตัวอย่างชุดเดียวกันในข้อ 5.3.2 ไปทำการทดสอบ G-to-Lift off ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms โดยเครื่องทดสอบเครื่องเดียว คนทดสอบคนเดียว และทดสอบอย่างต่อเนื่องจนเสร็จ และลำดับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการสุ่มสมบูรณ์ดังตารางที่ 5.7 สุดท้ายบันทึกผล

5.3.5 คัดเลือกชิ้นงานตัวอย่างเหมือนดังข้อ 5.3.1 อีก 2 ชุดเพื่อเตรียมใช้ทดสอบในสภาวะซอร์กเกินค่า G-to-Lift off

5.3.6 นำชิ้นงานตัวอย่าง 1 ชุดจากข้อ 5.3.5 ทดสอบในสภาวะความรุนแรงซอร์ก 400 G's ที่ Shock Pulse Duration 0.1 ms (รุนแรงพอที่หัวอ่าน/เขียนจะยกตัวขึ้นและเกิด Head Slap และเป็นสภาวะที่สามารถควบคุมการทดลองได้ง่าย) โดยเครื่องทดสอบเครื่องเดียว คนทดสอบคนเดียว และทดสอบอย่างต่อเนื่องจนเสร็จ และลำดับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการสุ่มสมบูรณ์ดังตารางที่ 5.7 สุดท้ายบันทึกความเร็วของการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน / เขียน เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป (สาเหตุที่ไม่ใช้ชิ้นงานตัวอย่างชุดเดียวกับข้อ 5.3.2 เพราะต้องการขจัดความแปรปรวนอันเกิดจากความล้าของตัวงาน)

5.3.7 นำชิ้นงานที่เหลืออีก 1 ชุดจากข้อ 5.3.5 ทดสอบในสภาวะความรุนแรงซอร์ก 400 G's ที่ Shock Pulse Duration 0.35 ms ms (รุนแรงพอที่หัวอ่าน/เขียนจะยกตัวขึ้นและเกิด Head Slap และเป็นสภาวะที่สามารถควบคุมการทดลองได้ง่าย) โดยเครื่องทดสอบเครื่องเดียว คนทดสอบคนเดียว และทดสอบอย่างต่อเนื่องจนเสร็จ และลำดับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการสุ่มสมบูรณ์ดังตารางที่ 5.7 สุดท้ายบันทึกผล (สาเหตุที่ไม่ใช้ชิ้นงานตัวอย่างชุดเดียวกับข้อ 5.3.2 และ 5.3.6 เพราะต้องการขจัดความแปรปรวนอันเกิดจากความล้าของตัวงาน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย