

การพัฒนาเครื่องย่อกระดาษ

ปริญญานิพนธ์
ของ
ธนเรศ ทิพย์เจริญ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

เมษายน 2548

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๖๒๑.๙๓

๕ ๑๕๖ ๗

๖.๓

การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ

บทคัดย่อ

ของ

ธนเรศ ทิพย์เจริญ

- 6 ก.ค. 2548

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
เมษายน 2548

๒ ๒๖๕๖๖

ธนเรศ ทิพย์เจริญ. (2548). *การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ*. ปริญญาโท กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา).
กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม :
อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, อาจารย์โอภาส สุขหวาน

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อ การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ แล้วนำมาประเมินหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ

กระบวนการในการพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ คือ การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษที่มี ประสิทธิภาพการทำงานใน 4 ด้าน คือ จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง 1 - 36 แผ่น อัตราการทำลาย กระดาษ 126 มิลลิเมตร/วินาที ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ 3.9 มิลลิเมตร และมีความสามารถ ในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

ระบบการทำงานของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบไปด้วย ชุดเพลาลับใบมีดตัดกระดาษ ชุดใบมีด ตัดกระดาษ ชุดเกียร์ทดรอบ ชุดคัปปลิ่งส่งกำลัง ชุดเบร้งลูกกลิ้งและชุดเฟืองส่งกำลัง ผู้วิจัยได้ทำ การออกแบบพัฒนามุมตัดเนื้อกระดาษของชุดใบมีดตัด และใช้วัสดุที่นำมาทำตัวใบมีดตัดผลิตจากเหล็กกล้า คาร์บอนสูงตามมาตรฐาน AISI O1 ที่ผ่านการชุบแข็ง เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยทำลายลวดเย็บ กระดาษได้ การออกแบบพัฒนาระบบการทำงานของชุดเพลาลับใบมีดตัดกระดาษให้มีระบบทดกำลังเพื่อ เพิ่มแรงบิดในขณะใช้งาน รวมถึงสามารถถอดเปลี่ยนซ่อมบำรุงชุดใบมีดตัดกระดาษทำได้ง่ายและมีราคาถูก กว่าเครื่องย่อยกระดาษจากต่างประเทศ

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา ทำโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องย่อย กระดาษ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำงาน คือ ค่าเฉลี่ยจำนวน แผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง 1 - 36 แผ่น ค่าเฉลี่ยอัตราการทำลายกระดาษ 126 มิลลิเมตร/วินาที ค่าเฉลี่ยความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ 3.9 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยความสามารถในการตัด ทำลายลวดเย็บกระดาษ 2 คะแนน หมายถึงสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้หมด

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่น กระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง 1 - 36 แผ่น ค่าเฉลี่ยอัตราการทำลายกระดาษ 131.24 มิลลิเมตร/วินาที ค่าเฉลี่ยความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ 4.0 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยความสามารถในการตัด ทำลายลวดเย็บกระดาษ 1.83 คะแนน ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกับเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

การประเมินสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 8 คน พบว่า สมรรถนะของ เครื่องย่อยกระดาษโดยรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย 4.35 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านลักษณะทางกายภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.34 ด้านลักษณะการออกแบบอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.28 ด้านลักษณะการบำรุงรักษาอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.34 และความเหมาะสมด้าน การนำไปใช้งานอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.43

THE DEVELOPMENT OF PAPER SHREDDING MACHINE

**AN ABSTRACT
BY
THANARES THIPCHAROEN**

**Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
April 2005**

Thanares Thipcharoen. (2005). *The Development of paper shredding machine*.

Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School,
Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Pairust Vongyuttakrai,
Mr. Ophast Sookwhan.

The objectives of this thesis were to developed paper shredding machine and evaluated its capability.

The development process of paper shredding machine was to design based on 4 criterions were : 1. The cutting capacity was 1 - 36 sheets. 2. The cutting speed was 126 mm/sec. 3. The paper cutting size was 3.9 mm. and 4. The cutting rollers able to cut the staple.

