



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดร่องหนูนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียว
สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น

Design and Construction of a Mono Dial Packing Gauge
for Offset Sheet fed Printing Machine.

โดย

นายอนันต์ เขมพาณิชกุล

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสยาม

ปีการศึกษา 2562

ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดรองหนูชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียว
 สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น
 ผู้วิจัย นายอนันต์ เขมพาณิษฐ์กุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัทธ์กษพงษ์ บุญประสม
 ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดรองหนูชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียว สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องมือวัดรองหนูยังไม่มีเป็นที่นิยมใช้ในโรงพิมพ์ออฟเซตในประเทศไทย และเครื่องมือวัดรองหนูยังเป็นเครื่องมือที่มีราคาสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในขณะที่เดียวกันโรงพิมพ์ส่วนใหญ่ก็นิยมใช้เครื่องพิมพ์มือสองจากต่างประเทศที่ไม่ได้นำเข้ามาจากผู้ผลิตเครื่องพิมพ์โดยตรง เพราะมีราคาที่ถูกลงกว่า ซึ่งผู้นำเข้าก็ไม่ได้ให้เครื่องมือวัดรองหนูเป็นอุปกรณ์พื้นฐานประจำเครื่องมาด้วย ดังนั้นเมื่อช่างพิมพ์ทำงานก็จะใช้ประสบการณ์และความรู้สึกในการควบคุมปริมาณการรองหนู จึงเกิดปัญหาในการควบคุมคุณภาพทางการพิมพ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบเครื่องวัดรองหนู และเลือกใช้นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เพียงหนึ่งชิ้น เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีราคาถูก โดยกระบวนการออกแบบ เริ่มจากการร่างต้นแบบจากแนวคิด สร้างแบบเครื่องมือวัดด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ (CAD) ทำต้นแบบสามมิติเพื่อทำแบบหล่อโลหะ และใช้โปรแกรมช่วยผลิต (CAM) สร้างคำสั่ง NC-Code ใช้ควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซี เพื่อกัดชิ้นงานให้ได้ระดับ และเครื่องมือวัดที่สร้างเสร็จแล้วถูกนำไปตรวจสอบความแม่นยำด้วยเครื่องวัดพิกต (CMM) เพื่อหาค่าพิกตความเผื่อเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่างและตำแหน่ง ความฉาก ความตรง และความขนานของเครื่องมือวัดรองหนู และสุดท้ายทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ โดยใช้แม่พิมพ์แบบทดสอบการรองหนู ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ ผลปรากฏว่าเครื่องมือวัดการรองหนูชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียวที่ออกแบบมานี้ สามารถใช้ตรวจสอบการรองหนูได้ เนื่องจากเมื่อรองหนูฝ้ายางเกินกว่าบ่าโม 0.1 มิลลิเมตร ค่าความดำของแถบควบคุมการรองหนูในบริเวณของเส้นนอนจะเพิ่มขึ้น และเมื่อรองหนูฝ้ายางในระดับเสมอกับบ่าโม แถบควบคุมการรองหนูจะให้ค่าความดำพื้เท่ากันทั้งสามแถบ และผลของค่าการบวมของเม็ดสกรีนและค่าความดำพื้ที่บักก็แสดงไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ : เครื่องมือวัดรองหนู, โปรแกรมช่วยออกแบบ, ความดำพื้ที่บัก และแบบทดสอบมาตรฐาน

Research title: Design and Construction of a Mono Dial packing gauge for Offset Sheet fed Printing machine.

Researcher: Mr. Anan kempanichkul and Assist. Prof. Pitagpong Boonprasom

Academic year: 2019

ABSTRACT

The objective of this study was to design and construct a mono dial packing gauge for offset sheet fed printing machine. Nowadays, the packing gauges have are not popular to use for offset Printing factory in Thailand because they are so expensive and imported from abroad. Meanwhile, most of the Printing factory prefer to used old printing machine that were not import directly from manufacturer because there are cheaper than new one. Therefore the importer do not include the packing gauges as basic measurement tool for printing machine. When the press operator control amount of packing without a packing gauge, they frequently use trial and error that are habitude of them. So, it cause problem to control the printed quality. For this reason, the mono dial packing gauge for offset sheet fed printing machine was designed and constructed for this research. The research method consist of sketching from Idea, using computer aided designed (CAD), creating 3D prototype for molding sand, creating NC-Code for CNC Milling, testing the accuracy by Coordinate Measuring Machine (CMM) and finally testing the offset printing quality by a packing test form plate which was special designed. The result of research shown that the mono dial packing gauge was usable to test the cylinder packing because the density of packing control strip at horizontal lined increase when the blanket higher than bearer 0.1 millimeter and the packing control strip density at horizontal was equal to vertical lined when the height of blanket was same bearer level. Moreover, the result of dot gain and solid ink density also shown in the same direction.

Keyword: Packing Gauge, Computer Aided Designed (CAD), Solid ink density and Test form plate

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างเครื่องมือวัดร่องหลุมชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียว สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสยาม ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ การดำเนินการวิจัยมีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้หากปราศจากความร่วมมือของคณาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.8 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดการหมุน	7
2.1.1 ความหมายของการหมุน	7
2.1.2 ความสำคัญของการหมุน	7
2.1.3 แนวคิดพื้นฐานการรองหมุน	9
2.1.4 ความสัมพันธ์ความยาวของภาพกับการรองหมุน	10
2.1.5 หลักการคำนวณการหมุนโมเมนต์พิมพ์และโมตัย้าง	12
2.1.6 ประเภทและส่วนประกอบของเครื่องมือการหมุน	16
2.1.7 ปัญหาการพิมพ์ที่เกิดจากการหมุนและแนวทางการแก้ไข	17
2.2 หลักการชุบอะโนไดซ์อะลูมิเนียม	18
2.3 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างชิ้นงาน	19
2.3.1 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างตาม ISO 1101 ...	19
2.3.2 สัญลักษณ์เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างตาม ISO 1101.....	20
2.3.3 การกำหนดสัญลักษณ์ข้อมูลในแบบงาน	21
2.3.4 การกำหนดสัญลักษณ์เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างในแบบ ..	22
2.4 กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะ (Fabrication of Metals)	23
2.4.1 การหล่อ (Casting)	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 การแปรรูปหรือขึ้นรูปร้อน (Hot Working)	25
2.4.3 การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น (Cold Working)	27
2.4.4 กรรมวิธีโลหะผง (Powder Metallurgy)	27
2.5 การทำแบบหล่อทรายขึ้น (Green sand molding)	28
2.5.1 แบบทรายขึ้น (Green sand molds)	29
2.6 การออกแบบผลิตภัณฑ์	30
2.6.1 ความหมายของการออกแบบ	30
2.6.2 ปัจจัยในการออกแบบผลิตภัณฑ์	35
2.7 การควบคุมคุณภาพงานพิมพ์โดยใช้ Spectro-Densitometer	37
2.7.1 ค่าความดำ	38
2.7.2 เม็ดสกรีนบวม	38
2.7.3 พิมพ์พร่าและเม็ดสกรีนซ้อน	39
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัดการหมุน	39
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	41
3.1 การวิเคราะห์ ศึกษารูปแบบ และกำหนดแนวคิดในการออกแบบ	42
3.2 การสร้างแบบร่างจากแนวคิดในการออกแบบ (Idea sketch)	45
3.3 กำหนดรูปร่างและรูปทรงของผลิตภัณฑ์	49
3.5 สร้างแบบจำลองเสมือนจริง (Mock Up)	51
3.5 หล่อขึ้นงานด้วยวิธีการหล่อทราย โดยการสร้างแบบหล่อทรายตามแบบจำลอง เสมือนจริง	52
3.6 ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer-Aided Manufacturing (CAM)) สั้ และควบคุมเครื่องจักร CNC เพื่อกัดขึ้นงานให้ได้ระดับ	53
3.7 ออกแบบแม่พิมพ์ทดสอบ (Test form) การร่อนหมุน	55
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล	58
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	59
4.1 วิเคราะห์ผลแบบประเมินเครื่องมือวัดร่อนหมุน โดยผู้เชี่ยวชาญ	59
4.2 วิเคราะห์ผลการตรวจสอบเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตำแหน่งและรูปร่าง	60
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองใช้เครื่องมือวัดร่อนหมุน	64
4.4 วิเคราะห์คุณภาพทางการพิมพ์	66
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	70

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ค่ามาตรฐานระยะต่างๆของโมเม็พิมพ์ด้วยกระดาษพิมพ์หนา 0.10 มิลลิเมตร	12
ตารางที่ 3.1	ตารางวิเคราะห์ความสำคัญแบบ	49
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	59
ตารางที่ 4.2	ตัวอย่างผลการทดสอบบรรณาคด้วยเครื่องมือวัดละเอียดตำแหน่งที่ 1-12	60
ตารางที่ 4.3	ตัวอย่างผลการทดสอบบรรณาคของ Pocket ด้วยเครื่องมือวัดละเอียด ตำแหน่งที่ 11-12	60
ตารางที่ 4.4	ผลความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียด สามแกน จำนวน 5 ครั้ง	61
ตารางที่ 4.5	ค่าเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือ วัดละเอียดสามแกน	62
ตารางที่ 4.6	ผลการวัดระยะลึกบ่าโมเม็พิมพ์ (Plate Cylinder Undercut) ด้วยเครื่องมือ วัดร่องหนูน มาตรฐาน	64
ตารางที่ 4.7	ผลการวัดระยะลึกบ่าโมเม็พิมพ์ (plate cylinder undercut) ด้วยเครื่องมือ วัดร่องหนูน ที่สร้างขึ้น	64
ตารางที่ 4.8	ค่าเฉลี่ยผลการวัดระยะลึกบ่าโม	65
ตารางที่ 4.9	แสดงค่า Density ของแถบควบคุมการร่องหนูน	67
ตารางที่ 4.10	Slur/Doubling factor (%)	67

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การถ่ายโอนหิมะระหว่างโมแม่พิมพ์และโมฝ้ายาง	7
รูปที่ 2.2 การสัมผัสของโมแม่พิมพ์ โมฝ้ายาง โมกดพิมพ์	8
รูปที่ 2.3 ความกว้างกับแรงอัดนปี	8
รูปที่ 2.4 ความยาวเส้นรอบวงของโมยางที่ยึดหยุ่น	9
รูปที่ 2.5 อัตราความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อความหนาฝ้ายางเปลี่ยน	9
รูปที่ 2.6 โมกดพิมพ์เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าภาพพิมพ์จะเล็กกว่าแม่พิมพ์	10
รูปที่ 2.7 เงื่อนไขการพิมพ์ที่ได้ภาพพิมพ์เท่ากัน	11
รูปที่ 2.8 ผลลัพธ์การทดสอบภาพยึดหด	12
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการหมุนโมแม่พิมพ์ที่คำนวณจากค่ามาตรฐานที่ได้จากตาราง	15
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการหมุนโมฝ้ายางที่คำนวณจากค่ามาตรฐานที่ได้จากตาราง	15
รูปที่ 2.11 เครื่องวัดการหมุนสำหรับวัดโมพิมพ์ที่มีป่า	16
รูปที่ 2.12 เครื่องวัดการหมุนสำหรับวัดโมพิมพ์ที่ไม่มีป่าโม	16
รูปที่ 2.13 ส่วนต่าง ๆ ของมาตรวัด (Dial Indicator)	17
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือวัดการหมุน	17
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของถังอะโนไดซ์	18
รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของฟิล์ม Al_2O_3	19
รูปที่ 2.17 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างในแบบชิ้นงาน	20
รูปที่ 2.18 แสดงกรอบพิกัดความเผื่อและเส้นลูกศรอ้างอิง	20
รูปที่ 2.19 แสดงอักษรอ้างอิง เส้นอ้างอิง และสามเหลี่ยมอ้างอิง	21
รูปที่ 2.20 ตำแหน่งพิกัดช่อง 1 และ 2	21
รูปที่ 2.21 ตำแหน่งรูปลักษณะอ้างอิง	21
รูปที่ 2.22 ตำแหน่งพิกัดช่อง 3	22
รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความตรง”	22
รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความขนาน”	22
รูปที่ 2.25 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความตั้งฉาก”	23
รูปที่ 2.26 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ตำแหน่ง”	23
รูปที่ 2.27 แสดงกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีการหล่อ (Casting)	25
รูปที่ 2.28 การทำแบบทรายหล่อด้วยเครื่องจักร	28
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างชิ้นงานหล่อ ที่ต้องการผลิตโดยวิธีการหล่อ	29
รูปที่ 2.30 การเตรียมกระสวน	29
รูปที่ 2.31 การนำทรายละเอียดไปรยหลังกระสวน	30
รูปที่ 2.32 การร่อนทรายขึ้น	30

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.33 การถมทรายใส่หลังทึบ	31
รูปที่ 2.33 การถมทรายเพิ่มและกระทุ้งด้วยสาก	31
รูปที่ 2.34 การอัดทรายและแทงรูระบายแก๊ส	32
รูปที่ 2.35 การประกบแผ่นกระดานหลังทึบ	32
รูปที่ 2.36 การสร้างรูเทและรูล้น	32
รูปที่ 2.37 การถอดกระสวนออกจากแบบ	33
รูปที่ 2.38 การทำไส้แบบ	33
รูปที่ 2.39 การทดลองสวมประกอบเข้ากับแบบทราย	33
รูปที่ 2.40 รูปร่างของแบบหล่อที่เสร็จแล้ว รอการนำไปเทหล่อ	34
รูปที่ 2.41 เครื่อง Spectro-Densitometer	37
รูปที่ 2.42 หลักการวัดค่าความดำ	38
รูปที่ 2.43 การวัดค่าการบวมของเม็ดสกรีน	39
รูปที่ 2.44 การวัดค่าการพิมพ์พรา (Slur) และเม็ดสกรีนซ้อน (Doubling)	39
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของโม : เฟือง บ่าโม และตัวโม	42
รูปที่ 3.2 ลักษณะของโม (Cylinder)	42
รูปที่ 3.3 การรองหนุนโมฝ้ายาง และโมแม่พิมพ์	43
รูปที่ 3.4 การวัดความสูงของฝ้ายางโดยใช้เครื่องวัดการรองหนุน (Packing gauge)	43
รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดรองหนุน (Packing Gauge) ทั้งสองประเภท	44
รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดรองหนุน (Packing Gauge) แบบฐานแม่เหล็ก	44
รูปที่ 3.7 นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ MITUTOYO รุ่น 1160	45
รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ MITUTOYO รุ่น 1160 ที่มีจำหน่ายทั่วไปกับนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ของ Heidelberg ที่มีขนาดและรูปร่าง แตกต่างกัน	45
รูปที่ 3.9 แบบร่างเครื่องมือวัดรองหนุน แบบที่ 1.	46
รูปที่ 3.10 แบบร่างเครื่องมือวัดรองหนุน แบบที่ 2.	47
รูปที่ 3.11 แบบร่างเครื่องมือวัดรองหนุน แบบที่ 3.	46
รูปที่ 3.12 สร้างรูป หน้าตัด (Profile) ของตัวเรือน Packing gauge เพื่อหาระยะติดตั้งนาฬิกา เปรียบเทียบศูนย์ (Dial Indicator)	50
รูปที่ 3.13 สร้างรูปต้นแบบด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ 3 มิติ	50
รูปที่ 3.14 แบบกำหนดตำแหน่งตรวจสอบค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่างและตำแหน่ง	51
รูปที่ 3.15 แบบจำลองเสมือนจริงของเครื่องมือวัดรองหนุน	51
รูปที่ 3.16 วิธีการหล่อทราย	52

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดรองหนูที่ได้จากการหล่อทราย	53
รูปที่ 3.18 การใช้เครื่องจักร CNC เพื่อกัดชิ้นงานให้ได้ระดับ	54
รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์ทดสอบ : 1) แถบควบคุมการรองหนู, 2) แถบควบคุมการบวมของเม็ดสกรีน	55
รูปที่ 3.20 แถบควบคุมการรองหนู	56
รูปที่ 3.21 แถบควบคุมการบวมของเม็ดสกรีน	56
รูปที่ 3.22 การวัดแถบควบคุมการรองหนูด้วยเครื่อง Spectrophotometer	56
รูปที่ 3.23 ค่ามาตรฐานที่กำหนดระยะลึกป่าโมแม่พิมพ์ 0.50 มิลลิเมตร	57
รูปที่ 3.24 แสดงตำแหน่งการวัดระยะลึกผิวโมแม่พิมพ์ 5 ตำแหน่ง	57
รูปที่ 3.25 แสดงการวัดระยะลึกป่าโมแม่พิมพ์ด้วยเครื่องมือวัดรองหนูมาตรฐาน	57
รูปที่ 4.1 กราฟสรุปผลค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียด	63
รูปที่ 4.2 กราฟผลเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียด	63
รูปที่ 4.3 ลักษณะเม็ดสกรีนที่ 40% : a). รองหนู -0.1 มม. b). รองหนู 0.0 มม. c) รองหนู +0.1 มม.	66
รูปที่ 4.4 ลักษณะของตัวหนังสือ : a). รองหนู -0.1 มม. b). รองหนู 0.0 มม. c) รองหนู +0.1 มม.	66
รูปที่ 4.5 กราฟผลการเพิ่มขึ้นของเม็ดสกรีนบวม	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องพิมพ์ออฟเซต เป็นเครื่องพิมพ์ที่ใช้สำหรับผลิตสิ่งพิมพ์ทั่วไป (Commercial printed) และบรรจุภัณฑ์กระดาษ (Paper box) โครงสร้างพื้นฐานของหน่วยพิมพ์ (Printing Unit) ประกอบไปด้วย โม่แม่พิมพ์ (Plate Cylinder) โม่ผ้ายาง (Blanket Cylinder) และโม่กดพิมพ์ (Impression cylinder) สำหรับเครื่องพิมพ์ออฟเซตระบบพิมพ์ป้อนแผ่น ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ เกือบทั้งหมดจะเป็นเครื่องพิมพ์ชนิดที่มีบ่าโม่ (Cylinder with Bearer) ซึ่งจะต้องใช้วิธีการรองหนุน (Packing) เพื่อให้ได้แรงกดพิมพ์ (Pressure) ที่เหมาะสม การรองหนุนในกระบวนการพิมพ์ระบบออฟเซต คือ การใช้แผ่นกระดาษหรือแผ่นพลาสติก สอดเข้าไปใต้แผ่นแม่พิมพ์และแผ่นผ้ายาง เพื่อปรับระดับความสูง-ต่ำ และทำให้เกิดแรงกดพิมพ์ ถ่ายโอนหมึกพิมพ์จากโม่แม่พิมพ์ไปยังวัสดุพิมพ์หรือกระดาษ ซึ่งตำแหน่งที่แม่พิมพ์และผ้ายางสัมผัสกันเรียกว่า ตำแหน่งนิบ (Nip)

สาเหตุที่ต้องตรวจสอบค่าการหนุน ก็เพราะต้องการนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาระยะความหนาของวัสดุรองหนุนให้ได้ตามค่าระยะที่ถูกต้องตามที่ผู้ผลิตเครื่องพิมพ์กำหนด เพื่อให้ได้แรงกดพิมพ์ที่ถูกต้อง ได้งานพิมพ์ที่มีคุณภาพ ภาพพิมพ์ไม่ยัด/หด มีค่าความดำ (Solid Ink density) ที่เหมาะสมและที่สำคัญ การรองหนุนที่ถูกต้องจะช่วยให้ไม่ทำให้เกิดปัญหาทางการพิมพ์ที่เรียกว่า การพิมพ์พรา (Slur)

ที่จริงแล้ว แผ่นผ้ายางและวัสดุรองหนุนก่อนที่จะนำไปห่อหุ้มที่โม่ผ้ายาง ช่างพิมพ์สามารถวัดความหนาได้ด้วยไมโครมิเตอร์ ซึ่งจะสามารถนำไปคำนวณรวมกับค่าความหนาของวัสดุรองหนุนและนำไปใช้งานได้ แต่เมื่อนำผ้ายางและวัสดุรองหนุนไปห่อหุ้มที่โม่ผ้ายางและขึ้นดิ่งให้ตั้งตามพิกัดกำหนดแรงขันของสกรู แผ่นผ้ายางจะยืดออก โอบรัดโม่ผ้ายางให้แน่นขึ้นทำให้ระยะความหนาของผ้ายางบางลงได้ หรือเมื่อเครื่องพิมพ์วิ่งงานไปได้ประมาณ 5,000 รอบพิมพ์ ผ้ายางก็จะเกิดการยุบตัวลงได้ ถ้าผ้ายางและวัสดุรองหนุนถูกห่อหุ้มอยู่กับโม่แล้ว ช่างพิมพ์จะไม่สามารถนำไมโครมิเตอร์มาวัดความหนาของผ้ายางได้ จำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์สำหรับตรวจสอบระยะความหนาของผ้ายางและวัสดุรองหนุนตามแนวเส้นรอบวงใหม่อีกครั้ง ซึ่งเรียกว่าเครื่องมือวัดรองหนุน (Packing gauge)

เครื่องมือวัดรองหนุนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดระยะความแตกต่างระหว่างผิวหน้าแม่พิมพ์กับผิวหน้าบ่าโม่แม่พิมพ์ และผิวหน้าผ้ายางกับผิวหน้าบ่าโม่ผ้ายาง เพื่อกำหนดค่ารองหนุนที่เหมาะสมในกรณีของผ้ายาง ความหนาจะเปลี่ยนแปลงได้ตามอายุการใช้งานหรือแรงจากการขันยึดในขณะติดตั้งกับโม่ผ้ายาง ดังนั้นถ้าไม่ใช้เครื่องมือวัดรองหนุนตรวจวัดค่า จะไม่สามารถรู้ค่าความแตกต่างระหว่างผิวหน้าผ้ายางกับบ่าโม่ที่ถูกต้องได้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดรองหนุนตรวจวัดและปรับตั้งค่าแรงกดพิมพ์ที่ถูกต้องตามระยะเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ (ภักดี, 2553 : 56)

แรงกดพิมพ์ที่ตำแหน่งนิบ (Nip) ในการพิมพ์ระบบออฟเซต ต้องเพียงพอแก่การถ่ายโอนหมึกพิมพ์ จากแม่พิมพ์ไปยังผ้ายางและจากผ้ายางไปที่วัสดุพิมพ์ แรงกดที่เหมาะสม คือ การหนุนแม่พิมพ์ให้สูงกว่าบ่าโม่และหนุนผ้ายางให้เสมอกับบ่าโม่ ซึ่งจะต้องตามข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องพิมพ์

แรงกดดันเป็นปัจจัยสำคัญทางคุณภาพงานพิมพ์และเป็นปัญหาทางเศรษฐกิจของธุรกิจการพิมพ์ (ทองเต็ม, 2533 : 226)

อุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุน ที่มีความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นสินค้าเพื่อการอุปโภคและบริโภค สินค้าชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากนโยบายของรัฐบาลมาโดยตลอด ในปี 2546 ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ที่ 4/2546 เรื่อง นโยบายส่งเสริมการลงทุน ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ ให้งดเว้นภาษีนำเข้าเครื่องจักรทางการพิมพ์ และอนุญาตให้นำเข้าเครื่องจักรที่ใช้แล้ว เข้ามาดำเนินกิจการได้ ทำให้ในประเทศไทยได้ จึงมีการนำเข้าเครื่องพิมพ์ออฟเซตใช้แล้วจากต่างประเทศจำนวนมาก ซึ่งเครื่องพิมพ์ออฟเซตที่นำเข้ามาเกือบทั้งหมด จะไม่มีเครื่องมือวัดรองหนุนมาพร้อมกับเครื่องพิมพ์ด้วยเลย (ซึ่งที่จริงแล้วมันคือเครื่องมือพื้นฐานที่ผู้ผลิตเครื่องพิมพ์ทุกรายจะต้องมีมาให้พร้อมกับเครื่องพิมพ์) เนื่องจากเครื่องมือวัดรองหนุนเป็นเครื่องมือที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง ถ้าผู้ประกอบการต้องการได้เครื่องมือนี้มาใช้งาน จะต้องสั่งซื้อจากผู้ผลิตเครื่องพิมพ์โดยตรง ซึ่งมีราคาสูงมาก ประมาณ 40,000-50,000 บาท จึงทำให้ผู้ประกอบการโรงพิมพ์ส่วนใหญ่เลือกที่จะไม่ใช้ แต่อาศัยความชำนาญและการรองผิดรองถูกจากช่างพิมพ์ ทำให้สูญเสียเวลาในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์และเกิดของเสียระหว่างการผลิตจำนวนมาก รวมถึงได้งานพิมพ์ที่ไม่มีคุณภาพ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลมีความก้าวหน้ามาก มีเครื่องมือที่สามารถใช้สร้างชิ้นงานได้อย่างแม่นยำ จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีนักวิจัยพัฒนาเครื่องมือวัดรองหนุนสำหรับเครื่องพิมพ์ออฟเซตที่มีโมพิมพ์แบบมีบ่า เป็นแบบใช้นาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์สามเรือนและมีโครงสร้างทำจากอลูมิเนียมแท่งชิ้นเดียว (Mono frame) ขึ้นรูปตัวเครื่องโดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี มีการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดพิคกิ้งเพื่อหาค่าพิคกิ้งความเผื่อเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่างและตำแหน่ง ความฉาก ความตรง และความขนานของชิ้น (พิทักษ์พงษ์, 2554:20) แต่วิธีการดังกล่าวต้องใช้เวลากัดชิ้นงานที่ละเอียดอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อชิ้น ประมาณ 30,000 บาท ซึ่งนับว่าเป็นราคายังสูงมากสำหรับโรงพิมพ์ขนาดกลางและเล็กที่มีอยู่ทั่วไป

การลดจำนวนนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์ลงเหลือหนึ่งตัว การเปลี่ยนวัสดุทำโครงสร้างหลักจากอลูมิเนียมแท่งเป็นเหล็กหล่อ การทำต้นแบบชิ้นงานด้วยการหล่อแบบทราย (Sand Casting) หรือการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยโลหะหลอมเหลว และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Designed : CAD) รวมกับการใช้เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printing) เพื่อทำต้นแบบ จะทำให้สามารถสร้างเครื่องมือวัดรองหนุนที่มีราคาถูกลงมาก แต่ยังจำเป็นต้องศึกษาโครงสร้างและออกแบบรูปทรง ตรวจสอบความเที่ยงตรงและถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือ และทดสอบประสิทธิภาพของการใช้งาน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการใช้งานและลักษณะโครงสร้างของเครื่องมือวัดรองหนุนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์เดียว สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น เพื่อนำมาออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องมือวัดรองหนุนให้มีราคาถูกลงและสามารถนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องมือวัดรองหนุน ถือเครื่องมือสำคัญของช่างพิมพ์ที่จำเป็นต้องใช้งานเป็นประจำ เพื่อที่จะผลิตงานพิมพ์ที่มีคุณภาพ ซึ่งเครื่องมือวัดการรองหนุนนั้น โดยปกติจะเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ติดมากับเครื่องพิมพ์ สำหรับโรงพิมพ์ที่ซื้อเครื่องพิมพ์ใหม่โดยตรงกับผู้ผลิตเครื่องพิมพ์ แต่สำหรับอุตสาหกรรมโรงพิมพ์ในประเทศไทยแล้ว ผู้ประกอบธุรกิจโรงพิมพ์มักจะซื้อเครื่องพิมพ์ใช้แล้วจากต่างประเทศ เข้ามาผลิตงานพิมพ์เป็นจำนวนมาก เพราะด้วยราคาเครื่องจักรที่ถูกลงกว่าเครื่องพิมพ์ใหม่ ทำให้ต้นทุนการผลิตที่ถูกลง สามารถผลิตสิ่งพิมพ์แข่งขันในตลาดได้ จึงทำให้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์พื้นฐานหลายอย่าง ไม่ได้ติดมากับเครื่องพิมพ์เก่าที่ถูกขาย มาด้วย ซึ่งถ้าเจ้าของเครื่องพิมพ์เก่าที่ใช้ในปัจจุบันต้องการซื้อเครื่องมือวัดมาตรฐานต่างๆจากผู้ผลิตเครื่องพิมพ์โดยตรง จะต้องมีการจ่ายสูงมาก จนทำให้เจ้าของโรงพิมพ์หลายแห่งเลือกที่จะไม่ซื้อเครื่องมือวัดเหล่านั้นมาใช้งาน อาศัยความชำนาญของช่างพิมพ์ และการลองผิดลองถูก ก็สามารถผลิตงานพิมพ์ออกมาได้ แต่คุณภาพงานพิมพ์ทั่วไปที่เห็นในท้องตลาด ก็มักจะขาดความเที่ยงตรง ไม่ได้คุณภาพ อีกทั้งทำให้โรงพิมพ์หาช่างพิมพ์ที่มีความชำนาญมาทำงานได้ยาก เพราะต้องอาศัยแต่ฝีมือ ไม่มีเครื่องมือตรวจวัดมาตรฐานมาช่วยในการทำงาน ในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล มีเทคโนโลยีและเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างชิ้นส่วนต่างๆมีความแม่นยำสูง สามารถสร้างเครื่องมือเครื่องมือวัดความสูงของบ่าโมที่มีราคาถูกลง สามารถใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตแบบป้อนแผ่นได้ แต่ต้องอาศัยวิธีการวิจัย และการทดสอบอย่างมีระบบ จากวิศวกรที่มีความชำนาญ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยที่จะสร้างเครื่องมือวัดความสูงของบ่าโมชนิดนาฬิกาวัดเดี่ยว สำหรับใช้ในเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น เพื่อให้ผู้ประกอบการโรงพิมพ์โดยทั่วไป สามารถเข้าถึงเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพเทียบเท่ามาตรฐานสากล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดรองหนุนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียวสำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น

