

# การพัฒนาอุปกรณ์สอบเทียบสำหรับเครื่องวัดค่ากรัมไหล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2554

**DEVELOPMENT OF CALIBRATION DEVICE  
FOR GRAMLOAD TESTER**



**Laksana Chaiwinee**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2011**

## การพัฒนาอุปกรณ์สอบเทียบสำหรับเครื่องวัดค่ากรัมไหล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

\_\_\_\_\_

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

ประธานกรรมการ

\_\_\_\_\_

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวคำรังพงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

\_\_\_\_\_

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ

\_\_\_\_\_

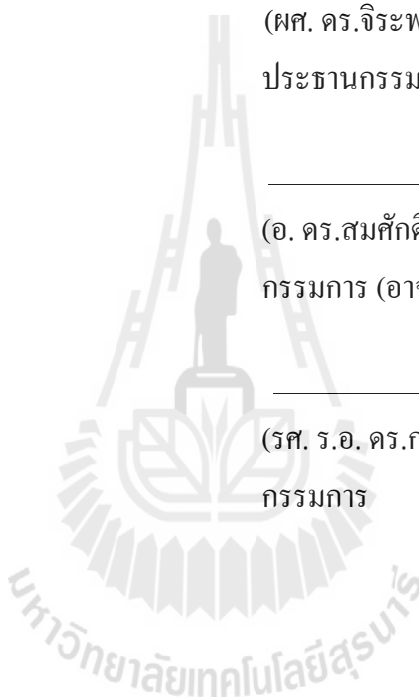
(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

\_\_\_\_\_

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



ลักษณะ ชัยวินี : การพัฒนาอุปกรณ์สอบเทียบสำหรับเครื่องวัดกรัมไหล

(DEVELOPMENT OF A CALIBRATION DEVICE FOR GRAMLLOAD TESTER)

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ สีวงศ์, 77 หน้า

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลายชิ้นส่วน ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการทดสอบค่าต่างๆ ให้ได้ตามข้อกำหนดทางคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดหัวอ่านเขียนที่เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญชิ้นหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะต้องผ่านการทดสอบ เช่น PSA RSA และค่ากรัมไหลซึ่งการทดสอบค่ากรัมไหลนั้นจะใช้ชุดหัวอ่านเขียนที่ทราบค่ากรัมไหล เพื่อนำมาใช้ในการสอบเทียบ แต่เนื่องจากชุดหัวอ่านเขียนนี้มีราคาสูง และมีอายุการใช้งานจำกัด จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบชุดโลหะ แผ่นบางใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องวัดกรัมไหลเพื่อลดต้นทุนการผลิตลง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบลักษณะของโลหะแผ่นบางที่มีข้อกำหนดในการใช้งานเหมือนกับชุดหัวอ่านเขียนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยรูปแบบของโลหะแผ่นบางที่ศึกษานั้นจะมีการทดลองการเปลี่ยนแปลงของมุมคด ความหนา และความกว้างของแผ่นสแตนเลสสตีล จากการทดลองพบว่าการเพิ่มมุมคดส่งผลให้ค่ากรัมไหลเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มความหนาและความกว้างของโลหะแผ่นบางก็ส่งผลให้ค่ากรัมไหลเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน จากข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้กำหนดช่วงความหนาและความกว้างของโลหะแผ่นบางที่สามารถให้ค่ากรัมไหลที่ต้องการได้ ชุดโลหะแผ่นบางได้ถูกออกแบบและสร้างให้สามารถใช้ได้กับเครื่องวัดกรัมไหลสำหรับอุตสาหกรรมจริง และทดสอบการสอบเทียบจริงด้วยวิธี GR&R พบว่าชุดโลหะแผ่นบางที่ได้ออกแบบนั้นมีค่ากรัมไหลในช่วง 1.5-3.0 กรัม ตามที่ต้องการ และมีค่าความแปรปรวนของการวัด อยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ของอุตสาหกรรม สอดคล้องกับการใช้งานจริง จึงเป็นแนวทางให้ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพิจารณาใช้ชุดโลหะแผ่นบางในการสอบเทียบเครื่องวัดกรัมไหลต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

LAKSANA CHAIWINEE : DEVELOPMENT OF A CALIBRATION DEVICE  
FOR GRAMLOAD TESTER. THESIS ADVISOR : SOMSAK  
SIWADAMRONGPONG, Ph.D., 77 PP.

#### HEAD STACK ASSEMBLY/ GRAMLOAD/ CALIBRATION

Hard disk drive, HDD, composes of a lot of components and sub-assemblies. Most of them have to pass the testing of parameters. Especially, HSA: Head Stack Assembly, which is one of the most importance sub-assemblies in HDD, must pass the test of PSA, RSA and gramload. The gramload tester uses the supreme HSA, so call Golden Unit, for tester calibration. The golden unit has high cost and limited life time. It should be more advantage in case that simpler and cheaper sheet metal could be used instead of the golden unit. Therefore, this research aims to study shape of the gramload tester calibrator that could be functioned as the golden unit. Various bended angles, width and thickness of stainless steel sheet were made and measured the gramload. It was found that increasing of bended angles; width and thickness lead to higher gramload of the sheet. From the data, range of width and thickness of stainless steel sheet were specified for desired gramload. The calibrator was designed, built and tested with industrial tester. GR&R procedure was carried out to indicate variance of measurements. It was found that the designed gramload tester calibrator was acceptable in the gramload range of 1.5 – 3.0 gram with narrow variance compared to industrial requirement. HDD manufacturers might use these prototype for development of further gramload tester calibrator.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2011

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ หากไม่ได้รับความกรุณาความช่วยเหลือการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง ดังนั้นจึงขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานเหล่านี้

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และบริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

บริษัท โคราชพรีซิชั่น จำกัด ที่ทำการสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อใช้งานวิจัย

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ รองคณบดีฝ่ายวิชาการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำการวิจัย

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ช่วยเหลือสนับสนุนให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำการวิจัย จนทำให้ผู้วิจัยฟันฝ่าอุปสรรคต่าง ๆ ไปได้ด้วยดี

คุณณัฐพล หอมสินธุ์ วิศวกรแผนก Tooling & Maintenance บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการวัดค่ากรัมโมลด์ ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณบุญช่วย ชัยวินี คุณภัทรภร-คุณปริญดา เข้มเยี่ยม ที่ได้ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ส่งเสริมการศึกษา และคอยเป็นกำลังใจในการดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

ลัษณณา ชัยวินี

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล.....	4
2.1.1 ชั้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล.....	5
2.1.2 แขนของหัวอ่านเขียนข้อมูล.....	5
2.2 ความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์.....	6
2.3 กรั้ม โทลด์.....	8
2.4 การออกแบบจิ๊ก.....	9
2.5 T-Distribution.....	18
2.6 การหาช่วงความเชื่อมั่น.....	19
2.7 โปรแกรมเชิงเส้นตรง.....	22

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8	Linear Legation .....	24
2.9	Gauge Repeatability and Reproducibility.....	24
2.9.1	ความสามารถของการวัดซ้ำ .....	26
2.9.2	ความสามารถของการทำซ้ำ .....	27
2.9.3	ความผันแปรรวมจากการวัด .....	27
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	28
<b>3</b>	<b>วิธีดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>31</b>
3.1	ศึกษาข้อมูลและหลักการทำงานของเครื่องวัดค่ากรัมไหลด .....	32
3.2	ออกแบบเครื่องวัดกรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน .....	32
3.3	ชุดโลหะแผ่นบาง .....	43
3.3.1	โลหะแผ่นบาง .....	34
3.3.2	ต้นแบบโลหะแผ่นบาง .....	35
3.3.3	อุปกรณ์จับยึดแผ่นบาง .....	35
<b>4</b>	<b>ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล .....</b>	<b>37</b>
4.1	ผลทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 1 (เปลี่ยนแปลงมุมตัด).....	37
4.2	ผลทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 2 (เปลี่ยนแปลงความหนา).....	39
4.3	ผลทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 3 (เปลี่ยนแปลงความกว้าง).....	40
4.4	วิเคราะห์การออกแบบต้นแบบโลหะแผ่นบางสำหรับหนึ่งหัวอ่าน .....	41
4.5	ผลการทดลองชุดต้นแบบโลหะแผ่นบาง .....	43
4.5.1	ความสามารถของการวัดซ้ำ .....	45
4.5.2	ความสามารถของการทำซ้ำ .....	46
<b>5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>48</b>
5.1	สรุปผลงานวิจัย .....	48
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	48



สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง .....	49
ภาคผนวก .....	50
ภาคผนวก ก. แบบเครื่องวัดค่ากรัม โหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน และชุดโลหะแผ่นบาง.....	50
ภาคผนวก ข. ผลการทดลอง .....	66
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการเผยแพร่ .....	71
ประวัติผู้เขียน.....	77



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงผลจากการทดลอง GR&R.....25
2.2	แสดงผลคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของการวัดซ้ำ.....26
2.3	แสดงค่า $d_2$ .....26
2.4	แสดงผลคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของการทำซ้ำ.....27
3.1	แสดงค่าสมบัติทางกลของ Stainless Steel.....34
3.2	แสดงรูปแบบต่าง ๆ ของโลหะแผ่นบาง .....35
4.1	แสดงผลการคำนวณ % ความน่าเชื่อถือที่ระดับต่าง ๆ .....38
4.2	แสดงค่า P ของสมการที่ 4-5.....41
4.3	แสดงผลจากการทดลองวัดต้นแบบ (หน่วย : กรัม) .....44
4.4	แสดงผลการหาพิสัยการวัดของแต่ละคน .....45
4.5	แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยของการทำซ้ำ.....46
ข.1	แสดงผลการวัดของโลหะแผ่นบางแบบที่ 1 .....67
ข.2	แสดงผลการวัดของโลหะแผ่นบางแบบที่ 2 .....68
ข.3	แสดงผลการวัดของโลหะแผ่นบางแบบที่ 3 .....69
ข.4	แสดงตารางการแจกแจง t-distribution.....70

## สารบัญรูป

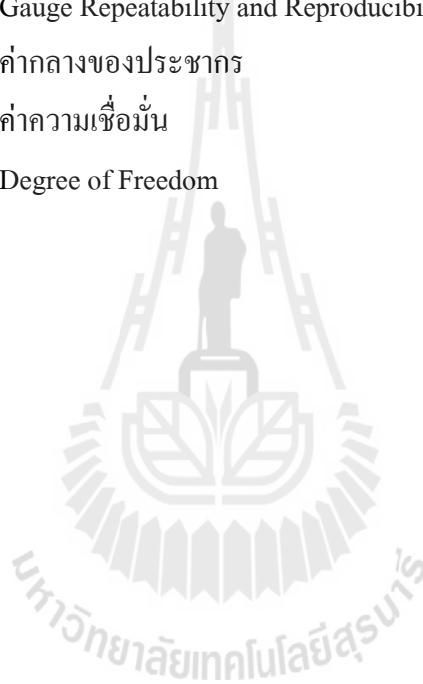
รูปที่	หน้า
2.1 แสดง Head Stack Assembly .....	4
2.2 แสดงชุดอ่านเขียนข้อมูล .....	5
2.3 แสดงชุด Actuator Arm .....	6
2.4 แสดงผิวหน้าของ Slider .....	7
2.5 แสดงความสูงระหว่างหัวอ่านและเขียนกับแผ่นดิสก์ .....	7
2.6 แสดงแรงที่กระทำกับวัสดุโดยให้ระยะ X คงที่ .....	8
2.7 แสดงระยะ h ที่เกิดจากแรงกั้มโหด .....	8
2.8 แสดงจิกแบบแทมเพลท .....	10
2.9 แสดงจิกแบบแผ่น .....	10
2.10 แสดงจิกแบบแซนวิช .....	11
2.11 แสดงจิกแบบแผ่นมูมจาก .....	12
2.12 แสดงจิกแบบกล่อง .....	13
2.13 แสดงจิกแบบแชลเนล .....	13
2.14 แสดงจิกแบบฝาปิด .....	14
2.15 แสดงจิกแบบหัวแบ่ง .....	15
2.16 แสดงจิกแบบแคร่ .....	16
2.17 แสดงจิกแบบปัม .....	16
2.18 แสดงจิกแบบหลายตำแหน่ง .....	17
2.19 แสดงผลของ Degree of Freedom และข้อแตกต่างของปลายเส้นกราฟ .....	19
2.20 แสดงการสร้างช่วงความเชื่อมั่นหลาย ๆ ช่วงสำหรับพารามิเตอร์ $\theta$ .....	21
2.21 แสดงผังการวัดเพื่อศึกษา GR&R .....	25
2.22 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา .....	28
2.23 แสดงแรงกระทำที่กำหนดในการศึกษา .....	29
2.24 แสดงความเค้นที่เกิดบริเวณ Bend Zone .....	29
2.25 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา .....	30

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย .....	31
3.2 แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดค่ากรัมไหลด.....	32
3.3 แสดงระยะสำคัญของเครื่องวัดค่ากรัมไหลด.....	33
3.4 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดค่ากรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน .....	34
3.5 แสดงแขนของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล .....	36
3.6 แสดงอุปกรณ์จับยึดแผ่นบาง .....	36
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของมุมและค่ากรัมไหลด .....	37
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความหนาและค่ากรัมไหลด .....	39
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความกว้างและค่ากรัมไหลด .....	40
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความกว้าง .....	42
4.5 แสดงลักษณะของชุดต้นแบบโลหะแผ่นบาง.....	43
ก.1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดค่ากรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน .....	51
ก.2 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Load Cell .....	52
ก.3 แสดงฟังก์ชันต่าง ๆ ของ Indicator .....	53
ก.4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดกรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน.....	54
ก.5 แสดงขนาดของ Base 1.....	55
ก.6 แสดงขนาดของ Base 2.....	56
ก.7 แสดงขนาดของ Base 3.....	57
ก.8 แสดงขนาดของแบบทดสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงมุม .....	59
ก.9 แสดงขนาดของแบบทดสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงความหนา .....	60
ก.10 แสดงขนาดของแบบทดสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงความกว้าง .....	61
ก.11 แสดงส่วนประกอบของชุดโลหะแผ่นบาง.....	62
ก.12 แสดงขนาดของตัวจับยึด.....	63
ก.13 แสดงขนาดของตัวจับยึด.....	64
ก.14 แสดงขนาดของตัวจับยึด.....	65

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HDD	=	Hard Disk Drive
HGA	=	Head Gimbal Assembly
HSA	=	Head Stack Assembly
ABS	=	Air Bearing Surface
GR&R	=	Gauge Repeatability and Reproducibility
$\mu$	=	ค่ากลางของประชากร
C	=	ค่าความเชื่อมั่น
$\nu$	=	Degree of Freedom



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่า คอมพิวเตอร์ถือเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในทุก ๆ ด้าน โดยส่วนประกอบที่สำคัญของคอมพิวเตอร์นั้นสามารถแบ่งออกได้หลัก ๆ เป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนประมวลผล (Processor) ส่วนรับข้อมูล (Input) และส่วนแสดงผล (Output) ซึ่งส่วนที่เป็นหัวใจสำคัญที่สุดของคอมพิวเตอร์คือการประมวลผลข้อมูลซึ่งต้องใช้หน่วยความจำในการสำรองข้อมูลและบันทึกผล โดยใช้อุปกรณ์ในการบันทึกผลที่รู้จักกันในชื่อว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และในปัจจุบันประเทศไทยนั้นเป็นฐานการผลิต ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สำคัญและมีการแข่งขันในระดับนานาชาติ เพื่อที่จะจูงใจให้เกิดการลงทุนในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยให้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิต ซึ่งจะทำให้มีรายได้เข้าสู่ประเทศ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และดึงดูดเงินลงทุนรวมถึงเทคโนโลยีจากผู้ผลิตมาสู่ประเทศไทย ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในยุคแรก ๆ เรียกว่า Punch card จะมีลักษณะเป็นกระดาษที่เป็นรูเจาะ ซึ่งใช้งานยากและมีหน่วยความจำน้อย หลังจากนั้น ได้ถูกพัฒนามาใช้แผ่นพลาสติกที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กหรือที่รู้จักกันคือ Magnetic Tape ซึ่งต่อมาเมื่อมีการใช้คอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น จำนวนข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การเก็บข้อมูลในลักษณะ Tape นั้นไม่เพียงพอ จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่มีจำนวนมากที่เรียกว่า ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เหมือนในปัจจุบัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นหน่วยความจำแบบถาวร กล่าวคือแม้ว่าจะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไปแล้วแต่ข้อมูลที่บันทึกไว้จะยังคงอยู่และสามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้เป็นเวลานานหลายปี ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวแรกถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1950 โดยใช้จานหมุนวงกลมขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ฟุต แต่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้ไม่ถึง 5 เมกะไบต์ (MB) เท่านั้น โดยที่มาของชื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นเนื่องมาจากลักษณะของจานในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความแข็งแรง ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกพัฒนามากขึ้นตามเทคโนโลยีที่สูงขึ้นทำให้จานที่ใช้มีขนาดเล็กลงและหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงขึ้นในขณะที่สามารถบันทึกข้อมูลได้มากขึ้นด้วย การอ่านเขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์นั้นจะอาศัยการทำงานของหัวอ่านเขียน ซึ่งโดยทั่วไปหัวอ่านเขียนข้อมูลจะถูกติดตั้งอยู่กับ Suspension Assembly มีหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและไม่ให้สัมผัสกับผิวของแผ่นดิสก์ ที่กำลังหมุนอยู่แต่หัวอ่านเขียนข้อมูลจะบินอยู่ที่ความสูงน้อย ๆ ระดับนาโนเมตร

เหนือแผ่นดิสก์ (ความสูงดังกล่าวจะถูกเรียกว่า Flying Height) โดยแผ่นดิสก์จะหมุนด้วยความเร็ว 5,400-20,000 รอบต่อนาที เมื่อหัวอ่านเขียนข้อมูลกำลังอ่านหรือเขียนข้อมูลอยู่นั้น หากไม่สามารถลอยตัวได้มีเสถียรภาพแล้ว จะทำให้หัวอ่านเขียนมีโอกาสเสียดสีหรือสัมผัสกับผิวหน้าของแผ่นดิสก์ ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายแก่สารที่เคลือบผิว และข้อมูลที่เก็บรักษาไว้ได้ ดังนั้นหัวอ่านเขียนข้อมูลจะต้องบินอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและถูกต้อง ด้วยเหตุนี้ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านเขียนจึงต้องมีการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น กร้ม โหลด Pitch/Roll เป็นต้น เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ตามที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระยะ Flying Height โดยตรง และเนื่องด้วยการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นต้องการความแม่นยำสูง จึงต้องมีการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์อย่างสม่ำเสมอ สำหรับเครื่องวัดค่ากร้ม โหลดในปัจจุบันการสอบเทียบจะทำโดยนำ Head Stack Assembly (HSA) ที่ผลิตมาโดยควบคุมค่ากร้ม โหลดให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ มาสอบเทียบเครื่องวัดที่ใช้งานในกระบวนการผลิต และจะต้องทำการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องวัดทุกกะการทำงาน แต่เนื่องจาก HSA ดังกล่าวมีต้นทุนการผลิตในการผลิตสูงและมีอายุการใช้งานสั้นจึงจำเป็นต้องผลิตออกมาเป็นจำนวนมากทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาออกแบบ และสร้างต้นแบบสำหรับสอบเทียบเครื่องวัดกร้ม โหลดมาใช้งานแทนเพื่อลดต้นทุนการผลิตลง

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบ ลักษณะของโลหะแผ่นบางที่มีต่อค่ากร้ม โหลด
- 2) เพื่อศึกษาออกแบบ และสร้างต้นแบบสำหรับเปรียบวัดค่ากร้ม โหลด

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) สร้างต้นแบบสำหรับเปรียบวัดค่ากร้ม โหลดของเครื่องวัดกร้ม โหลดสำหรับชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 2.5 นิ้ว ที่สามารถนำมาใช้งานแทน HSA ได้จำนวน 1 Model
- 2) ต้นแบบจะต้องทดลองการใช้งานที่บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด

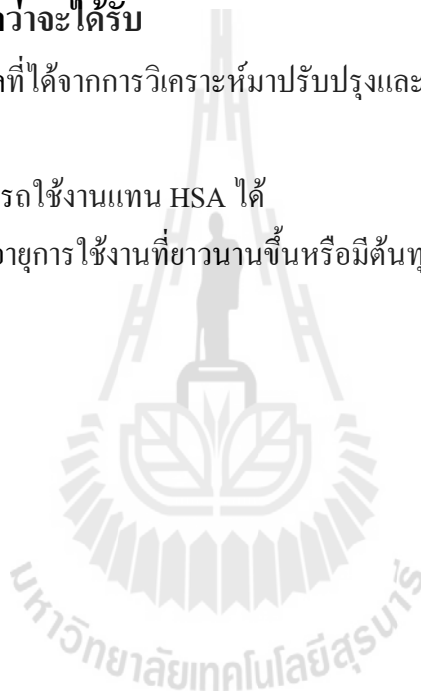
## 1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1) ศึกษาข้อมูลและหลักการทำงานของเครื่องวัดค่ากร้ม โหลด
- 2) ออกแบบและจัดสร้างเครื่องวัดค่ากร้ม โหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน
- 3) ศึกษาและออกแบบโลหะแผ่นบางและอุปกรณ์จับยึด

- 4) จัดสร้างและวัดค่ากรัมไหลของโลหะแผ่นบางด้วยเครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน
- 5) วิเคราะห์ผลการวัดและออกแบบต้นแบบโลหะแผ่นบางสำหรับหนึ่งหัวอ่าน
- 6) จัดสร้างต้นแบบและทดสอบวัดด้วยเครื่องวัดค่ากรัมไหลที่บริษัท อิตาชิ โกลบอล สโตเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด
- 7) ออกแบบปรับปรุงต้นแบบโลหะแผ่นบาง
- 8) สรุปผลการวิจัย

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาปรับปรุงและออกแบบต้นแบบให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานดียิ่งขึ้น
- 2) ต้นแบบสามารถใช้งานแทน HSA ได้
- 3) ต้นแบบจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นหรือมีต้นทุนการผลิตที่ถูกลง



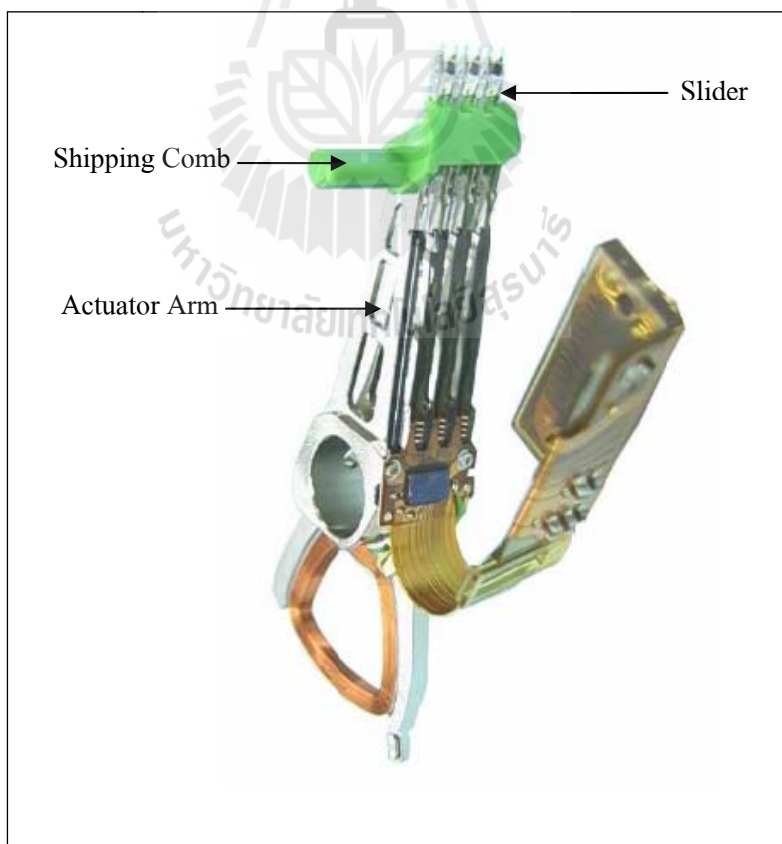


## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล (Head Stack Assembly : HSA)

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ทำงานโดยอาศัยหัวอ่านเขียนที่เป็นแม่เหล็ก เหนี่ยวนำกับจานแม่เหล็กซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง โดยชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าว เรียกว่า หัวอ่านเขียนข้อมูล (Read-Write Head) ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า สไลเดอร์ (Slider) โดยสไลเดอร์นี้จะวางติดอยู่ที่ปลายแขนจับยึด (Suspension) ซึ่งจะถูกรวมกันที่ชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล (Head Gimbal Assembly : HGA) เมื่อนำชิ้นส่วน HGA มาวางซ้อน ๆ กันเป็นชั้นในแนวตั้งและประกอบเข้ากับแขนของหัวอ่าน (Actuator Arm) จะถูกเรียกว่า Head Stack Assembly ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดง Head Stack Assembly

### 2.1.1 ชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล (Head Gimbal Assembly : HGA)

เป็นอุปกรณ์รองรับหัวอ่านเขียนข้อมูล ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลลอยอยู่บนผิวของแผ่นบันทึกข้อมูลในระยะความสูงที่เหมาะสมเพื่อการอ่านเขียนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นบันทึกข้อมูลในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ทำงานอยู่ ซึ่งระยะห่างของผิวหัวอ่านเขียนข้อมูลกับแผ่นบันทึกข้อมูลนั้นอยู่ในระดับนาโนเมตร โดย HGA 1 ชิ้นจะอ่านเขียนข้อมูลบนแผ่นบันทึกข้อมูลได้เพียง 1 ด้านเท่านั้น ซึ่งในฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วย HGA จำนวนหลายชิ้น ลักษณะชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงชุดอ่านเขียนข้อมูล (HGA)

### 2.1.2 แขนของหัวอ่านเขียนข้อมูล (Actuator Arm)

เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้าย HGA เพื่อควบคุมหัวอ่านเขียนข้อมูลซึ่งติดตั้งตรงส่วนปลายของ HGA ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง Track และ Sector ที่ต้องการอ่านเขียนข้อมูลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยมีระยะห่างระหว่างผิวหัวอ่านเขียนข้อมูลกับแผ่นบันทึกข้อมูลนั้นอยู่ในระดับนาโนเมตร Actuator Arm นี้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่มีผลต่อความเร็วในการอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพราะตัว Actuator Arm นี้จะต้องเคลื่อนที่นำพาหัวอ่านเขียนข้อมูล ไปยังตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำ ไม่เช่นนั้นจะเป็นผลทำให้ความสามารถในการอ่านเขียนข้อมูลช้าลงตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันยังคงต้องรักษาความแม่นยำและความถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์เต็ม ลักษณะชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ผลผลิตจากโลหะกลุ่ม อลูมิเนียม หรือ อลูมิเนียมที่มีการชุบผิวด้วยนิกเกิลเพื่อให้ส่วนแขนจับหัวอ่านมีความแข็งแรงมากขึ้น มีความสามารถในการคงรูปสูง ทนแรงขีดข่วน และการกัดกร่อนที่เกิดจากสารเคมี หรือสิ่งที่เกิดจากกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์และการใช้งานเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์และยังลดปัญหาที่เกิดจากฝุ่นผงโลหะหนักที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้หัวอ่านและฮาร์ดดิสก์เกิดความเสียหาย