The paper shredding machine composed of Shaft Cutting Rollers, Gear, Coupling, Rolling Bearings Spur Gears. The researcher design the angle shear of cutting rollers and used the high carbon steel under the standard of AISI O1 that passed the process of hardening for cutting rollers for able to cut the staple. The researcher design to increased the torsion of shaft cutting, and also design for easy maintenance and cheaper than the imported one.

The efficiency of paper shredding machine was tested and compared with imported paper shredding machine HSM model 390.2 from Germany. were: 1. The cutting capacity were 1 - 36 sheets. 2. The cutting speed was 126 mm/sec. 3. The paper cutting size was 3.9 mm. and 4. The cutting ability 2 points, means was able to cut all the staple.

The tested efficiency were : 1. The average of cutting capacity was 36 sheets. 2. The average of cutting speed was 131.24 mm/sec. 3. The average of paper cutting size was 4 mm. and 4. The cutting ability was able to cut staple average of 1.83 point. So, there were no significance difference between the paper shredding machine that was designed and the imported one.

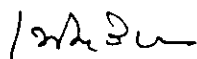
The paper shredding machine was evaluated by 8 specialists, found that : The paper shredding machine has good capability in all area average of 4.35. When we consider in each area found that : First, the physical characteristics in good level average of 4.34. Second, the design in good level average of 4.28. Third, the maintenance in good level average of 4.34. Forth, the operating appropriation in good level average of 4.43.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ

ของ
นายธนเรศ ทิพย์เจริญ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)

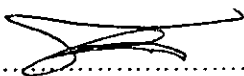
วันที่ 26 เดือน เมษายน พ.ศ. 2548

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



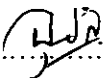
..... ประธาน

(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)



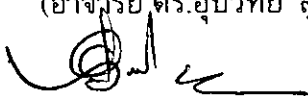
..... กรรมการ

(อาจารย์โอภาส สุขหวาน)



..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล)



..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตา จากอาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบให้กำลังใจและให้ข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยในด้านต่างๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อุพิทย สุวคันธกุล อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ ที่ให้ความกรุณา ร่วมเป็นกรรมการสอบ และให้ข้อเสนอแนะในด้านต่างๆทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พนธ์ เทียมทิพาบุญกร ที่ให้ความกรุณาตรวจแบบ ประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนทุนสำหรับการทำงานวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทร วิโรฒ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณดุสิต บัวเกตุ นายช่างเครื่องกล สำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในขั้นตอนของการออกแบบและสร้างรวมถึงเครื่องมือ เครื่องจักร สถานที่ที่ใช้ ในการสร้างและทดสอบ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นิสิตรุ่นพี่ เพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นน้องปริญญาโทสาขาวิชาอุตสาหกรรม ศึกษาทุกท่านที่ให้กำลังใจ อีกทั้งบุคคลอื่นที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือให้คำแนะนำ สนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ครู-อาจารย์ อันเป็นที่เคารพรักสูงสุดที่ได้ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ กำลังใจกำลังทรัพย์ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้

ธนเรศ ทิพย์เจริญ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	2
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	2
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	2
	ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
	สมมุติฐานในการศึกษาค้นคว้า.....	5
	กรอบแนวคิดในการศึกษาค้นคว้า.....	5
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
	เครื่องย่อยกระดาษ.....	6
	ประเภทและลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องย่อยกระดาษ.....	6
	ลักษณะและประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2.....	9
	มาตรฐาน DIN 32757-1.....	10
	เอกสารที่ต้องย่อยทำลายด้วยเครื่องย่อยกระดาษ.....	12
	การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ.....	14
	การออกแบบเครื่องจักรกล.....	14
	วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุในงานอุตสาหกรรม.....	18
	การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI O1.....	36
	การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ.....	49
	ประสิทธิภาพและสมรรถนะ.....	66
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	69
3	การดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	73
	ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการย่อยกระดาษและการออกแบบสร้างส่วนประกอบ ของเครื่องย่อยกระดาษ.....	73
	ร่างแบบ เขียนแบบเครื่องย่อยกระดาษและคำนวณชิ้นส่วนเครื่องย่อยกระดาษ.....	73
	การดำเนินการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ.....	81
	การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ.....	86
	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	87
	การสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ.....	90