1.2.2 เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้น

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เครื่องมือวัดรองหนุนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียวที่ถูกสร้างขึ้น อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ออฟเซต จากเครื่องพิมพ์ป้อนแผ่นแบบมีบ่าโมได้

1.3.2 เครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้นเมื่อสอบเทียบแล้วมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า หรือเท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 เครื่องมือวัดรองหนุน (Packing Gauge) ที่สร้างขึ้นใช้สำหรับวัดระยะรองหนุนของโมเครื่องพิมพ์ออฟเซต ชนิดมีโมพิมพ์แบบมีบ่า

1.4.2 เครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้นใช้ได้กับโมแม่พิมพ์และโมฝ้ายางของเครื่องพิมพ์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมอยู่ระหว่าง 200 - 350 มิลลิเมตร

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.5.1 การวิจัยครั้งนี้ถือว่า อายุ พื้นฐานทางเศรษฐกิจ สังคม และช่วงเวลาของการเรียนของกลุ่มตัวอย่างไม่นำมาพิจารณาว่ามีผลในงานวิจัย

1.5.2 การทดลองเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดรองหนุน กระทำโดยยึดถือวิธีการที่ได้ออกแบบไว้ ตามคู่มือเป็นหลัก

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

โมพิมพ์แบบมีป่า หมายถึง โมพิมพ์ที่มีส่วนปลายทั้งสองข้างของโมมีขอบสูงกว่าผิวโม ขอบที่ยกสูงทำหน้าที่ประคองให้มีแรงสัมผัสระหว่างโมเท่ากัน (ปิยทัศน์, 2550 : 258)

โมพิมพ์ไม่มีป่า หมายถึง โมพิมพ์ที่มีส่วนปลายทั้งสองข้างของโมไม่มีขอบที่ยกสูงอาศัยตัวโมทำหน้าที่ประคองให้มีแรงสัมผัสระหว่างโมเท่ากัน (ปิยทัศน์, 2550 : 258)

ตำแหน่งนิบ หมายถึง ตำแหน่งที่โมฝ้ายางกับโมแม่พิมพ์กดสัมผัสกัน ทำให้เกิดแรงกดพิมพ์สัมผัส (Nip) กว้างขึ้น เพื่อเพิ่มหมึกพิมพ์ในระบบถ่ายโอนให้ดีขึ้น แต่ถ้าแรงกดมากเกิดไปภาพบนแม่พิมพ์จะสึกเร็วและบริเวณที่เป็นภาพเม็ดสกรีนบวม (สะอึ้ง, 2550 : 258)

การรองหนุน หมายถึง การปรับตั้งเครื่องพิมพ์เพื่อให้มีแรงกดพิมพ์ที่เหมาะสมตามที่ผู้ผลิตเครื่องพิมพ์กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ภาพจากแม่พิมพ์ถ่ายทอดไปยังฝ้ายางและจากฝ้ายางไปยังวัสดุพิมพ์ให้ได้คุณภาพมากที่สุด การปรับตั้งแรงกดพิมพ์ให้เหมาะสมนั้นกระทำได้โดยการสอดแผ่นรองหนุนไว้ใต้แม่พิมพ์และฝ้ายาง โดยต้องวัดความหนาของแม่พิมพ์และฝ้ายางแล้วจึงคำนวณหาความหนาของแผ่นรองหนุนจากนั้นจึงสอดแผ่นรองหนุนที่มีความหนาตามที่ได้คำนวณไว้แล้วใต้แผ่นแม่พิมพ์และแผ่นฝ้ายาง (สะอึ้ง, 2550 : 64)

โมแม่พิมพ์ หมายถึง ท่อโลหะทรงกระบอก มีขอกเกี่ยวแผ่นแม่พิมพ์หรือเพลทให้ตรึงแน่น ไม่เคลื่อนที่ เพราะแผ่นเพลท จะต้องถูกกับลูกกลิ้งหมึกและลูกกลิ้งน้ำอยู่ตลอดเวลา ถ้าเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย ตำแหน่งของภาพจะ เคลื่อนไปจะมีปัญหาเกี่ยวกับการพิมพ์(สะอึ้ง, 2550 : 13)

โมฝ้ายาง หมายถึง ท่อโลหะทรงกระบอกเส้นรอบวงของผิวโมจะเล็กกว่าโมแม่พิมพ์ซึ่งมีแผ่นฝ้ายางที่หนากว่าแผ่นแม่พิมพ์มาห่อหุ้ม มีช่องว่างติดตั้งแกนยึดฝ้ายางทั้งหัวและท้าย (สะอึ้ง, 2550 : 13)

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดรองหนุน (Packing Gauge) สำหรับเครื่องพิมพ์ออฟเซตที่มีโมพิมพ์แบบมีป่า ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

- 1.7.1 การวิเคราะห์และศึกษารูปแบบของเครื่องมือวัดรองหนุน
- 1.7.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 1.7.3 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 1.7.4 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
- 1.7.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.8 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1.8.1 ได้ต้นแบบเครื่องมือวัดรองหมุนที่สามารถใช้หาฟิคาเปรียบเทียบศูนย์ (Dial indicator) ที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศได้

1.8.2 เพื่อพิจารณาเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือวัดอื่น ๆ ของเครื่องพิมพ์ออฟเซตที่มีลักษณะคล้ายคลึงได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ค้นคว้าจากเอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดร่องหลุมชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เดียว โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดการหลุม
 - 2.1.1 ความหมายของการหลุม
 - 2.1.2 ความสำคัญของการหลุม
 - 2.1.3 แนวคิดพื้นฐานการร่องหลุม
 - 2.1.4 ความสัมพันธ์ความยาวของภาพกับการร่องหลุม
 - 2.1.5 หลักการคำนวณการหลุมโมแม่มิพพ์และมิพพ์อย่าง
 - 2.1.6 ประเภทและส่วนประกอบของเครื่องมือการหลุม
 - 2.1.7 ปัญหาการมิพพ์ที่เกิดจากการหลุมและแนวทางการแก้ไข
- 2.2 หลักการชุป อะโนไดซ์ อะลูมิเนียม
- 2.3 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างชิ้นงาน
 - 2.3.1 จุดประสงค์ของการกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตาม ISO 1101
 - 2.3.2 สัญลักษณ์เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างตาม ISO 1101
 - 2.3.3 การกำหนดสัญลักษณ์ข้อมูลในแบบงาน
 - 2.3.4 การกำหนดสัญลักษณ์เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างในแบบ
- 2.4 กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะ
- 2.5 การทำแบบหล่อทรายขึ้น
- 2.6 การออกแบบผลิตภัณฑ์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดการหลุม

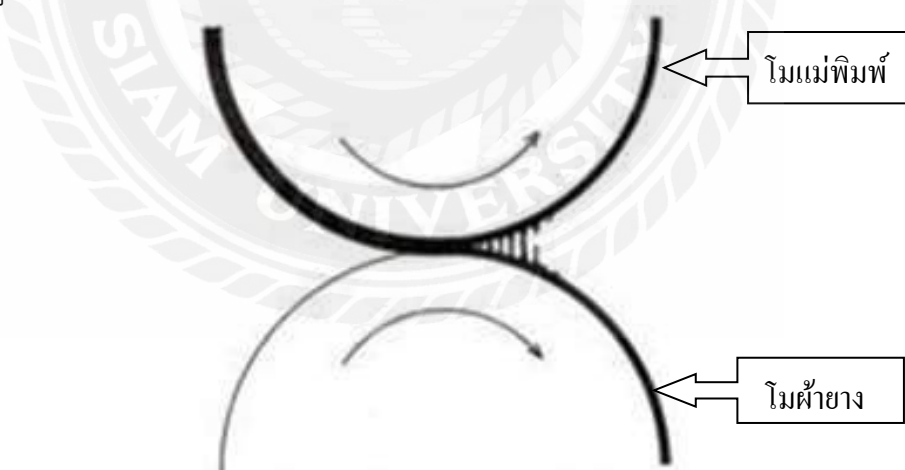
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดการหนูน

2.1.1 ความหมายของการหนูน

การหนูน (Packing) คือ การปรับตั้งเครื่องพิมพ์เพื่อให้มีแรงกดพิมพ์ที่เหมาะสมตามที่ผู้ผลิตเครื่องพิมพ์แต่ละเครื่องได้กำหนดไว้ เพื่อให้ภาพจากโมแม่พิมพ์ถ่ายทอดไปยังโมฝ้ายาง และจากโมฝ้ายางไปยังวัสดุพิมพ์ให้ได้คุณภาพมากที่สุด การปรับตั้งแรงกดพิมพ์ให้เหมาะสมนั้นกระทำได้โดยการสอดแผ่นรองหนูนไว้ใต้แม่พิมพ์และฝ้ายาง โดยต้องวัดความหนาของแม่พิมพ์และฝ้ายางแล้ว จึงคำนวณหาความหนาของแผ่นรองหนูน จากนั้นจึงสอดแผ่นรองหนูนที่มีความหนาตามที่กำหนดไว้แล้ว ใต้แม่พิมพ์และฝ้ายาง (ปิยทัศน์, 2550:1)

2.1.2 ความสำคัญของการหนูน

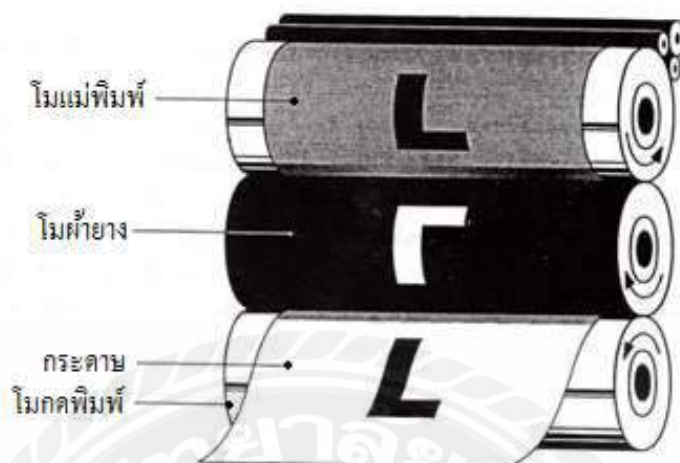
2.1.2.1 การปรับตั้งแรงกดพิมพ์ในการพิมพ์ออฟเซตการถ่ายทอดภาพจะเกิดขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างโมแม่พิมพ์และโมฝ้ายาง หมึกพิมพ์จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคงค้างอยู่บนโมแม่พิมพ์ที่ทำหน้าที่ถ่ายโอน และอีกส่วนหนึ่งจะติดอยู่บนโมฝ้ายางที่ทำหน้าที่รับโอน การถ่ายทอดภาพด้วยการสัมผัสนั้นถ้าไม่สามารถที่จะถ่ายโอนหมึกพิมพ์ได้มากพอจะทำให้รูปที่ปรากฏมีความข้มน้อย การเพิ่มรองหนูนเป็นการเพิ่มแรงกดพิมพ์ให้มีค่าสูงขึ้นคือ ทำให้แรงกดพิมพ์สัมผัส (Nip) กว้างขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณหมึกพิมพ์ในการถ่ายโอนให้ดีขึ้น แต่ถักรองหนูนมากเกินไปจะทำให้หมึกพิมพ์ได้รับแรงกดพิมพ์มากเกินไป เป็นผลทำให้ภาพบนแม่พิมพ์สึกหรอเร็ว และบริเวณที่เป็นภาพสกรีนเกิดเม็ดสกรีนบวมหรือมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าปกติ แรงกดพิมพ์ในการพิมพ์ออฟเซตที่เหมาะสมมีค่าน้อยมากคือ คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.0508 – 0.0762 มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นการหนูนต้องได้รับการปรับตั้งให้ถูกต้องและแม่นยำ



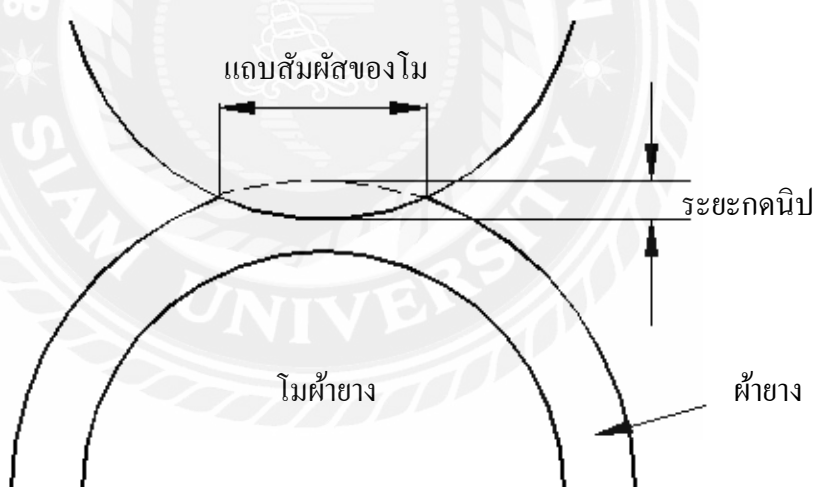
รูปที่ 2.1 การถ่ายโอนหมึกระหว่างแม่พิมพ์และโมฝ้ายาง
(ที่มา : สะอิ่ง บุญธรรม. 2550)

2.1.2.2 สามารถเลือกใช้แม่พิมพ์และฝ้ายางที่มีความหนาต่างกันได้ แม่พิมพ์และฝ้ายางแต่ละแผ่นที่ใช้ในเครื่องพิมพ์มีความหนาไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการผลิตของแต่ละบริษัท ดังนั้น เพื่อให้เครื่องพิมพ์สามารถใช้งานได้กับแม่พิมพ์และฝ้ายางที่มีความหนาไม่คงที่เนื่องจากการผลิต จึงต้องมีการเปลี่ยนความหนาของการหนูนตามความหนาที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะเป็นการรักษาแรงกดพิมพ์ให้มีความสม่ำเสมอและคงที่

2.1.2.3 การแก้ไขปัญหาการยึดหดตัวของกระดาษ กระดาษของการพิมพ์ออฟเซตมักจะมีความปัญหาการยึดหดตัวเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ปัญหานี้อาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนรอนของโมแม่พิมพ์และโมฝ้ายางเพื่อให้ขนาดของภาพบนวัสดุพิมพ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (สะอั้ง, 2550: 3-4)



รูปที่ 2.2 การสัมผัสของโมแม่พิมพ์ โมฝ้ายาง โมกตพิมพ์
(ที่มา : สะอั้ง บุญธรรม. 2550)

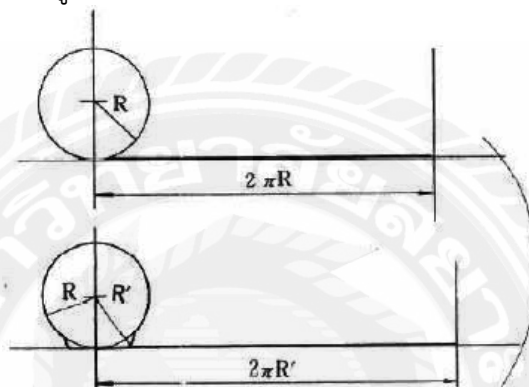


รูปที่ 2.3 ความกว้างกับแรงอัดนิบ
(ที่มา : สะอั้ง บุญธรรม. 2550)

2.1.3 แนวคิดพื้นฐานการรองหนุน

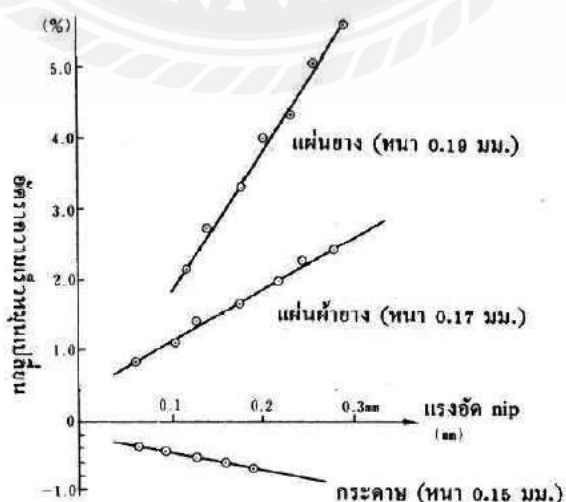
การที่จะให้ภาพพิมพ์ถ่ายทอดลงบนกระดาษโดยโมกดพิมพ์นั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของทุกโมกดพิมพ์ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ต่อมาพบว่าโมกดพิมพ์ถูกกดทำให้ส่วนถูกแรงกดยุบตัวลงไป จึงทำให้โมกดพิมพ์โตกว่า แต่เมื่อลองพิมพ์จริงกลับไม่ได้ผลตามที่คิดไว้

ในปี คศ.1936 บริษัทมิลเลอร์ในอเมริกาได้ทำการทดลองได้ผลตรงกันข้ามคือต้องให้โมกดพิมพ์เล็กกว่าโมแม่พิมพ์ และโมกดพิมพ์ จึงได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ไว้ ถ้าลองเอาโมกดพิมพ์มาคลึงบนโต๊ะราบๆ โดยให้กลิ้งต่อเนื่องและราบ เมื่อกลิ้งไป 1 ครั้ง ลูกกลิ้งจะเคลื่อนไปเท่ากับระยะ $2\pi R$ (R เป็นรัศมีของโมกดพิมพ์) ซึ่งในกรณีที่ไม่มีความกดจะเคลื่อน $2\pi R$ จริงแต่เมื่อมีความกดจะเคลื่อนไปได้มากกว่า $2\pi R$ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความยาวเส้นรอบวงของโมกดที่ยืดหยุ่น
(ที่มา : วิชัย พยัคฆโส. 2550)

ในกรณีดังกล่าวอธิบายได้ว่าเมื่อโมกดถูกกดจะหนีออกด้านหน้าและด้านหลังซึ่งทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่บวมออกเป็น R ดังนั้นระยะที่เคลื่อนที่ไปเท่ากับ $2\pi R$ ซึ่งในปี คศ. 1960 ได้ใช้ท่อทรงกระบอกแข็งกับการหนุน (Packing) ติดอยู่หนุนสัมผัสกันโดยขับเคลื่อนด้านหนึ่งแล้วหาอัตราความเร็วที่เปลี่ยนไปของการเคลื่อนที่อีกด้านหนึ่ง ซึ่งปรากฏผล ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 อัตราความเร็วที่เปลี่ยนไปเมื่อความหนาผ้าเปลี่ยนแปลง
(ที่มา : วิชัย พยัคฆโส. 2550)

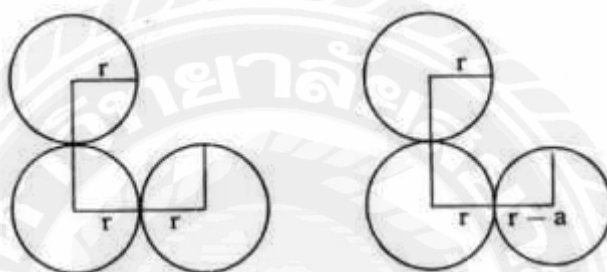
เมื่อให้แรงอัดกับโมฝ้ายาง 0.19 มิลลิเมตร หมุนไป 1 รอบ โมแม่พิมพ์กับโมกดพิมพ์จะหมุนมากกว่า 1 รอบ เพิ่มความเร็วขึ้น ถ้าจะให้โมพิมพ์ทุกตัวหมุนด้วยอัตราความเร็วเท่ากันโมฝ้ายางต้องทำให้เล็กลง ฝ้ายาง (หนา 0.17 มิลลิเมตร) เป็นชั้นบางกว่าเดิม

2.1.4 ความสัมพันธ์ความยาวของภาพกับการรองหมุน

เครื่องพิมพ์ออฟเซตประกอบด้วย โมแม่พิมพ์ โมฝ้ายางและโมกดพิมพ์ มีเฟืองอยู่ที่ปลายโมทุกตัวและหมุนไปพร้อมกันด้วยเฟืองที่ขบกันอยู่ ถ้าหากโมทั้ง 3 ตัวมีขนาดเท่ากันและเรียงกันเป็นรูปตัว L ทำมุมดังรูป โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ r ความยาวของภาพจะเท่ากับ

$$2 \pi r \times \frac{90^\circ}{360^\circ} = \frac{\pi r}{2}$$

แต่ถ้าโมกดพิมพ์เล็กลง โมฝ้ายางกับโมแม่พิมพ์เท่ากัน ภาพของโมกดพิมพ์จะเล็กลง



รูปที่ 2.6 โมกดพิมพ์เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าภาพพิมพ์จะเล็กกว่าแม่พิมพ์
(ที่มา : วิชัย พยัคฆโส. 2550)

ความโคของภาพในโมเพลท

ความโคของภาพในโมกดพิมพ์

นั่นคือจะเล็กลงเท่ากับส่วน $\frac{\pi a}{2}$

$$= \frac{\pi r}{2}$$

$$= \frac{\pi (r-a)}{2} = \frac{\pi r - \pi a}{2} = \frac{\pi r}{2} - \frac{\pi a}{2}$$

นอกจากนั้นถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของโมแม่พิมพ์โตกว่าโมกดพิมพ์ก็อาจกล่าวได้ในทำนองเดียวกัน และตรงกันข้ามถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของโมแม่พิมพ์เล็กกว่าโมกดพิมพ์จะทำให้ภาพขยายโตขึ้น ซึ่งนำมาใช้กับการปรับฉากโดยการเพิ่มลดปริมาณการรองหมุนหรือหากโมฝ้ายางซึ่งอยู่ตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะเล็กหรือโตไปบ้างแต่ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมแม่พิมพ์กับโมกดพิมพ์เท่ากัน ความยาวของภาพจะได้เท่ากัน

โมแม่พิมพ์กับโมกดพิมพ์อยู่บนเครื่องในแนวโค้ง ถ้านำแม่พิมพ์และกระดาษมาวางบนพื้นราบวัดขนาดดูจะพบว่าขนาดผิดไป ปกติทำแม่พิมพ์โดยอัดจากฟิล์มในแนวราบ แม่พิมพ์งอโค้งค่าผิวหน้าจะยืดออกไปตามความหนาและด้านหลังจะหดลง ในกรณีเดียวกัน การพิมพ์ถ้าทำในที่โค้งกับทำในที่ราบขนาดจะหดตัวลง การพิมพ์ถ้าทำในที่โค้งกับทำในที่ราบขนาดจะหดตัวลง

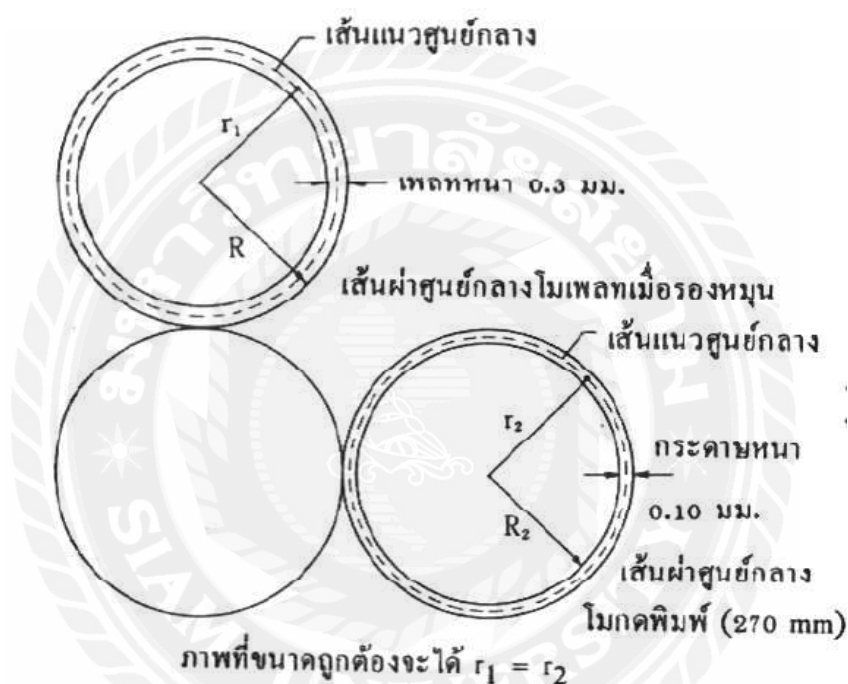
ดังนั้นทั้งแม่พิมพ์และกระดาษรองต้องให้มีค่าแนวศูนย์กลางเท่ากัน ดังรูปที่ 2.7 ถ้าขนาดของแม่พิมพ์กับกระดาษเท่ากันภาพที่เกิดขึ้นปกติ หาก แม่พิมพ์หนากว่ากระดาษ ภาพที่ได้จะมีขนาดโตกว่าภาพในโพสตีฟฟิล์ม และถ้าตรงกันข้ามก็จะได้ภาพเล็กกว่า การจะทำให้ภาพมีขนาดเท่ากันจึงต้องมีสูตรความสัมพันธ์ของความหนากระดาษกับแม่พิมพ์ ดังนี้

รัศมีของการร่อนไหมแม่พิมพ์ - $\frac{1}{2}$ ความหนากระดาษ = รัศมีไหมแม่พิมพ์ + $\frac{1}{2}$ ความหนากระดาษ

เส้นผ่านศูนย์กลางการร่อนไหมกดพิมพ์ = เส้นผ่านศูนย์กลางไหมกดพิมพ์ + ความหนากระดาษ
+ ความหนาแม่พิมพ์

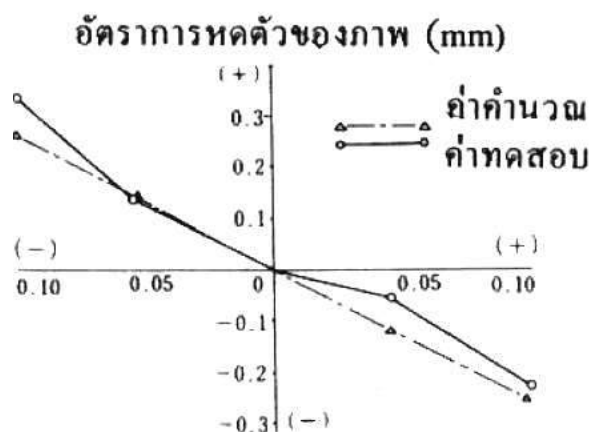
ตัวอย่างเช่น เส้นผ่านศูนย์กลางไหมกดพิมพ์ = 270 มิลลิเมตร , แม่พิมพ์หนา 0.30 มิลลิเมตร ,
กระดาษหนา 0.10 มิลลิเมตร ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการร่อนไหมแม่พิมพ์ = $270 + 0.10 + 0.30 = 270.40$ มิลลิเมตร