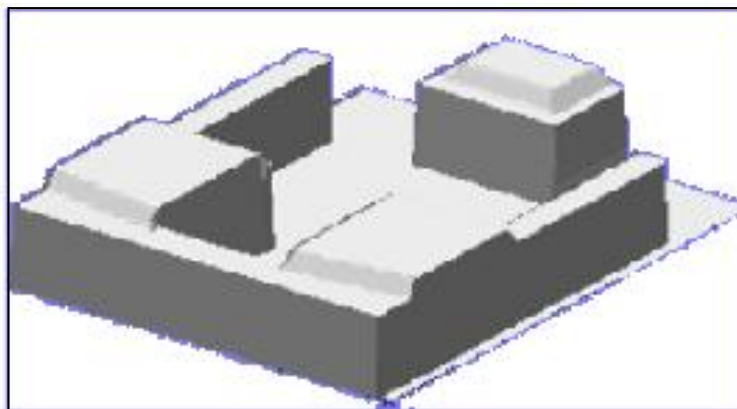


รูปที่ 2.3 แสดงชุด Actuator Arm

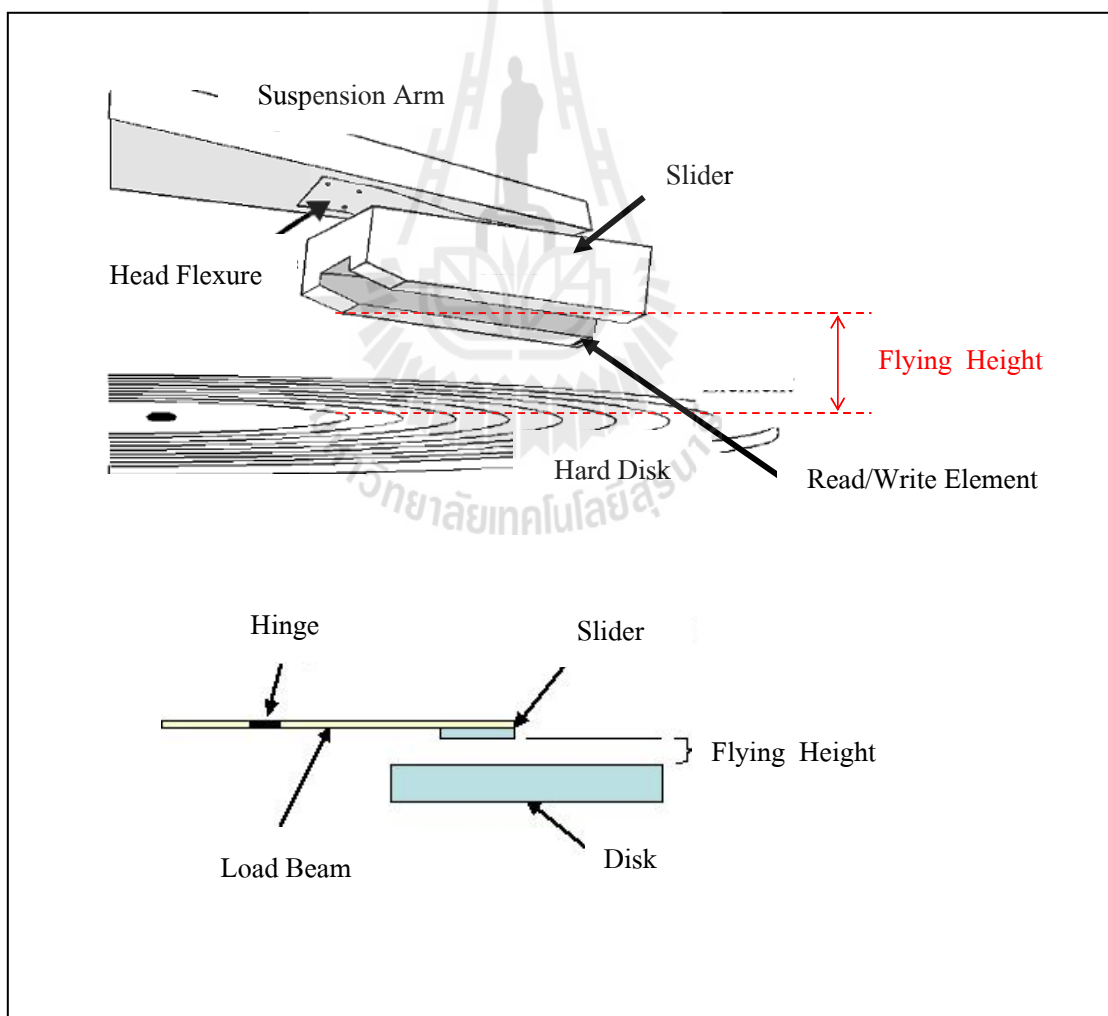
## 2.2 ความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ (Flying Height)

ความสูงระหว่างหัวอ่านและเขียนกับแผ่นดิสก์ เป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพ ความเร็ว และความเชื่อถือได้ของฮาร์ดดิสก์ ในกรณีที่ต้องการจะเพิ่มความสามารถในการบรรจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เราจำเป็นต้องลดความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความแรงของสัญญาณในการอ่านและเขียนบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ และส่วนสำคัญมาก ส่วนหนึ่งที่จะทำให้ความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์ถูกต้อง คือการควบคุมความสูงและความยืดหยุ่นเชิงกลของแขนจับหัวอ่าน

ความสูงระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์มีขนาดเล็กมากในหน่วยของนาโนเมตร ส่วนประกอบสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระยะ Flying Height คือ Slider และ Suspension โดย Slider จะใช้หลักการของ Aerodynamic ของ Air Bearing Surface (ABS) บนผิวหน้าของ Slider ซึ่งจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วน Suspension นั้นสามารถลอยตัวได้ตามแรงจาก ABS โดยจุดหมุนของการเคลื่อนที่เรียกว่า Hinge ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งระยะขจัดของการเคลื่อนที่นั้นจะสัมพันธ์โดยตรงกับความยืดหยุ่นเชิงกลของแขนจับหัวอ่าน



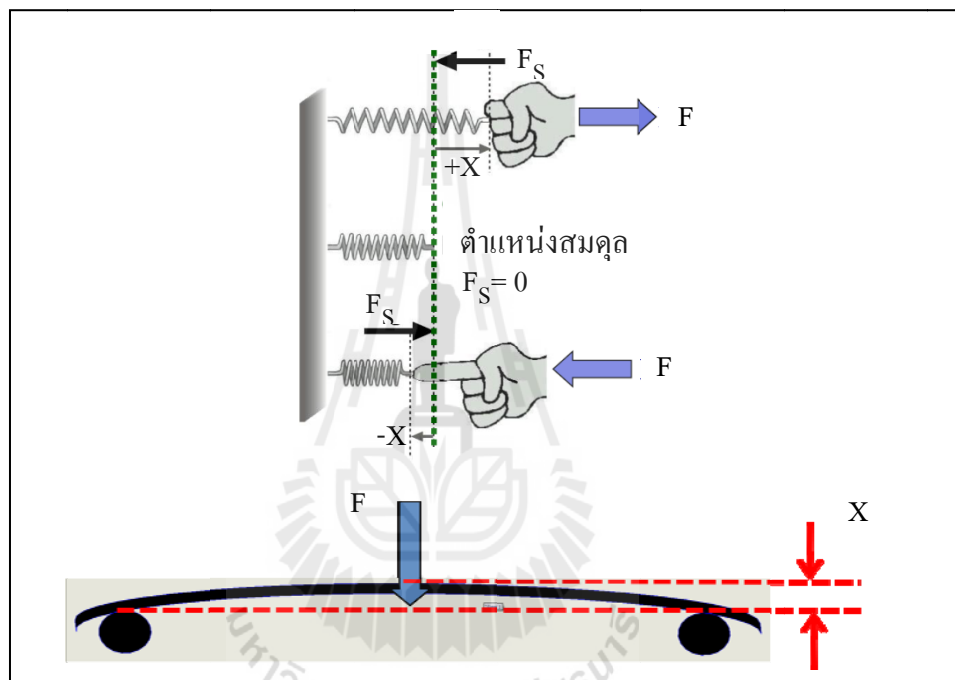
รูปที่ 2.4 แสดงผิวหน้าของ Slider



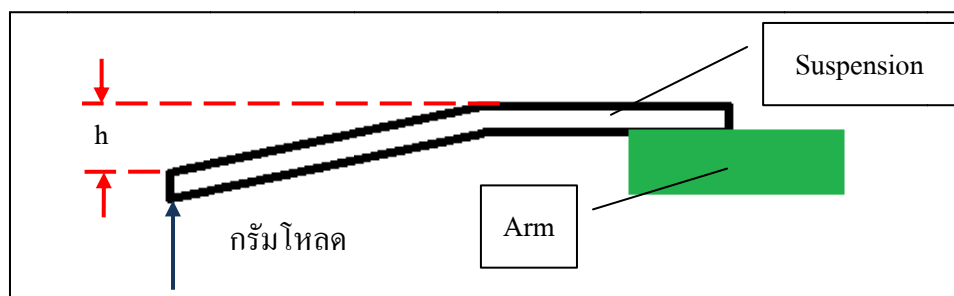
รูปที่ 2.5 แสดงความสูงระหว่างหัวอ่านและเขียนกับแผ่นดิสก์

### 2.3 กรั่มโหลด (Gramload)

กรั่มโหลด คือ ค่าความยืดหยุ่นเชิงกล (Stiffness) โดยวัดแรงที่กระทำที่ทำให้เกิดระยะของความเปลี่ยนแปลงที่กำหนด (ระยะ  $x$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 หรืออีกนัยหนึ่งกรั่มโหลดคือแรงที่ทำให้ Suspension เกิดการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้ง เป็นระยะ  $h$  ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยที่จะวัดแรงนี้ในหน่วยของกรั่ม จึงเรียกรวมกันว่ากรั่มโหลด โดยที่ค่ากรั่มโหลดที่ต้องการจะอยู่ในช่วง 1.5-3.0 g ขึ้นอยู่กับรุ่นของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.6 แสดงแรงที่กระทำกับวัสดุโดยให้ระยะ  $X$  คงที่



รูปที่ 2.7 แสดงระยะ  $h$  ที่เกิดจากแรงกรั่มโหลด

## 2.4 การออกแบบจิ๊ก (Jig)

จิ๊กเป็นเครื่องมือพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่ง จับยึดชิ้นงานและยังเป็นตัวนำทางของเครื่องมือตัด (Cutting tools) เช่น ในการเจาะรู หรือคว้านรู โดยปกติแล้วจิ๊กจะมีปลอกนำทางซึ่งอัดติดแน่นอยู่เสมอ ปลอกนำทางนั้นทำด้วยเหล็กพิเศษที่ผ่านการชุบแข็งที่แล้ว และจะเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับนำทางในการเจาะรูของดอกสว่านหรือนำทางเครื่องมือตัดอื่น ๆ ตามกฎที่ใช้กันอยู่นี้ถ้าจิ๊กที่ใช้มีขนาดเล็ก ๆ ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องถูกจับยึดให้ติดแน่นอยู่บนแท่นเจาะ สามารถใช้มือจับจิ๊กได้ แต่ถ้ารูที่เจาะโตกว่า 6 มิลลิเมตร จะต้องถูกจับยึดให้ติดแน่นอยู่บนแท่นของเครื่องเจาะ

### ชนิดของจิ๊ก

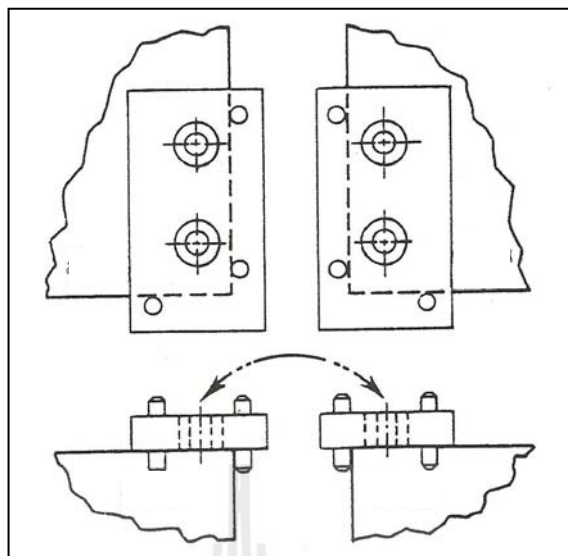
โดยทั่ว ๆ ไปจิ๊กอาจแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างใหญ่ ๆ คือ จิ๊กคว้านรู และจิ๊กเจาะรู สำหรับจิ๊กคว้านรูนั้นจะถูกใช้งานสำหรับการคว้านรูที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะทำการเจาะรูด้วยดอกสว่านได้

ส่วนจิ๊กเจาะรู นั้นจะถูกใช้สำหรับการเจาะรู ทำรูเรียบ ทำเกลียว ลบมุมคม ทำรู มุมฉาก ทำรูมุมเอียงด้านล่าง และทำรูมุมฉากด้านล่าง เป็นต้น โดยพื้นฐานทั่ว ๆ ไปจิ๊กจะมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันอย่างมาก จะแตกต่างกันก็เฉพาะขนาดของปลอกที่ใช้เท่านั้น

จิ๊กเจาะรูนี้อาจถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบเปิด (Open Jigs) และ แบบปิด (Close Jigs) สำหรับจิ๊กแบบเปิดจะใช้สำหรับการทำงานแบบง่าย ๆ ที่การทำงานนั้นมีการกระทำต่อชิ้นงานเพียงด้านเดียว ส่วนแบบปิดหรือแบบกล่องนั้นจะถูกใช้สำหรับชิ้นงานที่ถูกกระทำจากเครื่องจักรมากกว่าหนึ่งด้านขึ้นไป และสำหรับจิ๊กต่อไปนี้จะจิ๊กชนิดต่าง ๆ ที่ถูกเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการสร้างขึ้นมามีใช้งาน

#### 1) จิ๊กแบบเทมเพลท (Template Jig)

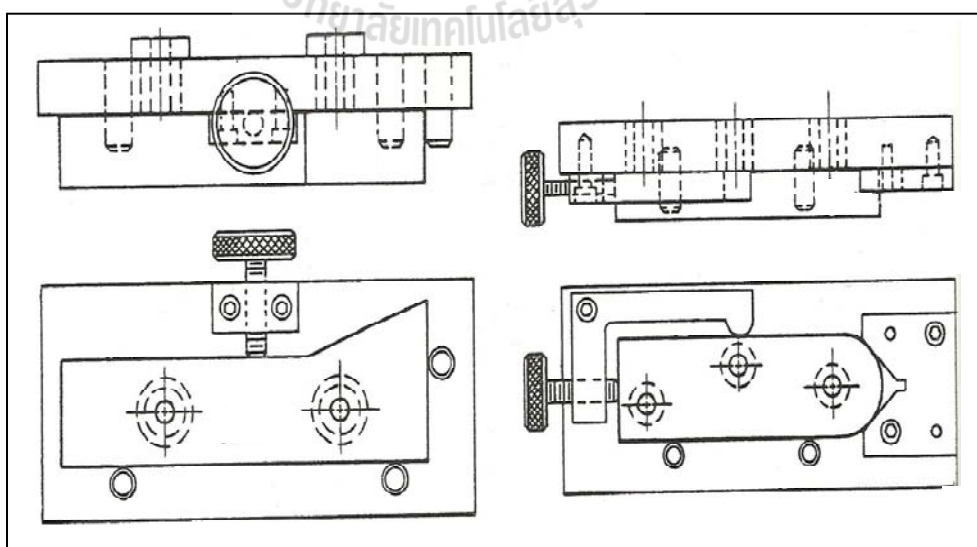
โดยปกติแล้วจิ๊กชนิดนี้จะถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการให้ชิ้นงานมีความละเอียดถูกต้องมากกว่าที่จะผลิตชิ้นงานได้รวดเร็ว โดยจิ๊กแบบเทมเพลทนี้จะครอบอยู่บนชิ้นงาน หรืออยู่ข้างในชิ้นงาน โดยไม่จำเป็นต้องมีการจับยึดใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สำหรับจิ๊กแบบนี้เป็นแบบที่ราคาถูกที่สุด และธรรมดาที่สุด ในบรรดาจิ๊กที่ใช้กันอยู่โดยที่อาจจะมีหรือไม่มีปลอกนำทางก็ได้ ซึ่งถ้าไม่ใช่ปลอก นำทางแล้วจะต้องทำให้จิ๊กทั้งอันนั้นมีความแข็งหรือผ่านการชุบแข็งตลอดทั้งอัน



รูปที่ 2.8 แสดงจิ๊กแบบเทมเพลต

## 2) จิ๊กแบบแผ่น (Plate Jig)

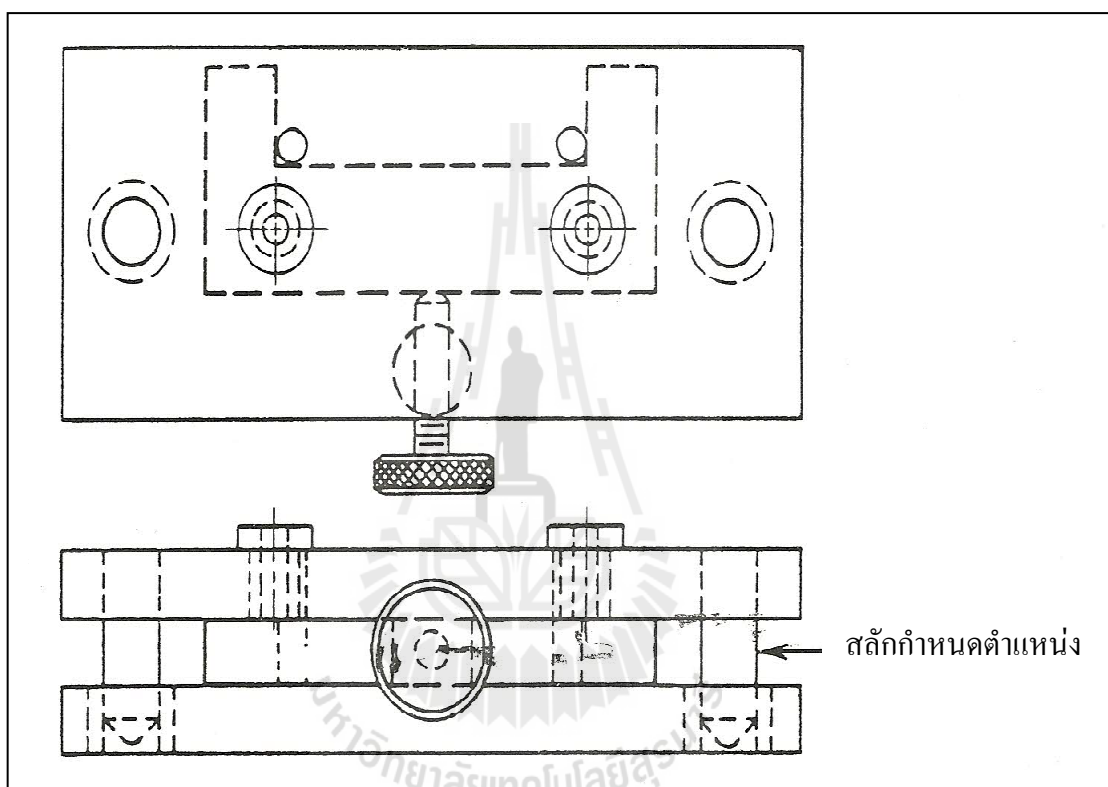
จิ๊กชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบเทมเพลต จะแตกต่างกันที่จิ๊กแบบแผ่นนี้จะมีตัวยึดงานติดตั้งอยู่เพื่อไว้ใช้สำหรับยึดจับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จิ๊กแบบแผ่นสามารถทำขึ้นมาได้โดยมีปlockนำทางหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของชิ้นงานที่จะถูกกระทำจิ๊กแบบแผ่นนี้ บางครั้งก็ถูกทำให้มีขาติดอยู่ด้วยซึ่งใช้กับงานที่ใหญ่ขึ้น สำหรับจิ๊กแบบนี้จะเรียกว่า จิ๊กแบบโต๊ะ



รูปที่ 2.9 แสดงจิ๊กแบบแผ่น

### 3) จิ๊กแบบแซนวิช (Sandwich Jig)

เป็นจิ๊กที่อยู่ในแบบของแบบแผ่น แต่มีแผ่นประกอปกด้านหลังของจิ๊กอยู่ด้วย จิ๊กชนิดนี้ จะถูกใช้กับชิ้นงานที่มีลักษณะบางและอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งอาจจะ โคงหรือบีดงได้ ระหว่างการเจาะ และจิ๊กแบบแซนวิชนี้จะใช้ปล็อคนำทางหรือไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นงานที่ถูกกระทำเช่นกัน

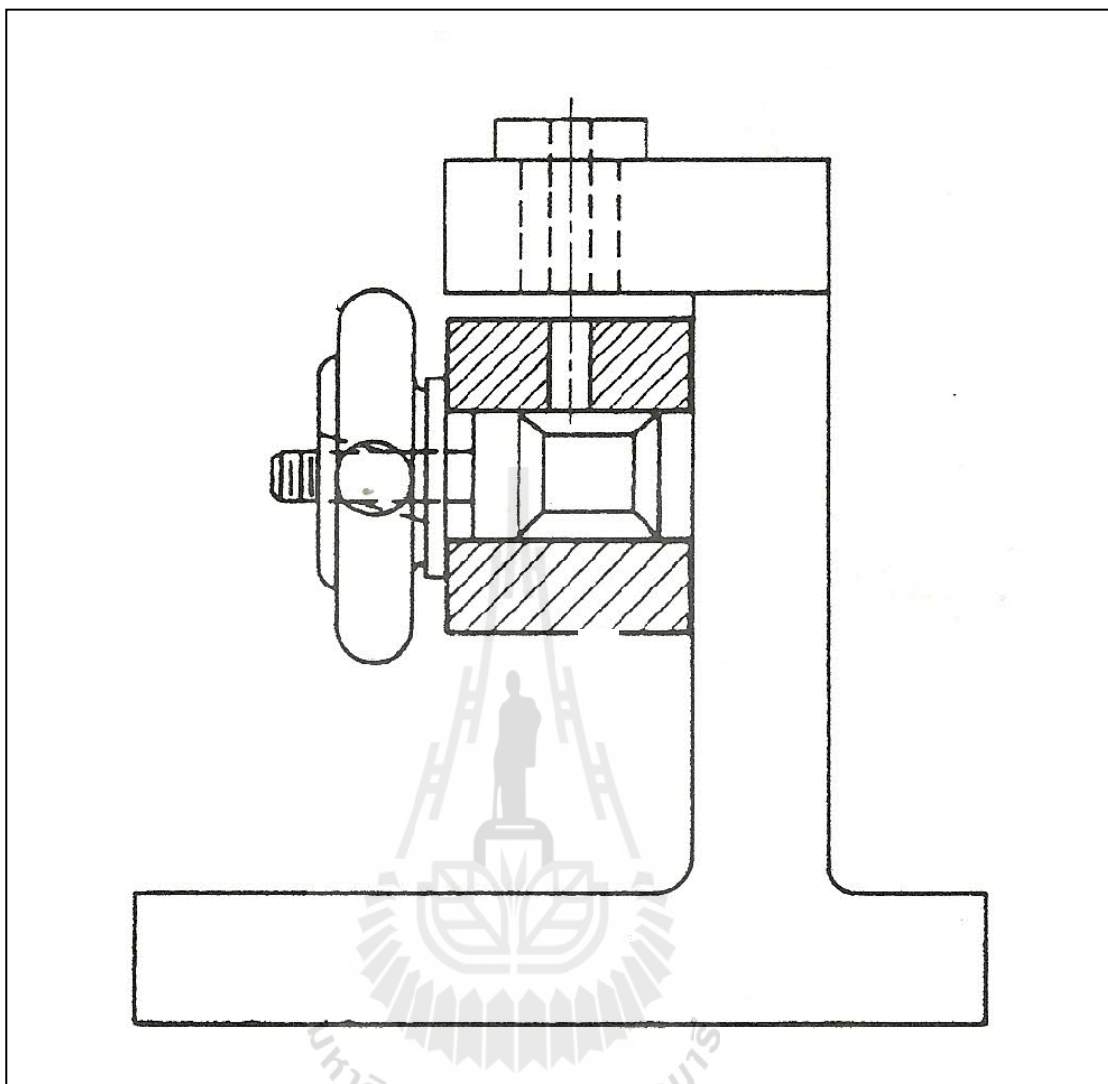


รูปที่ 2.10 แสดงจิ๊กแบบแซนวิช

### 4) จิ๊กแบบแผ่นมุมฉาก (Angle-Plate Jig)

เป็นจิ๊กที่ถูกใช้สำหรับยึดกับชิ้นงานซึ่งจะถูกกระทำ เช่น เจาะรู ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับ ตัวกำหนดตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ตัวอย่างของงานที่ใช้จิ๊กแบบนี้ได้แก่ ลูกกรอก ปล็อกลีค และเฟือง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีจิ๊กที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่ใช้ทำงานกับการทำงานที่ไม่ใช่มุม 90 องศา ซึ่งก็คือจิ๊กแบบแผ่นปรับมุม

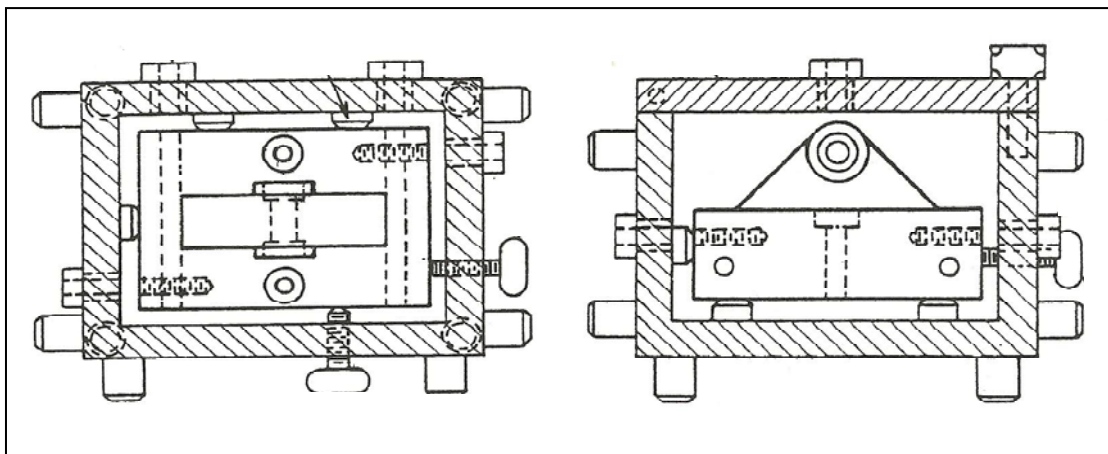




รูปที่ 2.11 แสดงจิ๊กแบบแผ่นมุมฉาก

5) จิ๊กแบบกล่อง (Box Jig)

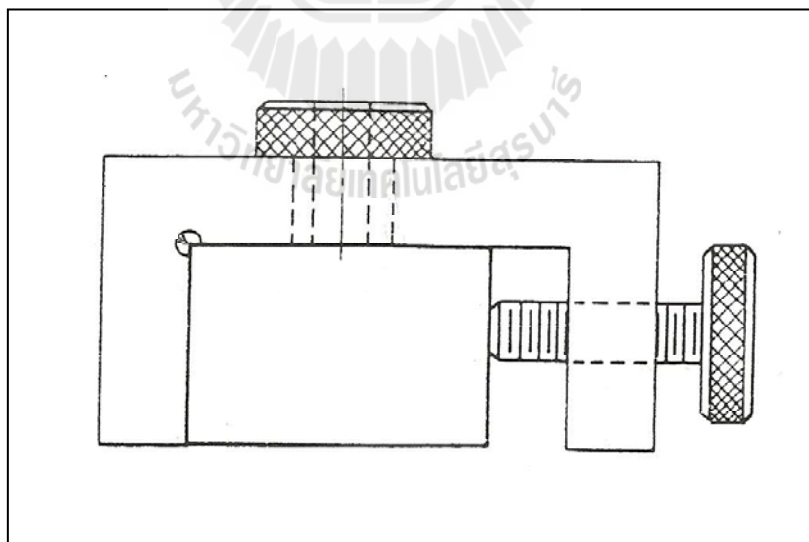
เป็นจิ๊กที่ถูกทำขึ้นมามีลักษณะครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จิ๊กแบบนี้ใช้กับชิ้นงานที่ถูกตกแต่งผิวหน้ามา ทุกด้านเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 2.12 แสดงจิ๊กแบบกล่อง

6) จิ๊กแบบแชนเนล (Channel Jig)