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องย่อยกระดาษ.....	91
การประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ.....	91
การประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ.....	97
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	103
การดำเนินการวิจัย.....	103
ผลการวิจัย.....	105
อภิปรายผล.....	107
ข้อเสนอแนะ.....	109
บรรณานุกรม.....	110
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก หนังสือขอความร่วมมือในการวิจัย.....	113
ภาคผนวก ข เขียนแบบเครื่องย่อยกระดาษ.....	118
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ.....	128
ภาคผนวก ง แบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ.....	131
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ.....	143
ภาคผนวก ฉ รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....	150
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	153

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 เปรียบเทียบคุณสมบัติและตัวอย่างการใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอน.....	34
2 เปรียบเทียบเหล็กประเภทต่าง ๆ.....	35
3 คุณสมบัติโดยทั่วไป และการอบชุบ.....	37
4 ข้อมูลสำหรับการชุบแข็งของเหล็กเครื่องมืองานเย็น.....	38
5 แสดงอุณหภูมิช่วงออสเตไนต์ของงานที่ชุบน้ำมัน.....	40
6 อิทธิพลของอุณหภูมิของการอบคืนตัวต่อความแข็งของเหล็กเครื่องมืองานเย็น.....	46
7 ขนาดของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปของเหล็ก 01 ในการอบคืนตัว.....	47
8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ โดยรวมและรายด้าน.....	92
9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา กับ เครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี้.....	93
10 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ ตั้งแต่ชั่วโมงการทดสอบที่ 1 – 10.....	94
11 ผลการเปรียบเทียบการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยรวมและรายด้าน.....	97
12 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านลักษณะทางกายภาพ.....	98
13 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านลักษณะการออกแบบ.....	99
14 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา.....	100
15 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน...	101

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ประเทศเยอรมัน.....	9
2 ลักษณะและขนาดของกระดาษที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษตามมาตรฐาน DIN 32757-1.....	11
3 แผนภูมิของแนวทางการออกแบบเครื่องย่อยกระดาษ.....	16
4 ลักษณะการรับแรงดึง.....	19
5 ลักษณะการรับแรงอัด.....	19
6 ลักษณะการรับแรงเฉือน.....	20
7 การทดสอบความแข็งของผิววัสดุ.....	21
8 การทดสอบความเปราะของวัสดุ.....	22
9 ความสามารถในการยึดตัวของวัสดุ.....	22
10 ความสามารถในการบิดงอและอัดรีดขึ้นรูปของวัสดุ.....	23
11 ความสามารถในการยืดหยุ่นตัวของวัสดุ.....	24
12 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิการเกิดโครงสร้างอสเทนไนต์ของเหล็กชนิด O1 หลังจากการ อสเทนไนต์ที่ 684 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	39
13 อุณหภูมิช่วงอสเทนไนต์ของงานที่ชุบน้ำมัน.....	40
14 การหดและขยายตัวไม่เท่ากันของเนื้อเหล็ก.....	43
15 ขั้นตอนการทดสอบความเครียด การชุบ และคืนตัวของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น	44
16 การชุบแข็งและคืนตัวเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI O1.....	44
17 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบคืนตัวต่อความเหนียวของเหล็กเครื่องมือที่มีแมงกานีส 1.2 % ของเหล็กชนิด O1	47
18 ขนาดของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปของเหล็ก O1 ในการอบคืนตัว.....	47
19 ระยะเวลาเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิของการอบคืนตัวของเหล็กชนิด O1.....	48
20 แสดงรูปร่างลักษณะของเพลลา.....	49
21 แสดงรูปร่างหน้าตัดของเพลลา.....	50
22 รูปทรงเฟืองชนิดต่างๆ และการใช้งาน.....	51
23 ลักษณะของเฟืองฟันตรง.....	52
24 ลักษณะเฟืองฟันเฉียง.....	52
25 ลักษณะเฟืองฟันเฉียงสองทิศทาง.....	53
26 ตัวอย่างเฟืองดอกจอกแบบต่างๆ.....	53
27 ลักษณะเฟืองหนอน.....	54
28 ลักษณะเฟืองเฉียงฟันเลื่อย.....	54