นั่นคือ รัศมีของไหมกดพิมพ์ 270 มิลลิเมตร ค่า Over bearer ของไหมแม่พิมพ์ เท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.7 เงื่อนไขการพิมพ์ที่ได้ภาพพิมพ์เท่ากัน
(ที่มา : วิชัย พยัคฆ์โส. 2550)

เท่าที่กล่าวมา เป็นการอธิบายด้วยวิธีการคำนวณ แต่ใน รูปที่ 2.8 เป็นการทดสอบการยืดหดของภาพในเครื่องพิมพ์จริง ค่าคำนวณกับค่าที่เกิดขึ้นจริงแตกต่างกัน เกิดจากการยืดหดกระดาษ การยืดผ้าฝ้าย และยังมีผลกระทบจากปัจจัยตัวอื่น ๆ อีก (วิชัย, 2542 : 215-217)



มาตรฐานเมื่อรองหนูแม่พิมพ์ = 135.53 มิลลิเมตร

รูปที่ 2.8 ผลลัพธ์การทดสอบภาพยืดหด
(ที่มา : วิชัย พยัคฆ์โส. 2550)

2.1.5 หลักการคำนวณการหนูแม่พิมพ์และไม้ฝ้ายาง

ก่อนที่จะทำการปรับตั้งระยะความหนาของแผ่นรองหนูไม้ต่างๆของเครื่องพิมพ์ออฟเซตไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์ ไม้ฝ้ายาง หรือโมกดพิมพ์ก็ตาม จำเป็นต้องคำนึงถึงหน้าที่ของส่วนต่างๆ ของโมและค่ามาตรฐานต่างๆของโมที่เกี่ยวข้องกับการหนู ซึ่งเครื่องพิมพ์แต่ละแบบอาจจะมีค่ามาตรฐานต่างๆเหล่านี้แตกต่างออกไป อย่างไรก็ตามจะมีการระบุค่ามาตรฐานเหล่านี้เอาไว้ในหนังสือคู่มือการใช้เครื่องพิมพ์นั้นๆเป็นการเฉพาะ ซึ่งพอจะสรุปค่ามาตรฐานระยะหลักของโมได้ดังนี้

1. เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ (Pitch Diameter)
2. เส้นผ่านศูนย์กลางบ่าโม (Bearer Diameter)
3. ขนาดช่วงลิ๊กบ่าโม (Under Cut)
4. ระยะบ่าโม (Bearer Clearance)
5. ค่าความสูงเกินบ่าโม หรือระยะระหว่างผิวฝ้ายางและผิวแม่พิมพ์กับบ่าโม (Over Bearer)
6. ปริมาณการหนู (Packing)

นอกจากนี้ข้อมูลมาตรฐานต่างๆของโมที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ยังสามารถนำมาใช้คำนวณหาค่ามาตรฐานอื่นได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น

1. ค่าความสูงเกินบ่าโมแม่พิมพ์ = ปริมาณการหนูของโมใดๆ - ขนาดช่วงลิ๊กบ่าโมใดๆ
หรือ = ความหนาของแม่พิมพ์ + ความหนาของการหนู
2. ค่าความหนาของแผ่นรองหนูใต้แม่พิมพ์ = ปริมาณการหนูที่แม่พิมพ์ - ขนาดความหนาของแม่พิมพ์
3. ค่าความหนาของแผ่นรองหนูใต้ฝ้ายาง = ปริมาณการหนูที่ไม้ฝ้ายาง - ขนาดความหนาของฝ้ายาง

4. แรงกดนิป (Nip Pressure) ของการหมุนโมแม่พิมพ์ระหว่างโมแม่พิมพ์กับโมฝ้ายาง = ค่าความสูงเกิดบ่าโมของโมแม่พิมพ์ + ค่าความสูงเกินบ่าโมของโมฝ้ายาง - ระยะบ่าโมระหว่างโมแม่พิมพ์กับโมฝ้ายาง
5. แรงกดนิปของการหมุนโมกดพิมพ์ระหว่างโมกดพิมพ์กับโมฝ้ายาง = ค่าความสูงเกิดบ่าโมของโมกดพิมพ์ + ค่าความสูงเกินบ่าโมของโมฝ้ายาง - ระยะบ่าโมระหว่างโมกดพิมพ์กับโมฝ้ายาง
6. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมใดๆที่รองหมุนแล้ว = (ค่าความสูงเกินบ่าโมของโมใดๆที่รองหมุน $\times 2$) + ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ

จากข้อมูลค่ามาตรฐานระยะต่างๆของโมทั้ง 3 ลูกของเครื่องพิมพ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้คำนวณ หาค่าการหมุนได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ซึ่งจะใช้ค่ามาตรฐานต่างๆของมอดังตารางเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าการหมุนของเครื่องพิมพ์เครื่องหนึ่ง ที่พิมพ์ด้วยกระดาษหนา 0.10 มิลลิเมตร ดังตารางที่

2.1

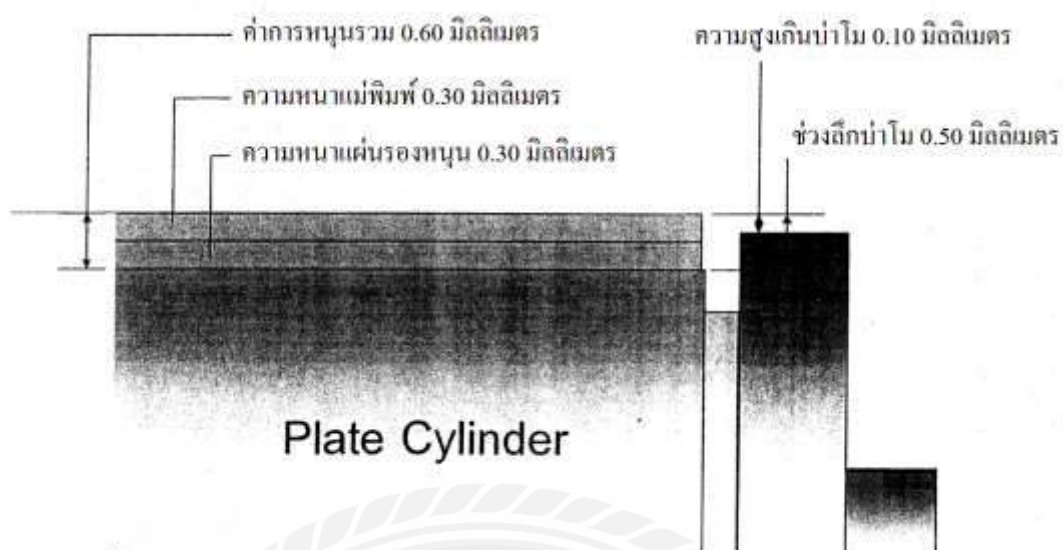


ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานระยะต่างๆของโมเมื่อพิมพ์ด้วยกระดาษพิมพ์หนา 0.10 มิลลิเมตร

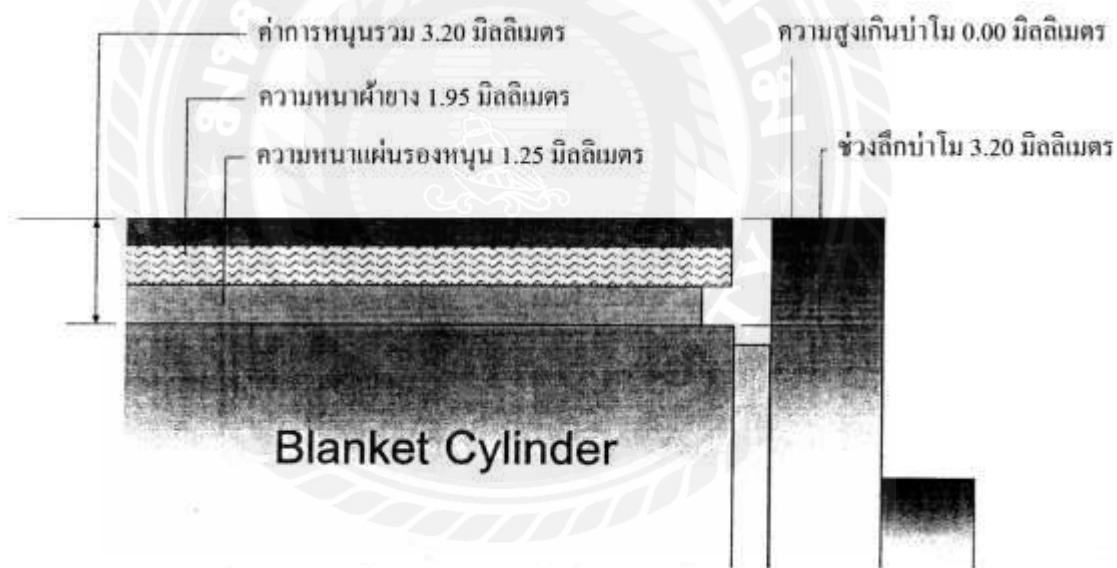
รหัส	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	ช	ซ	ญ
โม	เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตซ์	เส้นผ่านศูนย์กลางบ่าโม	ช่วงลึกบ่าโม	ค่าความสูงเกินบ่าโม	ปริมาณการหมุน	รวมการหมุน	เส้นผ่านศูนย์กลางที่รองหมุนแล้ว	ระยะบ่าโม	แรงกดนิป
โมแม่พิมพ์	270.00	270.00	-0.50	0.10	0.60	แม่พิมพ์ = 0.30 รองหมุน = 0.30 รวม = 0.60	270.20	0.00 (บ่าโมสัมผัส)	0.10
โมฝ้ายาง	270.00	270.00	-3.20	0.00	3.20	ฝ้ายาง = 1.95 รองหมุน = 1.25 รวม = 3.20	270.00	0.00 (บ่าโมสัมผัส)	-
โมกดพิมพ์	270.00	269.30	0.35	0.35	0.00	ไม่มีวัสดุรองหมุน	270 รวมความหนาของกระดาษพิมพ์ 270.20	0.35	0.10

(ที่มา : ปิยทัศน์ สังขมาลัย. 2550)

หมายเหตุ เส้นผ่านศูนย์กลางของโมกดพิมพ์ที่คำนวณแล้ว = 270.20 มิลลิเมตร จะสังเกตได้ว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อทำการหมุนแล้วเท่ากับโมแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นหลักการของแนวคิดพื้นฐานของการหมุนแบบทูล์โซลินเดอร์ และจากข้อมูลมาตรฐานระยะต่างๆของโม นั้นพบว่า ระยะการหมุนของโมที่เกิดแรงกดนิปเหมาะสมที่สุดจะเป็นระยะ 0.10 มิลลิเมตรเพื่อให้ภาพจากแม่พิมพ์ถ่ายทอดไปยังฝ้ายางและจากฝ้ายางถ่ายทอดไปยังวัสดุพิมพ์ให้ได้คุณภาพมากที่สุด (สะอึ้ง,2550:5)



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการหนูนโมแม่พิมพ์ที่คำนวณจากค่ามาตรฐานที่ได้จากตาราง
(ที่มา : ปิยทัศน์ สัจจมาลัย. 2550)



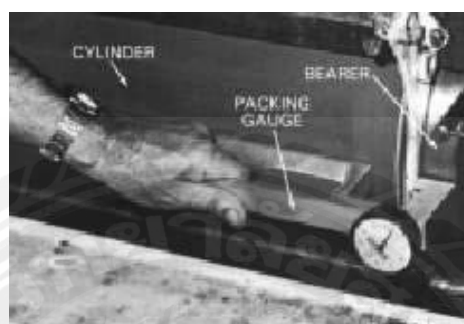
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการหนูนโมผ้าเยางที่คำนวณจากค่ามาตรฐานที่ได้จากตาราง
(ที่มา : ปิยทัศน์ สัจจมาลัย. 2550)

นอกจากนี้เครื่องพิมพ์บางรุ่น อาจจะบอกข้อมูลเบื้องต้นเป็นปริมาณการหนูนของโมแม่พิมพ์โมผ้าเยาง ซึ่งช่างพิมพ์ไม่จำเป็นต้องคำนวณหาปริมาณการหนูน แต่จำเป็นต้องทำการติดตั้งและตรวจสอบการหนูนของโมทั้ง 3 ลูกให้ได้ค่าตรงตามที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้เครื่องพิมพ์เท่านั้น และ ต้องทำการตรวจสอบ เมื่อติดตั้งแล้ว (ปิยทัศน์,2550:9)

2.1.6 ประเภทและส่วนประกอบของเครื่องมือการหมุน

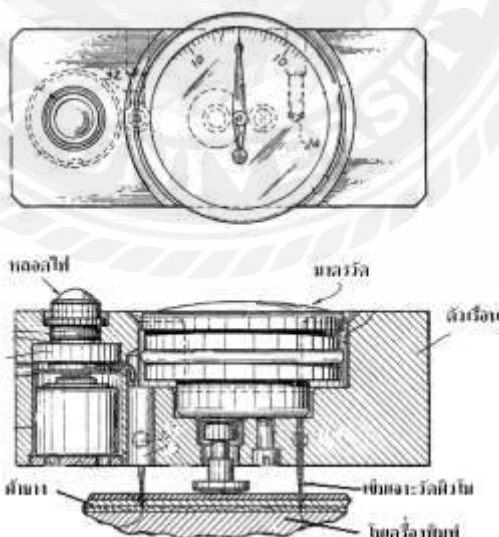
2.1.6.1 ประเภทของเครื่องมือวัดการหมุน แบ่งออกได้ 2 แบบ ตามชนิดของเครื่องมือวัดได้แก่เครื่องมือวัดที่สัมผัสกับผิวกับเครื่องมือวัดที่ไม่สัมผัสกับผิว ดังนี้

1. เครื่องวัดการหมุนสำหรับวัดโมดูลัสที่มีค่าโม (Contact Bearers Packing Gauge) ประกอบด้วยตัวเรือนเครื่องวัดและมาตรวัดที่ประกอบติดกันบนตัวเรือน มาตรวัดอาจมีมากกว่าหนึ่งแล้วแต่รูปแบบการใช้งาน ดังรูปที่ 2.11



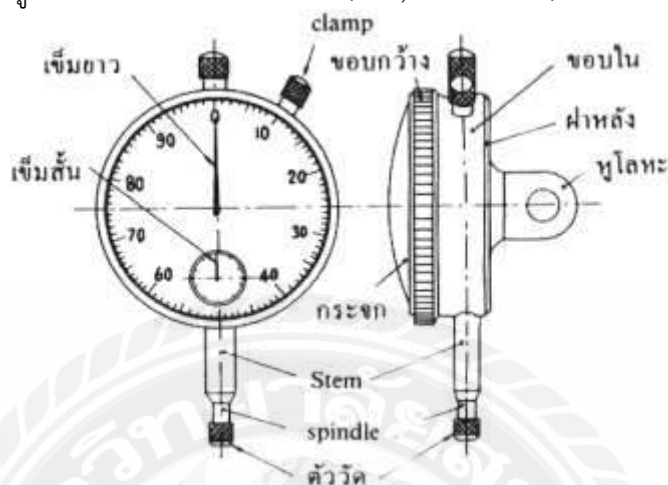
รูปที่ 2.11 เครื่องวัดการหมุนสำหรับวัดโมดูลัสที่มีค่าโม
(ที่มา : Hulmut Kipphan.2001)

2. เครื่องวัดการหมุนสำหรับวัดโมดูลัสที่ไม่มีค่าโม (Non- Contact Bearers Packing Gauge) ประกอบด้วยตัวเรือนเครื่องวัดและมาตรวัดที่ประกอบติดบนตัวเรือน และมีเข็มเจาะวัดผิวโมดังรูปที่ 2.12

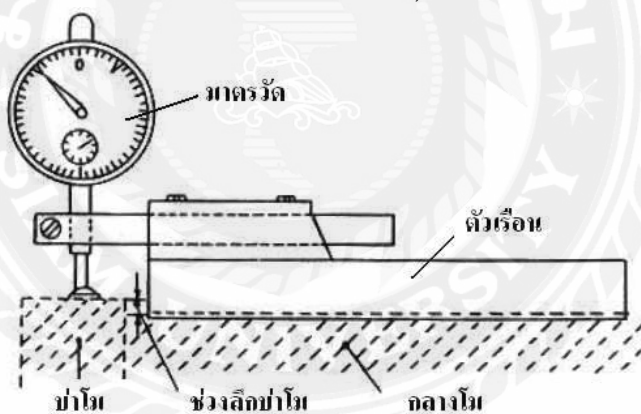


รูปที่ 2.12 เครื่องวัดการหมุนสำหรับวัดโมดูลัสที่ไม่มีค่าโม
(ที่มา : R. E. Wood .2002)

2.1.6.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือวัดการหมุนสำหรับวัดโมเมนต์ที่มีป้าโมประกอบด้วยมาตรวัด (Dial Indicator) และตัวเรือนของเครื่องวัดที่ต้องการให้แนบกับผิวของโมเมนต์ ในขณะที่ทำการวัด ดังรูปที่ 2.13 – 2.14 ตามลำดับ (วิชัย, 2542 : 224)



รูปที่ 2.13 ส่วนต่าง ๆ ของมาตรวัด (Dial Indicator)
(ที่มา : วิชัย พยัคฆโส, 2542)



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือวัดการหมุน
(ที่มา : วิชัย พยัคฆโส, 2542)

2.1.7 ปัญหาการพิมพ์ที่เกิดจากการหมุนและแนวทางการแก้ไข

การหมุนมีผลอย่างมากต่อแรงกดพิมพ์ ซึ่งต้องปรับตั้งให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้น หากรองหมุนแม่พิมพ์หรือฝ้ายางไม่ถูกต้องไม่ว่าจะเป็นรองหมุนน้อยหรือมากเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา สาเหตุของปัญหาในการหมุนที่สำคัญมีดังนี้

- 2.1.7.1 การวัดไม่ถูกต้อง ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยวัดแม่พิมพ์ ฝ้ายาง หรือแผ่นรองหมุนต่างๆผิดพลาดโดยใช้เครื่องมือที่ไม่เที่ยงตรง หรืออ่านค่าจากเครื่องมือผิดพลาด
- 2.1.7.2 การคำนวณการหมุนผิดพลาด
- 2.1.7.3 ฝ้ายางและแผ่นรองหมุนมีการยุบตัวเนื่องจากแรงดึงขณะใส่ฝ้ายาง
- 2.1.7.4 ฝ้ายางและแผ่นรองหมุนมีการยุบตัวเนื่องจากการพิมพ์

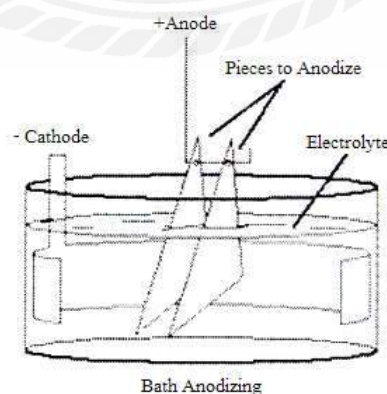
2.1.7.5 ไม่ใช้เครื่องมือวัด เช่น ไมโครมิเตอร์ ในการวัดความหนาของแม่พิมพ์ ผ้ายาง และแผ่นรองหนุนแต่ใช้การกะประมาณแทน การป้องกันและแก้ไขสาเหตุของปัญหาเหล่านี้ทำได้โดยการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบให้ถูกต้อง ช่างพิมพ์ควมระมัดระวังในการคำนวณหาค่าการหนุนทั้งแม่พิมพ์และผ้ายางให้ตรวจสอบการหนุนทุกครั้งเมื่อหุ้มรอบโมแล้ว (สะอึ้ง, 2550:9)

2.2 หลักการชุบอะโนไดซ์อะลูมิเนียม

การทำอะโนไดซ์ คือ กระบวนการป้องกันการผุกร่อนของโลหะอะลูมิเนียม โดยทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ของอะลูมิเนียมคือ Al_2O_3 ที่เสถียรเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยใช้การอิเล็กโทรลิซิส ออกไซด์ของอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นจากการทำอะโนไดซ์จะมีลักษณะผิวด้านและมีรูพรุนเล็กๆมากมาย โดยรูพรุนนี้จะเป็นตัวเก็บสีที่เราจะย้อมไว้ การทำอะโนไดซ์จะทำให้ผิวอะลูมิเนียมทนการกัดกร่อนได้มากขึ้นและเป็นฉนวนไฟฟ้า จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องบิน และสิ่งประดับสวยงาม วิธีอะโนไดซ์มีข้อดีกว่าวิธีการชุบโลหะอื่นที่ไม่ปล่อยสารมลพิษเช่น โลหะหนัก และเกลือไซบาไนต์สู่สิ่งแวดล้อม

ผิวของอะลูมิเนียมที่ผ่านการอะโนไดซ์แล้ว จะมีความสามารถในการนำความร้อนได้ลดลง และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำกว่าอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ด้วยผลกระทบนี้ผิวจะแตกร้าวเมื่อทิ้งไว้ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 80 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามผิวจะไม่กะเทาะลอกออก ผิวของอะลูมิเนียมที่ผ่านการอะโนไดซ์แล้วจะมีจุดหลอมเหลวที่ 2,050 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ซึ่งจะหลอมเหลวที่ 658 องศาเซลเซียส ดังนั้นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอะโนไดซ์จึงเชื่อมติดได้ยาก

การทำอะโนไดซ์ประกอบด้วยชิ้นงานอะลูมิเนียมที่เป็นขั้วแอโนดโดยติดอยู่กับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟตรง ส่วนด้านคาโทดจะเชื่อมกับขั้วลบโดยตัวคาโทดจะใช้แผ่นอะลูมิเนียมหรือตัวนำไฟฟ้าอะไรก็ได้ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายอะโนไดซ์ ทั้งขั้วแอโนดและคาโทดจะจุ่มในสารละลายอะโนไดซ์ ซึ่งประกอบด้วยสารนำไฟฟ้า (Electrolyte) ที่นิยมใช้คือสารละลายกรดกำมะถัน (Sulfuric acid : H_2SO_4)

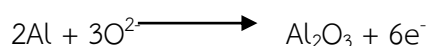


รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของถังอะโนไดซ์

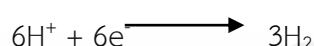
(ที่มา : บันเทิง ศิลป์สกุลสุข. 2552)

ในการชุบอะโนไดซ์เราใช้ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านไปยังแผ่นอะลูมิเนียมที่แช่อยู่ในสารละลาย สำหรับขั้วกระแสไฟฟ้าจะปล่อยไฮโดรเจนออกที่ขั้วคาโทด และเริ่มสร้างอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิวของ อะลูมิเนียมชั้นงานซึ่งเป็นชั้นอะโนด โดยจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

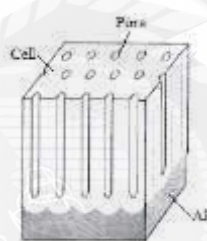
ปฏิกิริยาที่ขั้วอะโนดคือ



ปฏิกิริยาที่ขั้วคาโทดคือ



ดังนั้นปฏิกิริยารวมคือ



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของฟิล์ม Al_2O_3

(ที่มา : บันเทิง ศิลป์สกุลสุข. 2552)

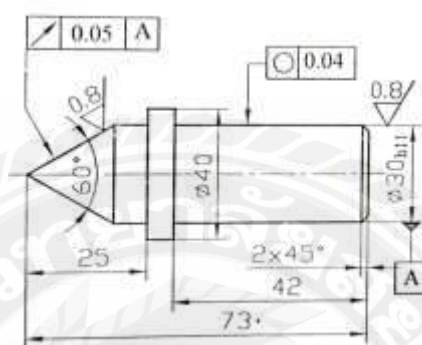
เงื่อนไขและองค์ประกอบอื่นๆเช่น ความเข้มข้นของสารละลายอะโนไดซ์ , อุณหภูมิของสารละลายอะโนไดซ์ , กระแสไฟฟ้าที่ใช้ล้วนแต่มีผลต่อการก่อตัวของชั้นอะลูมิเนียมออกไซด์ ความหนาของชั้นอาจแตกต่างกันหลายเท่าเมื่อเงื่อนไขและองค์ประกอบเปลี่ยนไป ชั้นของออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการทนการกัดกร่อน ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะก่อตัวเป็นท่อรูปหกเหลี่ยมเรียงตัวกัน ความหนา (สูง) ของท่อนี้เริ่มตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรซึ่งจะให้ชั้นงานสว่างใส และจนถึง 150 ไมโครเมตร สำหรับใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรม (บรรเทิง,2550:3)

2.3 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างชิ้นงาน

2.3.1 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างตาม ISO 1101

ชิ้นงานจะเกิดจากส่วนต่างๆของรูปร่างเลขาคณิตมารวมกัน เนื่องจากการผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างเลขาคณิตอย่างดีที่สุดนั้นไม่สามารถกระทำได้จึงต้องมีการกำหนดขอบเขต ความเปี่ยงเบน รูปร่างและตำแหน่ง โดยให้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนร่วมกับสัญลักษณ์ รูปความหมายตามมาตรฐานสากล ISO 1101 หรือ มอก. 210 เล่ม 6- 2529

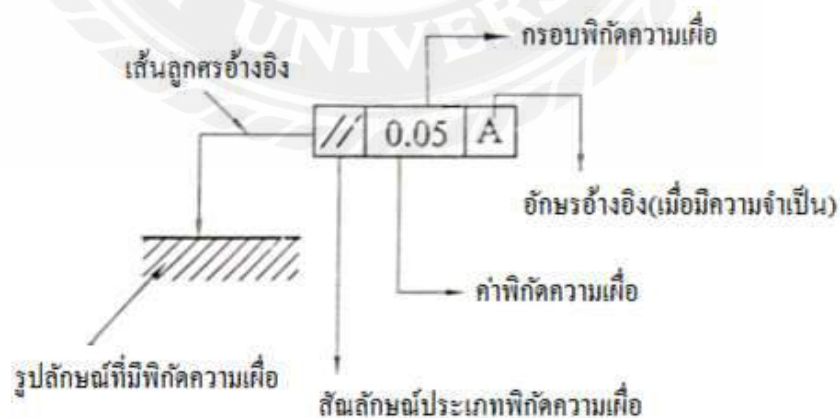
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างนี้ จะกำหนดก็ต่อเมื่อต้องการให้แน่ใจว่าการประกอบชิ้นงานจะได้ผลตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ ในชิ้นงานที่ต้องการรูปร่างเลขาคณิตที่แม่นยำสูงเช่น ความเรียบ ความกลม ความขนาน ความร่วมศูนย์ ความสมมาตรและอื่นๆ เมื่อมีการกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด (Size Tolerance) จะต้องมีการกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างควบคู่กันไปเพื่อการประหยัดและได้ชิ้นงานเป็นไปตามจุดประสงค์ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างในแบบชิ้นงาน
(ที่มา : พัทธพงษ์ บุญประสม. 2552)

ปลายศูนย์จะต้องมีความกลมขณะหมุน อ้างอิงลำตัวเบี่ยงเบนไม่เกินพิกต์ 0.05 มิลลิเมตร มิฉะนั้นเมื่อไปยื่นศูนย์ชิ้นงานที่กลึงจะส่ายสะบัดและบริเวณลำตัวต้องกลมตามพิกต์ 0.04 มิลลิเมตร มิฉะนั้นจะสวมเข้าไปในปลอกไม่ได้

2.3.2 สัญลักษณ์เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างตาม ISO 1101



รูปที่ 2.18 แสดงกรอบพิกต์ความเผื่อและเส้นลูกศรอ้างอิง
(ที่มา : มอก.210-2529 : เล่ม6)



รูปที่ 2.19 แสดงอักษรอ้างอิง เส้นอ้างอิง และสามเหลี่ยมอ้างอิง
(ที่มา : มอก.-210,2529 : เล่ม 6)