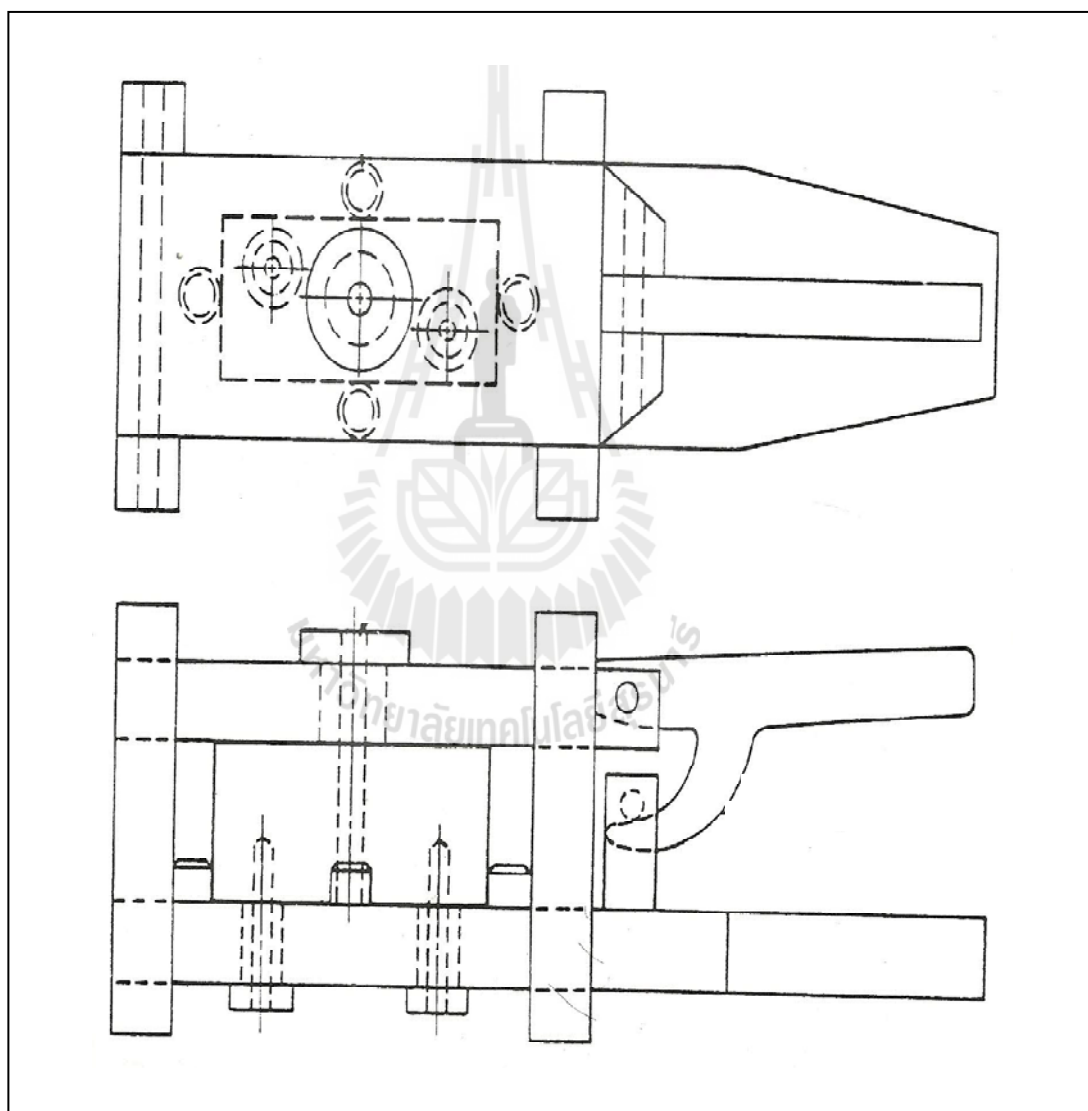
เป็นจิ๊กที่มีแบบเป็นธรรมดาๆ มากที่สุดในบรรดาชนิดแบบกล่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ชิ้นงานจะถูกยึดจับไว้ระหว่างด้านของจิ๊ก สองด้านและงานจะถูกกระทำจากด้านที่สามในบางกรณีจิ๊กชนิดนี้ถ้าคิดขาเข้าไปด้วยก็จะทำให้สามารถกระทำต่อชิ้นงานได้ถึงสามด้าน



รูปที่ 2.13 แสดงจิ๊กแบบแชนเนล

### 7) จิ๊กแบบฝาปิด (Leaf Jig)

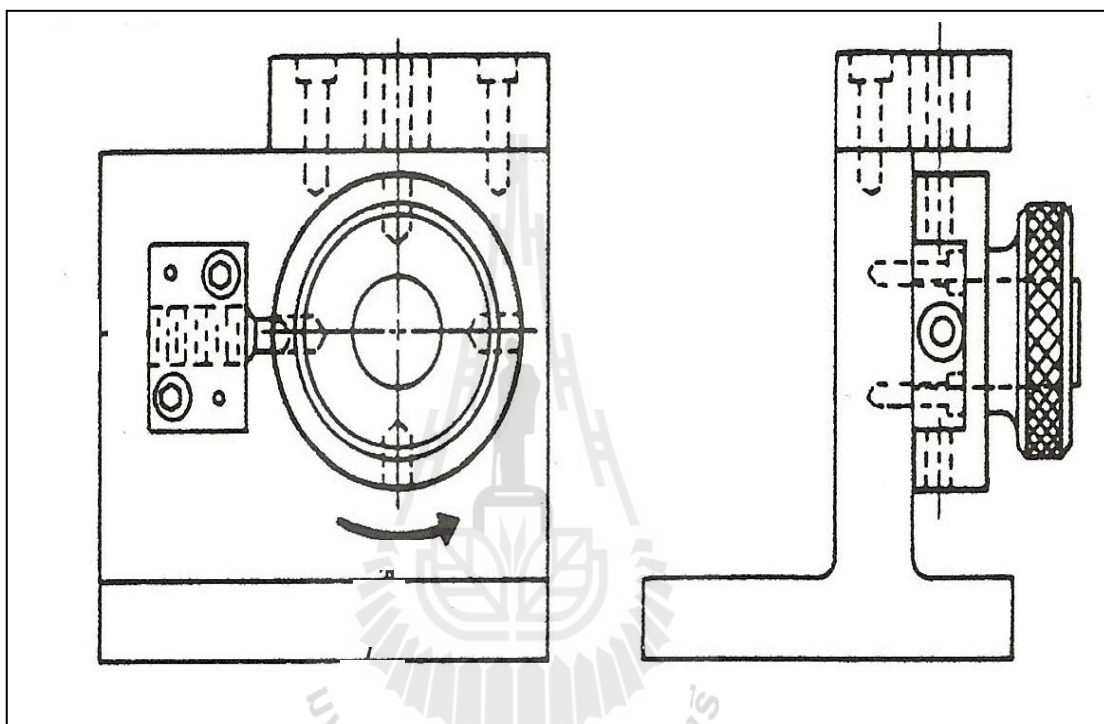
เป็นแบบกล่องชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กมีฝาปิด-เปิดได้ ทำให้ง่ายต่อการเอาชิ้นงานใส่เข้าไปหรือถอดออกได้อย่างสะดวก ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ข้อแตกต่างระหว่างแบบฝาปิดและแบบกล่องอยู่ที่ขนาดของจิ๊ก และตำแหน่งของชิ้นงาน ปกติแล้วแบบฝาปิดจะเล็กกว่าแบบกล่อง และบางทีชิ้นงานก็ไม่จำเป็นต้องถูกตัวจิ๊กครอบคลุมทุก ๆ ส่วน นอกจากนี้แบบฝาปิดยังเป็นจิ๊กที่มีอุปกรณ์ช่วยคือมีด้ามถือทำให้ง่ายต่อการพกพาเคลื่อนที่ไปที่ใดที่หนึ่ง



รูปที่ 2.14 แสดงจิ๊กแบบฝาปิด

### 8) จิกแบบหัวแบ่ง (Indexing Jig)

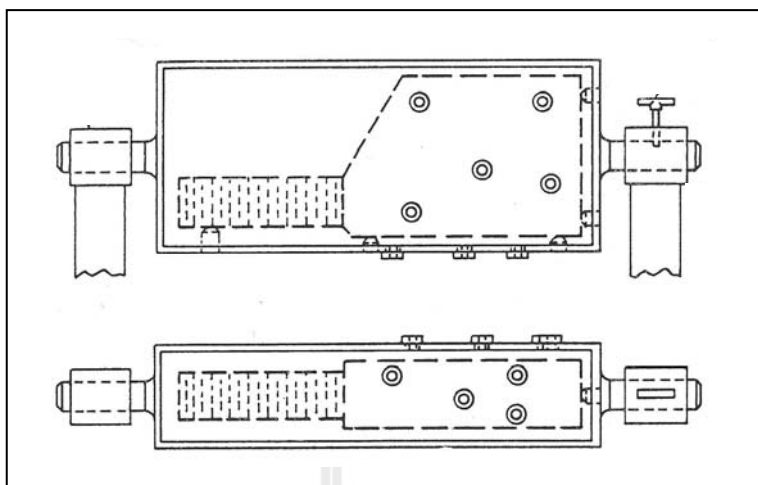
เป็นจิกที่ถูกใช้สำหรับการเจาะรูหรือตอกแต่งอย่างอื่นบนชิ้นงานที่ต้องการให้มีระยะห่างของการกระทำนั้นห่างเท่า ๆ กัน ซึ่งการจะทำอย่างนี้แบบหัวแบ่งจะใช้ชิ้นงานนั้นหรือแผ่นสำหรับกำหนดตำแหน่งเป็นตัวอ้างอิงใช้คู่กันกับแท่งคัน ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และถ้าเป็นจิกแบบหัวแบ่งขนาดใหญ่ ๆ จะเรียกว่าโรตารีจิก (Rotary Jig)



รูปที่ 2.15 แสดงจิกแบบหัวแบ่ง

### 9) จิกแบบแคร่ (Trunnion Jig)

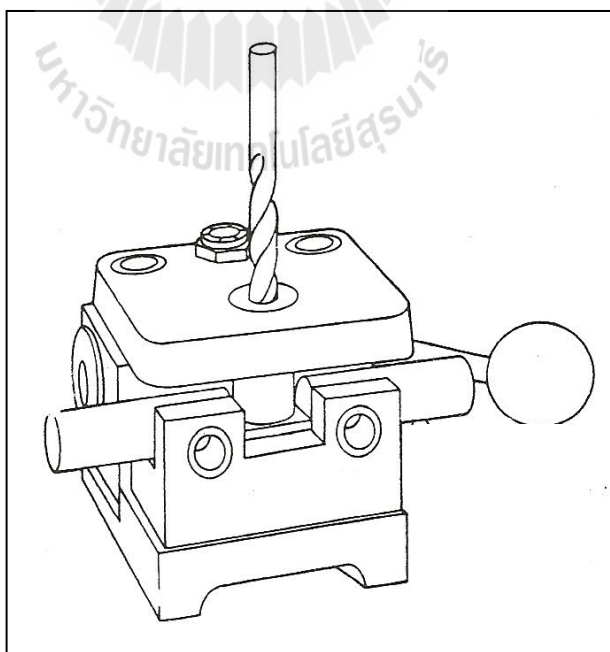
เป็นจิกแบบหนึ่งของโรตารีจิกที่ใช้สำหรับงานที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ หรือมีรูปร่างเฉพาะอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ชิ้นงานจะถูกใส่เข้าไปในตัวกล่อง (Box-Type Carrier) ซึ่งถูกรองรับน้ำหนักด้วยแคร่ สำหรับจิกชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก และต้องเจาะรูหรือตอกกระทำหลาย ๆ ด้าน



รูปที่ 2.16 แสดงจิกแบบแคว่

10) จิกแบบปั๊ม (Pump Jig)

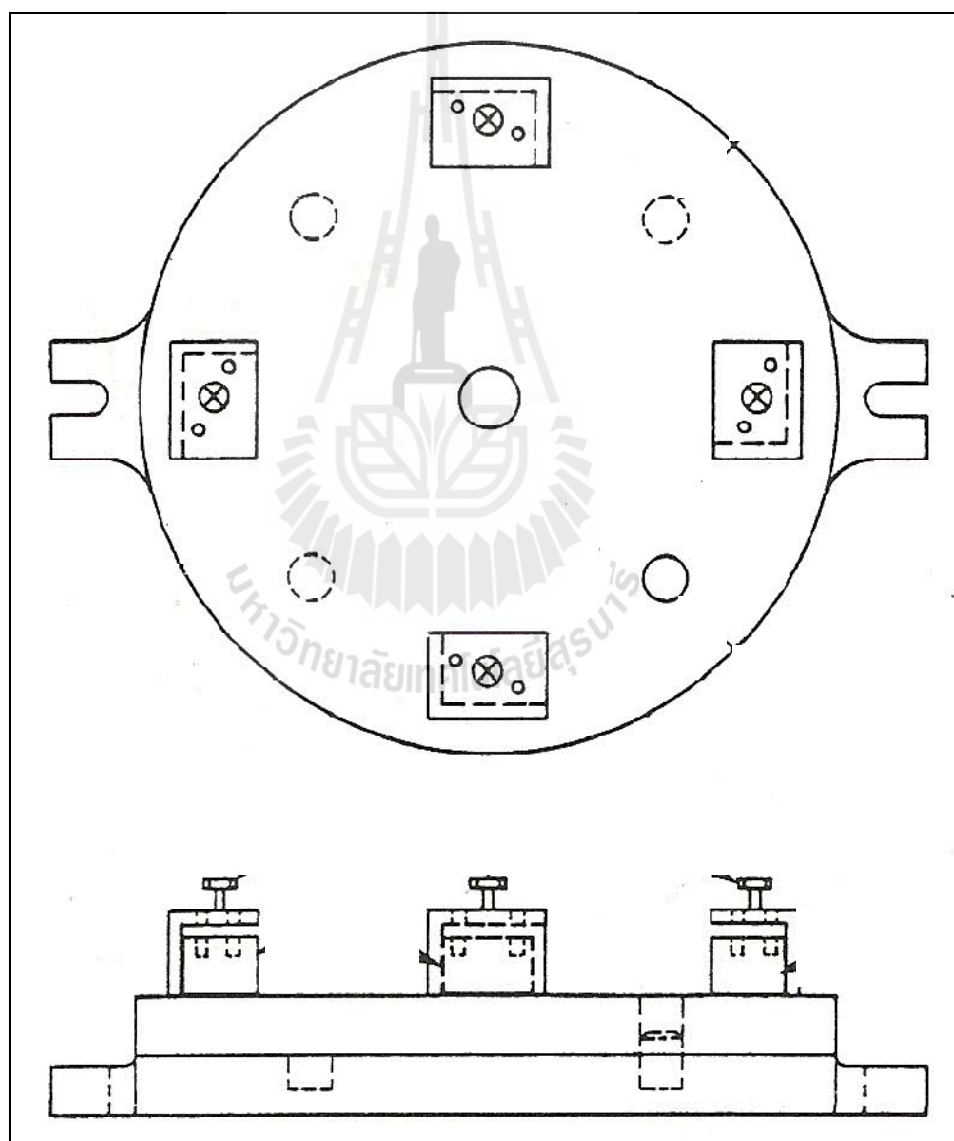
เป็นจิกที่ถูกผลิตขึ้นมาทางด้านการค้าซึ่งผู้ใช้จะต้องเอาไปดัดแปลงให้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ต้องการจะกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 สำหรับแผ่นคานงัดภายในจะทำให้จิกชนิดนี้มีความรวดเร็วในการจับยึดและคลายชิ้นงานออก ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงานได้มาก



รูปที่ 2.17 แสดงจิกแบบปั๊ม

### 11) จิ๊กแบบหลายตำแหน่ง (Multistation Jig)

เป็นจิ๊กที่ถูกทำขึ้นมาสำหรับใช้ทำงานได้หลาย ๆ อย่างจนเสร็จเรียบร้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.18 สิ่งที่สำคัญสำหรับจิ๊กนี้คือ การวางตำแหน่งของชิ้นงานขณะที่ตำแหน่งที่หนึ่งได้รับการเจาะรู ในตำแหน่งถัดไปก็จะถูกทำรูเรียบ (Ream) ส่วนอีกตำแหน่งหนึ่งก็จะทำการคว้านรูฉาก และในตำแหน่งสุดท้ายก็จะเป็นการเอาชิ้นงานออกและใส่ชิ้นงานเข้าไปใหม่ ซึ่งทำเช่นนี้หมุนเวียนสลับไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ไปตามลำดับ ปกติแล้วจิ๊กชนิดนี้จะใช้กับเครื่องจักรที่มีหลายแกน แต่สามารถใช้ได้กับเครื่องจักรที่มีแกนเดียวเช่นกัน



รูปที่ 2.18 แสดงจิ๊กแบบหลายตำแหน่ง

## 2.5 T-Distribution (Student's T Distribution)

เมื่อเริ่มแรกได้มีการใช้ Z-Distribution หรือ Standard Normal Distribution อย่างกว้างขวาง ในประเทศยุโรป จนกระทั่งมีวิศวกรชาวไอร์แลนด์คนหนึ่งทำงานในโรงงานผลิตเบียร์ ได้สังเกตเห็นว่า การที่เขาเก็บตัวอย่างมาแค่จำนวนไม่มากนัก ทำให้เขาได้ Distribution ที่ไม่ตรงกับ Standard Normal Distribution เสมอ และถ้าเขาเพิ่มหรือลดจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมา Distribution ก็จะแปรเปลี่ยนไป ดังนั้น จำนวนตัวอย่างจึงมีผลต่อ T-Distribution ด้วย นอกจากค่ากลางและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่เมื่อต้องการอธิบายถึงจำนวนตัวอย่าง เราจะเรียกว่า Degree of Freedom แทน เขาได้ทำการทดลองเขียนรายงานและตีพิมพ์ผลสรุปว่าการที่สุ่มตัวอย่างมาแค่จำนวนหนึ่ง หากใช้ Standard Normal Distribution ในการวิเคราะห์จะให้ผลไม่ถูกต้อง แต่ด้วยข้อกำหนดทางสังคมในยุคที่อังกฤษปกครองไอร์แลนด์อย่างเข้มงวด เขาจึงไม่ยอมแสดงตัวเองว่าเป็นผู้เขียนรายงานจึงได้ใช้นามแฝงว่า Student's T ต่อมาทฤษฎีนี้ได้รับการยอมรับเป็นอย่างมาก จึงได้เรียก Distribution ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างว่า Student's T Distribution หรือเรียกย่อ ๆ ว่า T-Distribution มาจนถึงบัดนี้

ขั้นตอนในการพิจารณา เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วก็จะหา T-Score ดังแสดงในสมการที่ 2.1 โดยที่จำนวนตัวอย่างต้องไม่มากกว่า 30 ( $n < 30$ )

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} \quad (2.1)$$

โดยที่  $T$  คือ ค่า T-Score

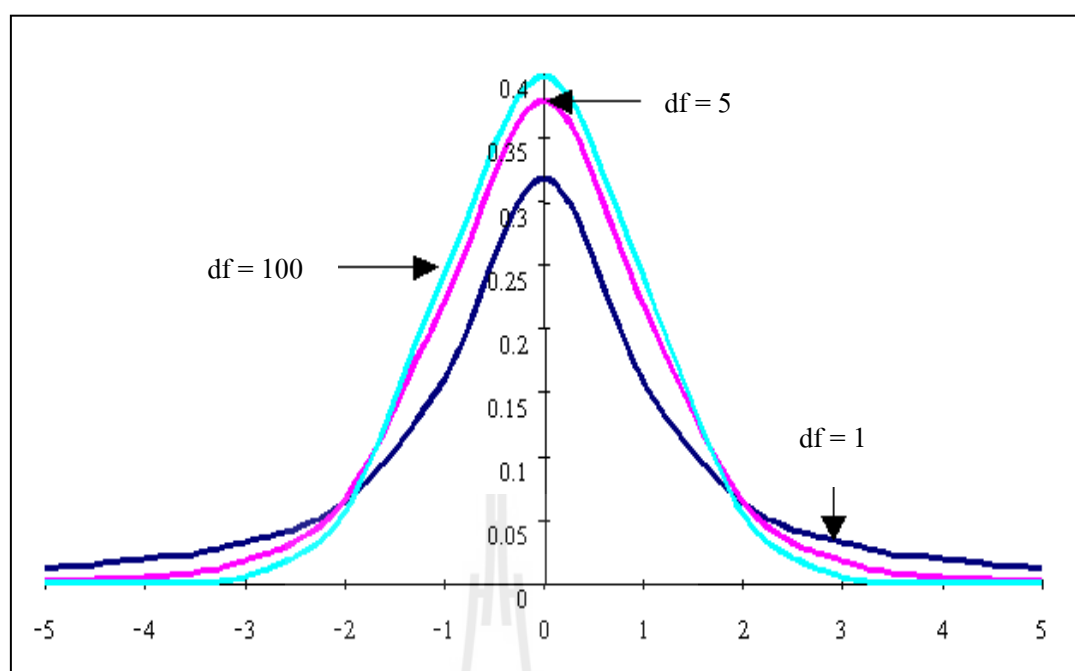
$\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

$\mu$  คือ ค่ากลางของประชากร

$s$  คือ ค่า Standard Deviation

$n$  คือ จำนวนตัวอย่าง

คุณสมบัติของ T-Distribution จะเหมือนกันกับ Standard Normal Distribution เกือบทุกประการ เพียงแต่ส่วนปลาย (Tail) ของ T-Distribution จะมีค่า Probability ที่สูงกว่า เมื่อเทียบจุดที่ห่างจากค่ากลางที่เท่ากัน แต่เมื่อ Degree of Freedom เข้าหา Infinite นั้น T-Distribution จะมีคุณสมบัติเข้าใกล้ Standard Normal Distribution เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงผลของ Degree of Freedom และข้อแตกต่างของปลายเส้นกราฟ

ดังนั้นเมื่อเราทำการศึกษาตัวอย่าง ค่าที่เราจำเป็นต้องรู้ จึงเป็นค่า  $t$  ไม่ใช่  $Z$  อีกต่อไป เช่นเดียวกับ  $Z$ -Distribution จะมีตาราง T-Table สำหรับ T-Distribution เช่นกัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ในการระบุค่า  $t$  เราจึงจำเป็นต้องระบุค่าความเชื่อมั่น ( $c$ ) และ Degree of Freedom ( $\nu$ ) ด้วยเสมอ เช่น  $t_{c,\nu}$  เนื่องจาก T-Distribution จะมีลักษณะสมมาตรรอบ ๆ ศูนย์ (0) ดังนั้น ค่า  $t_{1-c}$  จึงเท่ากับ  $-t_c$  T-Distribution "ได้ถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการ ทดสอบสมมติฐาน ความแตกต่างของค่ากลางของตัวอย่าง ด้วย เราจึงเรียก วิธีที่เรานำไปใช้ดังกล่าวตามชื่อ T-Distribution ด้วยเช่นกัน ว่า T-Test เป็นต้นว่า 1-Sample T-Test หมายถึงการทดสอบค่ากลางของตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียวกับค่าที่กำหนด หรือ 2-Sample T-Test หมายถึง การทดสอบความแตกต่างของค่ากลาง ของตัวอย่างสองกลุ่ม

## 2.6 การหาช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval Derivation)

ในกรณีที่ต้องการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรสองชุดข้อมูล สามารถใช้การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งสามารถกำหนดสมมติฐานได้ ความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย ดังแสดงในสมการที่ 2.2ก และ 2.2ข



$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (2.2ก)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad (2.2ข)$$

โดยที่  $H$  คือ ค่าที่ตั้งขึ้น

$\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

กำหนดให้ความแปรปรวนมีค่าเท่ากัน  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$  เนื่องจากค่าสังเกตในประชากรทั้งคู่อมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) และจำนวนตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างในแต่ละประชากรมีน้อยกว่า 30 ดังนั้นสถิติที่ใช้ทดสอบจึงสามารถใช้ T-Distribution ซึ่งมีค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.3)$$

โดยที่  $t_0$  คือ ตัวทดสอบสถิติ

$\bar{x}_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล ( $i=1,2$ )

$n_i$  คือ จำนวนของข้อมูล ( $i=1,2$ )

$S_p$  คือ ตัวประมาณค่าความแปรปรวนหาได้จาก  $S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$

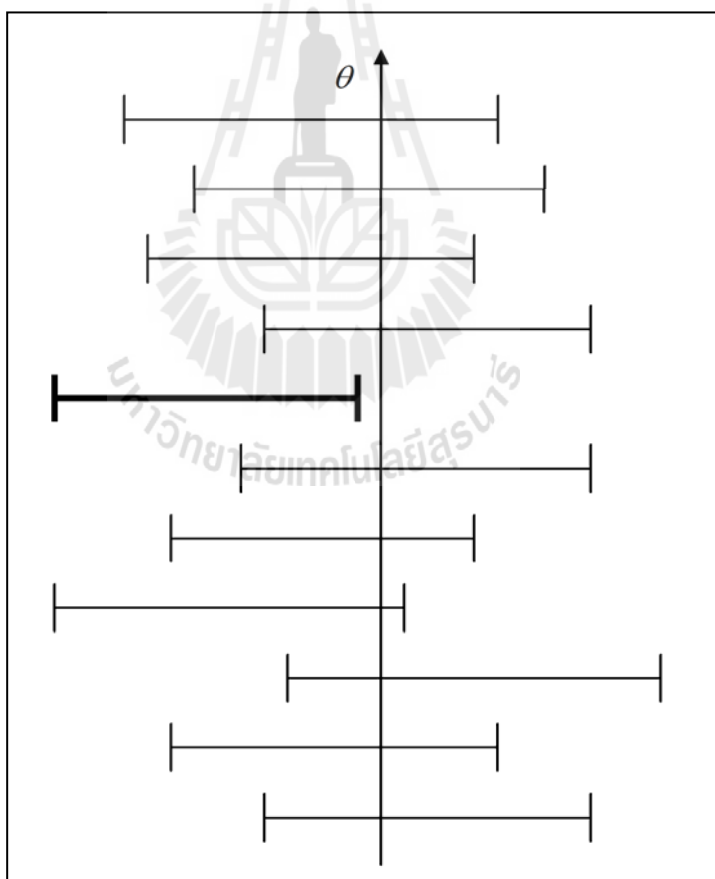
$S_i$  คือ ค่าความแปรปรวนของชุดข้อมูล ( $i=1,2$ )

เมื่อได้ค่า  $t_0$  ออกมาแล้วจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติ (Critical Value) ซึ่งค่าวิกฤติคือ  $t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$  โดยถ้า  $|t_0| > t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$  ให้ปฏิเสธสมมติฐานที่ว่า  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  และยอมรับสมมติฐานที่ว่า  $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$  ซึ่งจะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองชุดข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม การทดสอบสมมติฐานดังกล่าวข้างต้นไม่สามารถระบุได้ว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองมีมากน้อยอย่างไร ดังนั้นสามารถใช้การคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นในทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสอง ซึ่งยังสามารถระบุได้ว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองมีมากน้อยอย่างไร

โดยสมมติให้  $\theta$  เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบ (Unknown Parameter) ตัวหนึ่งเพื่อที่จะหาตัวประมาณช่วงของ  $\theta$  จำเป็นต้องหาค่าทางสถิติ 2 ค่าคือ  $L$  (Lower Limit) และ  $U$  (Upper Limit) โดยที่  $P(L \leq \theta \leq U) = 1 - c$

ช่วงของ  $L \leq \theta \leq U$  เรียกว่า  $100(1 - c)$  เปอร์เซ็นความเชื่อมั่นสำหรับพารามิเตอร์  $\theta$  สามารถอธิบายได้ว่า ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่งหลาย ๆ ครั้งจากประชากรทั้งหมด แล้วนำมาคำนวณช่วงความเชื่อมั่นสำหรับพารามิเตอร์  $\theta$  จากข้อมูลในแต่ละตัวอย่าง ถ้าช่วงความเชื่อมั่นสำหรับพารามิเตอร์  $\theta$  นั้นมีค่าของพารามิเตอร์  $\theta$  อยู่จะถือว่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.20 แสดงการสร้างช่วงความเชื่อมั่นหลาย ๆ ช่วงสำหรับพารามิเตอร์  $\theta$  จากรูป จะเห็นว่า มีหนึ่งช่วงความเชื่อมั่น (แสดงโดยเส้นทึบ) ที่ช่วงไม่ได้ครอบคลุมพารามิเตอร์  $\theta$  เช่น ถ้า 95 เปอร์เซ็นความเชื่อมั่น เส้นทึบคือ 5 เปอร์เซ็นของความเชื่อมั่นที่ช่วงไม่ได้ครอบคลุมพารามิเตอร์  $\theta$  เป็นต้น



รูปที่ 2.20 แสดงการสร้างช่วงความเชื่อมั่นหลาย ๆ ช่วงสำหรับพารามิเตอร์  $\theta$

## 2.7 โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming)

โปรแกรมเชิงเส้นตรงพัฒนามาจากผลความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ซึ่งมีแนวความคิดริเริ่มมาจากนักคณิตศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ภายหลังจากสงครามโลกครั้งที่สองมีความต้องการที่จะนำเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งโดยเริ่มจาก Fourier, J.B. (1823) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส อย่างไรก็ตามโปรแกรมเชิงเส้นเริ่มเป็นเรื่องเป็นราวโดย Dantzig, G.B., and Wood, M. (1947) ได้ใช้วิธีคณิตศาสตร์และเทคนิคที่เกี่ยวข้องมาแก้ปัญหาทางการวางแผนโครงการในกองทัพ โดยเริ่มจัดรูปองค์รวมทั้งทำให้มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นลักษณะเชิงเส้นตรง และใช้วิธีใช้วิธีทางคณิตศาสตร์แก้ปัญหาเหล่านั้น ๆ ผลงานที่ปรากฏได้รับความสำเร็จอย่างงดงาม ทำให้เกิดวิธีที่เรียกว่า ซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาทางโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่มีประสิทธิภาพมาก คำนิยามของโปรแกรมเชิงเส้นตรงจำแนกได้ดังนี้

1) ตามนักคณิตศาสตร์ คือ วิธีการแก้ปัญหาภายใต้ข้อบังคับต่าง ๆ โดยมีเป้าหมายว่าต้องการให้ได้ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน

2) ตามนักเศรษฐศาสตร์ คือ วิธีการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้สอดคล้องกับกฎของอุปสงค์และอุปทาน

3) ตามนักธุรกิจ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวิเคราะห์กิจกรรมทางด้านธุรกิจเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