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
29 เฟืองขับในและเฟืองสะพาน.....	55
30 รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับมุมมิด.....	56
31 แสดงรูปแบบมิดกั๊ด.....	57
32 แรงที่กระทำต่อแบริ่งลูกกลิ้ง.....	58
33 ส่วนประกอบทั่วไปของแบริ่งลูกกลิ้ง.....	59
34 ประเภทของรองเพลาลูกกลิ้ง.....	60
35 ลักษณะการเยื้องแนวของเพลาลูกกลิ้ง.....	62
36 คัปปลิ่งแบบต่างๆ.....	63
37 ชุดเกียร์ทดรอบ แบบ PA อัตราทดรอบ 1:30	64
38 รูปด้านหน้าของเครื่องย่อยกระดาษ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	74
39 รูปด้านบนของเครื่องย่อยกระดาษ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	74
40 ขนาดของกระดาษ A4	75
41 แสดงลักษณะของใบมีดที่ใส่อยู่บนเพลาลูกกลิ้ง.....	76
42 แสดงลักษณะและขนาดของใบมีดตัดกระดาษ.....	77
43 แสดงลักษณะและขนาดของเพลาลูกกลิ้งที่ใช้.....	79
44 วงจรการทำงานทางไฟฟ้าของเครื่องย่อยกระดาษ.....	80
45 ชุดใบมีดตัดย่อยกระดาษ.....	129
46 ระบบส่งกำลังเครื่องย่อยกระดาษ.....	129
47 การทดสอบย่อยกระดาษ.....	130
48 เครื่องย่อยกระดาษ.....	130

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมกระดาษภายในประเทศไทยขณะนี้ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก รายงานจาก Pulp and Paper International (1999) ระบุว่า ปริมาณความต้องการของตลาดโลกในการบริโภคกระดาษทุกประเภทโดยรวม เพิ่มขึ้นมากจาก 116 ล้านตันในปี พศ. 2530 เป็น 250 ล้านตันในปี พศ. 2540 (อัตราการบริโภคเฉลี่ย 45 กิโลกรัมต่อคนต่อปี) หรือเพิ่มมากขึ้นกว่าเท่าตัวภายในระยะเวลา 10 ปี (พรทวี พึ่งรัมย์. 2542 : 11)

สำหรับสถานการณ์ของประเทศไทยนั้น แหล่งข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทยรายงานว่า ปริมาณความต้องการกระดาษทุกประเภทขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 13 ต่อปี โดยในปี พศ. 2540 มีปริมาณความต้องการกระดาษทั้งประเทศประมาณ 1.4 ล้านตัน คิดเป็นอัตราการบริโภคกระดาษเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (พรทวี พึ่งรัมย์. 2542 : 14) โดยเฉพาะกระดาษขนาด A4 (210×297 มม.) และกระดาษขนาด A3 (297×420 มม.) มีปริมาณการใช้งานมากที่สุดตามลำดับ โดยได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในลักษณะต่างๆ เพื่อใช้เป็นส่วนในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน โดยการเขียนหรือพิมพ์ข้อความต่าง ๆ ลงในกระดาษนั้น (ณัฐพล ปรกรณ์จรรยาวัน และคณะ. 2539 :3)