2.3.3 การกำหนดสัญลักษณ์ข้อมูลในแบบงาน

2.3.3.1 กรอบพิกัดความเผื่อรูปร่างมี 2 ช่อง(รูปที่ 2.20) ได้แก่

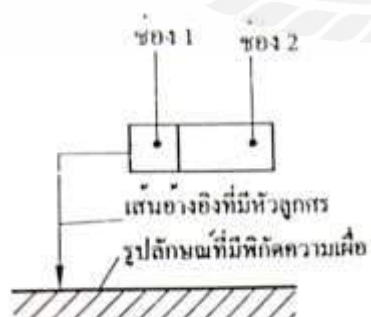
ช่อง 1 บอกสัญลักษณ์คุณสมบัติ

ช่อง 2 บอกค่าพิกัดความเผื่อเป็น มิลลิเมตร

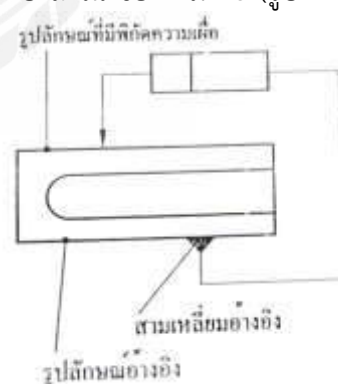
2.3.3.2 เส้นอ้างอิงเป็นมุมฉาก (รูปที่ 2.21)

2.3.3.3 พิกัดความเผื่อตำแหน่งต้องอ้างอิงรูปลักษณะที่ใช้เป็นบรรทัดฐาน
(รูปลักษณะอ้างอิง)โดยการต่อตรง

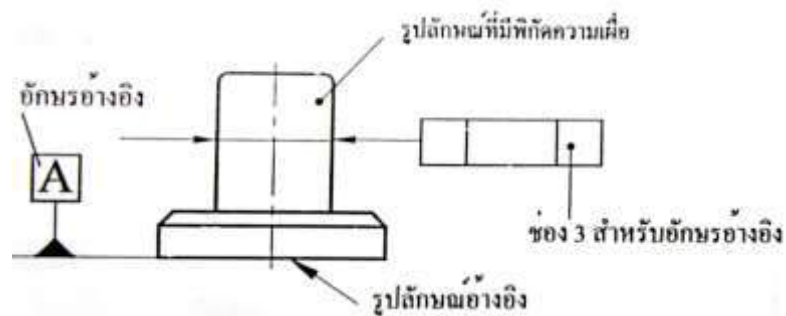
2.3.3.4 ถ้าเนื้อที่ถูกจำกัด กำหนดรูปลักษณะอ้างอิงลงใน ช่องเพิ่มเติมที่ 3 (รูปที่ 2.22)



รูปที่ 2.20 ตำแหน่งพิกัดช่อง 1 และ 2



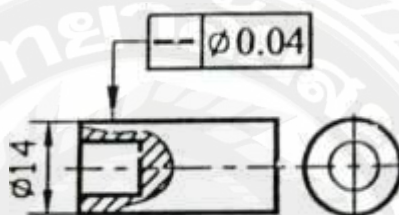
รูปที่ 2.21 ตำแหน่งรูปลักษณะอ้างอิง



รูปที่ 2.22 ตำแหน่งพิกัดช่อง 3
(ที่มา : มอก-210,2529 : เล่ม 6)

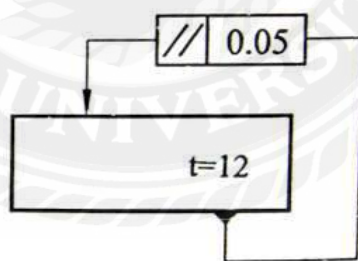
2.3.4 การกำหนดสัญลักษณ์เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างในแบบ

2.3.4.1 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความตรง” หรือ ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความตรง”
(ที่มา : มอก.-210,2529 : เล่ม 8)

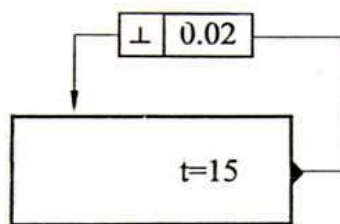
2.3.4.2 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความขนาน” หรือ ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความขนาน”
(ที่มา : มอก.-210,2529 : เล่ม 8)

2.3.4.3 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความต้งฉาก” หรือ  ค่าพิสัยความเผื่อ

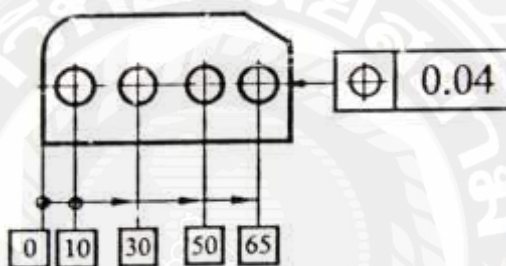
ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.25 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ความต้งฉาก”
(ที่มา : มอก.-210,2529 : เล่ม8)

2.3.4.4 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ตำแหน่ง” หรือ  ค่าพิสัยความเผื่อ

ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.26 สัญลักษณ์ความเผื่อรูปร่างแสดง “ตำแหน่ง”
(ที่มา : มอก.-210,2529 : เล่ม 8)

2.4 กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะ (Fabrication of Metals)

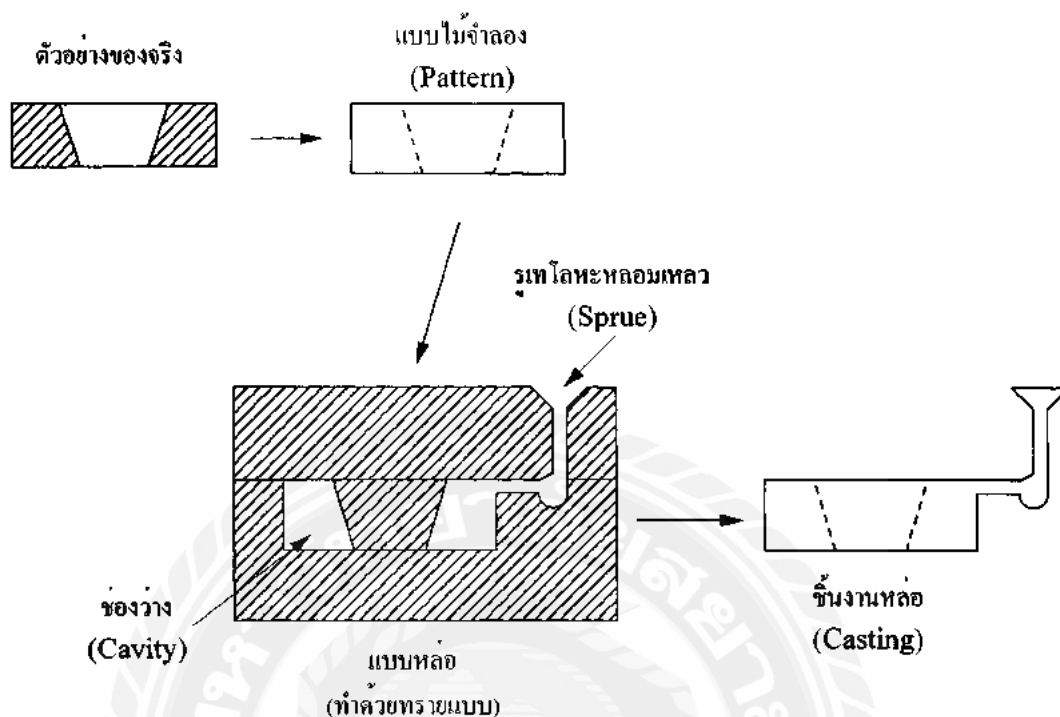
ความหมายของคำว่า Fabrication นั้นมีความหมายครอบคลุมไปถึงกรรมวิธีการผลิตโลหะสำเร็จรูปทุกประเภท ซึ่งเป็นความหมายกว้างมาก ไม่ว่าจะเป็นการสร้างหรือผลิตโลหะรูปร่างด้วยกรรมวิธีใด เช่น อาจจะทำที่อุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำจะรวมเรียกว่า Fabrication เช่น สมมติว่าเราต้องการผลิตเฟืองเกียร์ตัวหนึ่ง จะต้องเริ่มตั้งแต่การหลอมโลหะและหล่อให้เป็นรูปร่างหยาบ ๆ นำมาผ่านเครื่องกลึงเพื่อกึงให้ได้ขนาดที่ต้องการ และนำมาตัดเป็นฟันเฟือง เสร็จแล้วจึงนำไปทำการชุบแข็งเพื่อให้ได้ความแข็งสูงใช้งานได้ทนทาน กรรมวิธีดังกล่าวทั้งหมดจะเรียกว่า Fabrication ซึ่งจะมีมากมายและมีขอบเขตกว้างขวางมาก ในการศึกษาวิชา Engineering Materials กล่าวถึงเฉพาะกรรมวิธีที่สำคัญ ๆ เท่านั้น เพื่อให้หนังสือมีความเข้าใจเพื่อเป็นแนวทางสำหรับศึกษาในวิชาอื่น ๆ ต่อไป

กรรมวิธีที่สำคัญแยกออกเป็น 4 ประเภท คือ การหล่อ (Casting), การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพร้อน (Hot Working), การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น (Cold Working) และกรรมวิธีโลหะผง (Powder Metallurgy)

โลหะที่จะนำมาแปรรูปตามกรรมวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้ว ส่วนใหญ่จะได้มาจากการถลุงจากเตาถลุง ซึ่งจะผลิตมาในรูปของ Ingot เป็นแท่งขนาดต่าง ๆ เช่น Steel Ingot, Pig Iron และ Aluminium Ingot จากนั้นจึงจะนำมาผ่านกรรมวิธีผลิตเป็นโลหะสำเร็จรูปต่อไป

2.4.1 การหล่อ (Casting)

เป็นกรรมวิธีที่เรารู้จักกันมานานแล้ว และยังเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่ได้ปรับปรุงวิธีการก้าวหน้าไปไกลมาก การหล่อ คือ วิธีการหลอมโลหะให้ละลายด้วยการหลอมแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของโลหะนั้น ๆ เช่น ใช้เตา Cupola สำหรับหลอมเหล็กหล่อ เตาอาร์คไฟฟ้าสำหรับหลอมเหล็กกล้า และเตาน้ำมันหรือเตาอินดักชั่น (เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ) สำหรับหลอมโลหะทองแดงผสม (แต่ในปัจจุบัน มักนิยมใช้เตาอินดักชั่นในการหลอมเหล็กเพื่องานหล่อ ไม่ว่าจะเป็นงานหล่อเหล็กหล่อหรืองานหล่อเหล็กกล้าก็ตาม) เมื่อโลหะหลอมเหลวดีแล้วก็จะนำไปเทลงในแบบหล่อ ซึ่งทำด้วยวัสดุทนความร้อน เพื่อให้เกิดรูปร่างที่ต้องการดังในรูปที่ 2.2.7



รูปที่ 2.27 แสดงกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีการหล่อ (Casting)

จากภาพสมมติว่าการหล่อของชิ้นหนึ่งมีรูปร่างดังปรากฏ (Gear Blank) จะนำมาทำแบบจำลองขึ้นด้วยไม้หรือวัสดุอย่างอื่น โดยมีการเผื่อขนาดแก่การหดตัว แบบจำลองนี้เรียกว่า Pattern จาก Pattern นำมาปั้นแบบด้วยทรายแบบ (ทรายผสมดินเหนียว) ดึงแบบไม้ออกจากตัวแบบหล่อที่ปั้นด้วยทรายนี้ จะเกิดเป็นช่องว่าง (Cavity) ขึ้น จากนั้นวางตำแหน่งรูสำหรับเทโลหะให้สะดวก แล้วนำโลหะหลอมเหลวมาเทลงแบบ เมื่อโลหะแข็งตัวภายในแบบแล้ว รื้อเอาทรายออกก็จะได้งานหล่อที่มีขนาดใกล้เคียงกับความต้องการ

วิธีการหล่อที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายวิธี ถ้าใช้ทรายทำแบบจะเรียกว่า Sand Casting ถ้าใช้โลหะทนความร้อนทำแบบหล่อจะเรียกว่า Permanent Mold Casting หรือ Gravity Die Casting ถ้าใช้แบบหล่อทำด้วยโลหะและใช้ความดันช่วยในการฉีดโลหะหลอมเหลวให้ไหลเข้าแบบจะเรียกว่ากรรมวิธี (High Pressure) Die Casting ถ้านำแบบหล่อมานหมุนเหวี่ยงให้โลหะไหลเข้าแบบได้ดีขึ้นเรียก Centrifugal Casting

2.4.2 การแปรรูปหรือขึ้นรูปร้อน (Hot Working)

เป็นการแปรรูปโลหะในขณะที่โลหะถูกเผาให้ร้อน เพราะโลหะเมื่อถูกเผาให้ร้อนแดงจะมีลักษณะอ่อนนุ่มง่ายต่อการขึ้นรูป กล่าวคือ ใช้พลังงานน้อยและสามารถแปรรูปได้มาก โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก แต่การขึ้นรูปร้อนมีข้อเสียอยู่ตรงที่ว่าขนาดของโลหะภายหลังขึ้นรูปจะควบคุมให้ได้

ใกล้เคียงที่ต้องการยาก เพราะจะมีการหดตัวเมื่อโลหะเย็นลง และที่ผิวโลหะมักเกิดสเกล (สนิม) เพราะที่อุณหภูมิสูง โลหะจะเกิดออกซิเดชันได้ดี การขึ้นรูปร้อนมีหลายกรรมวิธีที่สำคัญคือ

2.4.2.1 การรีดร้อน (Hot Rolling) มี 2 ลักษณะ คือ

1) การรีดผลิตภัณฑ์ยาว (Long Products หรือ Shape Products)

อาศัยลูกรีด (Roll) สองตัวหมุนในทิศทางต่างกัน ลูกรีดแต่ละตัวจะมีร่องเป็นลักษณะต่าง ๆ ตามที่ต้องการ เอาโลหะที่เผาจนร้อนแดง ส่งผ่านให้ลูกรีดตามร่องต่าง ๆ โลหะจะถูกบีบให้มีรูปร่างตามช่องว่างระหว่างลูกรีดและเคลื่อนที่ออกมาอีกด้านหนึ่ง เช่น การรีดเหล็กหน้าตัดสำหรับงานโครงสร้าง (เช่น พวง H-beam, L-beam เป็นต้น), เหล็กทรงรถไฟ, เหล็กเส้นก่อสร้าง, Bars, Tubes และ Seamless Pipes เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 6.2

2) การรีดผลิตภัณฑ์แผ่น (Flat Products) ลูกรีดมีลักษณะเรียบ (เป็นทรงกระบอก) ผลิตภัณฑ์จะเป็นพวกโลหะแผ่นขนาดความหนาต่าง ๆ กัน (เรียกว่า Strip, Plate, Sheet, Coil) ในการรีดโลหะเช่นเหล็กจะเริ่มตั้งแต่เหล็กแท่งขนาดใหญ่ (Slab, Bloom หรือ Billet) ซึ่งได้มาจากเตาหลอม จากนั้นก็จะรีดให้มีขนาดเล็กลง มีแท่นรีดหลายแท่น (หรือใช้แท่นเดียวกันในบางกรณี) รีดขึ้นงานหลาย ๆ ครั้ง โดยในการรีด Long Products จะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงรูปร่างภาคตัดขวางของชิ้นงานไปที่ละน้อยในแต่ละขั้นตอนการรีด จนได้รูปร่างที่ต้องการในการรีดขั้นสุดท้าย ส่วนในการรีด Flat Products ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ จะค่อย ๆ ลดความหนาของชิ้นงานลง จนได้ความหนาที่ต้องการในการรีดที่แท่นรีดสุดท้าย

2.4.2.2 การตีขึ้นรูป (Forging)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้กันมานาน โดยการเผาโลหะให้ร้อนแดง ใช้ค้อนตีบนแท่นเหล็กให้โลหะเปลี่ยนรูปไปตามต้องการ ซึ่งเรียกระบบวิธีนี้ว่า Hammer หรือ Smith Forging แต่ในปัจจุบันการตีขึ้นรูปร้อนได้วิวัฒนาการมามาก โดยใช้แบบ (Die) สองชิ้น ซึ่งจะแกะให้มีช่องว่างระหว่างแบบเมื่อเอาแบบทั้งสองมาประกบกันก็จะเกิดช่องว่างมีรูปร่างเป็นของที่ต้องการจะตีขึ้นรูป และการตีขึ้นรูปจะใช้แรงกระแทกอย่างแรง โดยยกตัวแบบด้านหนึ่งขึ้นสูงและปล่อยให้ตกลงมากระแทกกับแบบอีกด้านหนึ่งซึ่งอยู่กับที่ เรียกระบบวิธีนี้ว่า Drop Forging ถ้าแรงที่กดให้โลหะเปลี่ยนรูป เป็นแบบอื่นชื่อก็จะเปลี่ยนไปเช่น Press Forging และ Upset Forging การตีขึ้นรูปในลักษณะนี้ก็เช่นเดียวกันอาจต้องทำเป็นขั้น ๆ จนกว่าจะได้รูปร่างของโลหะสุดท้ายตามต้องการ

2.4.2.3 การอัดขึ้นรูป (Extrusion)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้มากในปัจจุบัน ใช้กับโลหะที่มีความเหนียว (Ductility) สูง โดยวิธีอัดโลหะภายในแบบ (Container) ด้วยความดันสูง และให้โลหะเคลื่อนที่ (Flow) ออกไปทางช่องว่างระหว่าง Die ซึ่งจะเป็รูปร่างตามที่ต้องการแล้ว วิธีอัดขึ้นรูปมีสองลักษณะคือ Direct Extrusion และ Indirect Extrusion

หมายเหตุ โรงงานทำ Extrusion ในไทย โดยทั่วไปจะเรียกระบบวิธีนี้ว่า การรีด ซึ่งจะไปซ้ำกับคำว่า การรีด ที่หมายถึงกรรมวิธี Rolling

2.4.3 การแปรรูปหรือขึ้นรูปในสภาพเย็น (Cold Working)

เป็นกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งโลหะจะมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังนั้นจะต้องใช้กำลังในการขึ้นรูปสูงมาก เพื่อให้เกิดความเค้น (Stress) ในโลหะจนเลยจุด Elastic limit หรือ Yield point มิฉะนั้น ถ้าปล่อยหรือลดแรงที่กดออกโลหะก็จะคืนเข้ารูปเดิมไม่เกิดการแปรรูป จะเห็นว่าการขึ้นรูปเย็นมีข้อยุ่งยากกว่าการขึ้นรูปร้อน จะมีส่วนต้อยอยู่ 2 ประการ คือ

- 1). สามารถควบคุมขนาดของโลหะในช่วงสุดท้ายได้แน่นอน
- 2) ผิวของโลหะสะอาดและเป็นมันเรียบ

ในอุตสาหกรรมจะใช้การทำ Cold Working ในขั้นสุดท้ายหลังจากที่ทำ Hot Working มาก่อน เพื่อจะได้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยลง และได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี กรรมวิธี Cold Working มีหลายประเภทเหมือนกันที่สำคัญได้แก่

2.4.4 กรรมวิธีโลหะผง (Powder Metallurgy)

เป็นการขึ้นรูปโลหะประเภทหนึ่งจากโลหะที่เป็นผงละเอียด (Fine Metal Powder) โดยใส่โลหะผงในแบบที่เตรียมไว้ (Die) แล้วอัดโลหะผงด้วยความดันสูง จนทำให้โลหะผงอัดตัวแน่นกันเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ ในขั้นนี้โลหะผงที่เป็นรูปร่างจะยังไม่มีมีความแข็งแรงมากนัก จะต้องนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง แต่ต่ำกว่าจุดหลอมตัวของโลหะเล็กน้อย จะทำให้อะตอมของโลหะมีการเคลื่อนไหวเชื่อมโยงกันระหว่างจุดสัมผัสของเม็ดเล็ก ๆ ของโลหะอันเป็นผลมาจากการแพร่ของอะตอมในสภาพของแข็ง (Diffusion in Solid State) ทำให้โลหะเมื่อผ่านการเผามีความแข็งแรงมากขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้ตามลักษณะของโลหะนั้น ๆ เราอาจจะแยกขั้นตอนการทำงานตามกรรมวิธีโลหะผงออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 1) ขึ้นผลิตโลหะผง
- 2) ขึ้นผสมผงโลหะให้เข้ากัน
- 3) อัดโลหะผงในแบบตามรูปร่างที่ต้องการ
- 4) เผาโลหะผงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัว (Sintering)

การทำโลหะผงนั้นมีกรรมวิธีที่ใช้หลายประการ วิธีที่ทำกันทั่ว ๆ ไป สำหรับโลหะที่มีความแข็งแรงสูง ใช้การบด (Mill Grinding) เป็นงานที่ต้องใช้เทคนิคสูง เพราะของแข็งจะถูกบดได้ก็ต้องมีของแข็งกว่าเป็นตัวบด ดังนั้นจึงมักใช้ตัวของมันบดกันเองจนละเอียด

ถ้าโลหะที่มีเนื้ออ่อนการบดในลักษณะนี้ทำได้ยาก เพราะมันจะไม่แตกออกจากกันได้ง่าย เนื่องจากมีความเหนียว ดังนั้นจึงใช้วิธีหลอมให้ละลายแล้วพ่นเป็นฝอย (Atomizing) อีกวิธีหนึ่งใช้วิธีเผาโลหะจนร้อนกลายเป็นไอ แล้วทำให้กลั่นตัวจากไอมาเป็นโลหะผงทีเดียว แต่เป็นวิธีที่ค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้พลังงานมาก

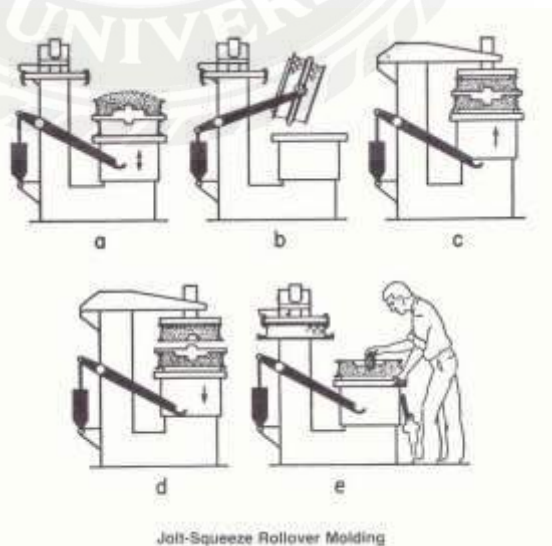
การผสมโลหะผงให้เข้ากันก่อนที่จะนำไปอัดเป็นรูปร่าง นับว่ามีความสำคัญมาก เพราะโลหะผงส่วนมากมักจะผสมกันหลายชนิด คือมีโลหะหลักและโลหะที่เป็นตัวประสาน (Binder) ดังตัวอย่างเช่น การทำโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์สำหรับทำมีดกลึง จะใช้โลหะโคบอลต์เป็นโลหะประสาน ดังนั้นการผสมจึงต้องกระทำเป็นพิเศษเพื่อให้โลหะและตัวประสานผสมกันอย่างทั่วถึง การผสมกระทำทั้งในสภาพแห้ง (Dry) และสภาพเปียก (Wet)

การอัดโลหะผงลงแบบ Die ขั้นแรกต้องทราบจำนวนของโลหะผงที่จะใช้ให้พอเหมาะ โดยต้องทราบปริมาณของแบบ แล้วจึงเทโลหะผงลงไปในแบบ โดยให้มีปริมาณเกินกว่าปริมาตรที่ต้องใช้จริง ๆ เล็กน้อย การอัดใช้เครื่องไฮดรอลิค มีความดันสำหรับอัดประมาณ 5-50 ตันต่อตารางนิ้ว

การเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัวของโลหะ เรียกว่า Sintering และมักจะเรียกโลหะที่ผ่านกรรมวิธีนี้ว่าโลหะซินเตอร์ อุณหภูมิที่ใช้จะสูงราว ๆ 70-80% ของอุณหภูมิหลอมเหลว (คิดหน่วยเคลวิน) ในบางกรณี เช่น พกวัสดุทนความร้อน อาจจะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 90% ของอุณหภูมิหลอมเหลว สำหรับโลหะผสมที่มีโลหะประสานอยู่ด้วยจะต้องทำซินเตอร์ที่อุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลวตัวของโลหะประสาน การทำซินเตอร์จะต้องใช้เวลานานหลายชั่วโมง โดยจะต้องควบคุมบรรยากาศภายในเตาด้วย เพราะในขณะที่เผาออกซิเจนในอากาศอาจจะทำให้โลหะกลายเป็นออกไซด์ได้ง่าย ส่วนใหญ่จึงทำซินเตอร์ภายในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจนหรืออาร์กอน

2.5 การทำแบบหล่อทรายขึ้น (Green sand molding)

การทำแบบหล่อทรายขึ้น เป็นวิธีที่ทำสืบทอดกันมานานแล้ว กรรมวิธีทำแบบโดย อาศัยความชื้นเป็นตัวช่วยให้แบบแข็งแรง “green” ในที่นี้หมายถึง ความชื้นที่มีอยู่ในทรายหล่อ รวมไปถึงความหมายถึง แบบหล่อที่ยังไม่แข็ง หรือ ไม่แห้ง วัสดุทำแบบ ประกอบด้วย ทราย ซิลิกา ผสมกับ ดินเหนียว ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน และ ความชื้น การทำแบบจะอาศัยหีบหล่อช่วยเป็นกรอบเพื่อให้แบบทรายสามารถคงรูปอยู่ได้ ซึ่ง หีบหล่ออาจทำมาจาก โลหะ หรือ ไม้ หีบจะประกอบด้วยหีบบนและหีบล่าง สำหรับงานทำแบบหล่อหนึ่งชุด การทำแบบโดยวิธีนี้ มีทั้งการทำโดยใช้เครื่องจักร และการทำแบบโดยใช้มือ วิธีการใช้เครื่อง อาศัยการออกแบบให้เครื่องจักรมีแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนเพื่อช่วยให้ทรายอัดแน่น โดยกระสวน และไส้แบบ จะสร้างให้ติดกับแผ่นกระดาน ทรายที่ผสมแล้วจะเทลงมาโดยใช้ชุดอุปกรณ์ลำเลียงช่วย หรือใช้มือตักใส่ขึ้นกับการออกแบบวิธีการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.2.8

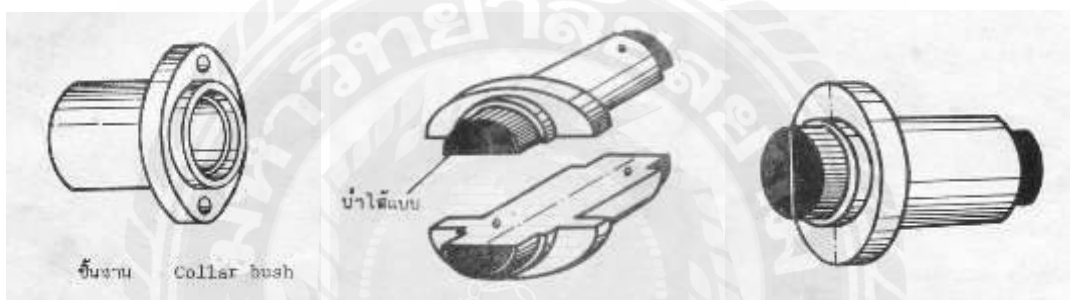


รูปที่ 2.28 การทำแบบทรายหล่อด้วยเครื่องจักร

การทำแบบหล่อทรายขึ้นโดยวิธีการทำด้วยมือ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมปฏิบัติกันโดยทั่วไปทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะนำเครื่องจักรมาใช้แทนคนมากขึ้น มีขั้นตอนการทำได้ต่อไปนี้

2.5.1 แบบทรายขึ้น (Green sand molds)

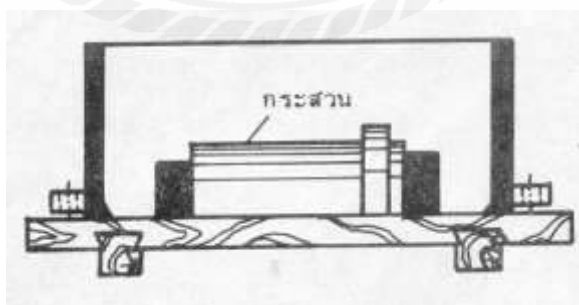
แบบทรายขึ้น หมายถึง แบบหล่อทรายที่สามารถเทหล่อได้เลยในขณะที่แบบยังมีความชื้นเหลืออยู่ โดยไม่ต้องเผาแบบให้แห้ง ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการหล่อทรายประกอบ ได้แก่ หีบหล่อ กระดานรองหีบ ใบตัดทางเข้า สลักกระสวนรูลันและรูเท ทรายแถมรองทราย เกียงแต่งผิว และชิ้นแต่งแบบ ไม้ปาดหลังหีบ สากกระทุ้งทราย บัวลดน้ำ หีบลมเป่าผงฝุ่น สกรูดึงถอนกระสวนออกจากแบบ