ขั้นตอนของโปรแกรมเชิงเส้น

การใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหาจะทำได้ 2 ขั้นตอน คือ

1) การสร้างรูปแบบของตัวปัญหา (Formulation of Linear Programming Model) เริ่มต้นจะต้องค้นหาตัวแปรหรือกำหนดตัวแปรของปัญหาก่อน แล้วสมมติเป็นสัญลักษณ์ทางพีชคณิต เช่น  $x, y, z$  เป็นต้น เมื่อกำหนดตัวแปรแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ

- สร้างสมการเป้าหมาย (Objective Function) คือสมการที่ต้องการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) จะต้องมีเป้าหมายเดียว (Single Objective) เช่น ต้องการหาค่าไรสูงสุดหรือต้นทุนต่ำสุด

- สร้างข้อจำกัด (Building the Constraints) จะต้องค้นหาว่าปัญหานี้มีข้อจำกัดอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ ข้อจำกัดของปัญหาอาจอยู่ในรูปต่าง ๆ ได้ดังนี้

รูปสมการ (Linear Equation) เช่น  $aX_1 + bX_2 + c = Y$

รูปอสมการ (Linear Inequalities) เช่น  $aX_1 + bX_2 + c \leq Y$

โดยที่  $Y$  คือ ตัวแปรตาม

$X_j$  คือ ตัวแปรอิสระ ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ )

$a, b$  คือ สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร

$c$  คือ ค่าคงที่

- สร้างตัวแปรทุกตัวให้ค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์ (Non-Negativity Restriction)

หมายความว่า  $X_j \geq 0$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  เป็นข้อจำกัดของปัญหา คำตอบที่ได้มานั้นค่าตัวแปรจะเป็นลบไม่ได้ (อยู่ใน Quadrant ที่ 1 เท่านั้น)

## 2) โครงสร้างของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง

จากขั้นตอนของโปรแกรมเชิงเส้นตรง พบว่าจะประกอบไปด้วย สมการเป้าหมาย ข้อจำกัด และตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังนั้นโครงสร้างของปัญหามีลักษณะดังนี้ ถ้าต้องการ Maximization หรือ Minimization สมการเป้าหมาย ( $Z$ ) ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_jX_j + \dots + c_nX_n \quad (2.4)$$

ภายใต้ข้อจำกัด (Subject to Constraints) ดังแสดงสมการที่ 2.5ก 2.5ข และ 2.5ค

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq, =, \geq b_1 \quad (2.5ก)$$

$$a_{k1}X_1 + a_{k2}X_2 + \dots + a_{kn}X_n \leq, =, \geq b_k \quad (2.5ข)$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq, =, \geq b_m \quad (2.5ค)$$

และอยู่ภายใต้เงื่อนไข Non-Negativity Restrictions  $X_j \geq 0$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$

## 3) การแก้ปัญหา

ในการแก้ปัญหามีอยู่ 3 วิธี คือ วิธีกราฟ (Graphical Method) วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีกราฟ)

## 2.8 Linear Legation

สมการเชิงเส้นสองตัวแปรดังแสดงในสมการที่ 2.6 สามารถหาความคลาดเคลื่อน (Error) จาก  $e = y_i - \hat{y}_i = y_i - ax_i - bx_2 - c$  ได้ดังสมการที่ 2.7 และ Minimization สมการความคลาดเคลื่อน โดยการหาอนุพันธ์เทียบตัวแปรสัมประสิทธิ์ ดังแสดงในสมการที่ 2.8ก 2.8ข และ 2.8ค แล้วการแก้สมการทั้งสาม

$$\hat{y}_i = ax_1 + bx_2 + c \quad (2.6)$$

$$E = e^2 = (y_i - ax_i - bx_2 - c)^2 \quad (2.7)$$

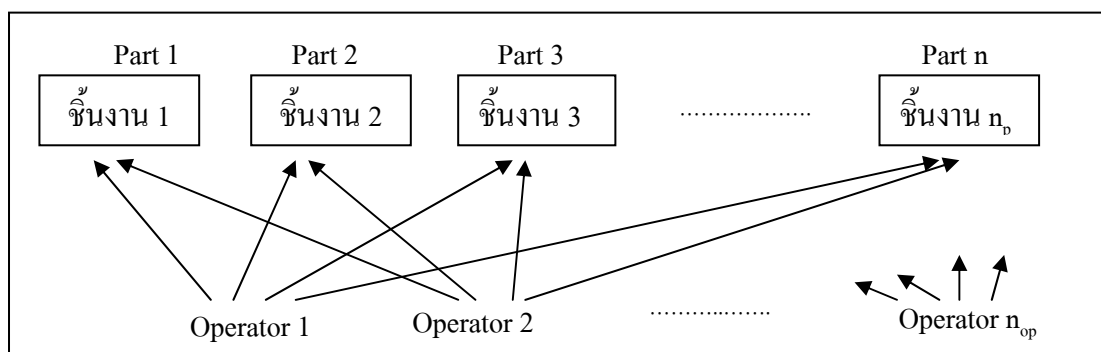
$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0 \quad (2.8ก)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad (2.8ข)$$

$$\frac{\partial E}{\partial c} = 0 \quad (2.8ค)$$

## 2.9 Gauge Repeatability and Reproducibility (GR&R)

เป็นการศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดโดยคำนึงถึงความผิดพลาดจากการวัดโดยใช้ผู้วัดหลายคน ( $n_p$ ) วัดชิ้นงานจำนวนหลายชิ้น ( $n_r$ ) และผู้วัดแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นซ้ำทั้งสิ้น ( $n_m$ ) ครั้งโดยใช้เครื่องมือวัด และวิธีวัดเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.21 และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.21 แสดงผังการวัดเพื่อศึกษา GR&R

ตารางที่ 2.1 แสดงผลจากการทดลอง GR&R

	ผู้วัดคนที่ 1	ผู้วัดคนที่ 2	ผู้วัดคนที่ 3	...	ผู้วัดคนที่ n <sub>op</sub>
ชิ้นงานที่ 1	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>		X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>
ชิ้นงานที่ 2	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>		X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>
ชิ้นงานที่ 3	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>		X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>
⋮					
ชิ้นงานที่ n <sub>p</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>	X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>		X1, X2, X3, ..., Xn <sub>m</sub>

### วิธีการศึกษา “Gauge Repeatability and Reproducibility”

- 1) เครื่องมือวัดควรมีการบำรุงรักษา (Maintenance) และปรับแต่ง (Calibration) เป็นประจำ
- 2) การติดเครื่องหมายเพื่อแสดงหมายเลขชิ้นงาน (Number the Parts) ไม่ควรให้ผู้วัดรู้ว่าชิ้นงานที่กำลังวัดคือชิ้นงานหมายเลขใด เพราะอาจเกิดความลำเอียง เนื่องจากผู้วัดต้องวัดชิ้นงานซ้ำหลายครั้ง (หมายเลขชิ้นงาน 1, 2, 3, ..., n<sub>p</sub>)
- 3) ผู้วัดแต่ละคนจะวัดชิ้นงานทั้งหมดตาม “ลำดับแบบสุ่ม” (Random Order) จนครบทุกชิ้นงานตัวอย่าง เรียกว่าครบ 1 รอบ (Cycle) (ไม่วัดเรียงตามลำดับเลข 1, 2, 3, ..., n<sub>p</sub>)

4) หลังจากวัดชิ้นงานตัวอย่างจนครบทุกชิ้นให้บันทึกค่าที่วัดได้ และเริ่มวัดตามวิธีในข้อ 3 จนครบจำนวนครั้ง หรือรอบ (Repeat the Cycle) ที่ต้องการวัดซ้ำ ( $n_m$ ) สำหรับแต่ละชิ้นงาน

#### 2.9.1 ความสามารถในการวัดซ้ำ (Gauge Repeatability)

ความสามารถในการวัดซ้ำ โดยใช้ผู้วัดคนเดียวกัน ใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน วัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง เปรียบเทียบความสามารถของการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคน โดยพิจารณาจากขนาดความผันแปร หรือค่าพิสัยดังแสดงตารางที่ 2.2 โดยพิจารณาจากค่าพิสัยเฉลี่ยรวมระหว่างผู้วัดดังแสดงในสมการที่ 2.9

ตารางที่ 2.2 แสดงผลคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของการวัดซ้ำ

	ผู้วัดคนที่ 1	ผู้วัดคนที่ 2	ผู้วัดคนที่ 3	...	ผู้วัดคนที่ $n_{op}$
ชิ้นงานที่ 1	R11	R12	R13		$R1n_{op}$
ชิ้นงานที่ 2	R21	R22	R23		$R2n_{op}$
ชิ้นงานที่ 3	R31	R32	R33		$R3n_{op}$
⋮					
ชิ้นงานที่ $n_p$	$Rn_p1$	$Rn_p2$	$Rn_p3$		$Rn_p n_{op}$
ค่าเฉลี่ย	$\bar{R}_1$	$\bar{R}_2$	$\bar{R}_3$		$\bar{R}_{op}$

$$\sigma_{Repeat} = \frac{\bar{R}}{d_{2(n_m)}} \quad (2.9)$$

$$\text{โดยที่ } \bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3 + \dots + \bar{R}_{op}}{n_{op}}$$

$d_2$  สามารถหาได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

R คือ พิสัย

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า  $d_2$

Sample, n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_2$	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

### 2.9.2 ความสามารถของการทำซ้ำ (Gauge Reproducibility)

ความสามารถของการทำซ้ำโดยใช้ผู้วัดหลายคนเพื่อวัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน ใช้วิธีวัดเดียวกัน วัดความสามารถการทำซ้ำดังแสดงตารางที่ 2.4 โดยพิจารณาความผันแปร ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผู้วัดดังแสดงในสมการที่ 2.10

ตารางที่ 2.4 แสดงผลคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของการทำซ้ำ

	ผู้วัดคนที่ 1	ผู้วัดคนที่ 2	ผู้วัดคนที่ 3	...	ผู้วัดคนที่ $n_{op}$	พิสัย
ชิ้นงานที่ 1	X11	X12	X13		X1 $n_{op}$	$R_1$
ชิ้นงานที่ 2	X21	X22	X23		X2 $n_{op}$	$R_2$
ชิ้นงานที่ 3	X31	R32	X33		X3 $n_{op}$	$R_3$
⋮						
ชิ้นงานที่ $n_p$	X $n_p$ 1	X $n_p$ 2	X $n_p$ 3		X $n_p$ $n_{op}$	$R_{n_p}$

$$\sigma_{Re prod} = \sqrt{\left[ \frac{\bar{R}_{op}}{d_{2(n_{op})}} \right]^2 \cdot \frac{\left[ \bar{R} / d_{2(n_m)} \right]^2}{n_m}} \quad (2.10)$$

โดยที่  $\bar{R}_{op} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{n_p}}{n_p}$

$\bar{R}$  คือ ค่าเฉลี่ยของพิสัยผู้วัดดังในสมการที่ 2.9

$n_{op}$  คือ จำนวนผู้วัด

$n_p$  คือ จำนวนชิ้นงาน

$d_2$  สามารถหาได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

X คือ ค่าเฉลี่ย

### 2.9.3 ความผันแปรรวมจากการวัด (Total Variation)

คือความผันแปรที่เกิดจากผู้วัดหลายคน วัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง ดังแสดงในสมการที่ 2.10 และสามารถคำนวณหาสัดส่วนความผันแปร (Variation Ratios) ได้ ดังแสดงในสมการที่ 2.11ก และ 2.11ข



$$\sigma_T^2 = \sigma_{Re\ peat}^2 + \sigma_{Re\ prod}^2 \quad (2.10)$$

โดยที่  $\sigma_{Re\ peat}^2$  คือ ค่าความผันแปรที่เกิดจากการวัดซ้ำ โดยใช้ผู้วัดคนเดียวกับวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง

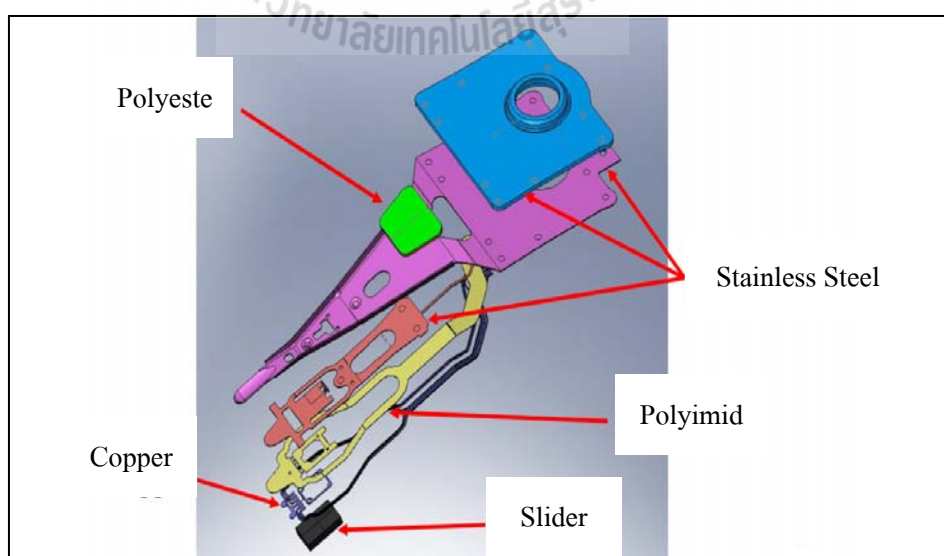
$\sigma_{Re\ prod}^2$  คือ ค่าความผันแปรที่เกิดจากการผู้วัดหลาย ๆ คน วัดชิ้นงานเดียวกัน

$$\text{สัดส่วนความผันแปรที่เกิดจากเครื่องมือวัด} = \frac{\sigma_{Re\ peat}^2}{\sigma_{Re\ peat}^2 + \sigma_{Re\ prod}^2} \quad (2.11ก)$$

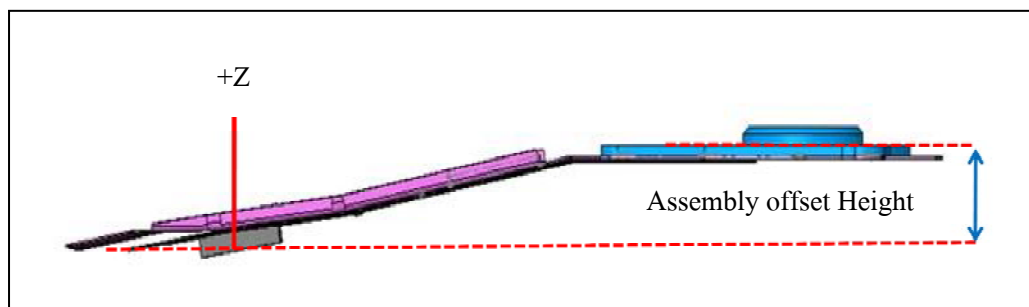
$$\text{สัดส่วนความผันแปรที่เกิดจากผู้วัด} = \frac{\sigma_{Re\ prod}^2}{\sigma_{Re\ peat}^2 + \sigma_{Re\ prod}^2} \quad (2.11ข)$$

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาครณั ทรัพยัเจริณูและ กนัศัทร ชันัประศาสนั (2551) ได้ทำการศึกษาชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลเพื่อมุลอยตั้ว (Suspension Angle) ที่เหมาะสมและความเค้นตั้วระยะเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) โดยค่ากรัมโหลดอยู่ในช่วง  $2.5 \pm 0.2$  กรัม Assembly Offset Height เท่ากับ 0.508 mm. มุลอยตั้วที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง  $10^\circ$  ถึง  $20^\circ$  ใช้โปรแกรม ANSYS Workbench V.11 ในการวิเคราะห์ตั้วระยะเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบจำลองในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2.22 แรงกระทำที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 2.23

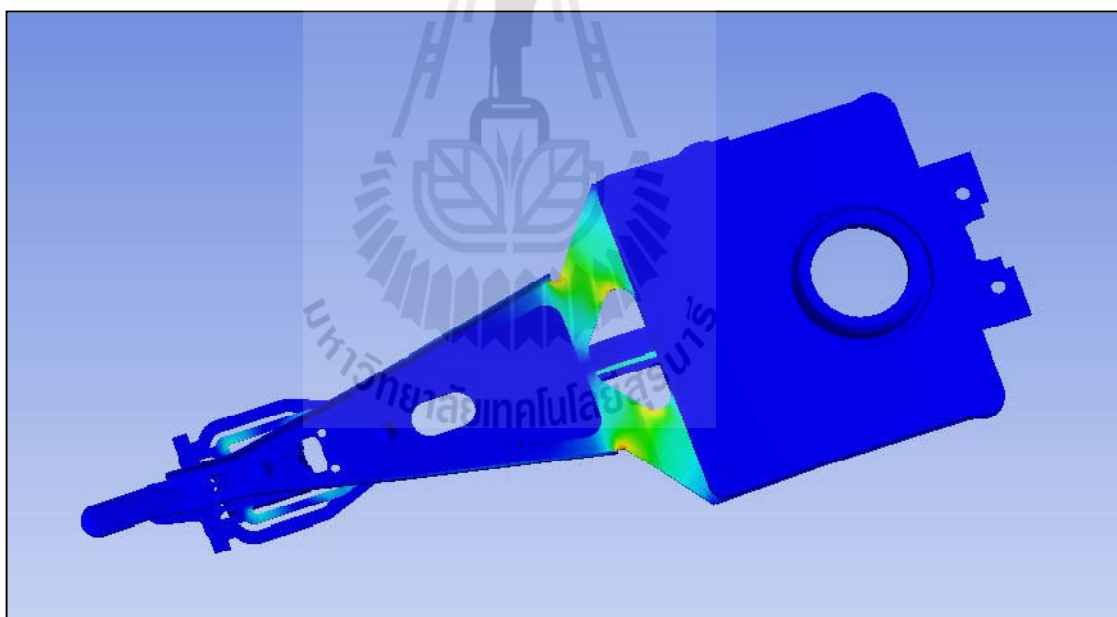


รูปที่ 2.22 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา



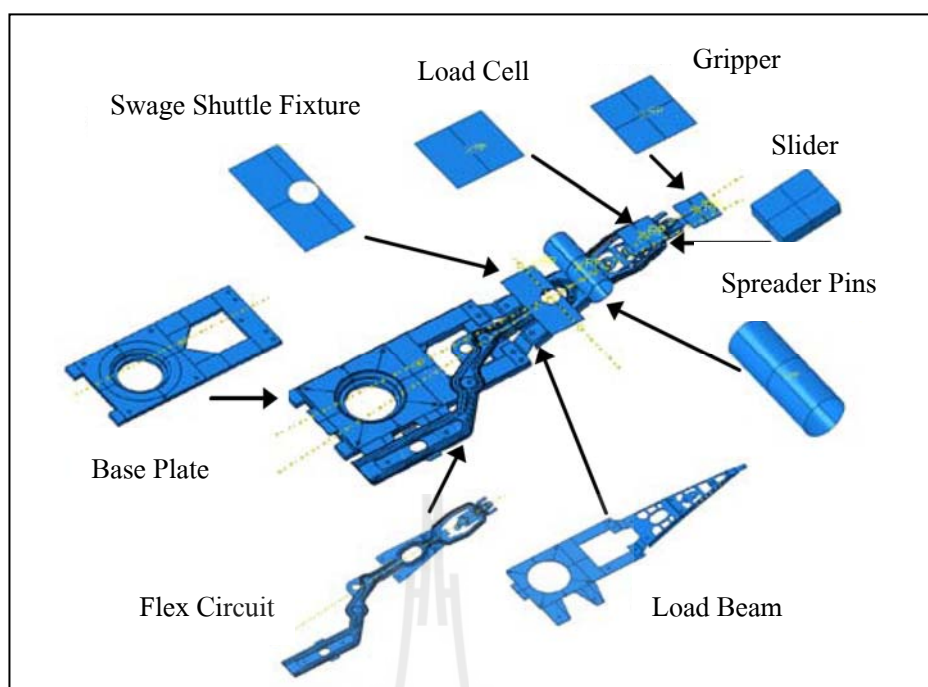
รูปที่ 2.23 แสดงแรงกระทำที่กำหนดในการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อ Suspension Angle เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากรัมโหลดเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ Suspension Angle จะอยู่ในช่วง  $10.20^{\circ}$ - $12.11^{\circ}$  และความเค้นจะเกิดที่บริเวณ Bend Zone เป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงความเค้นที่เกิดบริเวณ Bend Zone

สุรเชษฐ์ ชูติมา ทศนพ กำเนิดทอง วิสวัต อรรถจกุล และ ขจรศักดิ์ ใจดี (2553) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วน HGA หลังถูกจับยึดด้วยหวีถ่าง โดยปรับเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของหวีถ่างในลักษณะที่แตกต่างกันด้วยการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ ค่ากรัมโหลดที่กำหนดอยู่ในช่วง  $2.5 \pm 0.1$  กรัม แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2.25



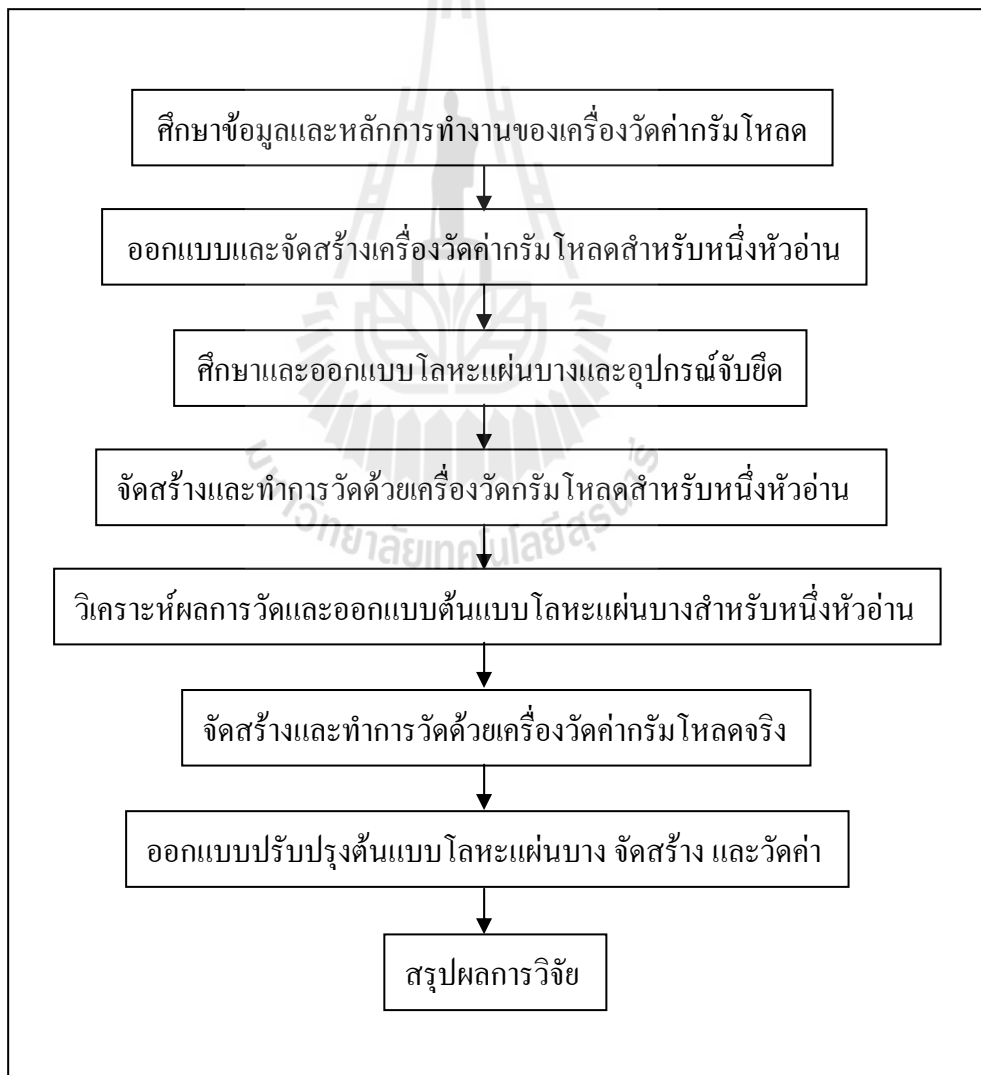
รูปที่ 2.25 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนหัวถ่างที่มี Spreader Pins ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.09 mm. กับ 1.125 mm. ที่ทุกตำแหน่งจับยึด รวมถึงที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.055 mm. ที่ตำแหน่งการจับยึด 0.00 mm. กับ 0.28 mm. ด้วย ซึ่งปกติแล้วจะใช้ชิ้นส่วนหัวถ่างที่มี Spreader Pins ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.09 mm. ที่ตำแหน่งการจับยึดระยะ 0.00 mm. ในการจับยึดจะทำให้มีค่ากรัมโหลดที่อยู่ในช่วงที่กำหนด ส่วนหัวถ่างที่มี Spreader Pins ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.16 mm. กับ 1.195 mm. จะทำให้ค่ากรัมโหลดเกินกว่าช่วงที่กำหนด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.02 mm. กับ 1.055 mm. ที่ตำแหน่งการจับยึด -0.28 mm. จะทำให้ค่ากรัมโหลดเกินต่ำกว่าช่วงที่กำหนด

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

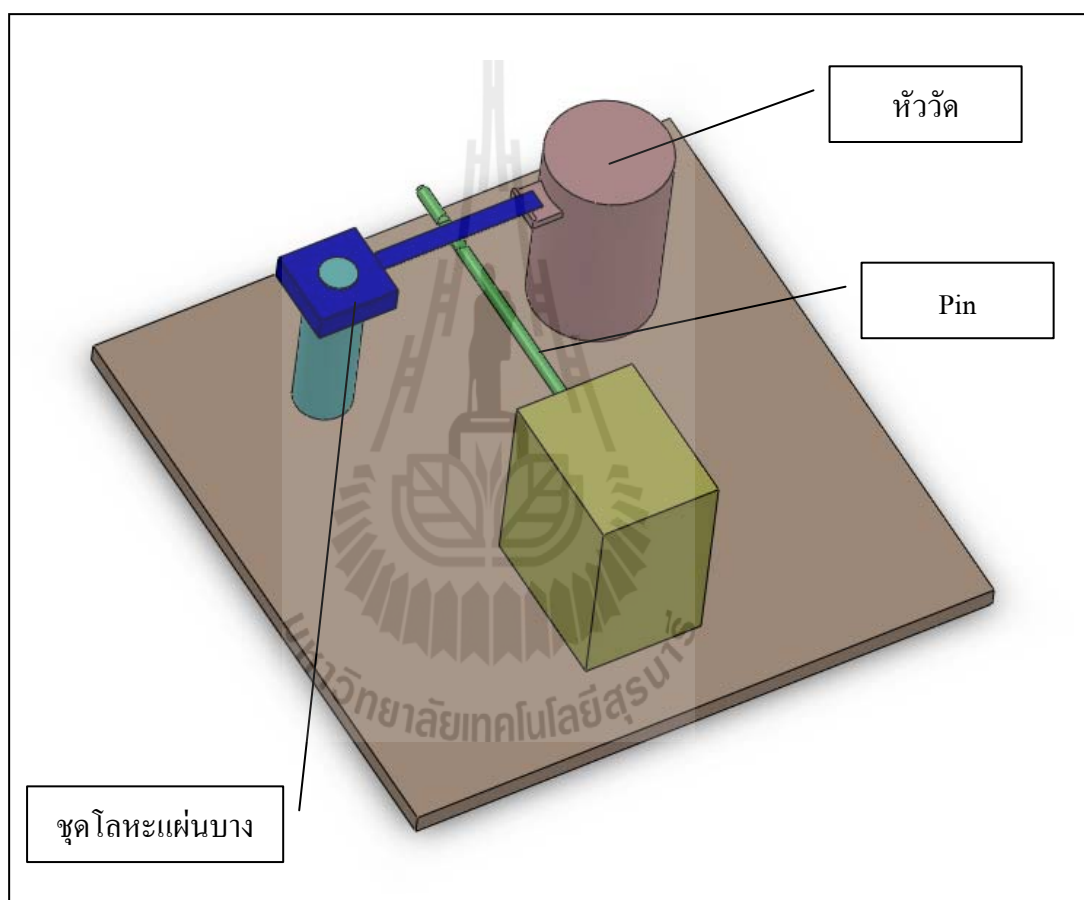
ในงานวิจัยนี้ได้วิจัยเพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างต้นแบบโลหะแผ่นบางสำหรับสอบเทียบเครื่องวัด ค่ากรัมไหลคของชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 2.5” ของบริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด ให้มีค่ากรัมไหลคอยู่ในช่วง 1.5-3.0 กรัม โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย