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้กระดาษในประเทศไทย มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปี ตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ซึ่งเมื่อมีการใช้กระดาษในปริมาณมาก การจัดทำลายเอกสารจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำควบคู่กันไป แต่กระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้วส่วนใหญ่ มักจะถูกทิ้งหรือไม่ก็ทำลายโดยการเผา โดยเฉพาะกระดาษที่เป็นเอกสารที่มีความสำคัญหรือเป็นความลับของบริษัท หรือเป็นข้อสอบของสถานศึกษาที่ต้องจัดทำลาย ฉะนั้นมักเกิดปัญหาหลายอย่าง อาทิเช่น เป็นการทำลายสภาพแวดล้อมทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษทางอากาศ อีกทั้งเป็นการสร้างปัญหาให้กับผู้ปฏิบัติงาน (กานต์ อัมพานนท์. 2538 : 8) ดังนั้นเครื่องย่อยเอกสารหรือเครื่องย่อยกระดาษ จึงเป็นวิธีการจัดทำลายที่เหมาะสมกว่าวิธีอื่นๆ โดยที่สามารถนำกระดาษที่ผ่านการย่อยแล้วไปใช้ประโยชน์ได้อีกครั้งหนึ่ง อาทิ การแปรรูปเป็นสินค้าหัตถกรรม หรือใช้เป็นวัสดุรองรับสินค้าทางการเกษตรเพื่อถนอมการบอบซ้ำของสินค้าก่อนถึงมือผู้บริโภค และการนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างประเภทฉนวนกันความร้อน วัสดุซับเสียง เป็นต้น

เครื่องย่อยกระดาษ จึงมีความสำคัญต่อการย่อยทำลายกระดาษเอกสารต่างๆ ในหน่วยงานทั้งภาครัฐบาลและเอกชน แต่ปัญหาส่วนใหญ่พบว่าเครื่องย่อยกระดาษโดยทั่วไป มีอัตราการย่อยทำลายกระดาษได้ปริมาณน้อยแผ่นต่อการป้อนแต่ละครั้ง อีกทั้งตัวใบมีดตัดกระดาษโดยทั่วไปไม่มีความสามารถในการย่อยทำลายลวดเย็บกระดาษ ทำให้ผู้ใช้งานต้องเสียเวลาเป็นอย่างมากในการถอดลวดเย็บกระดาษออกก่อนที่จะใช้งานเครื่องย่อยกระดาษได้ และที่สำคัญเครื่องย่อยกระดาษยังไม่มีก้นค้ำที่จะผลิตกันจริงจึงภายในประเทศไทย จึงทำให้ต้องสั่งซื้อเครื่องจากต่างประเทศทางอเมริกาหรือยุโรป(เยอรมันนี่) ตลอดจนจากเอเชีย (ญี่ปุ่น) เข้ามาขายภายในประเทศ จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ราคาของเครื่องย่อยกระดาษแพงมากอย่างไม่น่าเชื่อเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการใช้งานของเครื่อง นอกจากนี้ยังมีปัญหาในเรื่องของช่างเทคนิคตลอดจน

อะไหล่เวลาเครื่องเสีย ซึ่งจะต้องรอสั่งซื้อเป็นพิเศษเฉพาะรุ่นจากต่างประเทศ (ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์. 2532 :1)

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษที่ใช้ใบมีดตัดกระดาษทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง AISI O1 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษและสวดเย็บกระดาษได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เอส เอส เอ็ม (H S M) รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี ซึ่งมีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงกว่าเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อทั่วไปในท้องตลาด โดยทำการเลือกใช้วัสดุและกรรมวิธีการผลิตที่มีภายในประเทศ ซึ่งสามารถทดแทนการนำเข้าเครื่องจักร การบำรุงรักษาซ่อมแซมสามารถทำได้ง่าย และราคาถูก ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ย่อยกระดาษปริมาณมากในสถานศึกษาและสำนักงาน ทำให้ช่วยประหยัดเวลาและเพิ่มปริมาณในการย่อยทำลายได้เป็นอย่างดี และที่สำคัญเป็นการรีไซเคิลกระดาษที่ไม่ใช่ประโยชน์แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ได้ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการผลิตเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับนำมาผลิตจำหน่ายในเชิงอุตสาหกรรม

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ได้เครื่องย่อยกระดาษที่มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษเช่นเดียวกับเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เอส เอส เอ็ม (H S M) รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี และสามารถทดแทนการนำเข้า รวมทั้งการบำรุงรักษาซ่อมแซมชุดใบมีดตัดกระดาษ ชุดส่งกำลัง ชุดหดรอบสามารถทำได้ง่ายและราคาถูกกว่าเครื่องย่อยกระดาษจากต่างประเทศ เพื่อนำไปใช้งานในสำนักงานหรือสถานศึกษาที่ต้องการย่อยทำลายกระดาษ