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างชิ้นงานหล่อ ที่ต้องการผลิตโดยวิธีการหล่อ

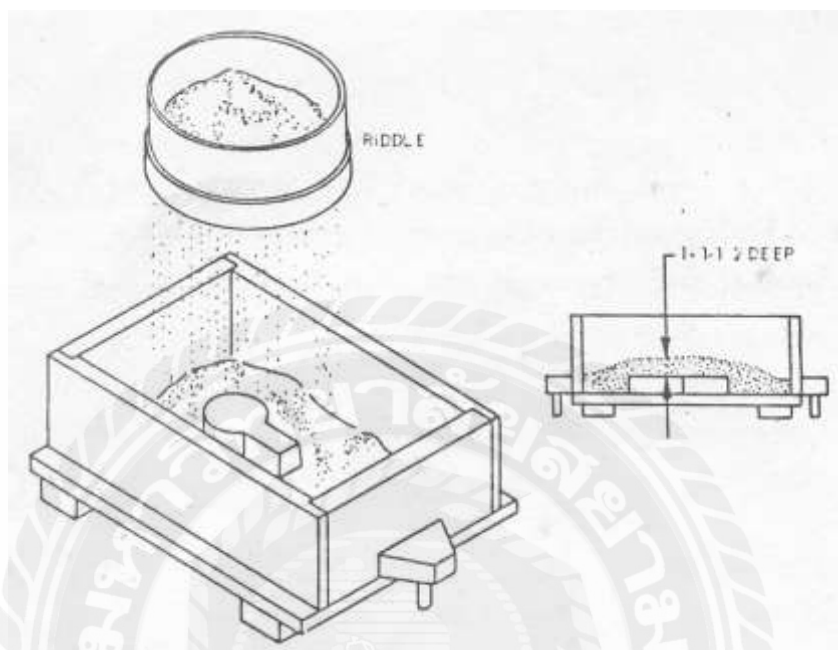
ขั้นตอนการหล่อทราย ประกอบไปด้วย

- 1). การเตรียมกระสวน เป็นกระสวนชนิดแยกชิ้น มีป่าใต้แบบ เนื่องจากงานที่ต้องการลักษณะเป็นรูทะลุตลอดทั้งแท่ง



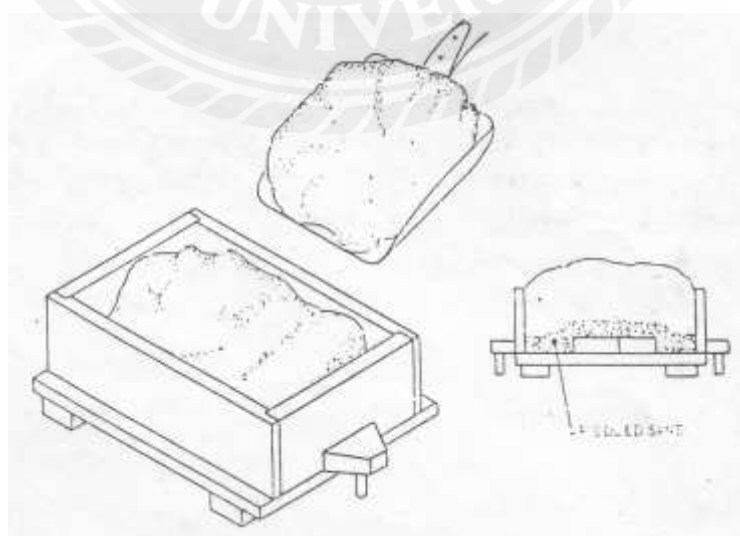
รูปที่ 2.30 การเตรียมกระสวน

- 2). นำหีบข้างหนึ่งมาวางคว่ำลงบนแผ่นกระดาน และนำกระสวนครึ่งซีกมาวางคว่ำลงดังแสดงในรูป จากนั้นนำทรายละเอียดแห้ง มาโปรยลงหลังกระสวนเพื่อป้องกันไม่ให้ทรายติดกระสวน



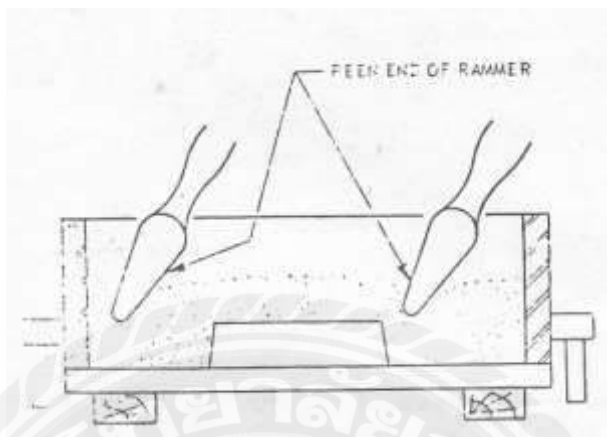
รูปที่ 2.31 การนำทรายละเอียดโปรยหลังกระสวน

- 3). นำตระแกรงมาร้อนทรายชั้นที่ผสมเตรียมไว้แล้วเพื่อสร้างทรายผิวหน้าปึกคุมทั้งผิวหน้าประมาณ 2-3 ซม.แล้วใช้มือกดให้ทรายแนบชิดผิวกระสวนมากที่สุด ขั้นตอนนี้จะมีผลต่อความเรียบของผิวงานหล่อ



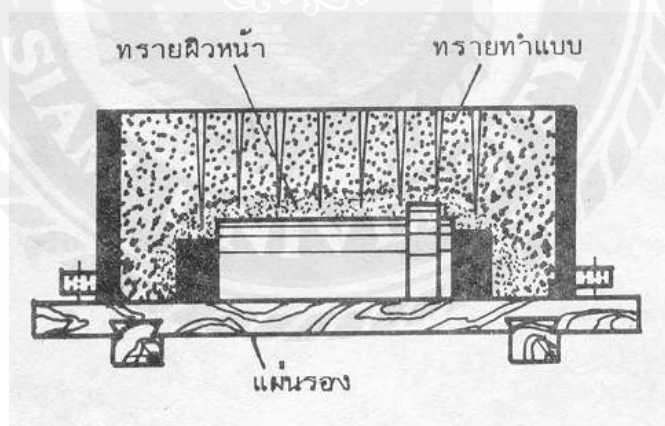
รูปที่ 2.32 การร้อนทรายชั้น

4). ตักทรายถมใส่ลงไปถึงหลังหีบให้เต็มซึ่งเรียกว่าทรายหลังหีบ และใช้นิ้วมือช่วยกดให้ทรายไหลลงไปในซอกมุมต่างๆรอบกระสวนและตามแนวขอบของหีบอย่างทั่วถึง ขั้นตอนนี้ระวางกระสวนจะเคลื่อนตัวมีผลทำให้แบบทรายบริเวณผิวเคลื่อนตัวไปด้วย



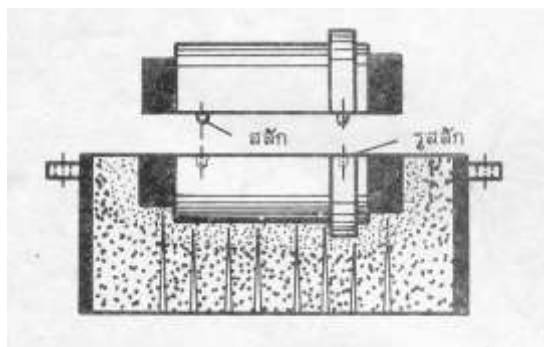
รูปที่ 2.33 การถมทรายใส่หลังหีบ

5). ถมทรายเพิ่มเข้าไปจนเต็มหลังหีบกระทุ้งทรายด้วยสากโดยใช้ปลายด้านเรียว โดยวิธีการกระทุ้งวนจากด้านนอกตามแนวขอบหีบวนเข้าสู่ด้านใน ขั้นตอนนี้ระวางปลายสากจะกระทุ้งโดนกระสวนแรงจนเกินไป อาจทำกระสวนชำรุดได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ได้งานหล่อที่มีจุดเสียได้



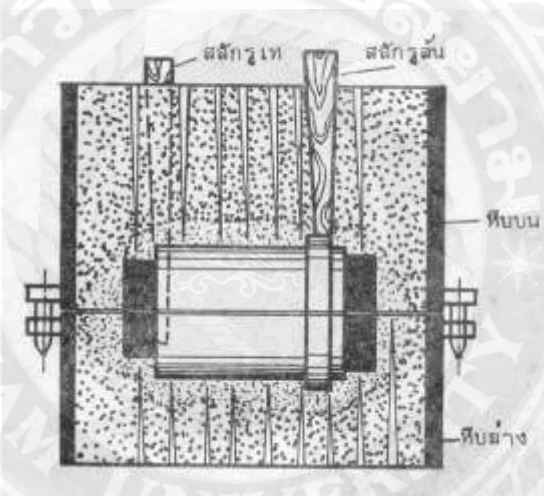
รูปที่ 2.33 การถมทรายเพิ่มและกระทุ้งด้วยสาก

6). เมื่ออัดทรายเต็มหลังหีบแล้ว โดยเพื่อให้สูงเกินมาเล็กน้อย จากนั้นปาดทรายที่เกินมาด้วยไม้ปาดให้เรียบเสมอขอบหีบ ก่อนที่จะเทรูโอ เพื่อระบายแก๊ส โดยระยะความลึกพอดีอย่าให้ปลายเหล็กแทงกระแทกโดนผิวของกระสวน อาจทำให้ผิวของกระสวนเสียหายได้ ระยะห่างระหว่างรูประมาณ 2-3 ซม.



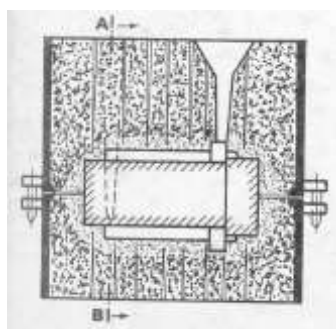
รูปที่ 2.34 การอัดทรายและแท่งรูไธระบายแก๊ส

7). พลิกหีบหงายขึ้น โดยการนำกระดานอีกแผ่นมาประกบที่หลังหีบ เพื่อใช้เป็นที่รองรับหีบรอการทำงานในขั้นตอนต่อไป จากนั้นนำกระสวนอีกซีกหนึ่งซึ่งจะมีเดือยสลักและรูช่วยให้กระสวนประกอบเข้าด้วยกันโดยไม่เอียง



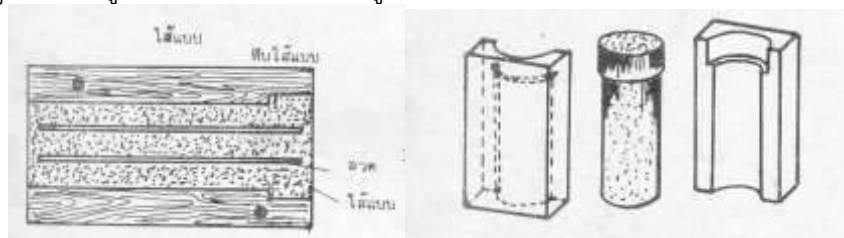
รูปที่ 2.35 การประกบแผ่นกระดานหลังหีบ

8). ขั้นตอนนี้จะต้องสร้างรูเทและรูลัน ดังนั้นจึงต้องประกอบสลักหรือกระสวนที่เป็นรูเทและรูลันเข้าไปในตำแหน่งที่กำหนดไว้เสียก่อน ดังแสดงในภาพ ก่อนที่จะถมทรายลงไปและเริ่มทำเหมือนขั้นตอนที่ 2 ถึง 6



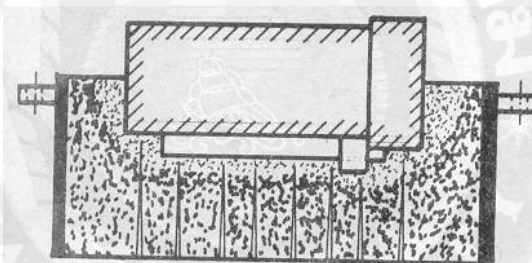
รูปที่ 2.36 การสร้างรูเทและรูลัน

9). การถอดกระสวนออกจากแบบก่อนยกหีบขนและล่างออกจากกัน ต้องสร้างแอ่งเทก่อน ซึ่งตำแหน่งจะอยู่ส่วนปลายสุดของรูเท วิธีการทำอย่างง่าย ๆ โดยการตัดแต่งทรายโดยรอบของของปลายสลักรูเทให้เป็นรูปทรงกรวย ดังแสดงในรูป



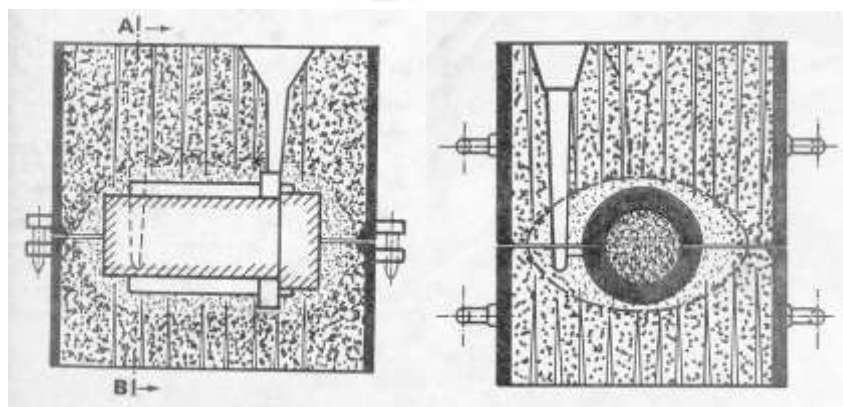
รูปที่ 2.37 การถอดกระสวนออกจากแบบ

10). การทำไส้แบบ โดยการนำทรายผสมตัวประสานที่ให้ความแข็งแรงสูง มาอัดเข้าในกล่อง ไส้แบบให้แน่น และเต็ม และจะต้องเสริมความแข็งแรงด้วยลวด ก่อนที่จะแกะออกจากกล่อง ดังแสดงในภาพ จากนั้นนำไปตากแดดหรือทำให้แห้ง ถ้าเป็นทรายตัวประสานสารเคมีต้องรอให้เกิดปฏิกิริยากันสมบูรณ์เสียก่อน



รูปที่ 2.38 การทำไส้แบบ

11). นำมาทดลองสวมประกอบเข้ากับแบบทรายเสียก่อน ถ้าไส้แบบยาวเกินไปจะต้องฉีกจนแต่งปลายออกให้พอดี



รูปที่ 2.39 การทดลองสวมประกอบเข้ากับแบบทราย

12). แบบหล่อที่เสร็จแล้วรอการนำไปเทหล่อ จะต้องนำมาประกอบหีบบนและหีบล่างเข้าด้วยกัน ถ้ามีไส้แบบ จะต้องประกอบไส้แบบให้เสร็จเรียบร้อยเสียก่อน ดังแสดงในภาพตัดตามแนวยาวและแนวยางแสดงให้เห็นตำแหน่งของไส้แบบ โพรงว่าง และชั้นของทรายผิวหน้าและทรายหลังหีบ



รูปที่ 2.40 รูปร่างของแบบหล่อที่เสร็จแล้ว รอการนำไปเทหล่อ

2.6 การออกแบบผลิตภัณฑ์

2.6.1 ความหมายของการออกแบบ

การออกแบบ (Design) หมายถึง การถ่ายทอดรูปแบบจากความคิดออกมาเป็นผลงาน ที่ผู้อื่นสามารถมองเห็น รับรู้ หรือสัมผัสได้ เพื่อให้มีความเข้าใจในผลงานร่วมกัน โดยมีความสำคัญอยู่หลายประการ กล่าวคือ ในแง่ของ การวางแผนการทำงาน งานออกแบบจะช่วยให้ การทำงานเป็นไปตามขั้นตอน อย่างเหมาะสมและประหยัดเวลา ดังนั้นอาจถือว่าการออกแบบ คือ การวางแผนการทำงานก็ได้ ในแง่ของการนำเสนอผลงานนั้น ผลงานออกแบบจะช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องมีความ เข้าใจตรงกันอย่างชัดเจน ดังนั้นความสำคัญในด้านนี้ คือ เป็นการสื่อความหมาย เพื่อความเข้าใจระหว่างกัน เป็นสิ่งที่อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับงาน งานบางประเภทอาจมีรายละเอียดมากมายซับซ้อน ผลงานออกแบบจะช่วยให้ผู้เกี่ยวข้อง และผู้พบเห็นมีความเข้าใจที่ชัดเจนมากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า ผลงานออกแบบคือตัวแทนความคิดของผู้ออกแบบ ได้ทั้งหมดนั่นเอง คำนิยามความหมายของคำว่า การออกแบบ มีนักวิชาการหลายท่านได้ให้คำนิยามแตกต่างกันออกไปตามความเชื่อ และความเข้าใจ

โกลสไตน์ (Golestein.1968 : 3) ให้ความเห็นว่า “การออกแบบ คือการเลือก และการจัดสิ่งต่าง ๆ (วัตถุ สิ่งของ หรือเรื่องราวเนื้อหา) ด้วยจุดมุ่งหมายสองอย่าง คือ เพื่อให้มีระเบียบ และให้มีความงาม”

เบฟลิน (Bevlin.1980 : 2) ให้ความเห็นว่า “การออกแบบ คือการรวบรวมส่วนต่างๆ ให้สัมพันธ์เข้าด้วยกันทั้งหมด”

อารี สุทธิพันธ์ (2527 : 8) ให้ความหมายของการออกแบบไว้ว่า “การออกแบบหมายถึงการรู้จักวางแผน เพื่อที่จะได้ลงมือกระทำตามที่ต้องการและการรู้จักเลือกวัสดุ วิธีการเพื่อทำตามที่ต้องการนั้น โดยให้สอดคล้องกับลักษณะรูปแบบ และคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดตามความคิดสร้างสรรค์” สำหรับการออกแบบอีกความหมายหนึ่งที่ให้ไว้ หมายถึง “การปรับปรุงรูปแบบผลงานที่มีอยู่แล้ว หรือสิ่งต่างที่มีอยู่แล้วให้เหมาะสม ให้มีความแปลกความใหม่เพิ่มขึ้น”

วีรณ ตั้งเจริญ (2527 : 19) ให้ความเห็นว่า “การออกแบบ คือ การวางแผนสร้างสรรค์รูปแบบ โดยวางแผน จัดส่วนประกอบของการออกแบบ ให้สัมพันธ์กับประโยชน์ใช้สอยวัสดุ และการผลิตของสิ่งที่ต้องการออกแบบนั้น”

พาสนา ตันทลักษณ์ (2526 : 293) ให้ความเห็นว่า “การออกแบบ เป็นการสร้างสรรค์โดยมีแบบแผนตามความ ประสงค์ที่กำหนดไว้”

สรุปได้ว่า “การออกแบบคือ การสร้างสรรค์สิ่งใหม่ และการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงของเดิมให้ดียิ่งขึ้น ด้วยการใช้วัสดุ และวิธีการที่เหมาะสม ตามแบบแผนและจุดมุ่งหมายที่ต้องการ”

2.6.2 ปัจจัยในการออกแบบผลิตภัณฑ์

การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีปัจจัย (Design factors) มากมายที่นักออกแบบที่ต้องคำนึงถึง แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวเพียงปัจจัยพื้นฐาน 10 ประการ ที่นิยมใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสร้างสรรค์ผลงานเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของงานออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่

1) หน้าที่ใช้สอย (Function) : ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดจะต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือสามารถตอบสนองประโยชน์ใช้สอยตามที่คุณสมบัติต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในหนึ่งผลิตภัณฑ์นั้นอาจมีหน้าที่ใช้สอยอย่างเดียวหรือหลายหน้าที่ก็ได้ แต่หน้าที่ใช้สอยจะดีหรือไม่ นั้น ต้องใช้งานไประยะหนึ่งถึงจะทราบข้อบกพร่อง

2) ความสวยงามน่าใช้ (Aesthetics or sales appeal) : ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมานั้นจะต้องมีรูปร่าง ขนาด สี สีสันสวยงาม น่าใช้ ตรงตามรสนิยมของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย เป็นวิธีการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและได้ผลดี เพราะความสวยงามเป็นความพึงพอใจแรกที่คนเราสัมผัสได้ก่อนมักเกิดมาจากรูปร่างและสีเป็นหลัก การกำหนดรูปร่างและสีในงานออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น ไม่เหมือนกับการกำหนดรูปร่างและสีในงานจิตรกรรม ซึ่งสามารถที่จะแสดงหรือกำหนดรูปร่างและสีได้ตามความนึกคิดของจิตรกร แต่ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น จำเป็นต้องยึดข้อมูลและกฎเกณฑ์ผสมผสานของรูปร่างและสี สัน ระหว่างทฤษฎีทางศิลปะและความพึงพอใจของผู้บริโภคเข้าด้วยกัน ถึงแม้ว่ามนุษย์แต่ละคนมีการรับรู้และพึงพอใจในเรื่องของความงามได้ไม่เท่ากัน และไม่มีกฎเกณฑ์การตัดสินใจใดๆ ที่เป็นตัวชี้ขาดความถูกความผิด แต่คนเราส่วนใหญ่ก็มีแนวโน้มที่จะมองเห็นความงามไปในทิศทางเดียวกันตามธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องประดับ ของที่ระลึก และของตกแต่งบ้านต่างๆ ความสวยงามก็คือหน้าที่ใช้สอยนั่นเอง และความสวยงามจะสร้างความประทับใจแก่ผู้บริโภคให้เกิดการตัดสินใจซื้อได้

3) ความสะดวกสบายในการใช้ (Ergonomics) : การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดีนั้นต้องเข้าใจกายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับขนาด สัดส่วน ความสามารถและขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะต่างๆ ของผู้ใช้ การเกิดความรู้สึกที่ดีและสะดวกสบายในการใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านจิตวิทยา (Psychology) และสรีระวิทยา (Physiology) ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะเพศ เผ่าพันธุ์ ภูมิลำเนา และสังคมแวดล้อมที่ใช้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นข้อบังคับในการออกแบบ การวัดคุณภาพทางด้าน กายวิภาคเชิงกล (ergonomics) พิจารณาได้จากการใช้งานได้อย่างกลมกลื่นต่อการสัมผัส

4). ความปลอดภัย (Safety) : ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำรงชีพของมนุษย์ มีทั้งประโยชน์และโทษในตัว การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของผู้บริโภคเป็นสำคัญ ไม่เลือกใช้วัสดุ สี กรรมวิธีการผลิต ฯลฯ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้หรือทำลายสิ่งแวดล้อม ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ต้องแสดงเครื่องหมายเตือนไว้ให้ชัดเจนและมีคำอธิบายการใช้แนบมากับผลิตภัณฑ์ด้วย ตัวอย่างเช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ควรมีส่วนป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากความเมื่อยล้าหรือพลังเปลว เช่น จากการสัมผัสกับส่วนกลไกทำงาน จากความร้อน จากไฟฟ้าดูด ฯลฯ จากการสัมผัสกับส่วนกลไกทำงาน จากความร้อน จากไฟฟ้าดูด ฯลฯ หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่ง่ายต่อการเกิดอัคคีภัยหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และควรมีสัญลักษณ์หรือคำอธิบายติดเตือนบนผลิตภัณฑ์ไว้ การออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก ต้องเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีสารพิษเจือปน เพื่อป้องกันเวลาเด็กเอาเข้าปากกัดหรืออม ชิ้นส่วนต้องไม่มีส่วนแหลมคมให้เกิดการบาดเจ็บ มีข้อความหรือสัญลักษณ์บอกเตือน เป็นต้น

5). ความแข็งแรง (Construction) : ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมานั้นจะต้องมีความแข็งแรงในตัว ทนทานต่อการใช้งานตามหน้าที่และวัตถุประสงค์ที่กำหนดโครงสร้างมีความเหมาะสมตามคุณสมบัติของวัสดุ ขนาด แรงกระทำในรูปแบบต่างๆ จากการใช้งาน ตัวอย่างเช่น การออกแบบเฟอร์นิเจอร์ที่ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ต้องเข้าใจหลักโครงสร้างและการรับน้ำหนัก ต้องสามารถควบคุมพฤติกรรมการใช้งานให้กับผู้ใช้ด้วย เช่น การจัดท่าทางในการใช้งานให้กับผู้ใช้ด้วย เช่น การจัดท่าทางในการใช้งานให้เหมาะสม สะดวกสบาย ถูกสุขลักษณะ และต้องรู้จักผสมความงามเข้ากับชิ้นงานได้อย่างกลมกลืน เพราะโครงสร้างบางรูปแบบมีความแข็งแรงดีมากแต่ขาดความสวยงาม จึงเป็นหน้าที่ของนักออกแบบที่จะต้องเป็นผู้ประสานสองสิ่งเข้ามายุ่งในความพอดีให้ได้ นอกจากการเลือกใช้ประเภทของวัสดุ โครงสร้างที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยควบคู่กันไปด้วย

6). ราคา (Cost) ก่อนการออกแบบผลิตภัณฑ์ควรมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นกลุ่มใด อาชีพอะไร ฐานะเป็นอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้นักออกแบบสามารถกำหนดแบบผลิตภัณฑ์และประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายได้ใกล้เคียงมากขึ้น การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมนั้น ส่วนหนึ่งอยู่ที่การเลือกใช้ชนิด หรือเกรดของวัสดุ และวิธีการผลิตที่เหมาะสมผลิตได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ในกรณีที่ประมาณราคาจากแบบสูงกว่าที่กำหนดก็อาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาองค์ประกอบด้านต่างๆ กันใหม่เพื่อลดต้นทุน แต่ทั้งนี้ต้องคงไว้ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้น

7). วัสดุ (Materials) : การออกแบบควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ ความใส ผิวมันวาว ทนความร้อน ทนกรดด่างไม่สิ้น ฯลฯ ให้เหมาะสมกับหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์นั้นๆ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงความสะดวกในการดูแลรักษา ความสะดวกรวดเร็วในการผลิตสั่งซื้อและคงคลัง รวมถึงจิตสำนึกในการรณรงค์ช่วยกันพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการเลือกใช้วัสดุที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle) ก็เป็นสิ่งที่นักออกแบบต้องตระหนักถึงในการออกแบบร่วมด้วยเพื่อช่วยลดกันลดปริมาณขยะของโลก

8). กรรมวิธีการผลิต (Production) : ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดควรออกแบบให้สามารถผลิตได้ง่าย รวดเร็ว ประหยัดวัสดุ ค่าแรงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ แต่ในบางกรณีอาจต้องออกแบบให้

สอดคล้องกับกรรมวิธีของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม และควรตระหนักอยู่เสมอว่าไม่มีอะไรที่จะลดต้นทุนได้รวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพ มากกว่าการประหยัดเพราะการผลิตที่ละมาก ๆ

9). การบำรุงรักษาและซ่อมแซม (Maintenance) : ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดควรออกแบบให้สามารถบำรุงรักษา และแก้ไขซ่อมแซมได้ง่าย ไม่ยุ่งยากเมื่อมีการชำรุดเสียหายเกิดขึ้น ง่ายและสะดวกต่อการทำความสะอาดเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งควรมีค่าบำรุงรักษา และการสึกหรอต่ำ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องมือ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีกลไกภายในซับซ้อน อะไหล่บางชิ้นย่อมมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานหรือจากการใช้งานที่ผิดวิธี การออกแบบที่ดีนั้นจะต้องศึกษาถึงตำแหน่งในการจัดวางกลไกแต่ละชิ้น เพื่อที่จะได้ออกแบบส่วนของฝารอบบริเวณต่างๆ ให้สะดวกในการถอดซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ได้โดยง่าย นอกจากนั้นการออกแบบยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น การใช้ชิ้นส่วนร่วมกันให้มากที่สุด โดยเฉพาะอุปกรณ์ยึดต่อการเลือกใช้ชิ้นส่วนขนาดมาตรฐานที่หาได้ง่าย การถอดเปลี่ยนได้เป็นชุดๆ การออกแบบให้บางส่วนสามารถใช้เก็บอะไหล่ หรือใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการซ่อมบำรุงรักษาได้ในตัว เป็นต้น