### 3.1 ศึกษาข้อมูลและหลักการทำงานของเครื่องวัดค่ากรัมไหล

เครื่องวัดค่ากรัมไหลมีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยที่ลำดับแรกให้วางชุดโลหะแผ่นบางลงบนแท่นวาง หลังจากนั้น Pin จะเคลื่อนที่เข้ามายกแผ่นบางขึ้น หัววัดจะหมุนมารองรับแผ่นบาง และ Pin จะเคลื่อนที่อีกครั้งจนถึงตำแหน่งที่ทำปาดต่างระดับไว้ ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นบางนั้นตกกระทบลงบนหัววัด และเครื่องวัดค่ากรัมไหลจะทำการประมวลผลค่ากรัมไหลออกมา



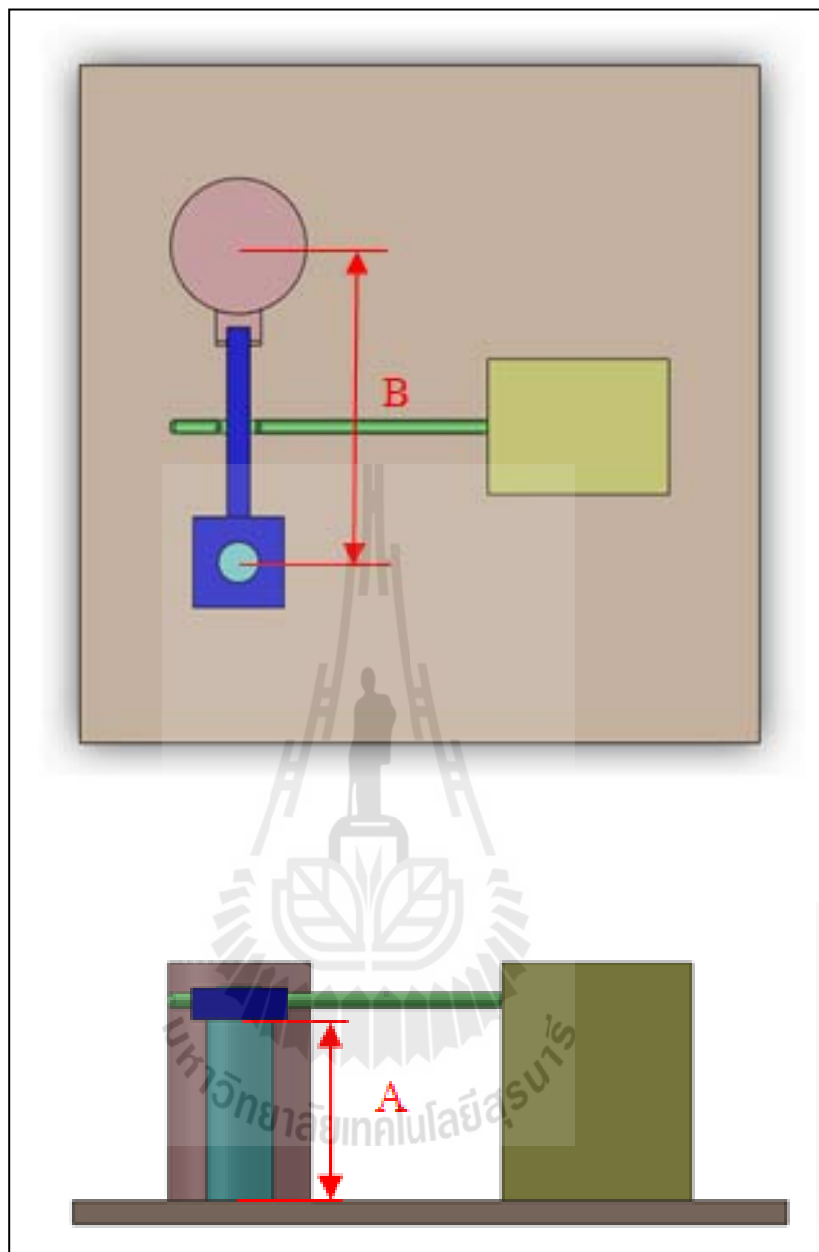
รูปที่ 3.2 แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดค่ากรัมไหล

### 3.2 ออกแบบเครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน

ในการออกแบบเครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่านจะมีระยะที่สำคัญในการออกแบบจำนวน 2 ค่า คือ ระยะ A และ B ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยที่

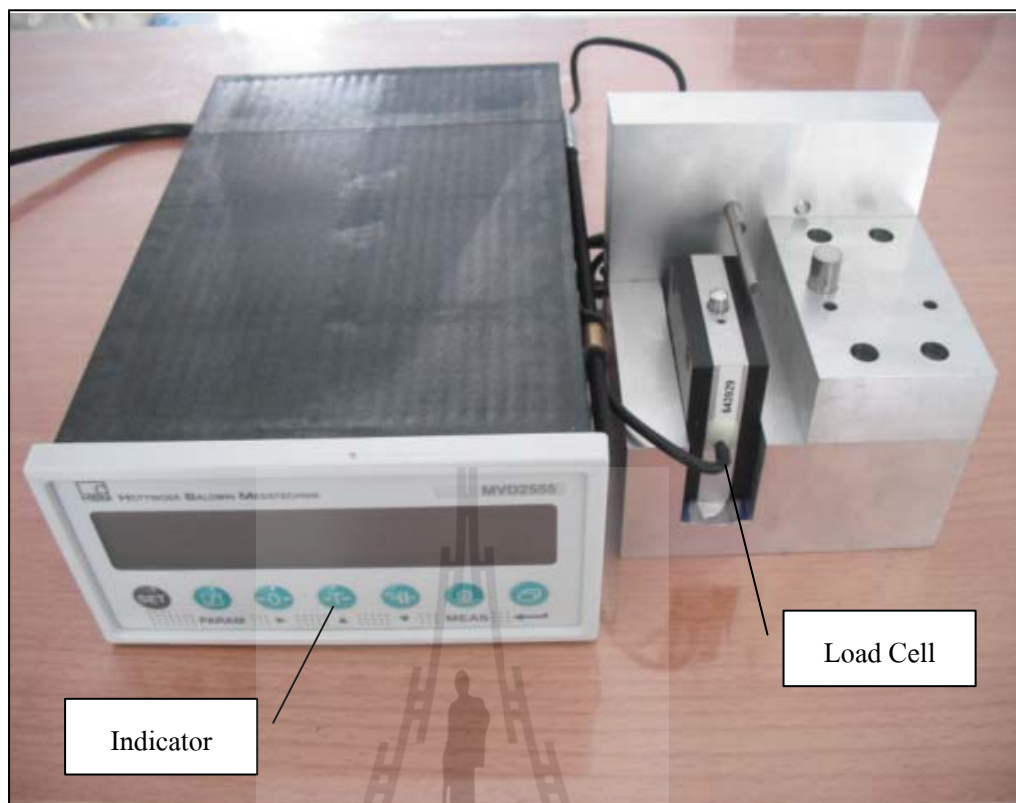
A คือ ความสูงของแท่นวาง

B คือ ระยะห่างระหว่างแท่นวางและหัววัด



รูปที่ 3.3 แสดงระยะสำคัญของเครื่องวัดค่ากรัมไหลด

เครื่องวัดค่ากรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่านที่ได้ออกแบบมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งในส่วนของอุปกรณ์วัดค่าและประมวลผลของเครื่องวัดค่ากรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่านคือ Load Cell ที่สามารถวัดค่าสูงสุดที่ 50 กรัม ความถูกต้องแม่นยำที่ 0.1% และ Indicator รุ่น HBM Model MVD2555 ซึ่งสามารถตัดสัญญาณรบกวนได้ดีในขณะวัด ส่วนรายละเอียดของแบบดังแสดงในภาคผนวก ก. แบบเครื่องวัดค่ากรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่านและชุดโลหะแผ่นบาง โดยวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดค่ากรัมไหลดคือ Aluminium Alloy



รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดค่ากรัม โหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน

### 3.3 ชุดโลหะแผ่นบาง

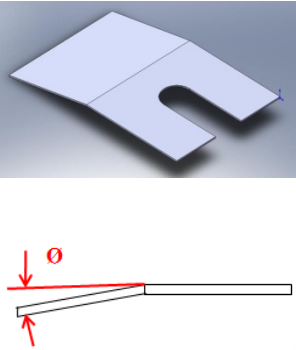
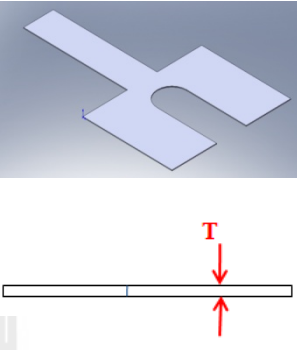
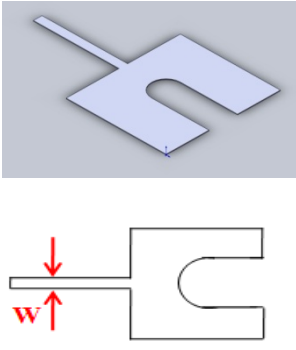
#### 3.3.1 โลหะแผ่นบาง

ในการออกแบบโลหะแผ่นบางเลือกใช้ Stainless Steel มีค่าสมบัติเชิงกลดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยได้ออกแบบไว้ 3 รูปแบบดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสมบัติทางกลของ Stainless Steel

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
Young's modulus	$1.93 \times 10^5$	MPa
Poisson's ratio	0.31	-
Density	$7.75 \times 10^{-6}$	$\text{Kg/m}^3$

ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบต่าง ๆ ของโลหะแผ่นบาง

แบบ	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
รูปร่าง			
การศึกษา	การเปลี่ยนแปลงของมุม $\theta$ ตั้งแต่ 6-12 องศา เพิ่มขึ้นครั้งละหนึ่งองศา	การเปลี่ยนแปลงของความหนา ตั้งแต่ 200, 250 และ 300 $\mu\text{m}$ .	การเปลี่ยนแปลงของความกว้าง ตั้งแต่ 3-10 mm.
ลักษณะอื่น ๆ	ความหนา 250 $\mu\text{m}$ . ความกว้าง 50 mm. ความยาว 32 mm.	ความกว้าง 10 mm. ความยาว 32 mm.	ความหนา 250 $\mu\text{m}$ . ความยาว 32 mm.
การทดลอง	องศาละ 2 ตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ครั้ง	ความหนาละ 10 ตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ครั้ง	ความกว้างละ 10 ตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ครั้ง

### 3.3.2 ต้นแบบโลหะแผ่นบาง

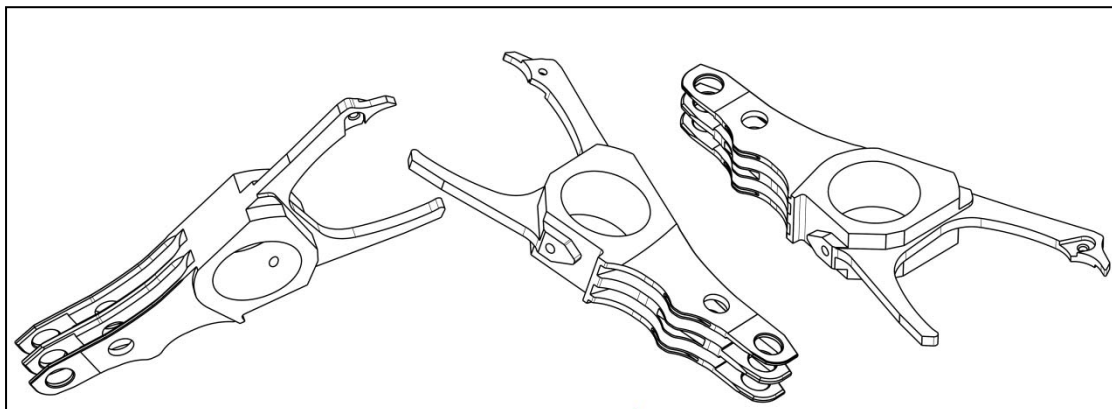
เนื่องจากต้องการค่ากรัมโหลดที่อยู่ในช่วง 1.5-3.0 กรัม และมีเงื่อนไขในการออกแบบอีกคือ ความหนาต้องไม่เกิน 400  $\mu\text{m}$ . ความกว้างไม่เกิน  $1.833 \pm 0.05$  mm. และความยาวไม่เกิน 33 mm. ดังนั้นได้เลือกความหนาที่ 300  $\mu\text{m}$ . ความกว้าง 1.83 mm. และความยาว 32 mm. ซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และจะได้ค่ากรัมโหลดจากการคำนวณเป็น 2.17 กรัม ซึ่งใช้ Stainless Steel ในการสร้างต้นแบบ

การทดลองใช้หลักการของ GR&R โดยใช้พนักงาน 3 คน วัดคนละ 10 ชิ้น ชิ้นละ 5 ครั้ง ซึ่งเป็นการสุ่มหยิบชิ้นงาน โดยที่พนักงานจะไม่วัดซ้ำเป็นชิ้นงานที่เท่าไร

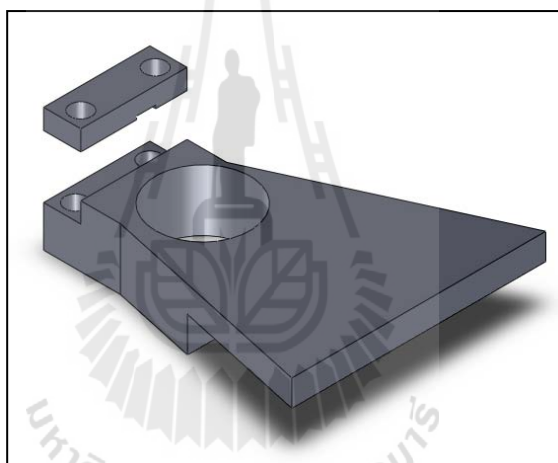
### 3.3.3 อุปกรณ์จับยึดแผ่นบาง

เนื่องจากต้นแบบโลหะแผ่นบางเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าธรรมดา ดังนั้นจะต้องมีอุปกรณ์มาจับยึดเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยจะมีข้อจำกัดว่าจะต้องมีรูปร่างใกล้เคียงกับแขนของชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่แสดงในรูปที่ 3.5 และได้ออกแบบมาดังแสดงในรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.5 แสดงแกนของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล



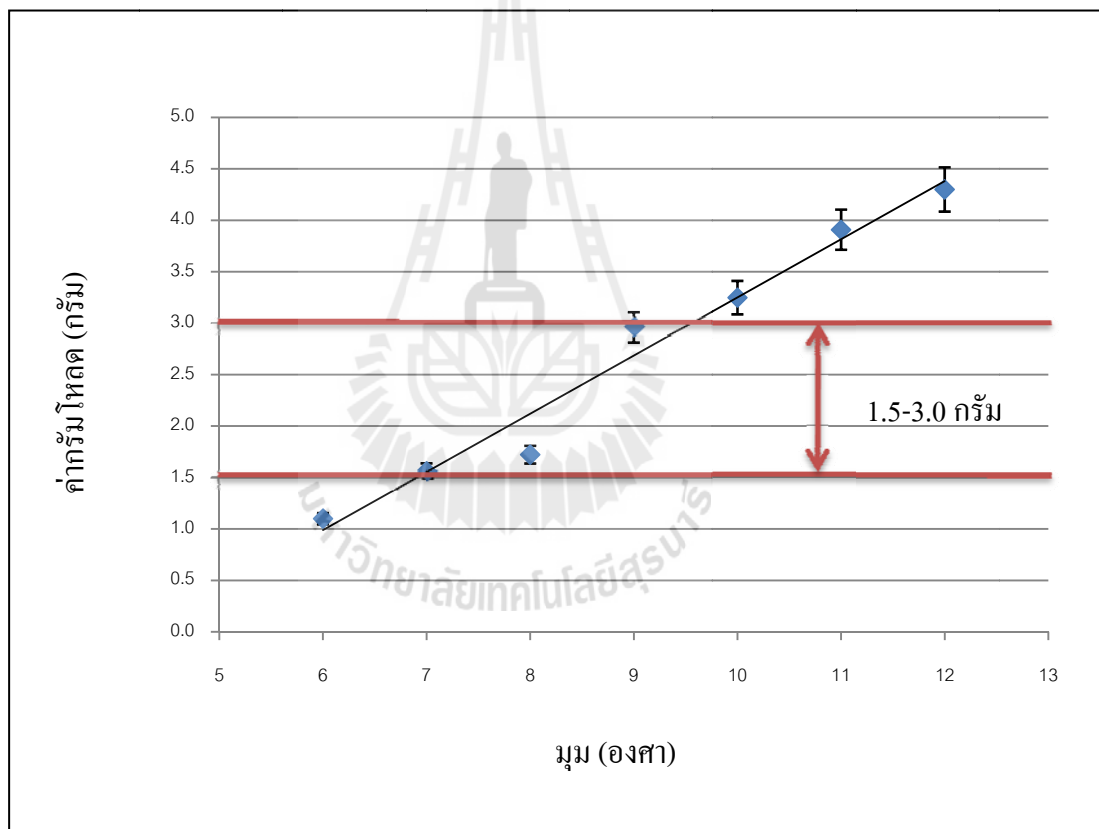
รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์จับยึดแผ่นบาง

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 1 (เปลี่ยนแปลงมุมตัด)

จากการวัดโลหะแผ่นบางแบบที่ 1 ด้วยเครื่องวัดกรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน มุมละ 2 ตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ครั้ง จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของมุมและค่ากรัมไหลต

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อแผ่นบางมีการทำมุมเพิ่มมากขึ้นค่ากรัมไหลตก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งตรงกับงานวิจัยที่มีการศึกษามาโดย ภาครณ ทรัพย์เจริญ และ กนต์ธร ชานีประศาสน์ (2551) และสามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างมุมและค่ากรัมไหลต ดังแสดงในสมการที่ 4.1 ซึ่งเส้นสีแดงคือช่วงของค่ากรัมไหลตที่ต้องการคือ 1.5-3.0 กรัม

$$y = 0.5652x - 2.402 \quad (4.1)$$

โดยที่  $x$  คือ มุมของโลหะแผ่นบาง (องศา)

$y$  คือ ค่ากรัมไหลด (กรัม)

จากสมการพบว่ามุมที่ทำให้เกิดค่ากรัมไหลดในช่วง 1.5-3.0 กรัม คือ 6.91-9.56 องศา จากข้อมูลในการวัดจะนำมาหา % ความน่าเชื่อมั่นที่ 90% 95% และ 99% โดยสามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ 4.2ก และ 4.2ข ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

$$Y_L = \bar{Y} - t_{c,v}SD \quad (4.2ก)$$

$$Y_U = \bar{Y} + t_{c,v}SD \quad (4.2ข)$$

โดยที่  $\bar{Y}$  คือ ค่ากรัมไหลดเฉลี่ย

$Y_L$  คือ กรัมไหลดในช่วงที่ต่ำที่สุด

$Y_U$  คือ ค่ากรัมไหลดในช่วงที่สูงที่สุด

$SD$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$t_{c,v}$  คือ ค่าที่ได้จากตาราง T-Distribution

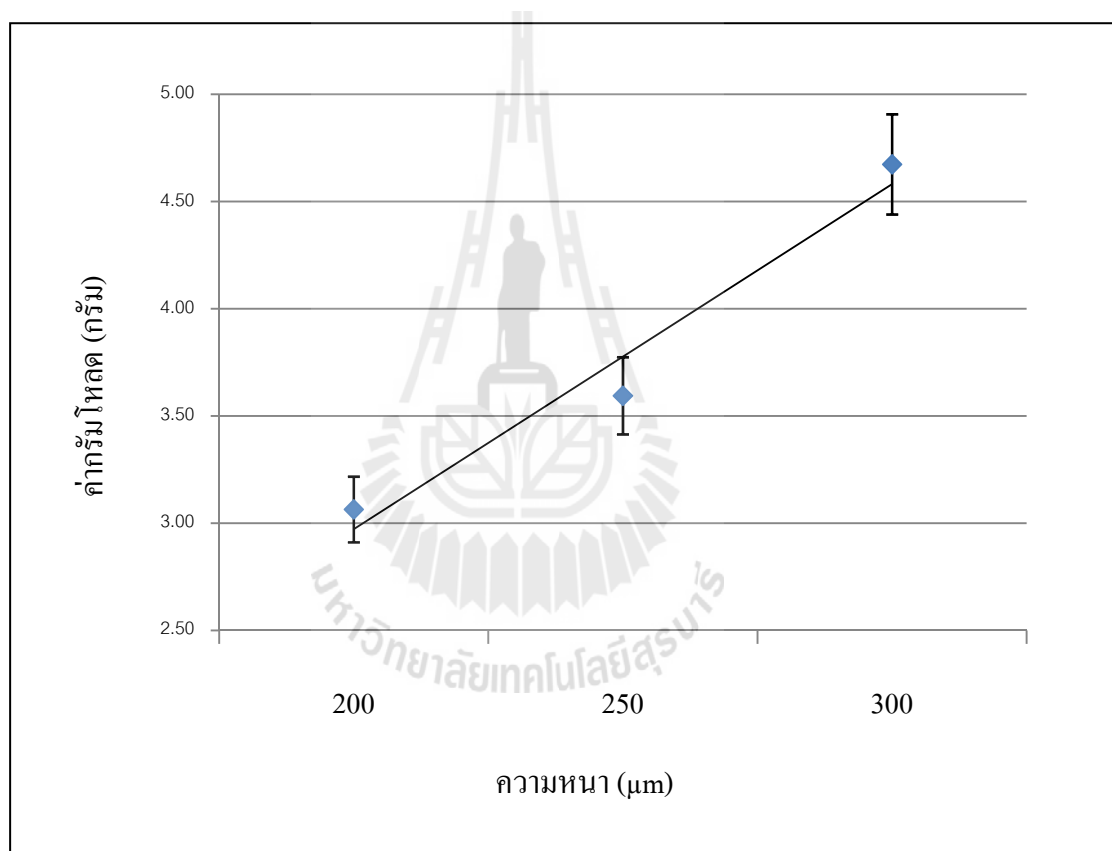
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณ % ความน่าเชื่อมั่นที่ระดับต่าง ๆ

% ความน่า เชื่อมั่น ( $c$ )	$t_{c,v}$ ( $v=9$ )	$\bar{Y}$ ของช่วงที่ ต่ำสุด ( $SD=0.138$ )	$\bar{Y}$ ของช่วงที่ ต่ำสุด ( $SD=0.138$ )	มุมที่ทำให้ค่า กรัมไหลด ในช่วงที่ต่ำ ที่สุด	มุมที่ทำให้ค่า กรัมไหลด ในช่วงที่สูง ที่สุด
90%	1.833	1.753	2.747	7.34	9.12
95%	2.262	1.812	2.688	7.43	9.03
99%	2.821	1.889	2.611	7.62	8.84

SD ที่ใช้ในการคำนวณ  $\bar{Y}$  เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยดังแสดงในภาคผนวก ข ส่วนมุมที่ทำให้ค่ากรัมไหลดในช่วงที่ต่ำที่สุดได้มาจากการนำ  $\bar{Y}$  ที่ได้แทนที่  $y$  ในสมการที่ 4.1 จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าที่ % ความน่าเชื่อถือที่มากขึ้นช่วงของค่ากรัมไหลดก็จะแคบลงด้วย

#### 4.2 ผลการทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 2 (เปลี่ยนแปลงความหนา)

จากการวัดโลหะแผ่นบางแบบที่ 2 ด้วยเครื่องวัดกรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน ความหนาละ 10 ตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ครั้ง จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความหนาและค่ากรัมไหลด

จากรูปที่ 4.2 จะพบว่าเมื่อความหนาของโลหะแผ่นบางมากขึ้นค่ากรัมไหลดก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และสามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความหนาและค่ากรัมไหลด ดังแสดงในสมการที่ 4.3

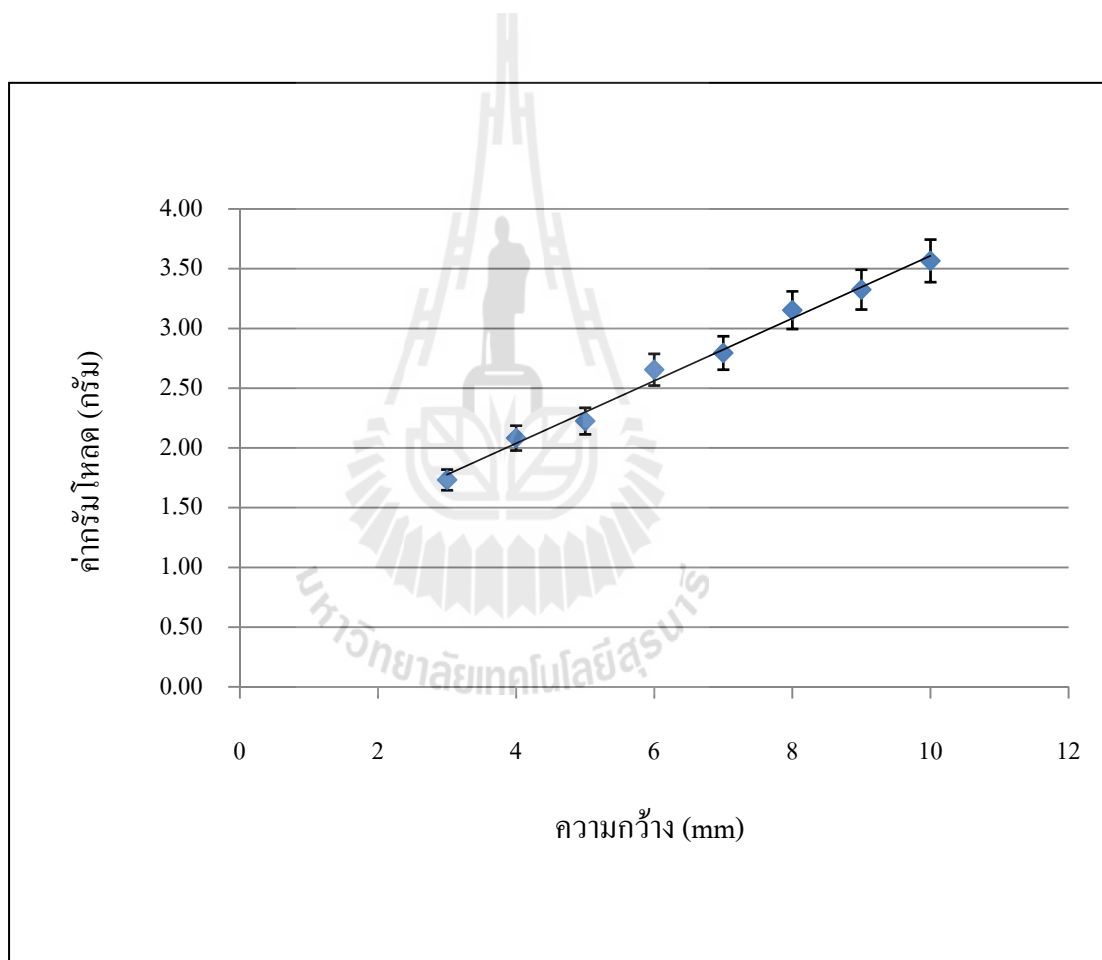
$$y = 0.8045x + 2.168 \quad (4.3)$$

โดยที่  $x$  คือ ความหนาของโลหะแผ่นบาง ( $\mu\text{m}$ )

$y$  คือ ค่ากรัมไหลด (กรัม)

### 4.3 ผลการทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 3 (เปลี่ยนแปลงความกว้าง)

จากการวัดโลหะแผ่นบางแบบที่ 3 ด้วยเครื่องวัดกรัมไหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน ความกว้างละ 10 ตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ครั้ง จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความกว้างและค่ากรัมไหลด

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อความกว้างของโลหะแผ่นบางมากขึ้นค่ากรัมไหลดก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และสามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความกว้างและค่ากรัมไหลด ดังแสดงในสมการที่ 4.4

$$y = 0.2615x + 0.9922 \quad (4.4)$$

โดยที่  $x$  คือ ความกว้างของโลหะแผ่นบาง (mm)

$y$  คือ ค่ากรัมโหลด (กรัม)

#### 4.4 วิเคราะห์การออกแบบต้นแบบโลหะแผ่นบางสำหรับหนึ่งหัวอ่าน

จากผลการทดลองที่ 4.2 และ 4.3 สามารถหาความสัมพันธ์ของโลหะแผ่นบางแบบที่ 2 และ 3 โดยจะไม่พิจารณาความสัมพันธ์แบบที่ 1 เนื่องจากการทำมุมนั้นจะทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนและยากต่อการเก็บรักษา ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 4.5 มีค่า R-sq = 98% และค่า P ดังแสดงในตารางที่ 4.2

$$\text{Gramload} = 0.016x_1 + 0.285x_2 - 3.149 \quad (4.5)$$

โดยที่  $x_1$  คือ ความหนา ( $\mu\text{m}$ )

$x_2$  คือ ความกว้าง (mm)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า P ของสมการที่ 4.5

	a (สัมประสิทธิ์หน้า $x_1$ )	b (สัมประสิทธิ์หน้า $x_2$ )	c ค่าคงที่
Value	0.016	0.285	-3.149
P-Value	0.001	0.015	0.439