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งที่จะพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ โดยมีขอบเขตของการศึกษาค้นคว้างดังนี้

1. พัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ ที่มีขนาดของเครื่อง กว้าง 55 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร สูง 65 เซนติเมตร
2. พัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษหน้ากว้างขนาด 297 มิลลิเมตร ความหนา 70 แกรม ได้ 1 - 36 แผ่นต่อครั้ง
3. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ ด้านความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ ได้ตามมาตรฐาน DIN 32757- 1 level 2
4. ลักษณะการตัดกระดาษ (Cutting Style) ของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบ Strip cut โดยกระดาษที่ผ่านการย่อยแล้วมีลักษณะเป็นเส้นยาวตามความยาวของกระดาษ มีขนาดหน้ากว้างประมาณ 4 มิลลิเมตร
5. วัสดุที่นำมาใช้ทำใบมีดตัดกระดาษ ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel)

มาตรฐานเยอรมัน DIN- MATERIAL = NO 1.2510 (เทียบเท่ามาตรฐานอเมริกา AISI O1) ซึ่งมีความแข็งแรงภายหลังการชุบแล้ว เท่ากับ 64 HRC (ค่าการทดสอบความแข็งของวัสดุแบบ Hardness Rockwell Cone)

6. ไบมีดตัดกระดาษที่พัฒนาขึ้นสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ (Staple) และสามารถถอดประกอบแยกชิ้นจากเพลาชับไบมีดตัดกระดาษได้
7. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีระบบทดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้ชุดเกียร์ทดรอบแบบ PA อัตราทดรอบ 1:30
8. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีระบบควบคุมการทำงานของเพลาชับไบมีดตัดกระดาษให้สามารถเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังได้
9. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 ไซเคิล
10. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีคู่มือการใช้เครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งแสดงรายละเอียดการใช้งานชิ้นส่วนประกอบของเครื่องย่อยกระดาษ การบำรุงรักษาและความปลอดภัยในการใช้งาน

ตัวแปรที่ศึกษา

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษาไว้ 2 ด้านดังนี้

1. ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งจำแนกออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้
 - 1.1 จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง (1-36 แผ่นครั้ง)
 - 1.2 อัตราการทำลายกระดาษ (126 มิลลิเมตร/วินาที)
 - 1.3 ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ (ตามมาตรฐาน DIN 32757- 1 level 2)
 - 1.4 ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ (ตัดทำลายได้)
2. สมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งจำแนกออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้
 - 2.1 ด้านลักษณะทางกายภาพ
 - 2.2 ด้านลักษณะการออกแบบ
 - 2.3 ด้านลักษณะการบำรุงรักษา
 - 2.4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

นิยามศัพท์เฉพาะ

การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ หมายถึง การออกแบบลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุรวมถึงระบบการทำงานของชุดไบมีดตัดกระดาษเครื่องย่อยขึ้นมาใหม่ โดยทำการพัฒนาวัสดุที่นำมาผลิตตัวไบมีดตัดกระดาษจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูงตามมาตรฐาน AISI O1 ที่ผ่านการชุบแข็งเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยทำลายลวดเย็บกระดาษ และการออกแบบพัฒนาระบบการทำงานของชุดไบมีดตัดกระดาษให้มีระบบทดกำลังเพื่อเพิ่มแรงบิดในขณะใช้งาน รวมถึงสามารถถอดประกอบและซ่อมบำรุงชุดไบมีดได้ง่ายและมีราคาถูก โดยจัดให้มีความสอดคล้องและสัมพันธ์กันตามการออกแบบคำนวณที่กำหนดเพื่อให้เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและสมรรถนะดีกว่าเครื่องย่อยกระดาษโดยทั่วไป

ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ หมายถึง ความสามารถของเครื่องย่อยกระดาษที่ออกแบบและสร้างขึ้น เมื่อเทียบกับเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เอส เอช เอ็ม (H S M) รุ่น 390.2