10). การขนส่ง (Transportation) : ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบควรคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่ง ความสะดวกในการขนส่ง ระยะทาง เส้นทางขนส่ง (ทางบก ทางน้ำหรือทางอากาศ) การกินเนื้อที่ในการขนส่ง (มิติความจุ กว้าง ' ยาว ' สูง ของรถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุกทั่วไป ตู้บรรทุกสินค้า ฯลฯ) ส่วนการบรรจุหีบห่อต้องสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายของผลิตภัณฑ์ได้ง่าย กรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบนั้นมีขนาดใหญ่ อาจต้องออกแบบให้ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้ง่าย เพื่อทำให้หีบห่อมีขนาดเล็กลง ตัวอย่างเช่น การออกแบบเครื่องเรือนชนิดถอดประกอบได้ ต้องสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในตู้สินค้าที่เป็นขนาดมาตรฐานเพื่อประหยัดค่าขนส่งรวมทั้งผู้ซื้อสามารถทำการขนส่งและประกอบชิ้นส่วนให้เข้ารูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยสะดวกด้วยตัวเอง

2.7 การควบคุมคุณภาพงานพิมพ์โดยใช้ Spectro-Densitometer

Spectro-Densitometer เป็นเครื่องมือวัด ที่ใช้ควบคุมและประเมินคุณภาพของงานพิมพ์ โดยมีหลักการทำงาน คือ เครื่องมือจะวัดการสะท้อน/ดูดกลืนแสงของหมึกพิมพ์ ซึ่งชั้นหมึกพิมพ์ที่มีความหนาไม่เท่ากัน ก็จะมีลักษณะการสะท้อน/ดูดกลืนแสงไม่เหมือนกัน



รูปที่ 2.41 เครื่อง Spectro-Densitometer

2.7.1 ค่าความดำ

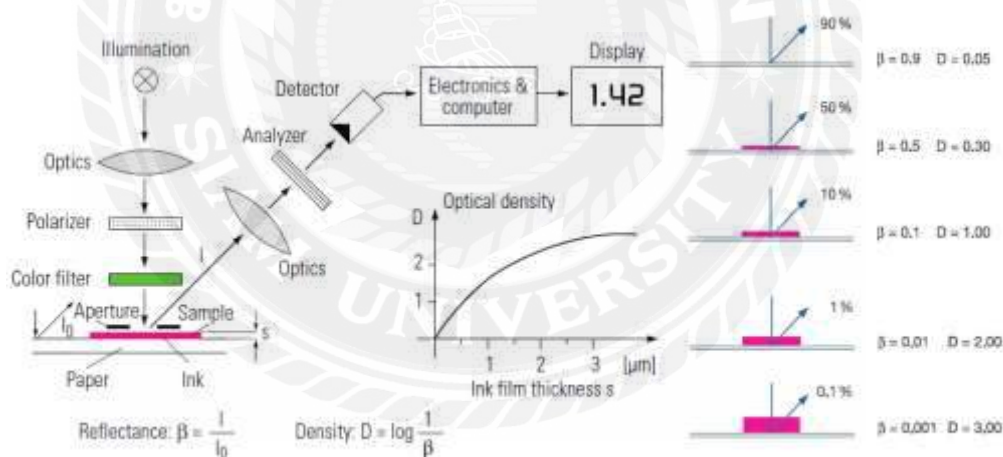
การวัดปริมาณการสะท้อน/ดูดกลืนแสงของเครื่อง Spectro-Densitometer สามารถนำมาใช้คำนวณเป็นค่า ความดำ (Density) หรือค่าความเข้มของชั้นหมึกพิมพ์ได้ ซึ่งค่าความเข้มหรือค่าความดำนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้หาลักษณะต่างๆ ในงานก่อนพิมพ์ได้ เช่น การหาการผลิตน้ำหนักรสี (Tone reproduction), การวัดหาพื้นที่เม็ดสกรีนและน้ำหนักรสี หรือความเปรียบเทียบกับค่าความดำของแผ่นปรีฟกับภาพต้นฉบับ

การวัดค่าความเข้มหรือความดำ เป็นการวัดปริมาณแสงที่สะท้อนหรือส่องผ่านจากตัวอย่างที่วัดค่า เปรียบเทียบกับปริมาณแสงที่ใช้ส่องวัตถุ แต่เนื่องจากความดำเป็นคุณสมบัติของวัตถุ ในการดูดกลืนแสง ซึ่งตรงข้ามกับการสะท้อนแสง หรือการส่องผ่าน ดังนั้น จึงต้องคำนวณค่าความดำโดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{ความดำ (D)} = \log 1/R \quad R = \text{ค่าการสะท้อนแสงสัมพัทธ์}$$

$$\text{ความดำ (D)} = \log 1/T \quad T = \text{ค่าการส่องผ่านแสงสัมพัทธ์}$$

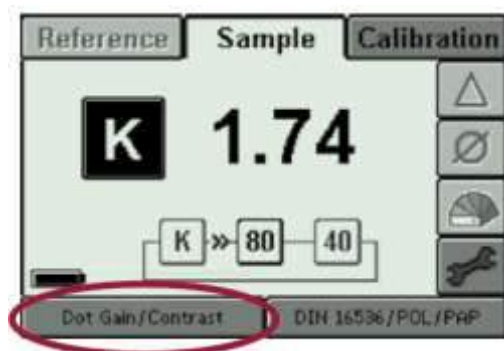
การคำนวณค่าความดำจากสมการดังกล่าว ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้น ในเครื่องวัดความดำส่วนใหญ่จึงมีส่วนของอุปกรณ์ที่คำนวณค่าความดำให้อัตโนมัติอยู่ภายในเครื่อง ผู้ใช้เพียงแต่ทำการวัด เครื่องก็จะคำนวณและแสดงผลค่าความดำเป็นตัวเลขให้



รูปที่ 2.42 หลักการวัดค่าความดำ

2.7.2 เม็ดสกรีนบวม

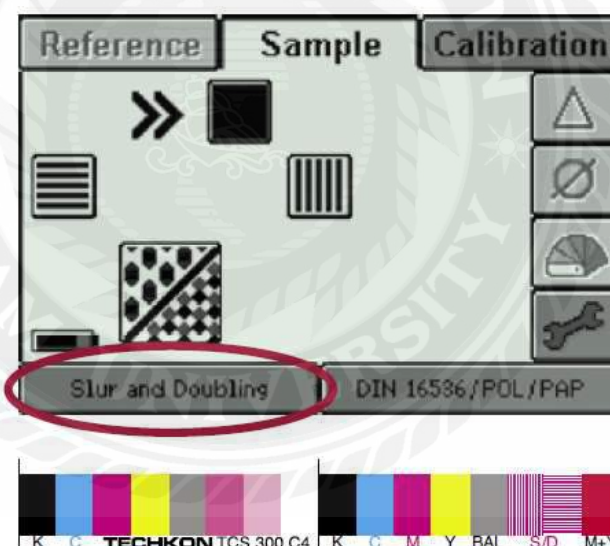
เม็ดสกรีนบวม หรือ Dot Gain เป็นค่าที่ใช้ควบคุมขนาดของเม็ดสกรีน ซึ่งเม็ดสกรีนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีแรงกดพิมพ์มากขึ้น ดังนั้นการรู้ค่าการบวมของเม็ดสกรีน จะทำให้สามารถควบคุมปริมาณการกดพิมพ์ได้



รูปที่ 2.43 การวัดค่าการบวมของเม็ดสกรีน

2.7.3 พิมพ์พรวดและเม็ดสกรีนซ้อน

พิมพ์พรวด (Slur) และเม็ดสกรีนซ้อน (Doubling) สามารถคำนวณได้ด้วยการวัดค่าการสะท้อนแสงจากแถบควบคุมเฉพาะที่ถูกออกแบบมา โดยแถบควบคุมจะมีลักษณะเป็นเส้นขนาดเล็กหลายเส้น ห่างกันประมาณ 0.1 มิลลิเมตร เรียงตัวในแนวตั้งและแนวนอน



รูปที่ 2.44 การวัดค่าการพิมพ์พรวด (Slur) และเม็ดสกรีนซ้อน (Doubling)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องมือวัดการหนูน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยเกี่ยวกับการหนูน (Packing) ยังพบไม่มากนัก เนื่องจากมีสถาบันที่ทำงานงานวิจัยเกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดทางกราฟิกไม่มากนัก ที่พบโดยส่วนใหญ่เป็นเรื่องเกี่ยวข้องกับคุณภาพการพิมพ์ที่เกิดจากระยะการหนูนบนโมแม่พิมพ์ ซึ่งพบผู้ที่ได้ศึกษาค้นคว้าที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

กฤษฎิพันธ์ มุขสมบัติ, อรัญ หาญสืบสาย (2553) ศึกษาเรื่อง ผลของการร่อนหุ่นผ้าอย่าง ต่อคุณภาพของภาพพิมพ์ออฟเซต จากการศึกษาพบว่า การร่อนหุ่นผ้าอย่างในเครื่องพิมพ์ออฟเซต อาจมีผลต่อการพิมพ์ร่า (slur) ความคมชัดน้อยลง งานวิจัยจึงวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ที่ได้จากการเปลี่ยนความหนาของร่อนหุ่นผ้าอย่างให้สูงขึ้นมีทั้งขีดเซยและไม่ขีดเซยแรงกดพิมพ์ระหว่างโมแม่พิมพ์กับโมผ้าอย่างและโมผ้าอย่างกับโมกดพิมพ์ นำผลภาพพิมพ์ที่ได้ไปวัดหาค่าอัตราพราของภาพ (Slur ratio) ด้วยวิธีวัดค่าความดำและค่าความคม 9Sharpness) ที่ขอบภาพ ด้วยวิธีวัดค่าความหยาบ (RMS roughness) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการร่อนหุ่นผ้าอย่างเพิ่มขึ้นโดยไม่ได้ขีดเซยแรงกดพิมพ์ที่โมกดพิมพ์และโมแม่พิมพ์ ทำให้เกิดปัญหาการพิมพ์ร่า แสดงด้วยค่า Slur ratio ที่ลดลง พบว่าค่าน้อย การผลิตน้ำหมึกสีคล้ำขึ้นและความคมของภาพลดลง

วัชพงศ์ ภูอารีย์, พิชิต ขจรเดชะ (2551) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาเครื่องทดสอบสภาพทน แสงตามมาตรฐาน ASTM จากการศึกษาพบว่า เครื่องทดสอบสภาพทนแสงที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ มาตรฐานของ ASTM มาเป็นตัวชี้วัด เพิ่มระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ สามารถทดสอบสภาพทน แสงได้ตามมาตรฐาน ASTM แหล่งกำเนิดแสงมีประสิทธิภาพดี มีความถูกต้องของคุณภาพแสง สามารถใช้ในอุตสาหกรรมผลิตหมึกได้

ปิติกันต์ รักราชการ,อำพล สิริขึ้นสุวรรณ (2554) ศึกษาเรื่อง การออกแบบและสร้าง เครื่องผลิตก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ด้วยระบบพี เอส เอ จากการศึกษาพบว่า เครื่องกำเนิดก๊าซที่สร้าง ขึ้นสามารถผลิตก๊าซไนโตรเจนได้ในอัตราการผลิตประมาณ 4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง(สำหรับ Model N3) 9.33 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง(สำหรับ Model N15)และ 18.83 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (สำหรับ Model N30) ที่ค่าความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มค่าความบริสุทธิ์ของก๊าซให้ มากขึ้นเป็น99.99 เปอร์เซ็นต์ จะได้อัตราการผลิตประมาณ 2.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง(สำหรับ Model N3) 10.41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง(สำหรับ Model N15)และ 21.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (สำหรับ Model N30) จากการทดลองนี้ได้เครื่องผลิตก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ลดการนำเข้าเครื่องผลิต ก๊าซจากต่างประเทศได้

กมลวรรณ ต้นไถง, และคณะ. (2550) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจดวงตา ทางไกล จากการศึกษาพบว่า การใช้กล้องจุลทรรศน์สำหรับส่องตรวจดวงตา (Slit lamp biomicroscope) ประสานกับเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล อิเลคทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์สื่อสาร ในปัจจุบัน สามารถควบคุมทางไกลและถ่ายภาพผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงโดยจักษุ แพทย์ จากหน่วยพื้นที่ จากผู้ป่วยในพื้นที่ห่างไกลโรงพยาบาลไปถึงจักษุแพทย์ปลายทาง ได้เรียก แนวคิดนี้ว่า หุ่นยนต์ตรวจตา หรืออุปกรณ์ตรวจดวงตาทางไกล (Eye examination Robot / Eye tee-analyzer)

พิทักษ์พงษ์ บุญประสม (2554) เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องมือวัดร่อนหุ่น (Packing Gauge) ของโมแม่พิมพ์และโมผ้าอย่างสำหรับเครื่องพิมพ์ที่มีโมพิมพ์แบบมีบ่า จากการศึกษาพบว่า สามารถสร้างและพัฒนาเครื่องมือวัดร่อนหุ่นที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ที่มีโมพิมพ์แบบมีบ่าได้ โดยผู้วิจัยได้ เลือกใช้นาฬิกาวัดความสูง (Dial gauge) 3 ชั้น เพื่อความแม่นยำในการใช้ และใช้เครื่องจักร CNC ในการขึ้นรูปและกัดตัวเรือน

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดทรงหนูนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์เดียว สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น

3.1 การวิเคราะห์ ศึกษารูปแบบ และกำหนดแนวคิดในการออกแบบ (Concept Design) เครื่องมือวัดทรงหนูนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์เดียว สำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์ออฟเซต ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 การสร้างแบบร่างจากแนวคิดในการออกแบบ (Idea sketch) กำหนดรูปร่างและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ ข้อดีและข้อเสียของรูปร่างผลิตภัณฑ์ และเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งาน กระบวนการผลิต ต้นทุนค่าใช้จ่าย

3.3 พัฒนาแนวคิดให้เป็นรูปร่างนำ (Concept Design) และข้อกำหนดเบื้องต้นมาพัฒนาเป็น Idea Sketch หลากหลาย แบบ และเลือกแบบร่างที่เหมาะสมที่สุด 1 แบบ เพื่อนำไปพัฒนาทำต้นแบบ การเลือกแบบจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงการออกแบบผลิตภัณฑ์

3.4 ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Computer-Aided Design (CAD)) ในการเขียนแบบ ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเตรียมและพิมพ์เอกสารทาง วิศวกรรมเพื่อการผลิต

3.5 มาจัดทำแบบจำลองเสมือนจริง (Mock Up) ตามขนาดและมาตราส่วนที่ถูกกำหนดจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)

3.6 หล่อขึ้นงานด้วยวิธีการหล่อทราย โดยการสร้างแบบหล่อทรายตามแบบจำลองเสมือนจริง

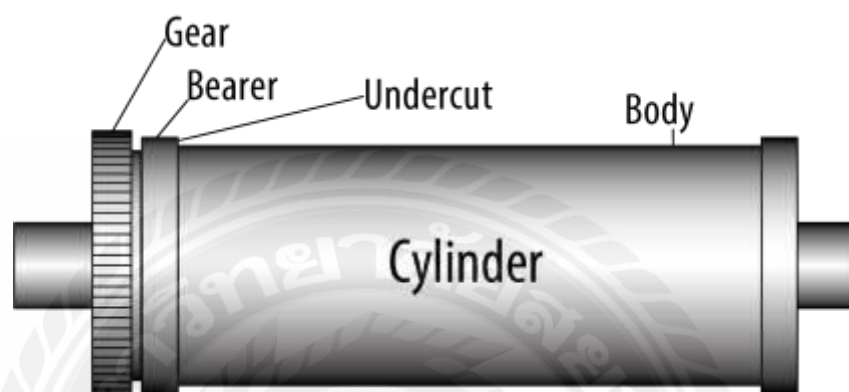
3.7 ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer-Aided Manufacturing (CAM)) สั่ง และควบคุมเครื่องจักร CNC เพื่อกัดขึ้นงานให้ได้ระดับ

3.8 ออกแบบแม่พิมพ์ทดสอบ (Test form) การร่อนหนูน เพื่อใช้ทดสอบเครื่องมือวัดทรงหนูนชนิดนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์เดียว

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์ ศึกษารูปแบบ และกำหนดแนวคิดในการออกแบบ

โมของเครื่องพิมพ์ออฟเซตชนิดป้อนแผ่น (Sheet-fed) มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอก (Cylinder) ประกอบไปด้วย เฟือง (Gear) บ่าโม (Bearer) และตัวโม (Body) โดยตัวโมจะมีระดับต่ำกว่าบ่าโม เพื่อเป็นที่สำหรับติดตั้งแม่พิมพ์หรือผ้ายาง ซึ่งระยะความแตกต่างระหว่างตัวโมและบ่าโมนี้จะเรียกว่า ระยะความสูงบ่าโม (Under cut)



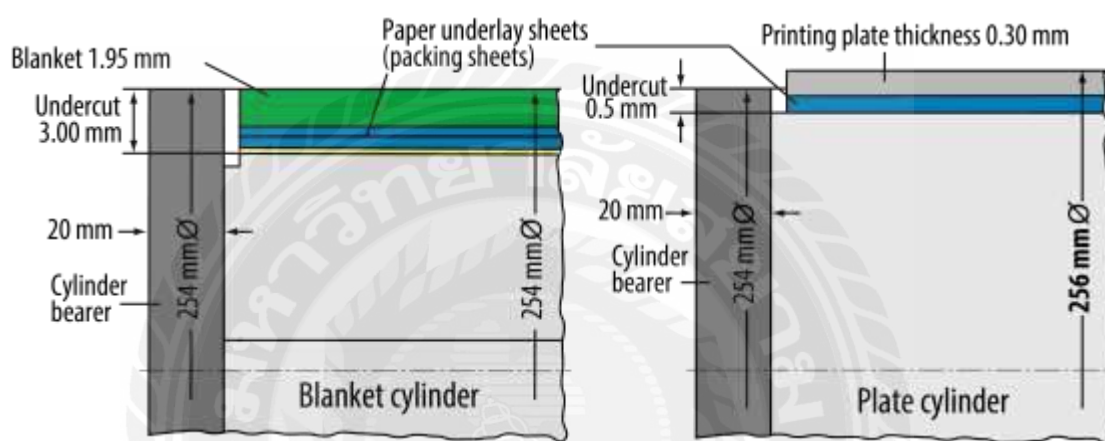
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของโม : เฟือง บ่าโม และตัวโม



รูปที่ 3.2 ลักษณะของโม (Cylinder)

แม่พิมพ์จะถูกติดตั้งที่โมแม่พิมพ์ (Plate cylinder) ซึ่งช่างพิมพ์จะต้องทำให้แม่พิมพ์สูงขึ้นกว่าบ่าโม โดยใช้กระดาษรองหนุน รองด้านใต้ของแม่พิมพ์ เพื่อยกระดับของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้นเกินกว่าบ่าโม เป็นระยะ 0.1 มิลลิเมตร ทำให้เกิดแรงกดพิมพ์

ส่วนผ้ายางก็จะถูกติดตั้งที่โมผ้ายาง (Blanket cylinder) และช่างพิมพ์ก็ต้องทำให้ผ้ายางสูงขึ้น เสมอกับความสูงของบ่าโมเพื่อให้ขนาดภาพพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ มีขนาดเท่ากับขนาดภาพบนแม่พิมพ์



รูปที่ 3.3 การรองหนุนโมผ้ายาง และโมแม่พิมพ์

ความสูงของแม่พิมพ์และผ้ายางสามารถตรวจสอบได้ด้วย เครื่องมือวัดรองหนุน (Packing gauge) โดยจะต้องวัดหลังจากติดตั้งแม่พิมพ์และผ้ายางเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.4 การวัดความสูงของผ้ายางโดยใช้เครื่องมือวัดการรองหนุน (Packing gauge)

เครื่องมือวัดรองหนุน ในปัจจุบันมีรูปแบบที่หลากหลายแตกต่างกัน แต่มีสิ่งที่เหมือนกันคือ ต้องมีเกจวัดหรือนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ (Dial indicator) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับเครื่องมือวัด

ชนิดนี้ ผู้สร้างมีทั้งที่ติดตั้งเกจวัดเพียงเกจเดียวสำหรับวัดระยะรองหนุนหรือแบบที่มีสามเกจเพื่อช่วยวัดระยะยุบไปพร้อมกันและช่วยกำหนดแนวการวางเครื่องมือที่ขนานกับแกนของโมเครื่องพิมพ์ขณะทำการวัด ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดรองหนุน (Packing Gauge) ทั้งสองประเภท
(ที่มา : presspart.co.uk and amazon.com.2554)

มีผู้สร้างเครื่องมือวัดรองหนุนที่ทำฐานเป็นแม่เหล็กเพื่อให้ยึดเกาะกับโมเครื่องพิมพ์ได้ ทำให้สะดวกขณะใช้งานแต่เครื่องมือวัดจะมีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดรองหนุน (Packing Gauge) แบบฐานแม่เหล็ก
(ที่มา : fujifilmusa.com.2554)

แต่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือวัดรองหนุนประเภทใดเกจวัดหรือนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ (Dial Indicator) ที่ติดตั้งมากับตัวเรือนของเครื่องมือวัดไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปภายในประเทศ เนื่องจากแต่ละผู้ผลิตได้ผลิตนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์เฉพาะตามรูปร่างของเครื่องมือที่ออกแบบไว้ จึงไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง แต่นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ที่มีจำหน่ายในประเทศมีราคาไม่สูงมากสามารถนำมาใช้ประกอบเครื่องมือวัดรองหนุนได้ แต่จำเป็นต้องออกแบบตัวเรือนรองรับให้ได้ขนาดกับตัวเกจและให้เหมาะสมกับโมเครื่องพิมพ์ที่มีรูปทรงกระบอกที่มีขนาดความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน จึงต้องหาขนาดความยาวของขานาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ที่จะต้องสัมผัสได้พอดีและมีระยะเลื่อนตัว ดังรูปที่ 3.4 ได้พอดี จากการทดลองพบว่านาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ ที่สามารถนำมาใช้ได้ดีกับโมเครื่องพิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 180 -300 มิลลิเมตร ได้แก่ นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ MITUTOYO รุ่น 1160 ซึ่งอ่านค่าได้

ละเอียด (Graduation) ได้ 0.01 มิลลิเมตร มีระยะวัด (Range) ได้ 5 มิลลิเมตร มีความแม่นยำ (Accuracy) ถึง 16 ไมค์คอน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ MITUTOYO รุ่น 1160
(ที่มา : Mitutoyo co. Ltd .2554)

และเปรียบเทียบ นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ MITUTOYO รุ่น 1160 กับ นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ของ Heidelberg ดังรูปที่ 3.8

Dial Indicator
MITUTOYO
series 1160



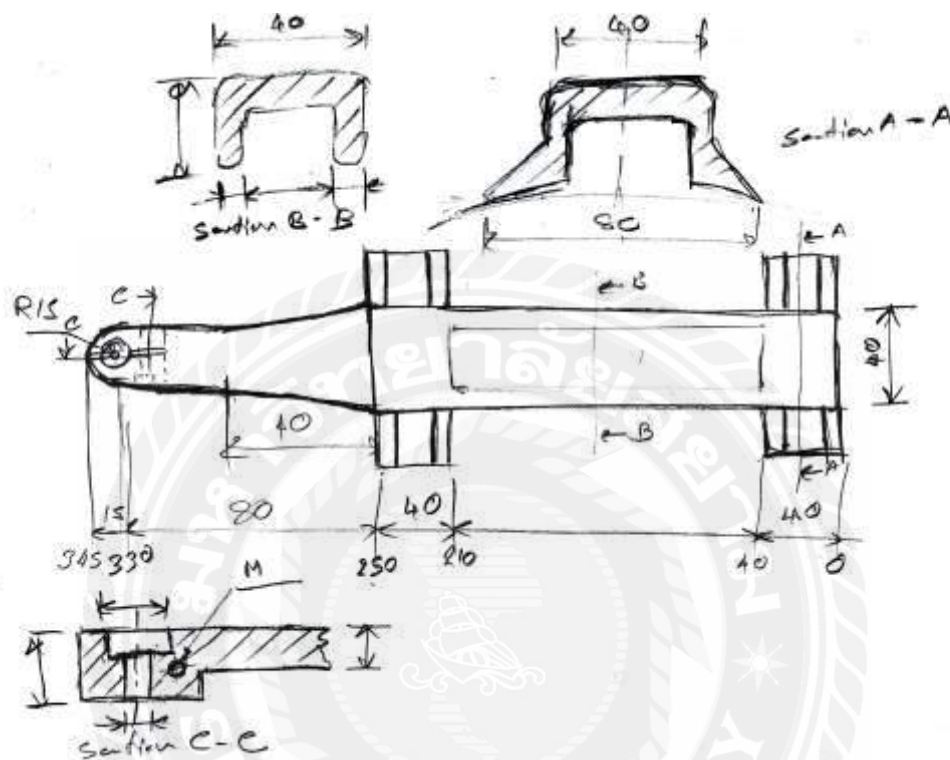
Dial Indicator
Heidelberg

รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ MITUTOYO รุ่น 1160 ที่มีจำหน่ายทั่วไปกับนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ของ Heidelberg ที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน
(ที่มา : พิทักษ์พงษ์ บุญประสม .2554)

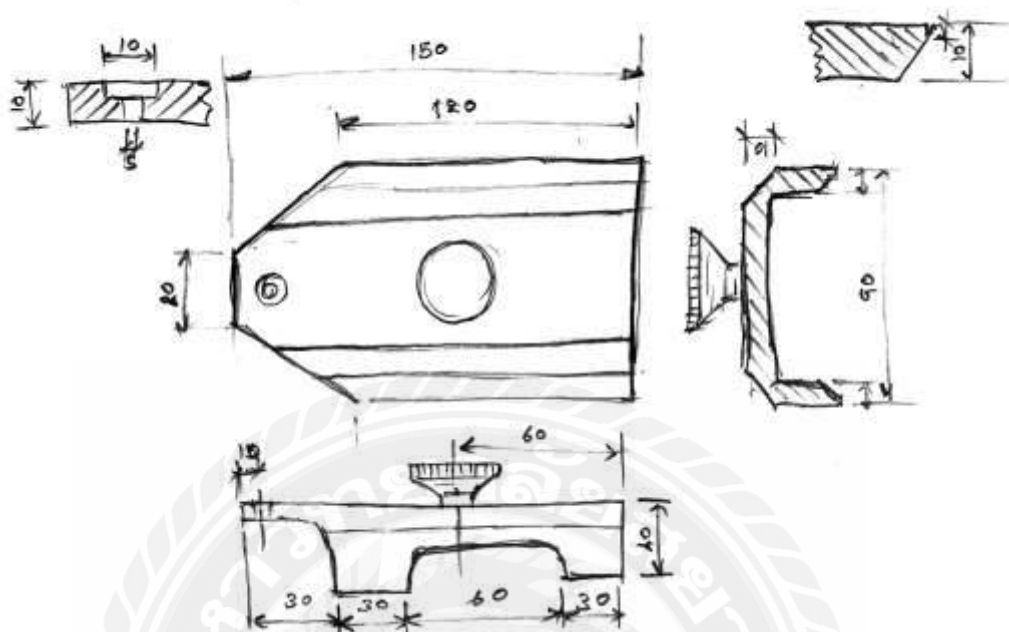
3.2 การสร้างแบบร่างจากแนวคิดในการออกแบบ (Idea sketch)

เครื่องมือวัดการรองหนูน เป็นเครื่องมือวัดที่ช่างพิมพ์จำเป็นต้องใช้งานประจำ เพื่อตรวจสอบระยะความสูงของฟ้ายางและแม่พิมพ์ หลังจากประกอบติดตั้งแล้ว ดังนั้นเครื่องมือวัดการรองหนูน จะต้องเป็นเครื่องมือที่มีความแข็งแรง หยิบจับได้ถนัด กระชับมือ เมื่อนำไปวัดระยะที่ไม่จะต้องแนบกระชับกับโมที่มีรูปทรงเป็นแท่งทรงกระบอกได้ดี และเพื่อที่จะสร้างเครื่องมือวัดรองหนูนที่มีราคาถูก จะต้องใช้นาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์จำนวนไม่เกิน 2 ชิ้น เพราะนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์

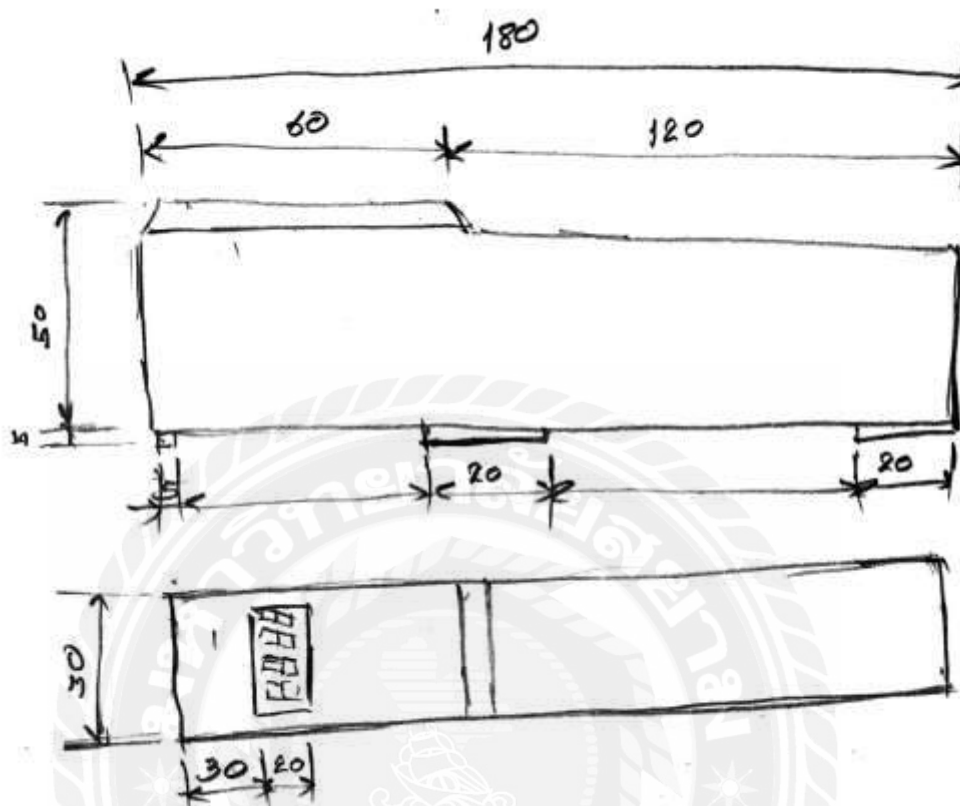
เป็นต้นทุนส่วนใหญ่ของการสร้างเครื่องมือวัดการร่อนหิน และเพื่อให้สามารถสร้างเครื่องมือวัดร่อนหินได้ตามแนวคิดดังกล่าว คณะผู้วิจัย จึงได้ร่างต้นแบบเครื่องมือวัดร่อนหินขึ้นมา 3 แบบ ดังรูปที่ 3.7-3.9



รูปที่ 3.9 แบบร่างเครื่องมือวัดร่อนหิน แบบที่ 1.