จากสมการที่ 4.5 นำมาหาช่วงต่ำสุดและสูงสุด กำหนดให้ค่ากรัมโหลดอยู่ในช่วง 1.5-3.0 กรัม โดยใช้ที่ 99% ความเชื่อมั่นและใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยระหว่างความหนาและความกว้างคือ 0.077 ได้ช่วงต่ำสุดและสูงสุดดังแสดงในสมการที่ 4.6ก และ 4.6ข และได้กำหนดช่วงของความหนาที่สอดคล้องกับข้อกำหนดในการออกแบบต้นแบบโลหะแผ่นบาง คือ 200-300  $\mu\text{m}$  โดยจะทำให้เกิดเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งตำแหน่งใด ๆ ในพื้นที่สี่เหลี่ยมนี้จะมีค่ากรัมโหลดอยู่ในช่วง 1.5-3.0 กรัม ที่ 99% ความเชื่อมั่น

$$1.5 + t_{c,v}SD < 0.016x_1 + 0.285x_2 - 3.149 \quad (4.6ก)$$

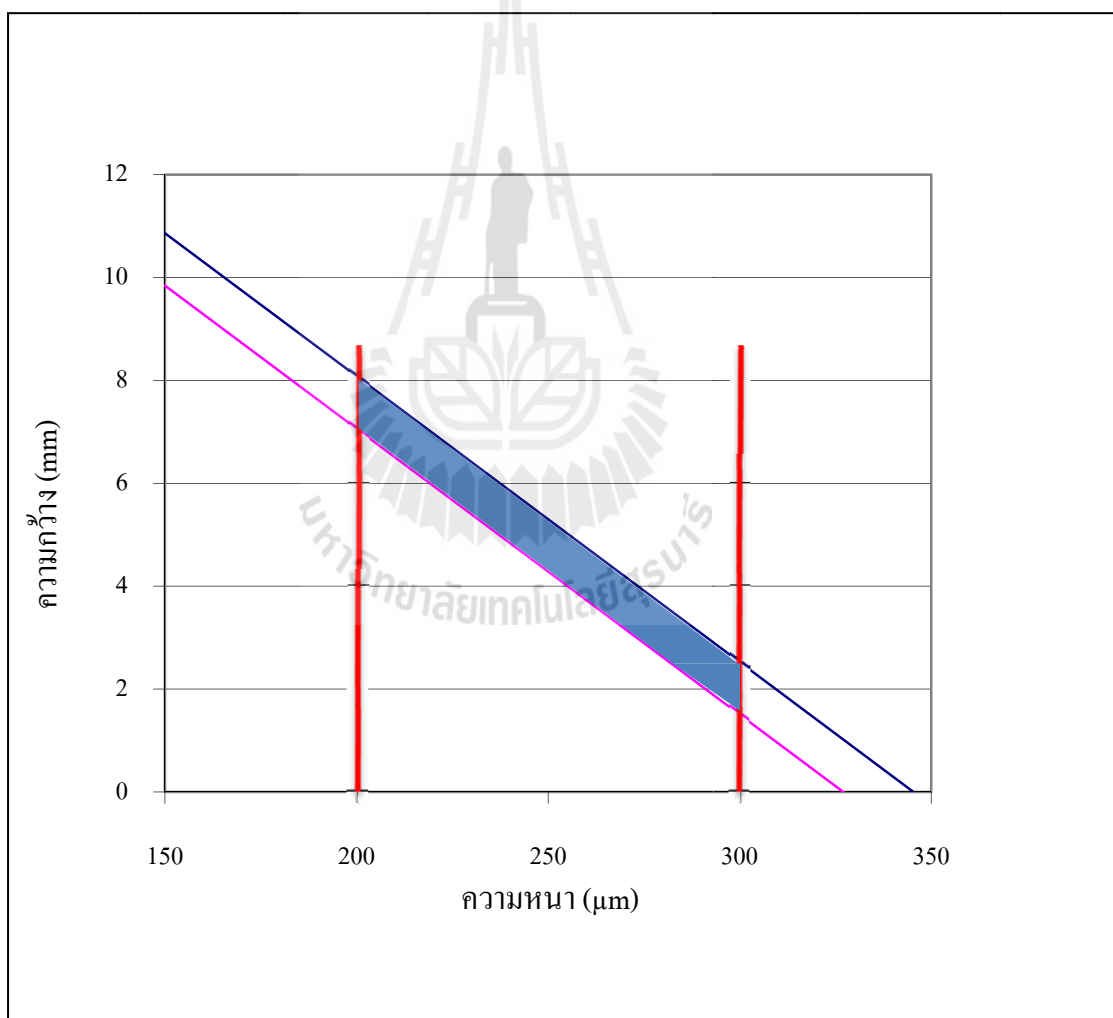
$$3.0 - t_{c,v}SD > 0.016x_1 + 0.285x_2 - 3.149 \quad (4.6ข)$$

โดยที่  $SD$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$t_{c,v}$  คือ ค่าที่ได้จากตาราง T-Distribution (ดูได้จากตาราง t ในภาคผนวก ข)

$x_1$  คือ ความหนา ( $\mu\text{m}$ )

$x_2$  คือ ความกว้าง (mm)

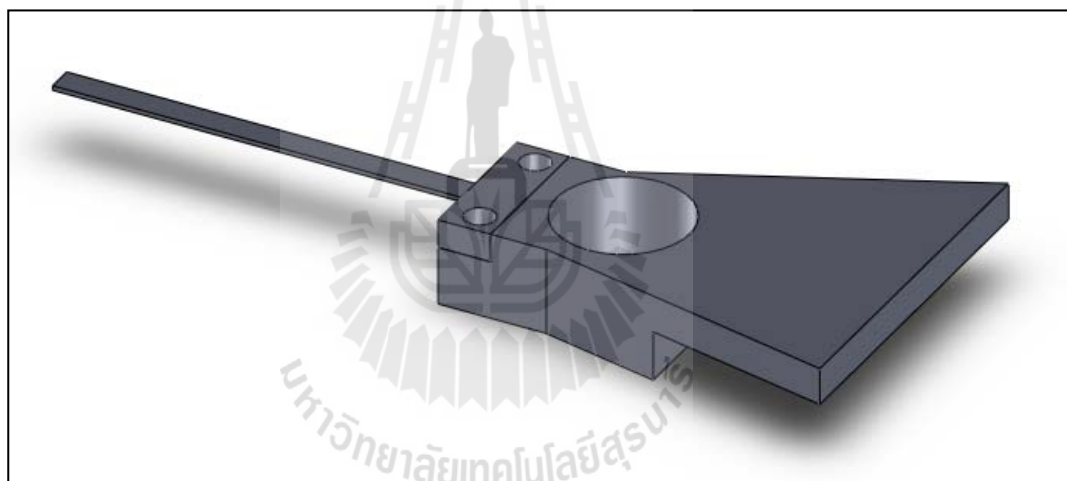


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความกว้าง

ในการออกแบบต้นแบบโลหะแผ่นบางตามข้อกำหนดต่าง ๆ คือ ค่ากรัมโหลดที่อยู่ในช่วง 1.5-3.0 กรัม และมีเงื่อนไขในการออกแบบอีกคือ ความหนาต้องไม่เกิน 400  $\mu\text{m}$ . ความกว้างไม่เกิน  $1.833 \pm 0.05 \text{ mm}$ . และความยาวไม่เกิน 33 mm. ดังนั้นได้เลือกความหนาที่ 300  $\mu\text{m}$ . ความกว้าง 1.83 mm. และความยาว 32 mm. ซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และจะได้ค่ากรัมโหลดจากการคำนวณเป็น 2.17 กรัม

#### 4.5 ผลการทดลองชุดต้นแบบโลหะแผ่นบาง

จากผลการทดสอบวัดชุดต้นแบบโลหะแผ่นบางซึ่งผลิตจาก Stainless Steel ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ด้วยเครื่องวัดค่ากรัมโหลด ณ บริษัท อิตาซี โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด ด้วยวิธี GR&R ซึ่งใช้พนักงานจำนวน 3 คน จำนวนชิ้นงาน 10 ตัวอย่าง วัดซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของชุดต้นแบบโลหะแผ่นบาง



ตารางที่ 4.3 แสดงผลจากทดลองวัดต้นแบบ (หน่วย : กรัม)

ชิ้นงานที่	พนักงานคนที่ 1					พนักงานคนที่ 2					พนักงานคนที่ 3				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	2.34	2.34	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.34
2	2.33	2.33	2.34	2.33	2.34	2.34	2.34	2.33	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.33	2.33
3	2.34	2.35	2.35	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.35	2.35	2.34	2.34	2.35	2.34
4	2.35	2.34	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.34	2.35
5	2.32	2.32	2.33	2.32	2.32	2.32	2.33	2.32	2.32	2.32	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
6	2.35	2.34	2.34	2.35	2.34	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.35	2.34	2.34	2.34
7	2.33	2.34	2.33	2.33	2.33	2.33	2.34	2.34	2.34	2.34	2.33	2.33	2.34	2.34	2.34
8	2.35	2.35	2.34	2.35	2.34	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
9	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.35	2.34	2.34	2.34	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34
10	2.34	2.35	2.33	2.33	2.33	2.34	2.34	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34	2.35	2.34	2.33

#### 4.5.1 ความสามารถของการวัดซ้ำ (Gauge Repeatability)

จากข้อมูลจากตารางที่ 4.3 นำมาพิจารณาขนาดความแปรผันหรือค่าพิสัยได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการหาพิสัยการวัดของแต่ละคน

	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
ชิ้นงานที่ 1	0.01	0	0.01
ชิ้นงานที่ 2	0.01	0.01	0.01
ชิ้นงานที่ 3	0.01	0.01	0.01
ชิ้นงานที่ 4	0.01	0	0.01
ชิ้นงานที่ 5	0	0.01	0
ชิ้นงานที่ 6	0.01	0.01	0.01
ชิ้นงานที่ 7	0.01	0.01	0.01
ชิ้นงานที่ 8	0.01	0	0
ชิ้นงานที่ 9	0	0.01	0.01
ชิ้นงานที่ 10	0.02	0.01	0.02
ค่าเฉลี่ย	0.009	0.007	0.009

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 สามารถนำมาคำนวณหาความสามารถในการวัดซ้ำดังแสดงในสมการที่ 2.1 ได้ว่า

$$\bar{R} = \frac{0.009 + 0.007 + 0.009}{3} = 0.0083$$

$$d_2 = 2.326$$

ดังนั้นจะได้

$$\sigma_{Repeat} = \frac{0.0083}{2.326} = 0.0036$$

#### 4.5.2 ความสามารถในการทำซ้ำ (Gauge Reproducibility)

จากข้อมูลจากตารางที่ 4.3 นำมาพิจารณาผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างของผู้วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยของการทำซ้ำ

	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3	พิสัย
ชิ้นงานที่ 1	2.334	2.332	2.33	0.002
ชิ้นงานที่ 2	2.334	2.336	2.338	0.004
ชิ้นงานที่ 3	2.346	2.346	2.344	0.002
ชิ้นงานที่ 4	2.348	2.348	2.35	0.002
ชิ้นงานที่ 5	2.322	2.322	2.324	0.002
ชิ้นงานที่ 6	2.344	2.344	2.344	0
ชิ้นงานที่ 7	2.332	2.332	2.332	0
ชิ้นงานที่ 8	2.346	2.346	2.346	0
ชิ้นงานที่ 9	2.34	2.34	2.342	0.002
ชิ้นงานที่ 10	2.336	2.336	2.334	0.002

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 สามารถนำมาคำนวณหาความสามารถในการทำซ้ำดังแสดงในสมการที่ 2.2 ได้ว่า

$$\bar{R}_{op} = \frac{0.002 + 0.004 + 0.002 + 0.002 + 0.002 + 0 + 0 + 0 + 0.002 + 0.002}{10} = 0.0016$$

$$\bar{R} = 0.0083$$

$$n_m = 5$$

$$d_{2(n_{op})} = 1.693$$

$$d_{2(n_m)} = 2.326$$

$$\sigma_{Reprod} = \sqrt{\left[\frac{0.0016}{1.693}\right]^2 \cdot \frac{[0.0083 / 2.326]^2}{5}} = 0.0000015$$

ความผันแปรจากการวัดหาได้ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$\sigma_T^2 = 0.0036^2 + 0.000001^2 = 0.000013$$

สัดส่วนความผันแปรที่เกิดจากเครื่องมือวัดได้ดังแสดงในสมการที่ 2.4ก

$$= \frac{0.0036^2}{0.0036^2 + 0.000001^2} = 1$$

สัดส่วนความผันแปรที่เกิดจากผู้วัดได้ดังแสดงในสมการที่ 2.4ข

$$= \frac{0.000001^2}{0.0036^2 + 0.000001^2} = 0$$

การประเมินผลพบว่า 100% ของความผันแปรเกิดจากเครื่องมือวัด จะไม่พบความผันแปรที่เกิดจากผู้วัดเลย เนื่องจากเครื่องวัดกรมโหลดเป็นเครื่องกึ่งอัตโนมัติ โดยที่มีผู้วัดเพียงแค่หยิบชิ้นงานลงบนแท่นวางเท่านั้น ดังนั้นผู้วัดจึงไม่ส่งผลกับการวัด และความผันแปรที่เกิดจากเครื่องมือวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในระดับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบ ลักษณะของโลหะแผ่นบางที่มีต่อค่ากรัม โหลด และเพื่อศึกษาออกแบบ สร้างต้นแบบโลหะแผ่นบางเพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดกรัม โหลด ของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5" ของบริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด โดยศึกษาและสร้างเครื่องวัดกรัม โหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน เพื่อใช้ในการทดลองหาความสัมพันธ์ของ รูปร่างและลักษณะของโลหะแผ่นบางที่มีต่อค่ากรัม โหลด ซึ่งได้ทดลอง 3 รูปแบบ คือการเปลี่ยนแปลงมุมบิด การเปลี่ยนแปลงความหนา และการเปลี่ยนแปลงความกว้างของโลหะแผ่นบาง จากการทดสอบวัด ค่ากรัม โหลดสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างกรัม โหลดของโลหะแผ่นบางกับขนาดได้ดัง แสดงในสมการ

$$\text{Gramload} = 0.016x_1 + 0.285x_2 - 3.149$$

โดยที่  $x_1$  คือ ความหนา ( $\mu\text{m}$ )

$x_2$  คือ ความกว้าง (mm)

จากสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการออกแบบต้นแบบโลหะแผ่นบาง สำหรับสอบเทียบเครื่องวัดกรัม โหลดจำนวนหนึ่งแชนหัวอ่านได้ความหนาของโลหะแผ่นบาง 300  $\mu\text{m}$  ความกว้าง 1.83 mm. จากการนำต้นแบบโลหะแผ่นบางทดสอบการสอบเทียบค่ากรัม โหลด ณ บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ ประเทศไทย จำกัด โดยรูปแบบการทดลอง GR&R ซึ่ง ใช้พนักงานจำนวน 3 คน จำนวนชิ้นงาน 10 ตัวอย่าง วัดซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง ได้ผลการทดสอบอยู่ใน เกณฑ์ยอมรับได้ในระดับการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากชุดต้นแบบโลหะแผ่นบางนั้นยังมีความยาวที่มากอยู่จึงทำให้เกิดการเสียหายได้ง่าย หากต้องการที่จะพัฒนาให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น ควรปรับปรุงให้อุปกรณ์จับยึดยาวขึ้น เพื่อให้ โลหะแผ่นบางเกิดเสียหายได้ยากขึ้น ก็จะสามารเพิ่มอายุการใช้งานของโลหะแผ่นบางนี้

## รายการอ้างอิง

- ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). การวิเคราะห์หุ้มมลายตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 61 หน้า.
- ธงชัย เชื้อใจ (2551). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการวัดความสะอาดแขนจับยึดฮาร์ดดิสก์โดยใช้การนับจำนวนอนุภาคของเหลว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 93 หน้า.
- วชิระ มีทอง (2550). การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพมหานคร. หน้า 13-22.
- สุรเชษฐ์ ชูติมา ทศนพ กำเนิดทอง จักรพันธ์ ปรีกษ์วิจิตร และ ขจรศักดิ์ ใจดี (2553). การศึกษาสภาพการเสีรูปร่างของ HGA ภายหลังการจับยึดโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 จังหวัดชลบุรี. หน้า 902-907.
- สันติชัย ชิวสุททธิศิลป์ (2547). การควบคุมคุณภาพสำหรับวิศวกรรม. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 1-11.
- สมโภชน์ เอี่ยมสุภาษิต และ สุกถักัน ลวดลาย (2545). ผลของการให้ข้อมูลป้อนกลับทางชีวภาพแบบคลื่นสมองและการเสริมแรงทางบวกต่อพฤติกรรมตั้งใจทำกิจกรรมคณิตศาสตร์ของเด็กสมาธิสั้นและมีพฤติกรรมไม่อยู่นิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาศิลปศาสตร์ ภาควิชาจิตวิทยาพัฒนาการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 129 หน้า.
- ศรี วรกุลสวัสดิ์ (2538). การโปรแกรมเชิงเส้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. หน้า 1-5
- Erwin Kreyszig (2006). **Advanced Engineering Mathematics**. John Wiley & Sons, Inc., pp. 936-943.



ภาคผนวก ก

แบบเครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่านและชุดโลหะแผ่นบาง

### ก.1 เครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน

เครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่านจะประกอบด้วยชิ้นส่วนดังแสดงในรูปที่ ก.1 ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ชิ้นส่วนใหญ่ ๆ คือ

- 1) Load Cell คุณสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ ก.2
- 2) Indicator ดังแสดงในรูปที่ ก.3
- 3) Jig มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ ก.4 ก.5 และ ก.6 (หน่วย mm.)



รูปที่ ก.1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดค่ากรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน



The Leader in Force Measurement

**Interface**

## Model ULC Ultra Low Capacity Load Cell

Why the Interface model ULC Ultra Low Capacity Load Cell is the best in class:

- Proprietary Interface temperature compensated strain gages
- Highest performance gram cell in the world
- Overload protected
- Safe side load overload to 5X capacity
- Low extraneous load sensitivity
- Low temperature effect on zero (0.002%/°F)
- Capacity down to 50 grams
- Tension and compression

### STANDARD CONFIGURATION

5 ft Cable (ULC-nnN)

### OPTIONS

Extra Cable Length

### ACCESSORIES

Instrumentation

Consult factory for more technical information



### SPECIFICATIONS

#### ACCURACY – (MAX ERROR)

Nonlinearity-% FS	±0.05
Hysteresis-% FS	±0.05
Nonrepeatability-% RO	±0.05
Creep, in 20 min-% (0.5N)	±0.1
(All Others)	±0.05

#### TEMPERATURE

Compensated Range-°F	-15 to 115
Compensated Range-°C	-10 to 45
Operating Range-°F	-65 to 200
Operating Range-°C	-55 to 90
Effect on Output-%/°F – MAX	±0.001
Effect on Output-%/°C – MAX	±0.002
Effect on Zero-% RO/°F – MAX	±0.002
Effect on Zero-% RO/°C – MAX	±0.004

#### ELECTRICAL

Rated Output-mV/V (Nominal)(0.5N)	±1.5
(All Others)	±2.0
Zero Balance-% RO (horiz.)	±2.0
Input Resistance-Ohms	350±35/-3.5
Output Resistance-Ohms	350±3.5
Excitation Voltage – MAX	12 VDC
Insulation Resistance – Megohms	> 5000

#### MECHANICAL

Calibration	Tension
Safe Axial Overload-% CAP	±1000
Safe Side Load Overload-% CAP	±500
Safe Load Axis Moment-% CAP x 1 in	±500
Cable length-ft	5
Natural Frequency/Deflection:	

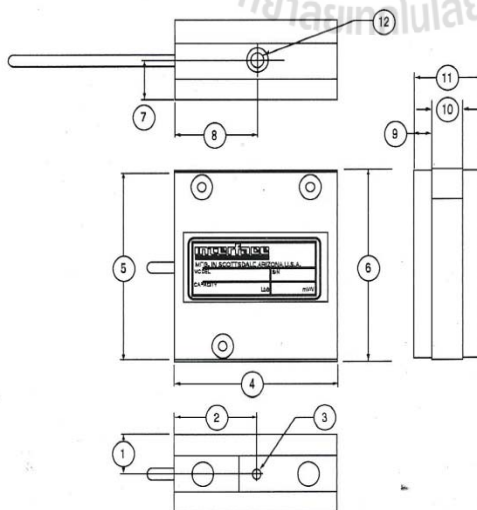
N	Deflection (inches)	Nat. Freq. (Hertz)
0.5	0.011	120
1	0.011	125
2	0.008	200

### DIMENSIONS

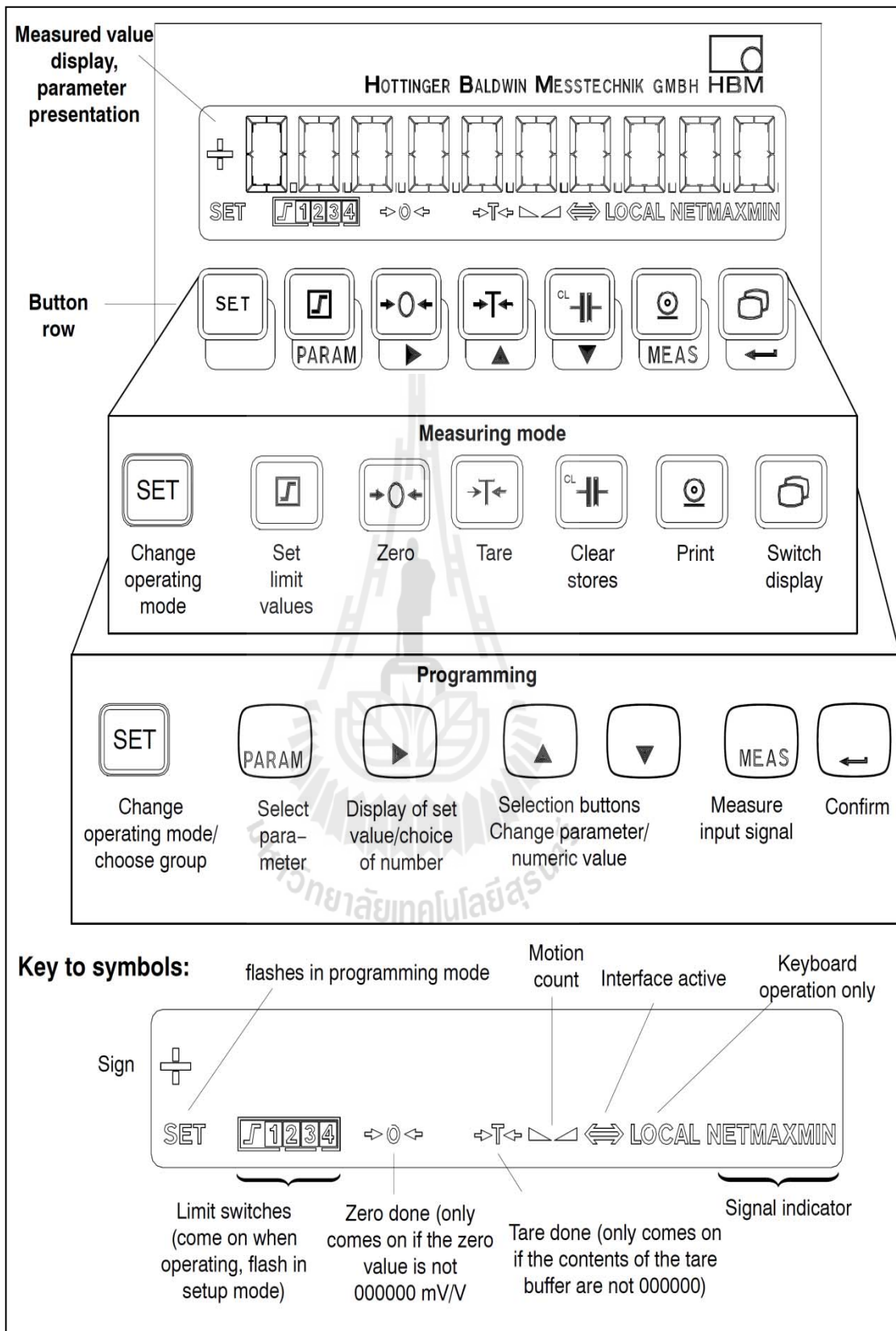
See Drawing	CAPACITY (N)*	
	inch	mm
①	0.42	10.6
②	0.99	25.1
③	4-40 UNC x 0.19 (4.8) Deep	
④	1.98	50.3
⑤	1.96	49.8
⑥	2.00	50.8
⑦	0.42	10.6
⑧	0.99	25.1
⑨	0.23	5.8
⑩	0.38	9.5
⑪	0.84	21.2
⑫	1/4-28 UNF x 0.32 (8.1) Deep	

\*1 Newton = 102 gram force

Note: Other sizes are available – contact factory

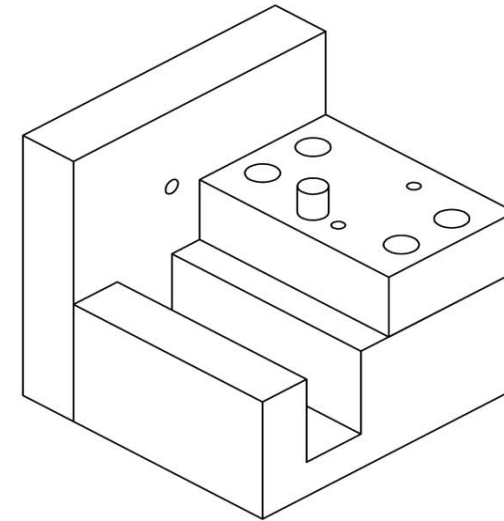
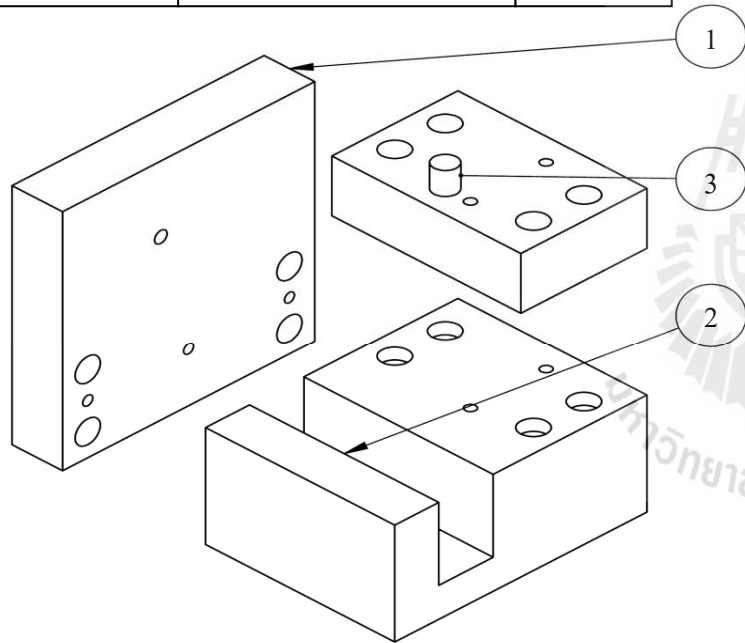


รูปที่ ก.2 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Load Cell



รูปที่ ก.3 แสดงฟังก์ชันต่าง ๆ ของ Indicator

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Base 1	1
2	Base 2	1
3	Base 3	1