ของประเทศเยอรมัน ที่มีความสามารถจำแนกได้ดังนี้ จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวน 1-36 แผ่น/ครั้ง) อัตราการทำลายกระดาษ (126 มิลลิเมตร/วินาที) ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ (ได้ตามมาตรฐาน DIN 32757- 1 level 2) และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ(Staple) อ้างอิงจาก : Technical data of HSM Paper Shredders (ไม่ปรากฏปีพิมพ์) ซึ่งจำแนกออกเป็น 4 ด้านดังนี้

จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง หมายถึง จำนวนของแผ่นกระดาษ สูงสุดจำนวน 36 แผ่นต่อครั้ง (กระดาษ ขนาด A4 หน้า 70 แกรม) ที่เครื่องย่อยกระดาษสามารถย่อยทำลาย ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ

อัตราการทำลายกระดาษ หมายถึง ความเร็วรอบสูงสุดที่ 126 มิลลิเมตรต่อ วินาทีของเพลามัดตัดกระดาษ ในการย่อยทำลายกระดาษที่สามารถทำได้ มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรต่อ วินาที

ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ หมายถึง ลักษณะและขนาดของ กระดาษที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษ จะมีลักษณะเป็นเส้นยาวตามความยาวของกระดาษ (การตัด แบบStrip cut) และมีขนาดหน้ากว้างแต่ละริ้วประมาณ 4 มิลลิเมตร

ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ หมายถึง ความสามารถ และความทนทานของใบมีดตัดกระดาษที่สามารถย่อยทำลายลวดเย็บกระดาษ (Staple) ได้ โดยไม่ก่อให้เกิด ความเสียหายต่อตัวใบมีดตัดกระดาษ โดยกำหนดเป็นค่าเฉลี่ยระดับความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บ กระดาษ ขณะทำการทดสอบหาประสิทธิภาพเป็นค่าเฉลี่ยระดับคะแนน จำแนกเป็น

ค่าเฉลี่ย 2 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดกระดาษสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้หมด

ค่าเฉลี่ย 1 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดกระดาษสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้บางส่วน

ค่าเฉลี่ย 0 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดกระดาษไม่สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้

สมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ หมายถึง คุณลักษณะและความเหมาะสมของ เครื่องย่อยกระดาษที่นำไปใช้งาน ซึ่งสามารถจัดกลุ่มสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษได้ 4 ด้าน ดังนี้ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการออกแบบ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสม ด้านการนำไปใช้งาน

ด้านลักษณะทางกายภาพ หมายถึง ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อย กระดาษมีความกะทัดรัด สวยงาม ชิ้นส่วนทุกชิ้นสามารถแยกชิ้นและถอดประกอบได้ มีความแข็งแรงทน ทาน และมีความปลอดภัยขณะใช้งาน

ด้านลักษณะการออกแบบ หมายถึง ชั้นส่วนทุกชั้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษได้รับการออกแบบให้เหมาะสม กับลักษณะการใช้งานของเครื่อง และสอดคล้องกับสัดส่วนรูปร่างของคนไทย

ด้านลักษณะการบำรุงรักษา หมายถึง การซ่อมแซมบำรุงรักษาเครื่องย่อยกระดาษสามารถทำได้โดยง่าย การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดการชำรุดเสียหาย ถ้าชำรุดก็สามารถซ่อมแซมได้ง่าย ทั้งนี้เพราะวัสดุทุกชิ้นหาได้ง่ายและราคาถูก