รูปที่ 3.10 แบบร่างเครื่องมือวัดตรงหนุน แบบที่ 2.



รูปที่ 3.11 แบบร่างเครื่องมือวัดรองหมุน แบบที่ 3.

เครื่องมือวัดรองหมุน แบบที่ 1.(รูปที่ 3.9) จะเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นแท่งยาว มีขาสำหรับวางบนตัวโมทรองกระบอก 4 ขา และมีนาฬิกาวัดความสูงติดตั้งอยู่ที่ปลายสุดของเครื่องมือ เวลาใช้งาน ขนาดตัวเครื่องมือยาวประมาณ 255 มิลลิเมตร ข้างพิมพ์จะสามารถจับที่ตัวของเครื่องมือวัดได้เลย การออกแบบจึงไม่ต้องมีที่จับยึด และเครื่องมือวัดรองหมุน แบบที่ 2.(รูปที่ 3.10) จะเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะแบนราบ ด้านบนมีหมุดสำหรับเป็นที่จับเครื่องมือ ส่วนด้านล่างจะมีขาสำหรับวางบนตัวโมทรองกระบอก 4 ขา เช่นเดียวกับแบบแรก แต่ระยะห่างระหว่างขาด้านข้างจะห่างจากกันมากกว่า และสำหรับเครื่องมือวัดรองหมุน แบบที่ 3.(รูปที่ 3.11) แบบสุดท้าย จะเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ นาฬิกาวัดความสูงแบบดิจิตอล และมีขาสำหรับวางบนตัวโมทรองกระบอกเพียง 2 ขา

3.3 กำหนดรูปร่างและรูปทรงของผลิตภัณฑ์

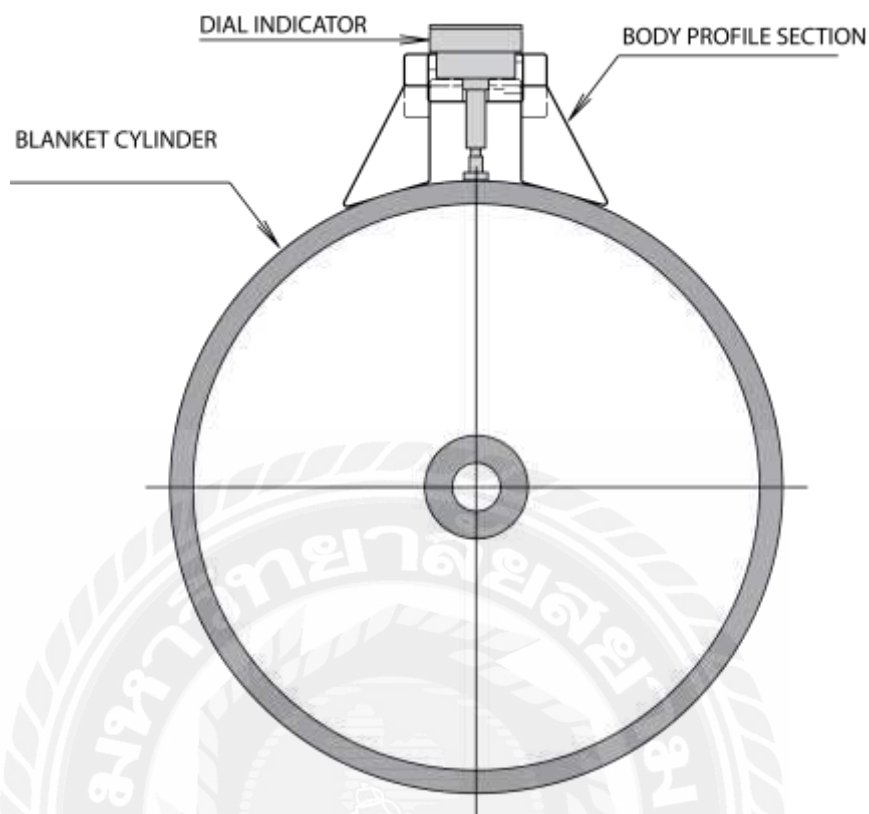
เครื่องมือวัดความสูงของบ่าโม จะต้องสามารถวางอยู่บนตัวโม ที่มีลักษณะโค้งกลมเป็นทรงกระบอก (Cylinder) และจะต้องมีนาฬิกาวัดความสูง (Dial Indicator) ประกอบติดตั้งไว้ ซึ่งแนวคิดของการออกแบบครั้งนี้ คือ จะต้องเป็นเครื่องมือวัดความสูงของบ่าโมที่มีราคาไม่แพง ใช้งานง่าย และจับถนัดมือ ดังนั้นเพื่อให้สามารถสร้างเครื่องมือได้ตามแนวคิดนั้น จะต้องใช้ตารางวิเคราะห์แบบดังตารางที่ 3.1 วิเคราะห์จากคะแนนที่คิดจากค่าความสำคัญในแต่ละหัวข้อ

ตารางที่ 3.1 ตารางวิเคราะห์ความสำคัญแบบ

แนวคิดการออกแบบ	ค่าความสำคัญ	แบบที่ 1.		แบบที่ 2.		แบบที่ 3.	
		คะแนนเต็ม	คะแนนจริง	คะแนนเต็ม	คะแนนจริง	คะแนนเต็ม	คะแนนจริง
1. ความแข็งแรงทนทาน	7	7	49	7	49	5	35
2. ความสะดวกในการใช้งาน	6	6	36	5	30	6	36
3. ขั้นตอนการผลิตไม่ซับซ้อน	5	5	25	3	15	3	15
4. ราคาถูก	4	4	16	4	16	1	4
5. มีความถูกต้องแม่นยำ	3	3	9	3	9	3	9
6. ซ่อมบำรุง ดูแลรักษาง่าย	2	2	9	3	9	2	6
7. ความสวยงาม	1	1	1	0	0	1	1
รวม	28	28	145	24	128	21	106

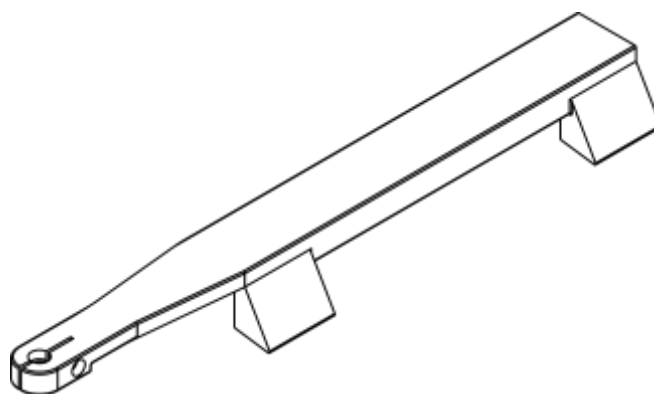
3.4 ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Computer-Aided Design (CAD))

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (CAD : Computer Aided Design) สร้างรูปหน้าตัด (Profile) ของตัวเรือนเครื่องมือวัดรองหนุน เพื่อหาระยะติดตั้งนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้เครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้กับ โมแม่พิมพ์ และโมฝ้ายางของเครื่องพิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมทั้งสองอยู่ระหว่าง 200 -350 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดโมของเครื่องพิมพ์ตั้งแต่ ขนาดเครื่องตัดสี่, ขนาดเครื่องตัดสองและขนาดเครื่องตัดหนึ่ง ซึ่งมีใช้อยู่ในโรงพิมพ์เป็นจำนวนมาก ในการทดลองนี้ใช้เครื่องพิมพ์ Heidelberg Sheet-Fed Offset รุ่น SORK ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมฝ้ายาง 263.6 mm เป็นขนาดที่นำมาสร้างรูปหน้าตัดของตัวเรือนเครื่องมือวัดรองหนุน และหาระยะติดตั้งนาฬิกาเปรียบเทียบศูนย์ (ระยะ S) ดังรูปที่ 3.6



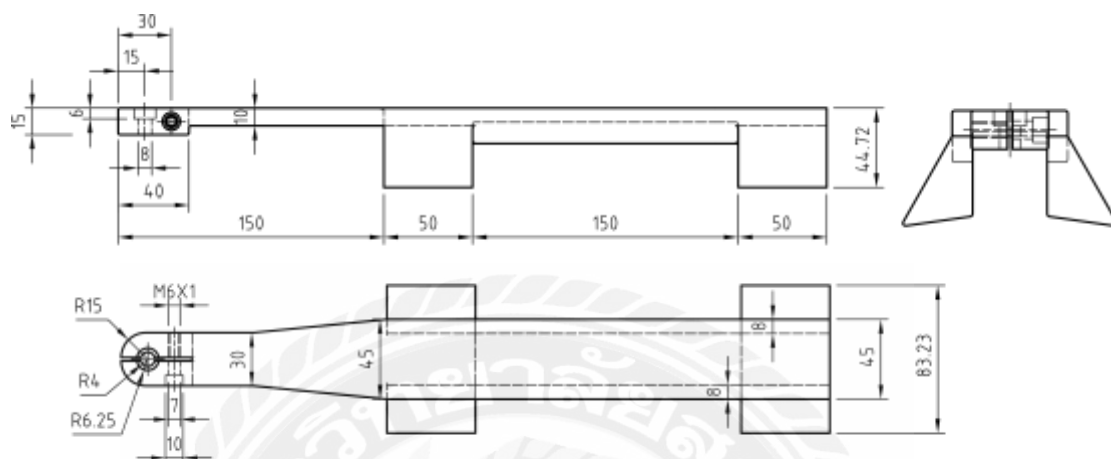
รูปที่ 3.12 สร้างรูป หน้าตัด (Profile) ของตัวเรือน Packing gauge เพื่อหาระยะติดตั้ง นาฬิกา เปรียบเทียบศูนย์ (Dial Indicator)
(ที่มา : พัทธ์พงษ์ บุญประสม .2554)

เมื่อหาขนาดและระยะที่ถูกต้องเหมาะสมของรูปหน้าตัดของเครื่องวัดรองหมุนด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบได้แล้วนำรูปหน้าตัดของตัวเรือนเครื่องมือวัดรองหมุนมาสร้างรูปต้นแบบเป็นพารามетริกโซลิดโมเดลลิ่ง (Parametric Solid Modeling) ด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ 3 มิติ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.13 สร้างรูปต้นแบบด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ 3 มิติ

จากไฟล์พารามेटริกโซลิดโมเดลลิ่ง (Parametric Solid Modeling) ทำเป็นแบบสั่งงานจากโปรแกรมเดียวกันเพื่อนำไปสร้างเครื่องมือวัดรองหนุนให้ได้ตามขนาดและกำหนดพิกัด ค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่างและตำแหน่งของเครื่องมือต่อไป



FILLET=R1

รูปที่ 3.14 แบบกำหนดตำแหน่งตรวจสอบค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่างและตำแหน่ง

3.5 สร้างแบบจำลองเสมือนจริง (Mock Up)

แบบจำลองเสมือนจริง สร้างจากการแกะสลัก ซึ่งขนาดและสัดส่วนที่ได้ มาจากการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ และใช้ไม้เป็นวัสดุเพื่อนำไปทำต้นแบบในการหล่อทรายในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.15 แบบจำลองเสมือนจริงของเครื่องมือวัดรองหนุน

3.5 หล่อชิ้นงานด้วยวิธีการหล่อทราย โดยการสร้างแบบหล่อทรายตามแบบจำลองเสมือนจริง

สร้างกระสวน (Mold) หรือแบบหล่อทรายให้ได้รูปร่างตามแบบจำลองเสมือนจริงที่ทำด้วยไม้ ทำทางวิ่งของน้ำโลหะ (Runner) และทางเข้าของน้ำโลหะ (in-gate) และ นำน้ำโลหะอุณหภูมิเย็นที่ หลอมแล้ว นำมาเทลงแบบหล่อที่เตรียมไว้ รอให้น้ำโลหะอุณหภูมิเย็นเย็นตัวในแบบทราย อย่างน้อย 5 นาที แล้วรื้อชิ้นงานออกจากแบบทราย (Shake-out)



รูปที่ 3.16 วิธีการหล่อทราย



รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดรองหนูที่ได้จากการหล่อทราย

3.6 ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer-Aided Manufacturing (CAM)) สร้าง และควบคุมเครื่องจักร CNC เพื่อกัดชิ้นงานให้ได้ระดับ

จากนั้นนำไฟล์พารามิเตอร์กลึงโมเดลลิงที่ได้มาสร้างคำสั่งกัดงาน (NC-Code) ด้วยโปรแกรมช่วยผลิต (CAM: Computer Aided Manufacturing) สำหรับควบคุมเครื่องกัด ซีเอ็นซี (CNC Milling machining) เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานตามทีออกแบบไว้

การตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน (CMM : Coordinate Measuring Machine) เครื่องจะทำการเก็บข้อมูลด้วยเซ็นเซอร์ที่อยู่ส่วนปลายที่ใช้แตะชิ้นงานเพื่อบันทึกค่าแล้วนำไปจำลองภาพชิ้นงานเพื่อวัดค่าต่างๆ ตามข้อกำหนดในแบบสั่งงานที่ได้ออกแบบไว้แล้วในตอนต้น

ขั้นตอนการทดสอบค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง และรูปร่างด้วยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน (CMM : Coordinate Measuring Machine)

1. การตั้งศูนย์เครื่องมือวัดละเอียดสามแกน (CMM : Coordinate Measuring Machine) : ทำการตั้งศูนย์ให้กับตัวเครื่องมือวัดละเอียด โดยนำส่วนปลายไปแตะกับเซรามิกทรงกลมที่ติดมากับตัวเครื่องมือวัดละเอียด โดยเครื่องจะบันทึกค่าแล้วตรวจสอบค่าที่ได้กับค่าที่มีอยู่ในคู่มือ หากตรงกับคู่มือถือว่าใช้ได้

2. สร้างจุดหรือระนาบอ้างอิง : นำส่วนปลายของเครื่องมือวัดละเอียดแตะกับชิ้นงานเพื่อกำหนดแกน X,Y,Z และสร้างระนาบตามตำแหน่งที่ต้องการเพื่อนำไปใช้เป็นแกนและระนาบอ้างอิง โดยแตะอย่างน้อย 3 จุดสำหรับแกนหรือเส้น และอย่างน้อย 4 จุดสำหรับระนาบ

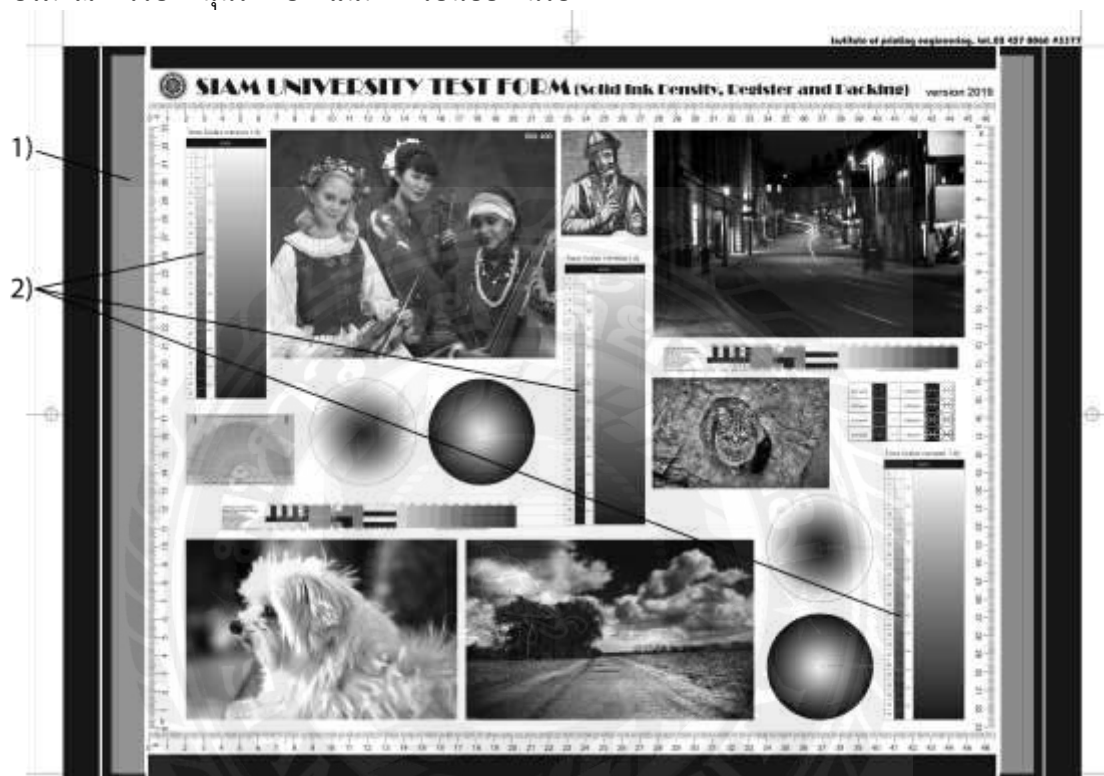
3. การเก็บค่าเพื่อนำไปเปรียบเทียบ : นำส่วนปลายของเครื่องมือวัดละเอียดแตะตรงตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ เครื่องจะทำการบันทึกค่าเพื่อนำไปเทียบวัดกับแกนหรือระนาบอ้างอิงที่ได้บันทึกไว้



รูปที่ 3.18 การใช้เครื่องจักร CNC เพื่อกัดชิ้นงานให้ได้ระดับ

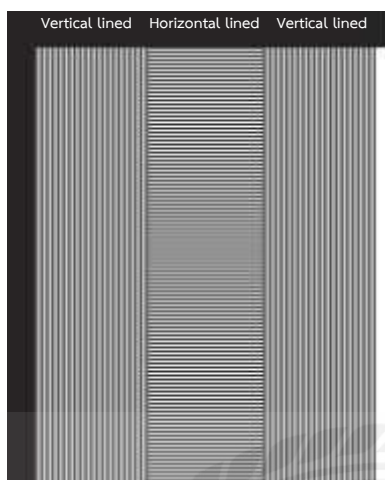
3.7 ออกแบบแม่พิมพ์ทดสอบ (Test form) การรองหนูน

เพื่อให้ทราบว่า เครื่องมือวัดรองหนูนที่ผลิตขึ้นมา สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพหรือไม่ จำเป็นต้องสร้างแม่พิมพ์ทดสอบการรองหนูนขึ้นมา โดยในรายละเอียดในแม่พิมพ์ จะมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ แถบควบคุมการรองหนูน และแถบควบคุมการบวมของเม็ตสกรีน เพื่อใช้ตรวจสอบปริมาณการรองหนูนให้พอดี ไม่มากหรือน้อยเกินไป



รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์ทดสอบ :

- 1) แถบควบคุมการรองหนูน, 2) แถบควบคุมการบวมของเม็ตสกรีน



รูปที่ 3.20 แถบควบคุมการลองหนุ่น

Tone Scales (version 1.0)



รูปที่ 3.21 แถบควบคุมการบวมของเม็ดสกรีน

แถบควบคุมการลองหนุ่น เป็นแถบควบคุมที่ประกอบด้วยเส้นขนาด 0.05 มิลลิเมตร เรียงตัวขนานกันในแนวตั้ง และแนวนอน สำหรับการลองหนุ่นที่ถูกต้อง เส้นในแนวตั้งและเส้นในแนวนอนจะต้องมีความค่าความดำ (Density) ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าการลองหนุ่นฝ้ายเกินระยะความสูงของบ่าโมะจะทำให้เส้นในแนวนอน มีขนาดใหญ่ขึ้นและค่าความดำจะมากขึ้น ความต่างกันของค่าความดำระหว่างเส้นตั้งกับเส้นนอนก็จะมากขึ้น สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในโหมดฟังก์ชัน Slur and doubling หรือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเส้นตั้งและเส้นนอน และสำหรับแถบควบคุมการบวมของเม็ดสกรีน ก็เป็นอีกแถบควบคุมหนึ่งที่สามารถใช้บ่งบอกถึงค่าการลองหนุ่นได้ ซึ่งการบวมของเม็ดสกรีนจะมากขึ้นตามปริมาณการลองหนุ่นที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.22 การวัดแถบควบคุมการลองหนุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer

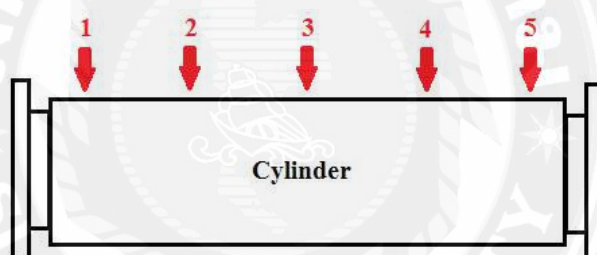
การวิจัยใช้วิธีการทดลองนำเครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้นมาสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรองหนุนมาตรฐาน โดยวัดระยะลึกที่ป่าโมของโมแม่พิมพ์ ของเครื่องพิมพ์ Heidelberg Sheet-Fed Offset รุ่น SORK โดยให้กลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ทดลองวัดที่ละคนแล้วเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์หาผลการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. อ่านค่าระยะลึกป่าโม (Plate Cylinder Undercut) = 0.50 mm



รูปที่ 3.23 ค่ามาตรฐานที่กำหนดระยะลึกป่าโมแม่พิมพ์ 0.50 มิลลิเมตร

2. วัดค่าความลึกผิวโมแม่พิมพ์ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ 1-5



รูปที่ 3.24 แสดงตำแหน่งการวัดระยะลึกผิวโมแม่พิมพ์ 5 ตำแหน่ง

3. นำเครื่องมือวัดรองหนุนมาตรฐาน มาวัดค่าที่ป่าโมเสร็จแล้วนำไปวัดค่าที่ผิวโมตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ครั้ง บันทึกผลการวัด และนำไปวัดในวัดในตำแหน่งป่าโม



รูปที่ 3.25 แสดงการวัดระยะลึกป่าโมแม่พิมพ์ด้วยเครื่องมือวัดรองหนุนมาตรฐาน

5. เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ทั้งหมดเพื่อนำไปวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือต่อไป

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สูตรการหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ คะแนนเฉลี่ย

$\sum x$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูล

สูตรการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. : Standard Deviation)

$$S. D. = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$$

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือ ข้อมูล

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

N คือ จำนวนข้อมูล

แบบประเมินการทดลองใช้เครื่องมือตรวจสอบค่าการหมุนฝ้ายางและแม่พิมพ์บนโมของเครื่องพิมพ์ด้วยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน โดยเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้

ระดับคะแนน	4.50-5.00	หมายถึง ดีมาก
ระดับคะแนน	3.50-4.49	หมายถึง ดี
ระดับคะแนน	2.50-3.49	หมายถึง พอใช้
ระดับคะแนน	1.50-2.49	หมายถึง ควรปรับปรุง
ระดับคะแนน	1.00-1.49	หมายถึง แย่

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยพัฒนาเครื่องมือเครื่องมือวัดรองหนุน สำหรับเครื่องพิมพ์ออฟเซตที่มีโมพิมพ์แบบมีบ่า ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลการใช้เครื่องมือวัดรองหนุน โดยเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นขั้นตอนดังนี้

- 4.1 วิเคราะห์ผลแบบประเมินเครื่องมือวัดรองหนุนโดยผู้เชี่ยวชาญ
- 4.2 วิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตำแหน่งและรูปร่าง
- 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองใช้เครื่องมือวัดรองหนุน

4.1 วิเคราะห์ผลแบบประเมินเครื่องมือวัดรองหนุน โดยผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือวัดรองหนุน ให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเหมาะสมและความแม่นยำตรงของเครื่องมือ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปทดลองใช้ ในการวิจัยครั้งนี้มีผู้เชี่ยวชาญร่วมพิจารณาจำนวน 5 คน โดยทั้งหมดมีความคิดเห็นต่อเครื่องมือวัดรองหนุน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	แปลความ
1.มีขนาดที่เหมาะสม	5.00	0.00	ดี
2.มีน้ำหนักที่เหมาะสมแก่การใช้งาน	2.25	0.57	ควรปรับปรุง
3.ลักษณะรูปทรงการออกแบบ	4.75	0.43	ดีมาก
4.ความถนัดมนการจับยึด	3.50	0.50	ดี
5.สามารถวัดได้ตามค่ามาตรฐานกำหนด	5.00	0.00	ดีมาก
6.มีความสะดวกขณะใช้งาน	3.75	0.43	ดี
7.ความแม่นยำของชิ้นงาน	4.50	0.50	ดีมาก
8.เครื่องมือมีความจำเป็นต่อการใช้งานของท่านมากน้อยเพียงใด	4.75	0.43	ดีมาก
9.ความพึงพอใจในภาพรวมของข้อมูล	4.50	0.50	ดีมาก
10.ความต้องการใช้เครื่องมือวัดในงานของท่าน	4.75	0.43	ดีมาก

จากตารางที่ 4.1 แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อการใช้เครื่องมือตรวจสอบการหนุน ดังนี้เครื่องมือมีขนาดที่เหมาะสม ความถนัดมนการจับยึดและมีความสะดวกขณะใช้งาน ความคิดเห็นอยู่ในระดับดี และมีลักษณะรูปทรงการออกแบบ สามารถวัดได้ตามค่ามาตรฐานกำหนด มีความแม่นยำและ เครื่องมือมีความจำเป็นต่อการใช้งานอีกทั้งมีความพึงพอใจต้องการใช้เครื่องมือวัดความคิดเห็นอยู่ในระดับดีมาก แต่น้ำหนักที่เหมาะสมแก่การใช้งานมีความคิดเห็นอยู่ในระดับต้องปรับปรุง เนื่องจากเครื่องเป็นต้นแบบและใช้วัสดุราคาไม่สูงมากนัก ทำให้เครื่องมือมีน้ำหนักมาก

4.2 วิเคราะห์ผลการตรวจสอบเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตำแหน่งและรูปร่าง

เมื่อนำชิ้นงานมาตรวจสอบเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตำแหน่งและรูปร่างด้วยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน (CMM : Coordinate Measuring Machine) ได้ตรวจวัดเกณฑ์ตามแบบที่กำหนดไว้ โดยเครื่องมือวัดละเอียดได้ตรวจวัดระยะบนชิ้นงานครั้งละ 12 จุด รวม 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างผลการทดสอบบรรนาบด้วยเครื่องมือวัดละเอียดตำแหน่งที่ 1-12

Protocol number (1)



Username: Admin
10.06.2010 10:39

Partname: Siam U. 3Holes Yello

El. No.	Line No.	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Up/Lo	Z-Coord. Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance mm
1	52	Plane			0.100		0.074	*****
1	62	Perpendicularity			0.100		0.040	***_..
1	74	Plane			0.100		0.067	****_..
1	84	Perpendicularity			0.100		0.059	****_..
2	85	Plane-1			0.100		0.097	****_..
5	86	Parallelism			0.100		0.098	****_..
3	97	Line-1			0.100		0.002	*_.....
4	106	Straightness			0.100		0.001	*_.....
5	116	Line-3			0.100		0.000	*_.....
6	125	Straightness			0.100		0.002	*_.....