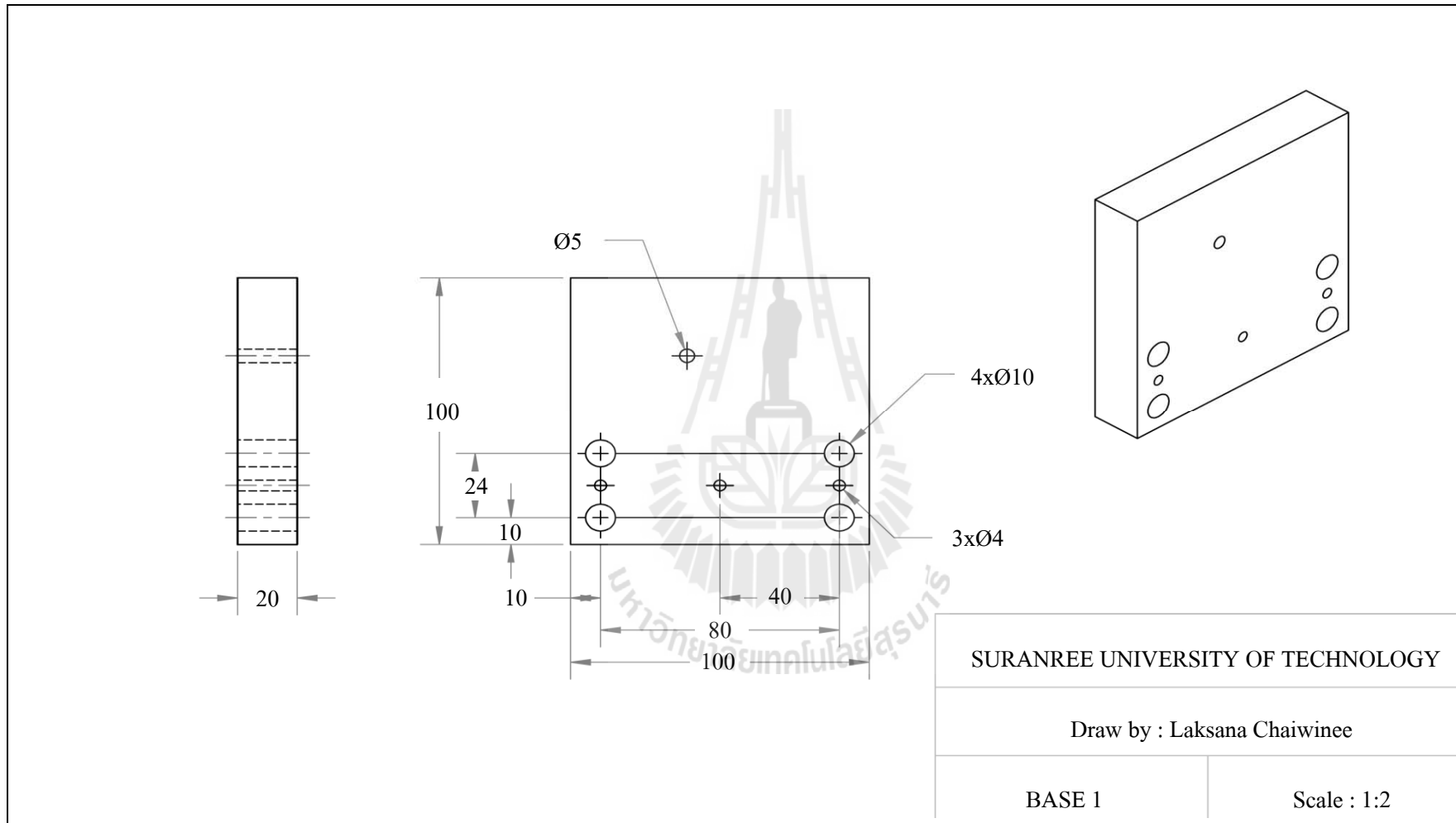


SURANREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

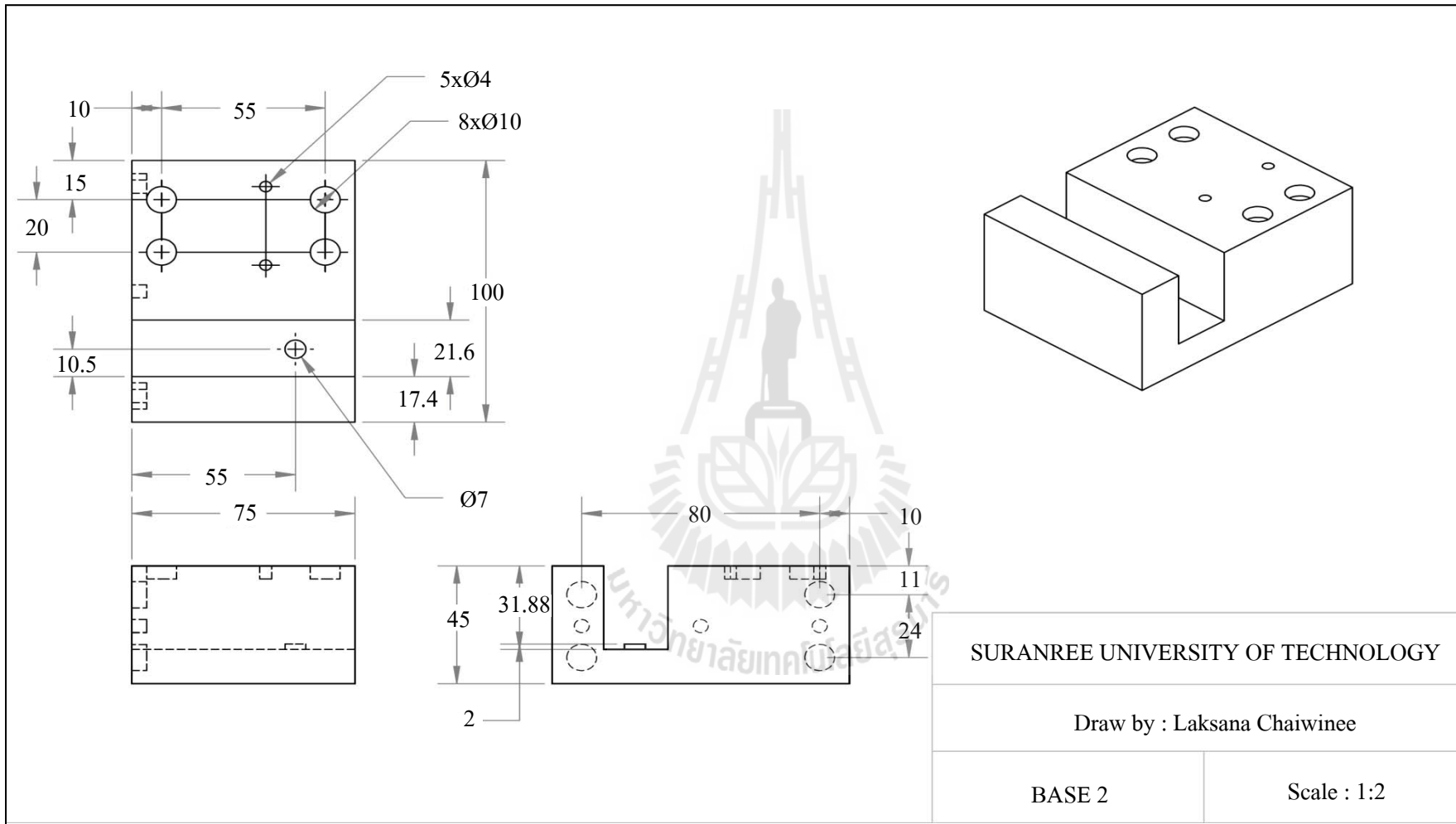
Draw by : Laksana Chaiwinee

Scale : 1:2

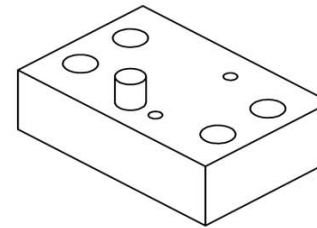
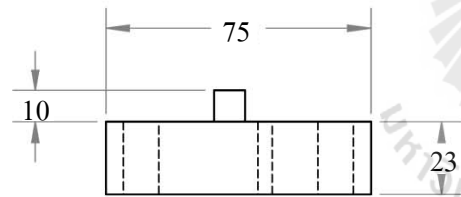
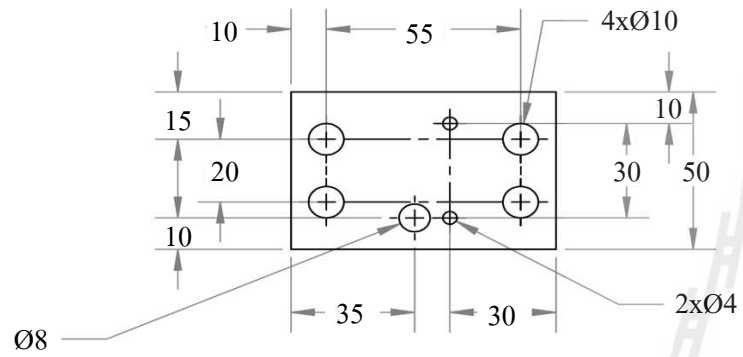
รูปที่ ก.4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดกรัม โหลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน



รูปที่ ก.5 แสดงขนาดของ Base 1



รูปที่ ก.6 แสดงขนาดของ Base 2



SURANREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Draw by : Laksana Chaiwinee

BASE 3

Scale : 1:2

รูปที่ ก.7 แสดงขนาดของ Base 2

## ก.2 โลหะแผ่นบางแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

โลหะแผ่นบางที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 3 แบบ (หน่วย mm.) คือ

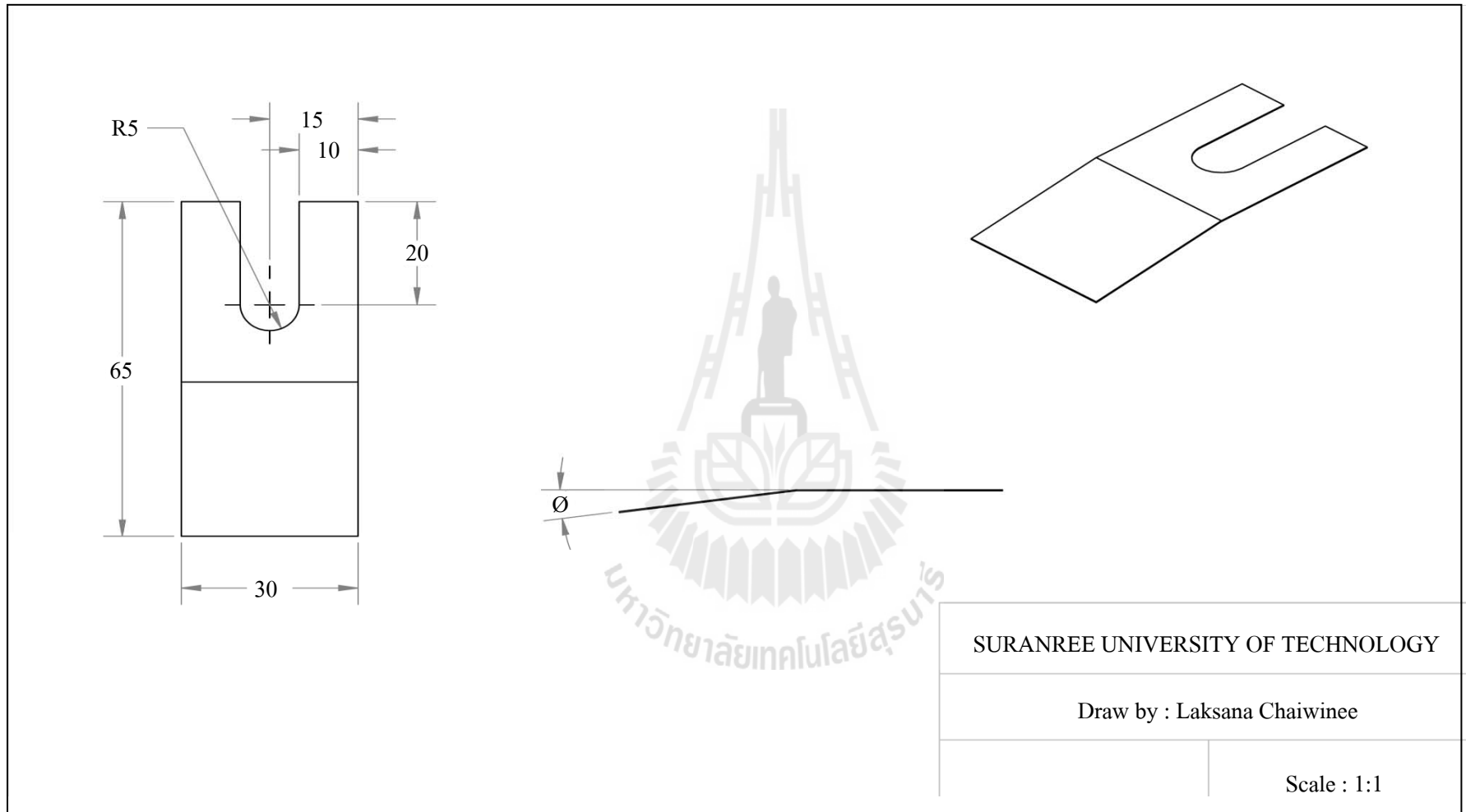
- 1) การเปลี่ยนแปลงมุม ดังแสดงในรูปที่ ก.8 ใช้โลหะแผ่นบางหนา  $250\ \mu\text{m}$
- 2) การเปลี่ยนแปลงความหนา ดังแสดงในรูปที่ ก.9 โดยศึกษาความหนา 200, 250, 300  $\mu\text{m}$
- 3) การเปลี่ยนแปลงความกว้าง ดังแสดงในรูปที่ ก.10 ใช้โลหะแผ่นบางหนา  $250\ \mu\text{m}$

## ก.3 ชุดต้นแบบโลหะแผ่นบาง

ชุดโลหะแผ่นบางประกอบด้วย 2 ส่วน (หน่วย mm.) ดังแสดงในรูปที่ ก.11 คือ

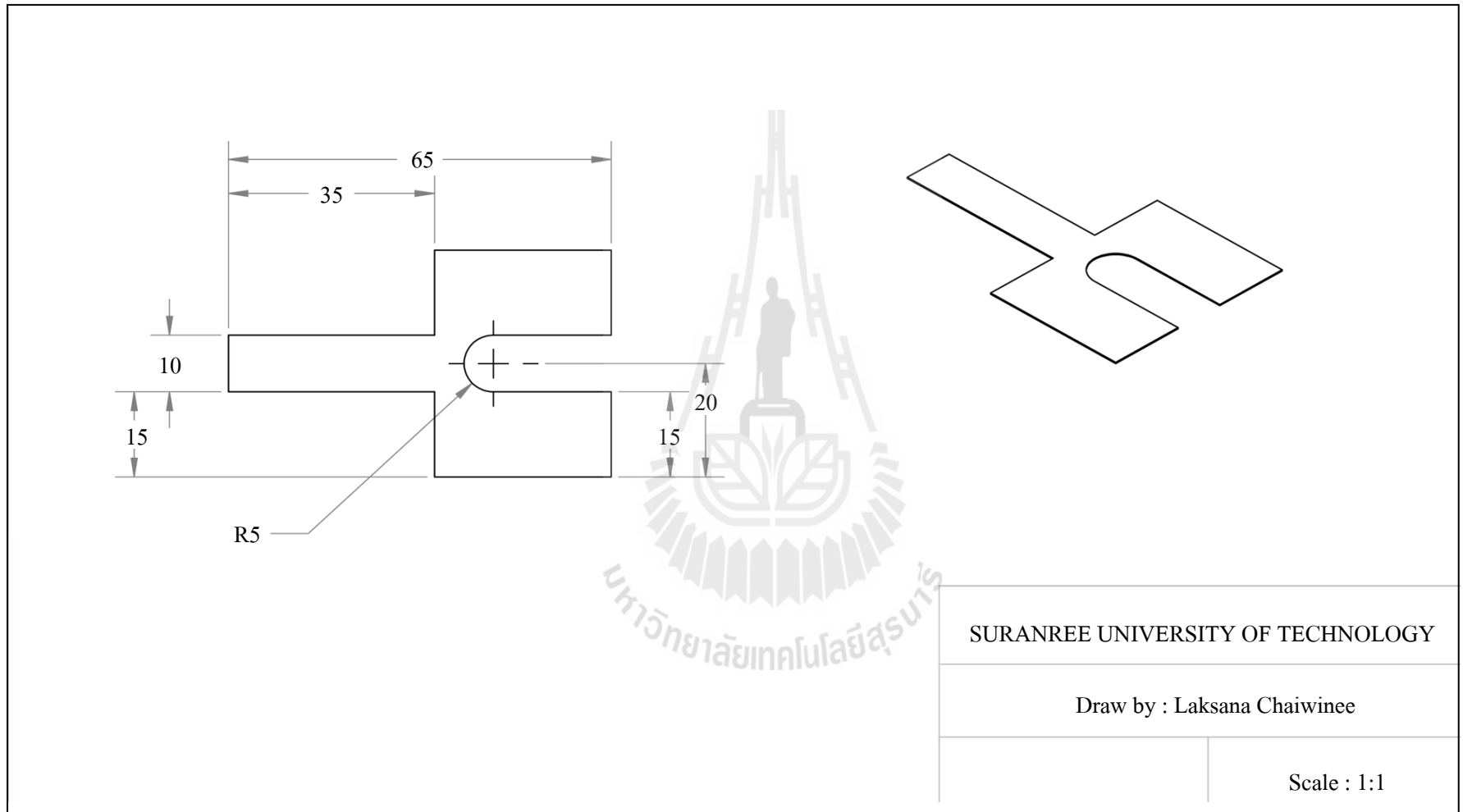
- 1) อุปกรณ์จับยึด ซึ่งมี 2 ชั้น คือ ตัวจับยึด ดังแสดงในรูปที่ ก.12 และฝาปิด ดังแสดงในรูปที่ ก.13
- 2) โลหะแผ่นบาง ดังแสดงในรูปที่ ก.14 ใช้โลหะแผ่นบางหนา  $300\ \mu\text{m}$



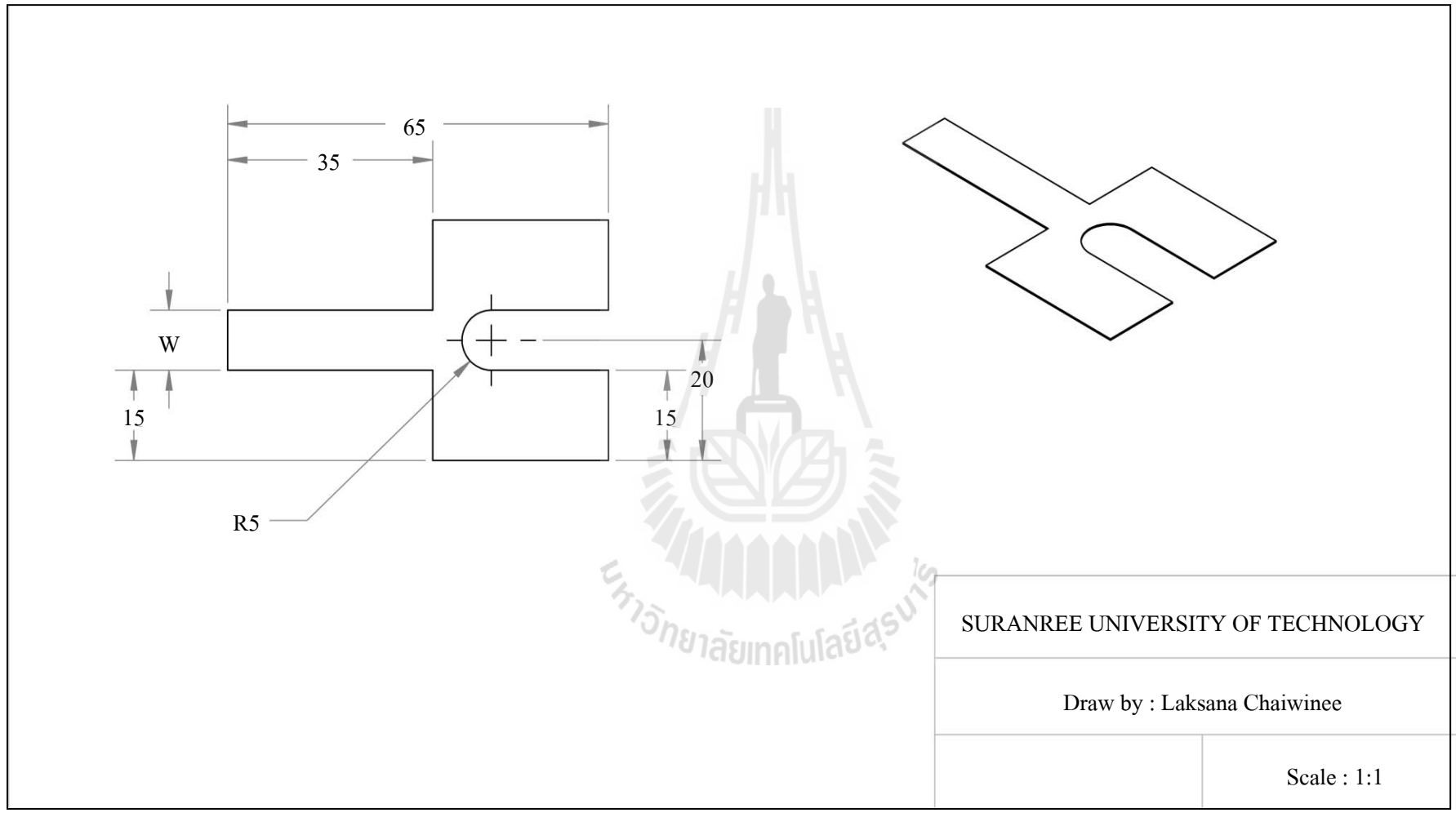


รูปที่ ก.8 แสดงขนาดของแบบทดสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงมุม

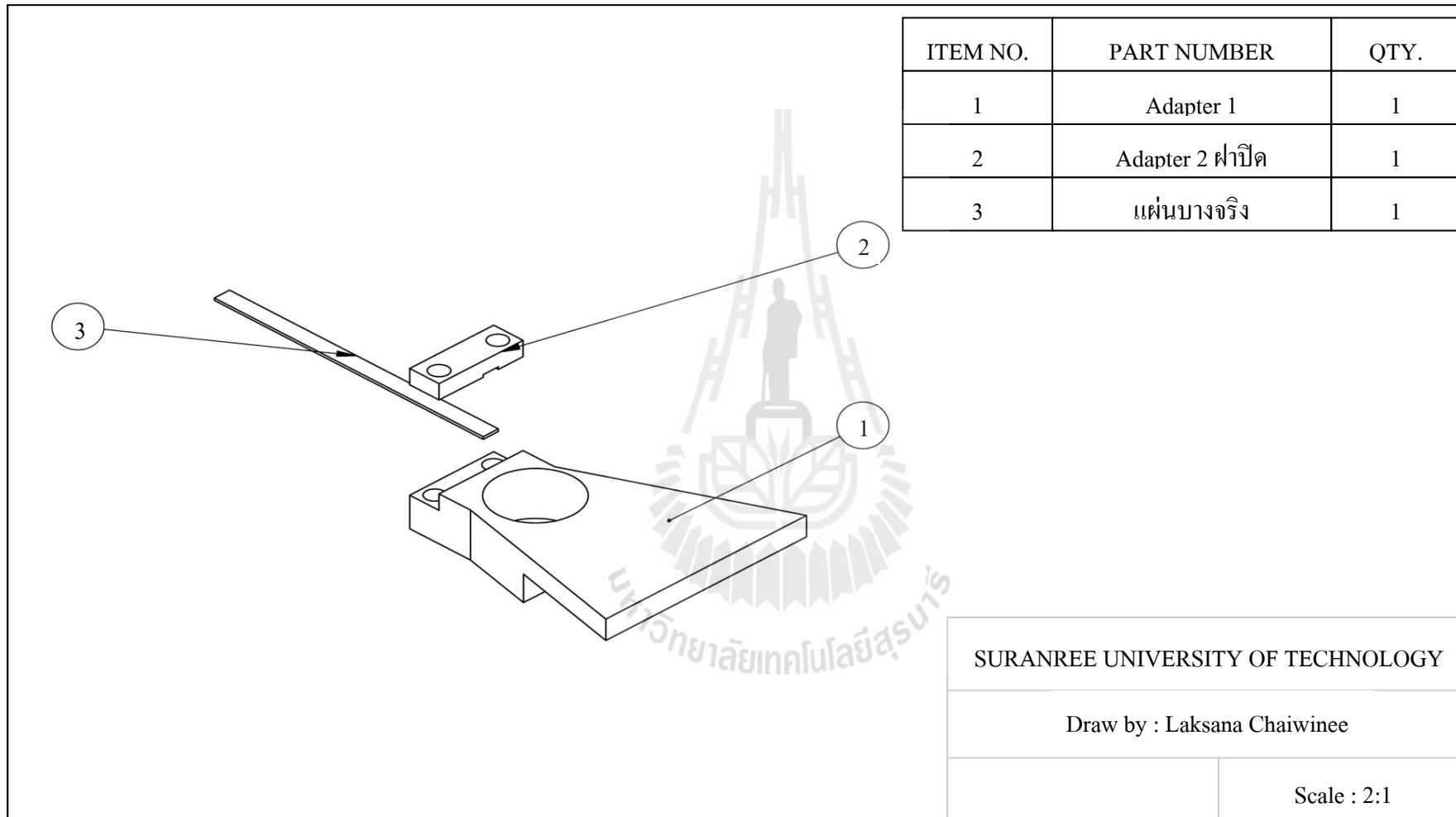




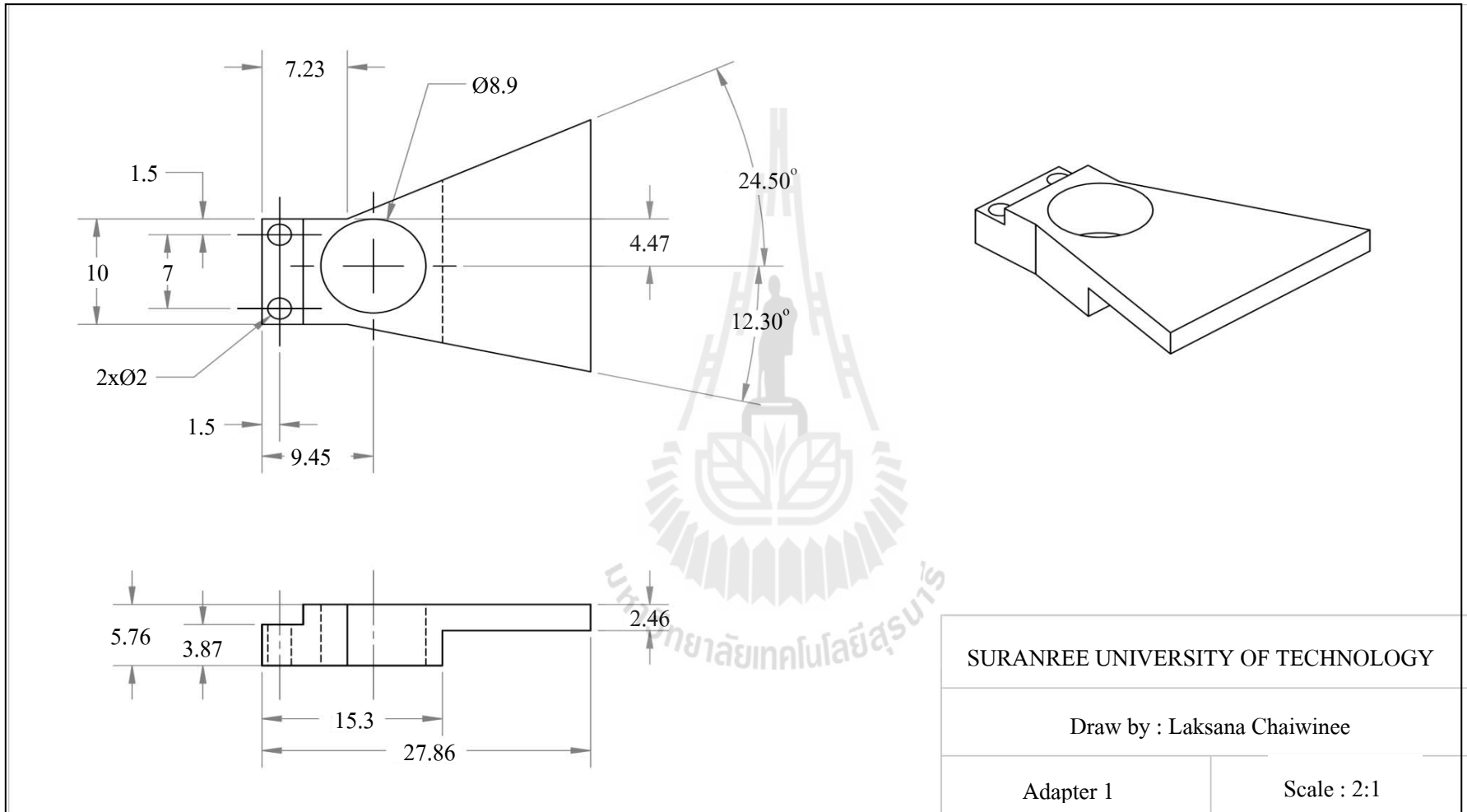
รูปที่ ก.9 แสดงขนาดของแบบทดสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงความหนา