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างผลการทดสอบบรรนาบของ Pocket ด้วยเครื่องมือวัดละเอียดตำแหน่งที่ 11-12

Protocol number (2)



Username: Admin
10.06.2010 10:53

Partname: Siam U. 3Holes Y Cir

El. No.	Line No.	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Up/Lo	Z-Coord. Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance mm
3	62	Line Circle			0.100		0.031	***_..
3	63	Parallelism			0.100		0.012	**_....

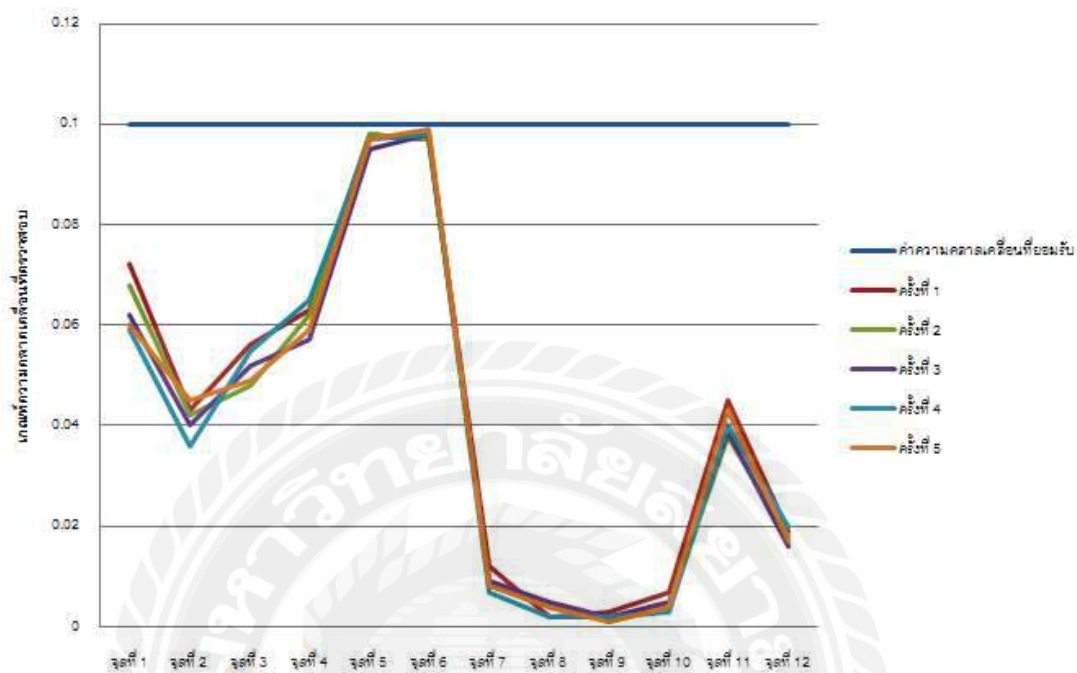
ตารางที่ 4.4 ผลความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัด
ละเอียดสามแกน จำนวน 5 ครั้ง

จุดที่	พิกัดความคลาดเคลื่อนตำแหน่ง และรูปร่าง	ค่าความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)					ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
		1	2	3	4	5	
1.	ความฉากระหว่าง Plane 1 กับ Plane พื้น	0.072	0.068	0.062	0.059	0.060	0.064
2.	ความฉากระหว่าง Plane 2 กับ Plane พื้น	0.043	0.042	0.040	0.036	0.045	0.041
3.	ความฉากระหว่าง Plane 3 กับ Plane พื้น	0.056	0.048	0.052	0.055	0.049	0.052
4.	ความฉากระหว่าง Plane 4 กับ Plane พื้น	0.063	0.062	0.057	0.065	0.059	0.061
5.	ความขนานระหว่าง Plane 1 กับ Plane 3	0.098	0.099	0.095	0.095	0.098	0.098
6.	ความขนานระหว่าง Plane 2 กับ Plane 4	0.106	0.098	0.095	0.098	0.099	0.098
7.	ความตรงของ Line 1	0.012	0.009	0.009	0.007	0.008	0.009
8.	ความตรงของ Line 2	0.002	0.004	0.005	0.002	0.004	0.003
9.	ความตรงของ Line 3	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
10.	ความตรงของ Line 4	0.007	0.004	0.005	0.003	0.004	0.005
11.	ความขนานพื้นหลุมวงกลมกับ ระนาบด้านบนชิ้นงาน	0.045	0.038	0.039	0.040	0.043	0.041
12.	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของ ตำแหน่ง	0.019	0.018	0.016	0.020	0.017	0.018

ตารางที่ 4.5 ค่าเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่างจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน

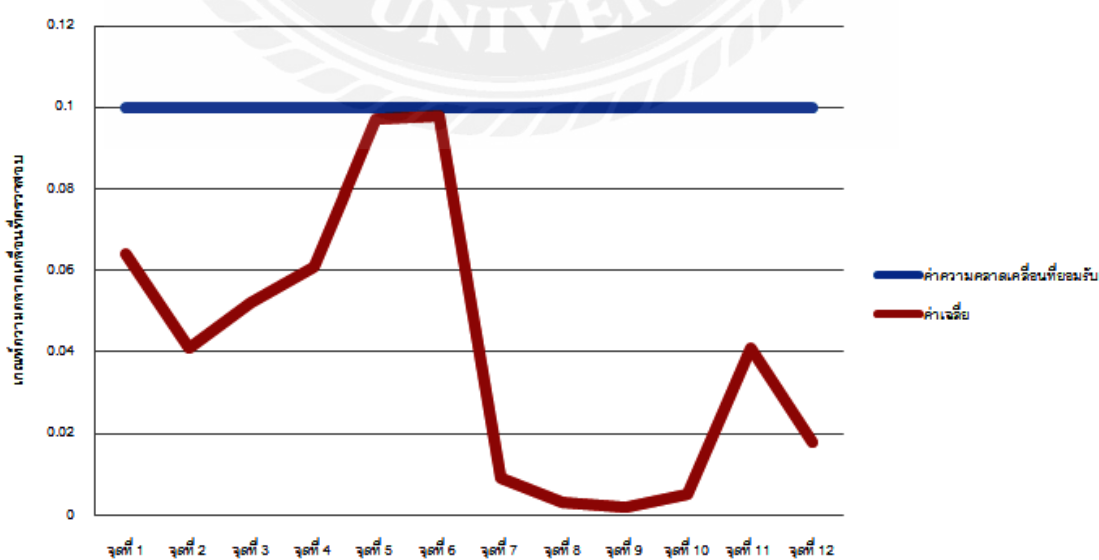
จุดที่	พิกัดความคลาดเคลื่อนตำแหน่งและรูปร่าง	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้(มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่วัดได้(มิลลิเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนจากเกณฑ์ที่ยอมรับได้
1.	ความฉากระหว่าง Plane 1 กับ Plane พื้น	0.100	0.064	0.000
2.	ความฉากระหว่าง Plane 2 กับ Plane พื้น	0.100	0.041	0.000
3.	ความฉากระหว่าง Plane 3 กับ Plane พื้น	0.100	0.052	0.000
4.	ความฉากระหว่าง Plane 4 กับ Plane พื้น	0.100	0.061	0.000
5.	ความขนานระหว่าง Plane 1 กับ Plane 3	0.100	0.098	0.000
6.	ความขนานระหว่าง Plane 2 กับ Plane 4	0.100	0.098	0.000
7.	ความตรงของ Line 1	0.100	0.009	0.000
8.	ความตรงของ Line 2	0.100	0.003	0.000
9.	ความตรงของ Line 3	0.100	0.002	0.000
10.	ความตรงของ Line 4	0.100	0.005	0.000
11.	ความขนานพื้นหลุมวงกลมกับระนาบด้านบนชิ้นงาน	0.100	0.041	0.000
12.	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง	0.100	0.018	0.000

กราฟสรุปผลการตรวจสอบเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่าง
ด้วยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน



รูปที่ 4.1 กราฟสรุปผลค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียด

กราฟผลเฉลี่ยการตรวจสอบเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและรูปร่าง
ด้วยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน



รูปที่ 4.2 กราฟผลเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียด

จากกราฟผลเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อน ผลการทดสอบโดยเครื่องมือวัดละเอียด (CMM : Coordinate Measuring Machine) พบว่ามีค่าความฉาก ความตรง เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและมีค่าความขนานพื้นหลุมวงกลมกับระนาบด้านบนชิ้นงาน น้อยกว่า 0.100 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และมีพิสัยความเผื่อตำแหน่งแสดงความขนานระหว่างระนาบ Plane 1 และระนาบ Plane 3 (ขาคู่หน้า) มีค่าเท่ากับ 0.098 มิลลิเมตร และพิสัยความเผื่อตำแหน่งแสดงความขนานระหว่างระนาบ Plane 2 และระนาบ Plane 4 (ขาคู่หลัง) มีค่าเท่ากับ 0.098 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่กำหนด เกิดจากขบวนการเคลือบผิวที่ไม่สม่ำเสมอ

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองใช้เครื่องมือวัดรองหนุน

ผู้วิจัยทำการทดลองโดยนำเครื่องมือวัดรองหนุน มาวัดค่าที่บ่าโมเสร็จแล้วนำไปวัดค่าที่ผิวโมตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ครั้ง ได้ผลการวัด ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดระยะลิบบ่าโมแม่พิมพ์ (Plate Cylinder Undercut) ด้วยเครื่องมือ

วัดรองหนุน มาตรฐาน

ครั้งที่	ตำแหน่งที่ 1 (mm)	ตำแหน่งที่ 2 (mm)	ตำแหน่งที่ 3 (mm)	ตำแหน่งที่ 4 (mm)	ตำแหน่งที่ 5 (mm)	ค่าเฉลี่ยระยะ ลิบบ่าโม (mm)
1	0.50	0.50	0.51	0.52	0.51	0.508
2	0.52	0.51	0.50	0.51	0.50	0.508
3	0.51	0.51	0.50	0.51	0.50	0.506
4	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50	0.506
5	0.50	0.51	0.50	0.51	0.51	0.506

จากนั้นนำเครื่องมือวัดรองหนุน ที่สร้างขึ้นมาวัดค่าในตำแหน่งเดียวกัน นำผลจากการวัดหาค่าเฉลี่ยดัง ตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดระยะลิบบ่าโมแม่พิมพ์ (plate cylinder undercut) ด้วยเครื่องมือ

วัดรองหนุน ที่สร้างขึ้น

ครั้งที่	ตำแหน่งที่ 1 (mm)	ตำแหน่งที่ 2 (mm)	ตำแหน่งที่ 3 (mm)	ตำแหน่งที่ 4 (mm)	ตำแหน่งที่ 5 (mm)	ค่าเฉลี่ยระยะ ลิบบ่าโม (mm)
1	0.50	0.50	0.52	0.52	0.51	0.510
2	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.508
3	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.504
4	0.51	0.51	0.51	0.52	0.50	0.510
5	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.506

นำผลค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าทั้ง 5 ครั้งมาเปรียบเทียบกับกัน เป็นค่าเฉลี่ยความต่างของระยะที่วัดค่าได้ ดังตารางที่ 3 พบว่าเครื่องมือมาตรฐานกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น มีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 0.002 mm และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.004 mm แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดรองหมุน ที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ค่าไม่แตกต่างจากเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือที่สร้างขึ้นควรมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.005 mm จึงจะถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

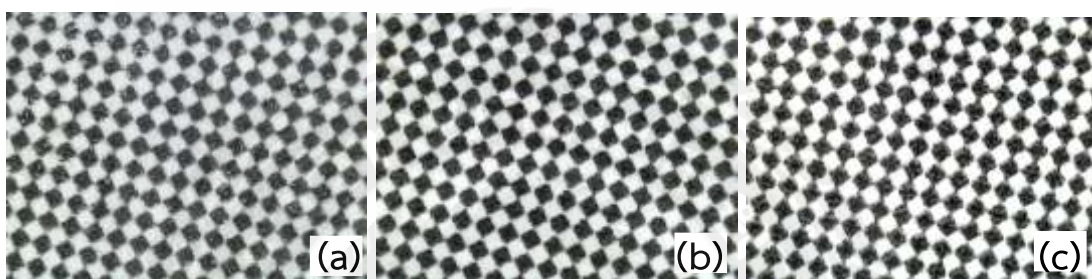
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยผลการวัดระยะลิคปาโม

ครั้งที่	ค่าเฉลี่ยระยะลิคปาโม จากเครื่องมือวัดรองหมุน มาตรฐาน (mm)	ค่าเฉลี่ยระยะลิคปาโม จากเครื่องมือวัดรองหมุน ที่สร้างขึ้น (mm)	ค่าความต่างของ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด (mm)
1	0.508	0.510	0.002
2	0.508	0.508	0.000
3	0.506	0.504	0.002
4	0.506	0.510	0.004
5	0.506	0.506	0.000

จากตารางที่ 4.8 ผลการวัดค่าพิถีความเพื่อเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่างและตำแหน่งของตัวเรือนโดยใช้เครื่องวัดพิถี (CMM : Coordinate Measuring Machine) ทั้ง 12 ตำแหน่ง มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.098 mm และมีค่าต่ำสุด 0.002 mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อนำชิ้นงานไปประกอบกับนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์เป็นเครื่องมือวัดเพื่อนำไปทดสอบความแม่นยำในการวัดโดยการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรองหมุน บนโมแม่พิมพ์ โดยเครื่องมือวัดรองหมุน ที่สร้างขึ้นเมื่อสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรองหมุน มาตรฐาน พบว่ามีค่าความต่างสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 0.004 mm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 0.01 mm เครื่องมือวัดรองหมุน ที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้

4.4 วิเคราะห์คุณภาพทางการพิมพ์

เม็ดเงินและตัวหนังสือจากการรองหนูนฝ้ายางที่ต่ำกว่าป๋าโม (รูปที่ 4.3(a) และรูปที่ 4.4(a)) มีลักษณะบาง การเกาะติดของหมึกพิมพ์ไม่ดีเพราะแรงกดพิมพ์ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งไม่เหมือนกับ ลักษณะของเม็ดเงินและตัวหนังสือจากการรองหนูนในระดับปกติ (รูปที่ 4.3(b) และรูปที่ 4.4(b)) ที่มีความคมชัด มีขอบของตัวหนังสือและเม็ดเงินที่เรียบ ส่วนลักษณะของเม็ดเงินและตัวหนังสือจากการรองหนูนในระดับเกินกว่าค่าปกติ (รูปที่ 4.3(c) และรูปที่ 4.4(c)) เม็ดเงินและตัวหนังสือจะแตกลาย เพราะแรงกดพิมพ์เกินค่ามาตรฐาน ทำให้ชั้นหมึกพิมพ์ถูกบดเสียดสีกับแม่พิมพ์และกระดาษมากเกินไป



รูปที่ 4.3 ลักษณะเม็ดเงินที่ 40% : a). รองหนูน -0.1 มม. b). รองหนูน 0.0 มม.
c) รองหนูน +0.1 มม.



รูปที่ 4.4 ลักษณะของตัวหนังสือ : a). รองหนูน -0.1 มม. b). รองหนูน 0.0 มม.
c) รองหนูน +0.1 มม.

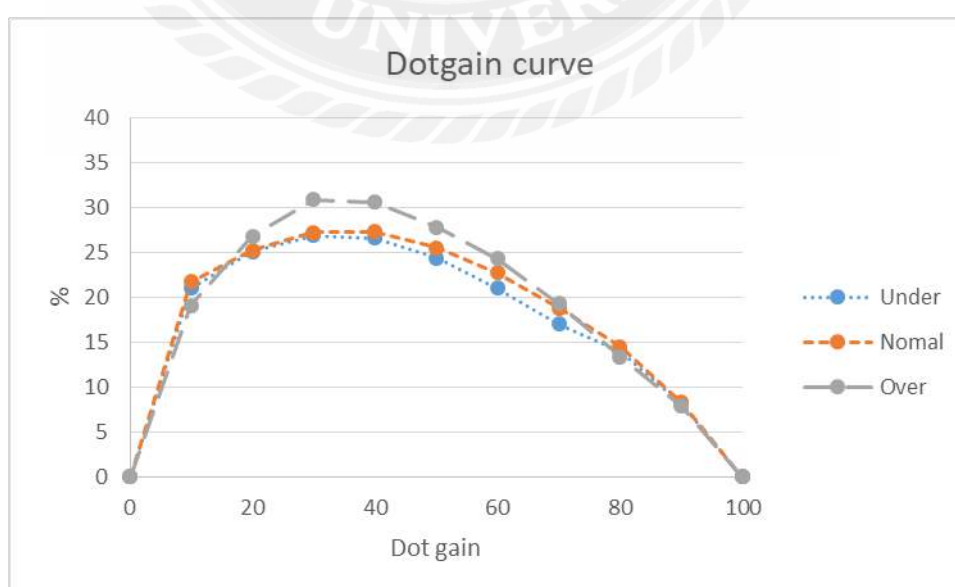
ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Density ของแถบควบคุมการร่อน

ลักษณะการร่อน หนุ่น	Left Vertical lined (Density)	Left Horizontal lined (Density)	Left Vertical lined (Density)	Right Horizontal lined (Density)	Right Vertical lined (Density)	Right Horizontal lined (Density)
เสมอบ่าโม (0.00 มม.)	1.81	1.82	1.81	1.82	1.83	1.84
สูงกว่าบ่าโม (1.00 มม.)	1.87	2.12	1.86	1.85	2.01	1.86
ต่ำกว่าบ่าโม (-1.00 มม.)	1.71	1.75	1.75	1.74	1.75	1.76

ตารางที่ 4.10 Slur/Doubling factor (%)

ลักษณะการร่อนหนุ่น	Density (K)	Vertical lined (%)	Horizontal lined (%)	Slur/Doubling factor (%)
เสมอบ่าโม (0.00 มม.)	1.10	66.6	65.2	+1.41
สูงกว่าบ่าโม (1.00 มม.)	1.23	71.4	69.2	+2.2
ต่ำกว่าบ่าโม (-1.00 มม.)	0.97	63.4	62.3	+1.1

กราฟลักษณะการเพิ่มขึ้นของเม็ดสกรีนบวม



รูปที่ 4.5 กราฟผลการเพิ่มขึ้นของเม็ดสกรีนบวม

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล ปรากฏผลดังนี้

- 5.1 สรุปผลการวิจัย
- 5.2 อภิปรายผลจากการวิจัย
- 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล ค่าพิสัยความเผื่อเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนรูปร่าง และตำแหน่งของตัวเรือนโดยใช้เครื่องวัดพิกัด (CMM : Coordinate Measuring Machine) ทั้ง 12 ตำแหน่ง มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.098 mm และมีค่าต่ำสุด 0.002 mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อนำชิ้นงานไปประกอบกับนาฬิกาเปรียบเทียบกับศูนย์เป็นเครื่องมือวัดเพื่อนำไปทดสอบความแม่นยำในการวัดโดยการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรองหนุนบนโมแม่มิพม์ โดยเครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้นเมื่อสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรองหนุนมาตรฐานพบว่ามีความต่างสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 0.004 mm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 0.01 mm และจากค่าความดำของแถบควบคุมการรองหนุน เปอร์เซ็นต์ของการพิมพ์พราและเม็ดสกรีนซ้อน รวมทั้งคุณภาพของตัวหนังสือและเม็ดสกรีน พบว่าเครื่องมือวัดรองหนุนที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่นำไปใช้งานได้

5.2 อภิปรายผลจากการวิจัย

ผลจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน สรุปได้ว่า ลักษณะรูปทรงการออกแบบความสามารถในการวัดได้ตามค่ามาตรฐานกำหนด ความแม่นยำของชิ้นงาน ความจำเป็นต่อการใช้งาน ความพึงพอใจ และความต้องการของเครื่องมือวัด พบว่าอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก และพบว่าขนาดของเครื่องตรวจสอบ ความถนัดในการจับยึด ความสะดวกขณะใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ ดี และน้ำหนัก อยู่ในเกณฑ์ที่ควรปรับปรุงที่สุดที่นำมาผลิตเป็นชิ้นงาน

ผลการทดสอบโดยเครื่องมือวัดละเอียดสามแกน (CMM : Coordinate Measuring Machine) พบว่ามีค่าความ-ฉาก ความตรง เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งและมีค่าความขนานพื้นหลุมวงกลมกับระนาบด้านบนชิ้นงาน น้อยกว่า 0.100 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และมีพิสัยความเผื่อตำแหน่งแสดงความขนานระหว่างระนาบ Plane 1 และระนาบ Plane 3 (ขาคู่หน้า) มีค่าเท่ากับ 0.098 มิลลิเมตร และพิสัยความเผื่อตำแหน่งแสดงความขนานระหว่างระนาบ Plane 2 และระนาบ Plane 4 (ขาคู่หลัง) มีค่าเท่ากับ 0.098 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เกณฑ์ที่กำหนด เกิดจากขบวนการเคลือบผิวที่ไม่สม่ำเสมอ

ผลจากการนำเครื่องมือไปวัดค่าความลึกบ่าโมทั้ง 5 ครั้งมาเปรียบเทียบกัน เป็นค่าเฉลี่ยความต่างของระยะที่วัดค่าได้ พบว่าเครื่องมือมาตรฐานกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น มีความต่างของค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.002 mm และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.004 mm แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัด

รองหนูน ที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ค่าไม่แตกต่างจากเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือที่สร้างขึ้น
ควรมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.005 mm จึงจะถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

ผลจากคุณภาพทางการพิมพ์ พบว่า เมื่อรองหนูนผ้ายางในระดับเสมอกับบ่าโม ค่าความดำ
ของแถบควบคุมการรองหนูนจะเท่ากันที่ 1.8 และมีคุณภาพของเม็ดสกรีนและตัวหนังสือที่คมชัด แต่
เมื่อเพิ่มการรองหนูนผ้ายางให้สูงกว่าบ่าโม 0.1 มิลลิเมตร พบว่าค่าความดำของแถบควบคุมการ
รองหนูน ในเส้นแนวนอนจะเพิ่มขึ้นเป็น 2.1 ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ของการพิมพ์พราและเม็ด
สกรีนซ้อน และเปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนที่เพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรปรับปรุงให้น้ำหนักเครื่องมือลดลงจากเดิมให้มากขึ้น
- 5.2.2 ควรเลือกใช้ตัวขึ้นงาน มีความโค้งมน จับถนัดมือมากขึ้น



บรรณานุกรม

- กฤษฎิ์พันธ์ มุขสมบัติ,อรัญ หาญสืบสาย. “ผลของการรองหนุนผ้าอย่างต่อคุณภาพของภาพพิมพ์ออฟเซต.” การประชุมวิชาการเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ ครั้งที่ 1. 2553 : หน้า 88-91
- ทองเต็ม เสมรสุต.“คู่มือการพิมพ์ออฟเซต.” กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2533.
- บันเทิง ศิลป์สกุลสุข, “เอกสารประกอบการฝึกอบรมการชูปะโนไคซ์อะลูมิเนียม.” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพฯ,2552.
- ปิยทัศน์ สังขมาลัย. “ช่างพิมพ์ออฟเซต Offset Printing Operator.” ศูนย์ฝึกอบรมเทคโนโลยีการพิมพ์แห่งชาติ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2550.
- พิทักษ์พงษ์ บุญประสม , “เขียนแบบเครื่องกล.” , เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพฯ, 2552.
- พิทักษ์พงษ์ บุญประสม, การพัฒนาเครื่องมือวัดการหนุนสำหรับเครื่องพิมพ์ที่มีโมพิมพ์แบบมีบำ, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยามกรุงเทพฯ 2554, หน้า 20-27
- พิทักษ์พงษ์ บุญประสม, คู่มือการปฏิบัติงานเครื่องกัดซีเอ็นซี, ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, สำนักพิมพ์จามจุรีโปรดักส์, 2549
- ภักดี พูลสุข. “เรื่องควรรู้ อุปกรณ์เสริมการทำงานของเครื่องพิมพ์ออฟเซตป้อนแผ่น). ” วารสารส่งเสริมวิชาการพิมพ์.ปีที่ 13 ฉบับที่ 39.กรุงเทพฯ, 2553 : หน้า 52-56
- วิชัย พยัคฆ์โส “เทคโนโลยีการพิมพ์ การพิมพ์ออฟเซต ,” กรุงเทพฯ , โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว , 2542 : หน้า 207-227
- วิชัย พยัคฆ์โส และคณะ, “ความรู้เฉพาะวิชาชีพการพิมพ์ 2 ,” นนทบุรี , สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช , 2550
- สะอึ้ง บุญธรรม. “ช่างพิมพ์ออฟเซต Offset Printing Operator.” ศูนย์ฝึกอบรมเทคโนโลยีการพิมพ์แห่งชาติ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2550.
- สำนักพิมพ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเขียนแบบทางเครื่องกล เล่ม 6 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต : สัญลักษณ์และการระบุในแบบ,กระทรวงอุตสาหกรรม.กรุงเทพ.,2526.
- สำนักพิมพ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเขียนแบบทางเครื่องกล เล่ม 8 การกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต : เดตัมและระบบเดตัม,กระทรวงอุตสาหกรรม.กรุงเทพ.,2529.
- CNC data sheet, <http://www.usedmachinethai.com>
- CMM data sheet} <http://www.itokin2000.com>

Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft, **Heidelberg S-Offset Master Manual**, Printed in Western Germany, 1984.

Hulmut Kipphan, **Handbook of Print Media**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pg. 240-242, 2001.

International Standard ISO 11011, Geometrical Tolerancing-Tolerancing offform, orientation, Location and run-out, UDC 744.4:621.753,1,Ref.No.ISO 1101-1983(E)

Paul Green, The Geometrical Tolerancing Desk Reference, pg.60-151, 2005.

John D. Proffit, Jerry D. Morrison , **“Printing Press Packing Gauge Support”**, US5084983A, USA, 1992.

John D. Proffit , **“Non Magnetic Printing Press Packing Gauge”**, US 4450628A , USA, 1994.

Joseph C. Rocks, **“Printing Press Blanket Gauge”**, US4450628 A, USA, 1984.

Wood Robert E. , **“Gauge for Measuring the Thickness of Blankets on Printing Rollers”**, US3432933 A, USA, 1969.