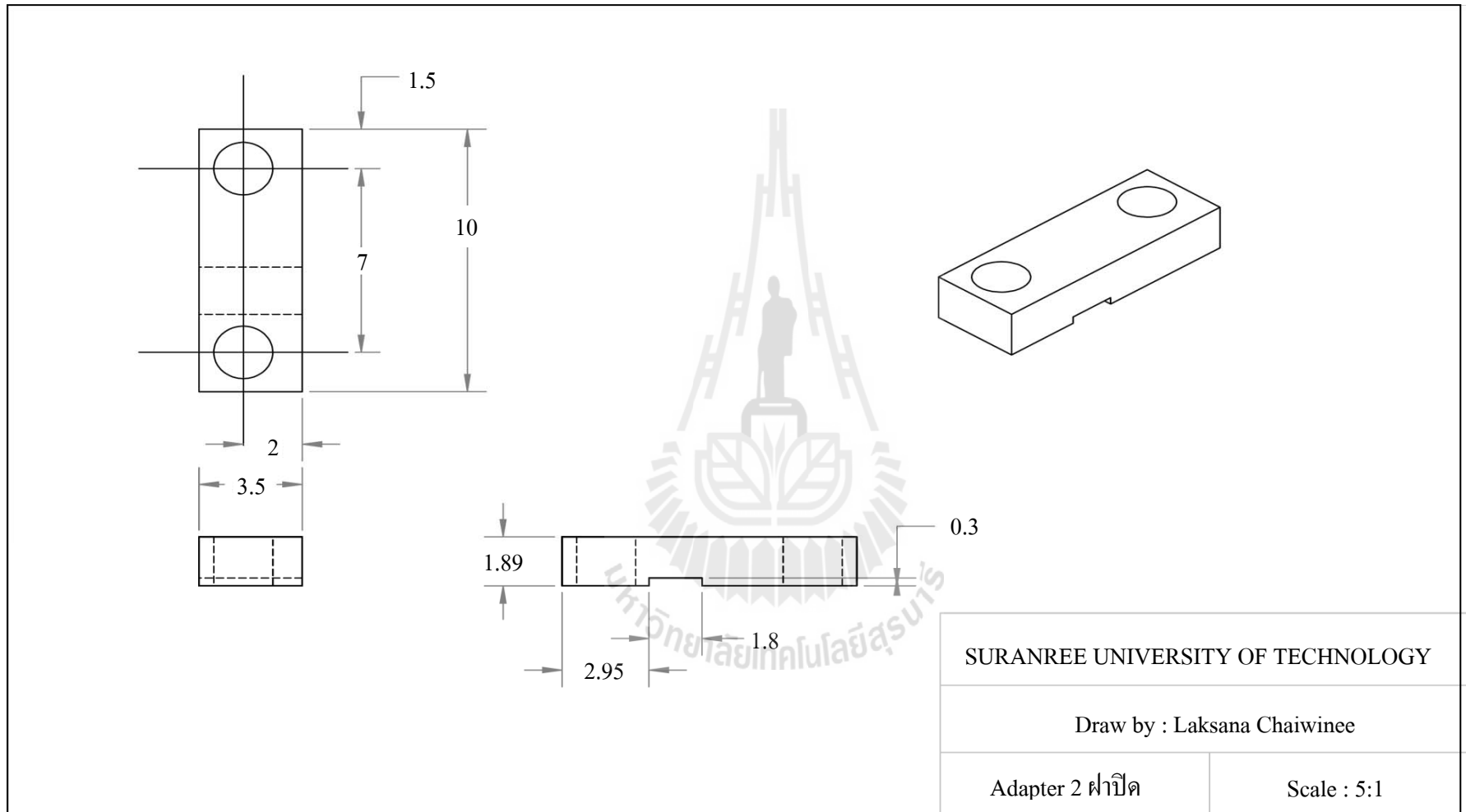
รูปที่ ก.10 แสดงขนาดของแบบทดสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงความกว้าง



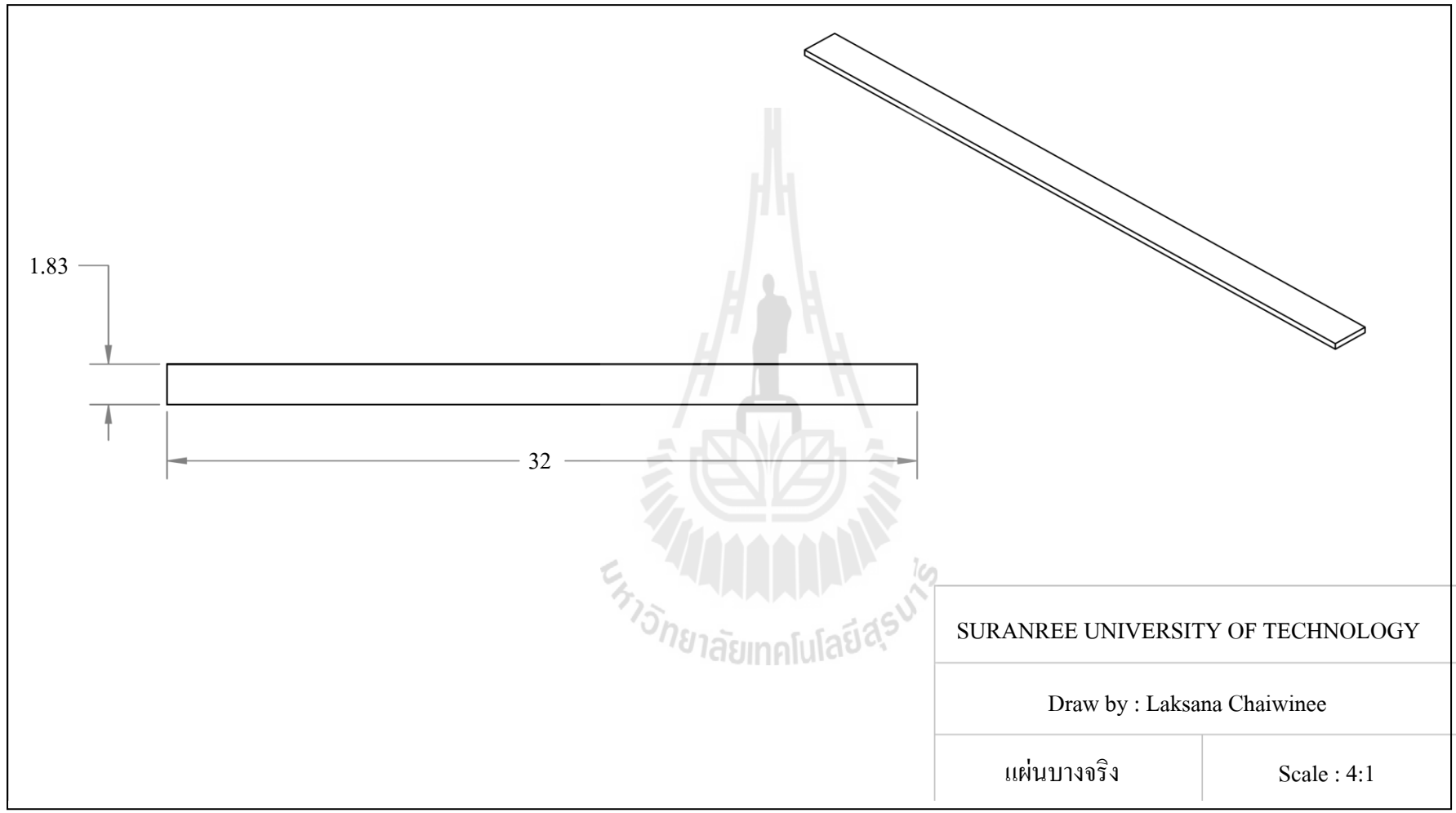
รูปที่ ก.11 แสดงส่วนประกอบของชุดโลหะแผ่นบาง



รูปที่ ก.12 แสดงขนาดของตัวจับยึด



รูปที่ ก.13 แสดงขนาดของตัวจับยึด



รูปที่ ก.14 แสดงขนาดของตัวจับยึด



ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

### ข.1 ผลการทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 1 (เปลี่ยนแปลงมุม)

การเปลี่ยนแปลงมุมจะเริ่มจาก  $6^{\circ}$ - $12^{\circ}$  วัดด้วยเครื่องวัดกรัมโพลดสำหรับหนึ่งหัวอ่าน องศาละ 2 ตัวอย่าง วัดซ้ำตัวอย่างละ 10 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวัดของโลหะแผ่นบางแบบที่ 1

มุม (องศา)		$\bar{X}$ (กรัม)	SD
6	ตัวอย่างที่ 1	1.123	0.086
	ตัวอย่างที่ 2	1.076	0.075
	ค่าเฉลี่ยรวม	1.099	0.082
7	ตัวอย่างที่ 1	1.579	0.207
	ตัวอย่างที่ 2	1.540	0.148
	ค่าเฉลี่ยรวม	1.559	0.176
8	ตัวอย่างที่ 1	1.742	0.222
	ตัวอย่างที่ 2	1.701	0.149
	ค่าเฉลี่ยรวม	1.721	0.185
9	ตัวอย่างที่ 1	2.963	0.131
	ตัวอย่างที่ 2	2.952	0.171
	ค่าเฉลี่ยรวม	2.958	0.148
10	ตัวอย่างที่ 1	3.276	0.107
	ตัวอย่างที่ 2	3.221	0.124
	ค่าเฉลี่ยรวม	3.248	0.116
11	ตัวอย่างที่ 1	3.883	0.201
	ตัวอย่างที่ 2	3.934	0.076
	ค่าเฉลี่ยรวม	3.908	0.150
12	ตัวอย่างที่ 1	4.234	0.171
	ตัวอย่างที่ 2	4.363	0.043
	ค่าเฉลี่ยรวม	4.299	0.138
ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งหมด (SD)			0.138



## ข.2 ผลการทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 2 (เปลี่ยนแปลงความหนา)

การเปลี่ยนแปลงความหนา 200, 250, 300  $\mu\text{m}$  วัดด้วยเครื่องวัดกรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน ความหนาละ 10 ตัวอย่าง วัดซ้ำตัวอย่างละ 10 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการวัดของโลหะแผ่นบางแบบที่ 2

ความหนา ( $\mu\text{m}$ )	200		250		300	
	$\bar{X}$ (กรัม)	SD	$\bar{X}$ (กรัม)	SD	$\bar{X}$ (กรัม)	SD
1	3.047	0.003	3.457	0.183	4.595	0.083
2	3.035	0.006	3.744	0.059	4.783	0.289
3	3.072	0.001	3.586	0.219	4.489	0.076
4	3.072	0.004	3.570	0.070	4.703	0.117
5	3.072	0.001	3.555	0.092	4.704	0.042
6	3.068	0.003	3.508	0.291	4.673	0.020
7	3.071	0.001	3.448	0.350	4.613	0.021
8	3.065	0.006	3.700	0.094	4.804	0.008
9	3.076	0.003	3.838	0.075	4.614	0.078
10	3.059	0.008	3.538	0.455	4.758	0.052
ค่าเฉลี่ย รวม	3.064	0.003	3.594	0.189	4.673	0.079

หมายเหตุ : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม คือ  $SD = 0.090$

### ข.3 ผลการทดลองโลหะแผ่นบางแบบที่ 3 (เปลี่ยนแปลงความกว้าง)

การเปลี่ยนแปลงความกว้างเริ่มตั้งแต่ 3-10 mm วัดด้วยเครื่องวัดกรัมไหลสำหรับหนึ่งหัวอ่าน ความหนา 250  $\mu\text{m}$  ความกว้างละ 10 ตัวอย่าง วัดซ้ำตัวอย่างละ 10 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการวัดของโลหะแผ่นบางแบบที่ 3

ความกว้าง (mm)	3	4	5	6	7	8	9	10
ตัวอย่าง	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)	$\bar{X}$ (กรัม)
1	1.755	2.15	2.22	2.7	2.85	3.13	3.32	3.56
2	1.841	2.3	2.18	2.59	2.8	3.1	3.31	3.69
3	1.83	1.8	2.3	2.65	2.85	3.2	3.3	3.55
4	1.685	2.14	2.17	2.68	2.75	3.19	3.35	3.59
5	1.75	2.1	2.23	2.63	2.73	3.2	3.34	3.43
6	1.663	1.94	2.3	2.55	2.79	3.09	3.31	3.6
7	1.65	1.98	2.11	2.67	2.84	3.21	3.35	3.5
8	1.756	2.08	2.2	2.73	2.75	3.09	3.34	3.54
9	1.682	2.14	2.24	2.6	2.8	3.17	3.33	3.6
10	1.724	2.2	2.3	2.75	2.79	3.15	3.3	3.59
$\bar{X}$ รวม	1.734	2.083	2.225	2.655	2.795	3.153	3.325	3.565
SD	0.066	0.143	0.063	0.064	0.043	0.048	0.020	0.069

หมายเหตุ : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม คือ  $SD = 0.064$

#### ข.4 ตารางการแจกแจง T-Distribution

ตารางการแจกแจง T-Distribution ที่ใช้ในการคำนวณความเชื่อมั่นดังแสดงในตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 แสดงตารางการแจกแจง T-Distribution

df	Two - Tail										
	.50	.40	.30	.20	.10	.05	.04	.02	.01	.005	.001
	One - Tail										
	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.02	.01	.005	.0025	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	636.6
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	31.60
3	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	12.92
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	8.610
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	6.869
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.959
7	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	5.408
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	5.041
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.781
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.587
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.437
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	4.318
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	4.221
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	4.140
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	4.073
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	4.015
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.965
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.922
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.883
20	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.850
21	.687	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.819
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.792
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.768
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.725



ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการเผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความที่ได้รับการเผยแพร่ในขณะศึกษา

ลักษณา ชัยวินี และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2553). **Study on Stiffness of Suspension-like Thin Sheet**. การประชุมวิชาการ Hard disk drive Expo 2010 and DST-CON 2010. ไบเทคบางนา กรุงเทพฯ. 30 กรกฎาคม - 1 สิงหาคม 2553. หน้า 45



# Study on Stiffness of Suspension-like Thin Sheet

Laksana Chaiwinee, Somsak Siwadamrunpong  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology  
Nakhon Ratchasima 30000, THAILAND  
e-mail: nong\_pong5@hotmail.com

**Abstract**-HDD Manufacturing composed of many assembly and test processes such as PSA, RSA and gramload test. The gramload tester uses HSA that already known gramload value, golden unit, for calibration frequently. The golden unit is costly to manufacturing due to its short life time. To design new robust golden unit, knowledge on stiffness of thin sheet is very important. Therefore, this study was to investigate relation between stiffness and suspension-like thin sheet. Gramload measurement jig and device was designed and fabricated. Suspension with various angles was tested for gramload. It was found that gramload of suspension increase with increasing suspension angle. The most appropriated suspension angle might be 8-9 degree with 99% confident.

**Keyword**- HDD, Gramload, Suspension

## I. INTRODUCTION

HDD manufacturing composed of many assembly and test processes. Due to higher areal density of data storage is required; testing is more important in both of more test parameters and degree of test specification. Tests are done not only on parts but also on sub-assembly and HDA (Hard Disk Assembly) for assuring HDD quality. For instant, suspension is tested to assure gramload value and dimensions. Slider and flexure are attached to the suspension, known as HGA. Many parameters are tested on the HGA, such as PSA, RSA and gramload. The HGAs are assembled with arm, flex cable, coil and carriage. Swaging process is carried out to fix HGAs and arm together, known as HSA; of course, gramload and other parameters are tested on the HSA to ensure effect of swaging process to HSA characteristics.

The gramload parameter notified above is one of important parameters that effect to areal density. Gramload test is carried out by gramload tester which much be calibrated frequently. The tester is calibrated by HSA which is known gramload force, so call golden unit. The golden unit has to be used and kept carefully, due to its cost, lifetime and importance to gramload parameter. Therefore, design of new golden unit that has longer lifetime at the same reliability is profitable to the test process. To design the robust golden unit, relation between stiffness of thin sheet and its dimensions is very important. The aim of this study was to study stiffness of various shapes and dimension of suspension-like thin sheet. It is expected that this study may lead to new design of robust and reliable golden unit.

## II. HDD COMPONENTS AND GRAMLOAD

### A. Platter

Platter, sometimes call disk or media, is thin round and very flat plate. Platter is a data storage media which contains a lot of data bit. Due to very high areal density in HDD, recently in the range of hundreds Gbit/sq.in, very small data bit and track is required. Data is stored in magnetic thin film layer of platter and transfer to read head which is flied over platter at specified track and at controlled height. The read/write head is fabricated on slider that located at end of suspension. Fig. 1 shows simple configuration of one arm with slider flying over platter.

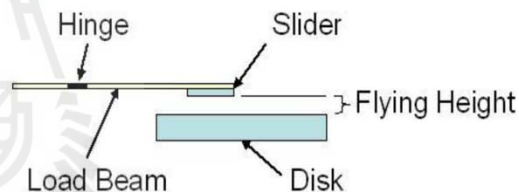


Fig. 1 Configuration of an arm flying over platter

### B. Head Stack Assembly

Head Stack Assembly, HSA, composed of HGAs, Flex cable, coil, etc which illustrated in Fig. 2. The HSA is usually contained more than one arm or suspension. The suspension is made from thin stainless steel sheet, in few tenths micro meter. Seeking of HSA to specified track on platter is drove by coil and VCM (Voice Coil Motor) that assembly at the top and bottom of coil.

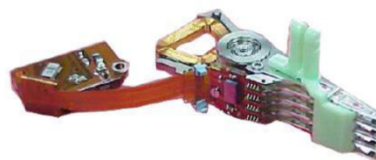


Fig. 2 Head Stack Assembly

### C. Flying Height

Flying height is air gap height between platter and slider. As HDD need to have higher areal density, flying height also need to be smaller, please note that it is in few nanometer in recent HDD [1]. The mechanism of flying slider at specified flying height over platter is controlled by various parameters. The first one is Air Bearing Surface (ABS), which is a curvature surface of slider that faced to platter, indicate in Fig. 3. The curvature produces aerodynamic force from air flow that occurred simultaneously with spun disk. Stiffness of suspension is also key parameter that significantly influence to flying height. Due to the force from ABS is relatively very small compared to stiffness of suspension; Hinge on the suspension, please see in Fig. 1, is designed as low stiffness and deformable point. To control the flying height, stiffness of suspension and aerodynamic curvature of ABS must be manufactured and test seriously. Other parameters shall be mass of slider, PSA, RSA, smoothness of platter, etc, which are not notified in this study.

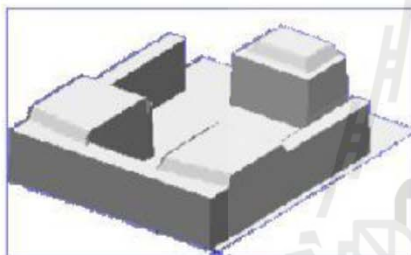


Fig. 3 Air Bearing Surface of Slider

### D. Gramload

Gramload is force that represented stiffness of suspension. It is force value which made suspension deform in vertical direction at specified z-height,  $h$ , in unit of gram, thus it is called Gramload. Configuration of Gramload measurement concept is displayed in Fig. 4. Gramload of recent HDD is around 1.5-3.0 gram, depended on size and model.

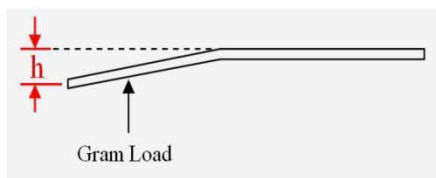


Fig. 4 Configuration of Gramload measurement concept

## III. PROCEDURES

### A. Schematic diagram of gramload measurement

Schematic diagram of gramload measurement is shown in Fig. 5. Jig was designed to support and fix suspension. Load cell is also set in fixed position, X, Y and Z axis, on the same jig. Therefore, distance from cam to load cell, B, and height

from base of suspension to load cell, A, are maintained constant. The distance-B and height-A was duplicated from the existing gramload tester to ensure that test configuration and results is conformed to the existing test operation. Cam was used as mechanism to lower the suspension to tip of load cell. Jig drawing is illustrated in Fig. 6

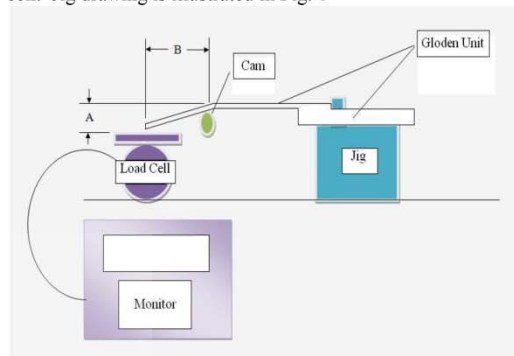


Fig. 5 Schematic diagram of gram load measurement

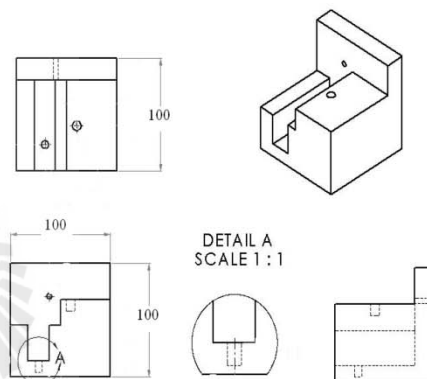


Fig. 6 Jig drawing and main dimensions

Load cell with maximum load 50 gram and 0.1% precision was used. Indicator of load cell, HBM model MVD2555, with noise cancelation system was employed in this study. Picture of measurement devices setting is indicated in Fig. 7.



Fig. 7 Measurement device setting

### B. Suspension-like thin sheet

Due to very thin of recent suspension, few tenth of  $\mu\text{m}$ , it might have variation of stiffness on the suspension. Moreover, it is easy to get damage from using and storage. 250  $\mu\text{m}$  thickness stainless steel sheets were used to fabricate the suspension. Mechanical properties of stainless steel are shown in Table 1 [2, 3]. The higher thickness of suspension leads to higher stiffness. Therefore, the simple suspension without edge-bend, and take longer arm length between load cell tip to fixed point on the jig may compensate to their higher thickness. Fig. 8 and 9 display the suspension and suspension holder configurations, respectively. The suspension was designed by varying bended angle from 6 to 12 degree [3].

TABLE I  
MECHANICAL PROPERTIES OF STAINLESS STEEL

Property	Value	Units
Young's modulus	1.93e5	MPa
Poisson's ratio	0.31	-
Density	7.75e-6	Kg/mm.

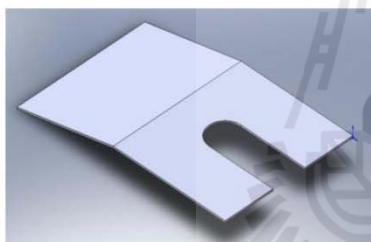


Fig. 8 Suspension configuration

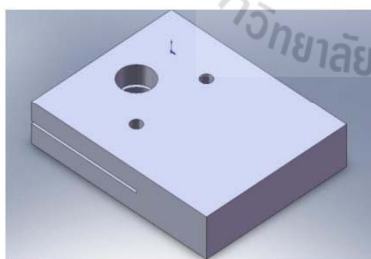


Fig.9 Suspension holder configuration

### C. Gramload measurement

Suspension at each angle was fabricated 2 pieces. Each suspension was tested for gramload 10 times. Cam was rotated manually by slow speed. Gramload value of each measurement was recorded from indicator.

## IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2 indicates measurement results. It was seen that the 2 samples of same angle show gramload value within  $\pm 2\%$  errors by mean. That shall be acceptable; the majority of errors may come from manually cam rotation. Fig. 10 shows gramload measurement result 10 times of each angle. Mean of gramload with error was plotted in Fig. 11. It was found that the suspension angle between 7-9 degree yields gramload between 1.5-3.0 gram which is the range of recent gramload of suspension. It is a little bit lower than reported by previous work [3] at 10-11 degree by simulation technique. There is obviously that gramload increase with increasing suspension angle.

TABLE II  
MEASUREMENT RESULTS

SUSPENSION ANGLE (Degree)		$\bar{X}$ (gram)	SD
6	#1	1.123	0.086
	#2	1.076	0.075
	Average	1.099	0.082
7	#1	1.579	0.207
	#2	1.540	0.148
	Average	1.559	0.176
8	#1	1.742	0.222
	#2	1.701	0.149
	Average	1.721	0.185
9	#1	2.963	0.131
	#2	2.952	0.107
	Average	2.958	0.148
10	#1	3.276	0.107
	#2	3.221	0.124
	Average	3.248	0.116
11	#1	3.883	0.201
	#2	3.934	0.076
	Average	3.908	0.150
12	#1	4.234	0.171
	#2	4.363	0.043
	Average	4.299	0.138

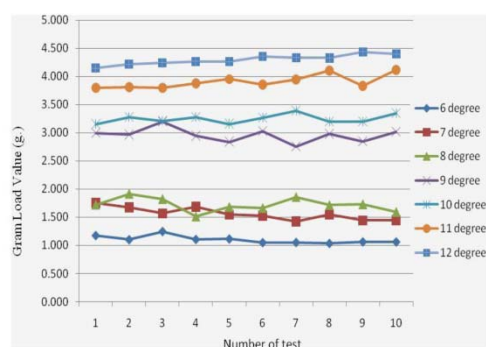


Fig. 10 Gramload results 10 times measurement of 1 sample



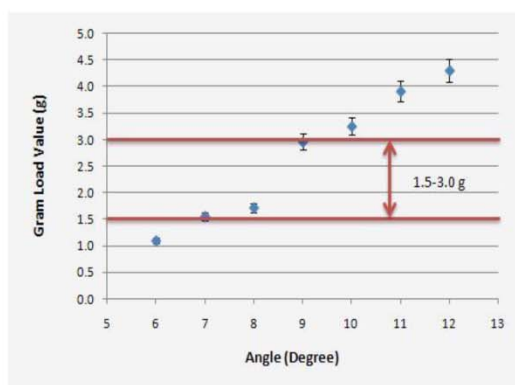


Fig. 11 Gramload results with various angles

From table 2, confidential concept was employed to analyze the range of gramload at 90, 95 and 99 percent confidential. The student - t distribution, 2 sides, was used. The analyzed results were displayed in Table 3. It was seen that no such angle which is in range 1.5-3.0 gram even for 90% confident. However, suspension angle between 8 and 9 degree seem to be high possibility to obtain gramload range 1.5-3.0 gram. Otherwise, design of new suspension, by vary shape, dimension and material, may obtain lower variance of gramload.

TABLE III  
RANGE OF GRAMLOAD AT VARIOUS PERCENT  
CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL	SUSPENSION ANGLE (Degree)	$X_L$	$\bar{X}$ (gram)	$X_U$
90%	6	0.957	1.099	1.241
	7	1.255	1.559	1.863
	8	1.401	1.721	2.041
	9	2.702	2.958	3.214
	10	3.047	3.248	3.449
	11	3.649	3.908	4.167
95%	12	4.060	4.299	4.538
	6	0.927	1.099	1.271
	7	1.191	1.559	1.927
	8	1.334	1.721	2.108
	9	2.648	2.958	3.268
	10	3.005	3.248	3.491
99%	11	3.594	3.908	4.222
	12	4.010	4.299	4.588
	6	0.864	1.099	1.334
	7	1.055	1.559	2.063
	8	1.192	1.721	2.250
	9	2.535	2.958	3.381
	10	2.916	3.248	3.580
	11	3.479	3.908	4.337
	12	3.904	4.299	4.694

$X_L$ =Lower Range

$X_U$ =Upper Range

$$X_L = \bar{X} - t_{v,c}SD \quad (1)$$

$$X_U = \bar{X} + t_{v,c}SD \quad (2)$$

## V. CONCLUSION

Jig and suspension with various angle was fabricated and tested. It was found that gramload increase with increasing suspension angle. Appropriated suspension angle might be 8-9 degree at 99% confident.

The further work will be varying in different shape, dimension and material. It is expected to know influence of them to gramload, which can be used for designing new robust golden unit.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank financially supported by the Industry/University Cooperative Research Center (I/U CRC) in HDD component, National Electronics and computer Technology Center (NECTEC) and technical supported by Hitachi Global Storage Technology (Thailand) Ltd.

## References

- [1] Kyosuke Ono, "Dynamic instability of flying head slider and stabilizing design for near-contact magnetic recording", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2008
- [2] Mechanical and Material Engineering industrial engineering, Rajamugala university of technology lanna tak ,2545 ,pp.153-154
- [3] Phakorn Sabcharoen, Kontorn Chamnirasart, "Stress Distribution Analysis on Head Gimble Assembly using Finite Element Method", ME-NET 22, 2008

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวลักขณา ชัยวิณี เป็นบุตรของ นายบุญช่วย ชัยวิณี และนางภัทรภร เข้มเขื่อน เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พุทธศักราช 2528 ที่จังหวัดชลบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนวัดแหลมฉบัง ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนศรีราชา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมการผลิต) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2550 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันการศึกษาเดิม ขณะศึกษาในระดับปริญญาโทได้ทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ประสานงานหลักสูตรแมคคาทรอนิกส์ (โครงการร่วมกับบริษัท เบลตัน อินดัสเทรียล ประเทศไทย จำกัด) อีกทั้งเป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 6 รายวิชา คือ (1) การเขียนแบบวิศวกรรม 1 (2) การเขียนแบบวิศวกรรม 2 (3) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล (4) ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต และ (5) ปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยได้นำประสบการณ์และความรู้ที่ได้จากการเป็นผู้ช่วยสอนและวิจัยมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี

ระหว่างศึกษามีการเข้าร่วมประชุมวิชาการ Hard disk drive Expo 2010 and DST-CON 2010 ที่ไบเทคบางนา กรุงเทพฯ วันที่ 30 กรกฎาคม - 1 สิงหาคม 2553 โดยมีรายละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ก.