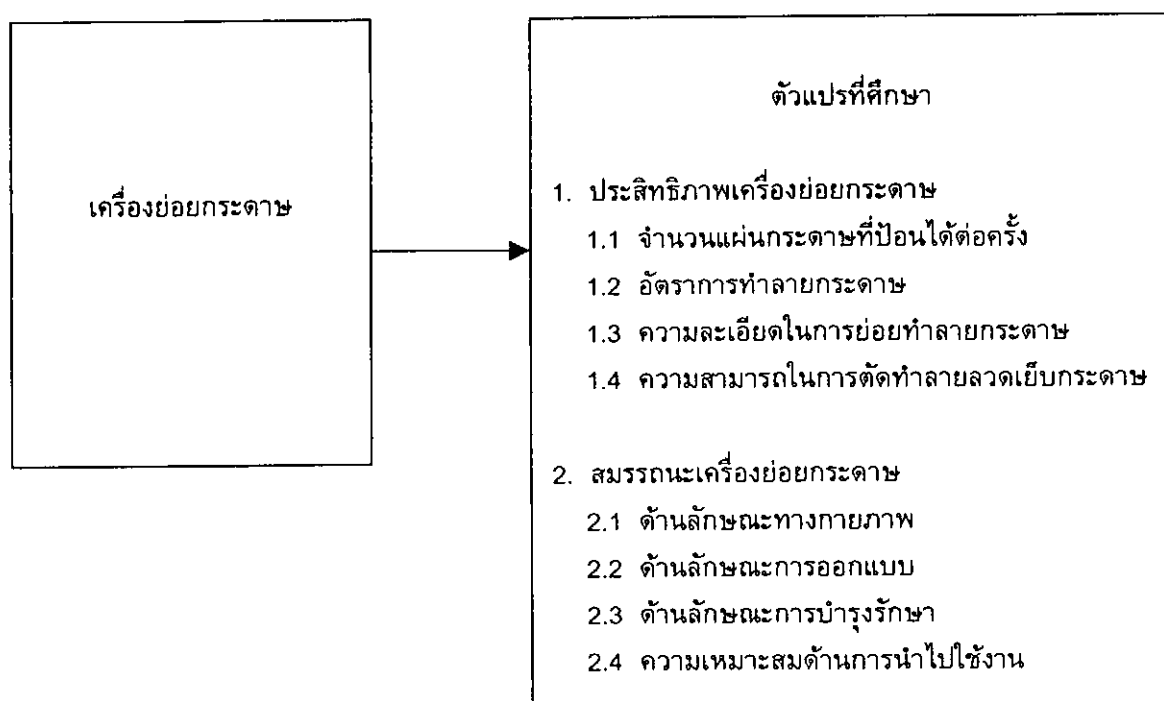
ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน หมายถึง ผู้ปฏิบัติงาน 1 คนสามารถใช้งานได้สะดวก มีความปลอดภัย โดยเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในสำนักงานขนาดใหญ่หรือสถานศึกษา และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย

มาตรฐาน DIN 32757- 1 level 2 หมายถึง มาตรฐานข้อกำหนดความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษของเครื่องย่อยกระดาษ ที่กำหนดโดย The German Institute for Standardization โดยลักษณะกระดาษที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษแบบ Strip cut จะต้องมีความหนาหน้ากว้างประมาณ 3.9 มิลลิเมตร

สมมุติฐานในการศึกษาค้นคว้า

1. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ
2. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี

กรอบแนวคิดในการศึกษาค้นคว้า



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ได้ตั้งไว้ โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เครื่องย่อยกระดาษ
 - 1.1 ประเภทและลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องย่อยกระดาษ
 - 1.2 ลักษณะและประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ประเทศเยอรมัน
 - 1.3 มาตรฐาน DIN 32757-1
 - 1.4 เอกสารที่ต้องย่อยทำลายด้วยเครื่องย่อยกระดาษ
2. การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ
 - 2.1 การออกแบบเครื่องจักรกล
 - 2.2 วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุในงานอุตสาหกรรม
 - 2.3 การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI O1
 - 2.4 การออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ
3. ประสิทธิภาพและสมรรถนะ
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องย่อยกระดาษ

1.1 ประเภทและลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องย่อยกระดาษ

1.1.1 ประเภทโดยทั่วไปของเครื่องย่อยกระดาษ

เครื่องย่อยกระดาษที่ถูกสร้างขึ้นมาจำหน่ายในท้องตลาด จะมีลักษณะที่สามารถแบ่งแยกออกได้ดังนี้คือ

1.1.1.1 แบ่งตามขนาดของกระดาษ

1) กระดาษ A4 เครื่องย่อยกระดาษที่สามารถทำลายกระดาษขนาด A4 ได้โดยใส่กระดาษ ด้านกว้าง (210 x 297 มิลลิเมตร)

2) กระดาษ A3 เครื่องย่อยกระดาษที่สามารถทำลายกระดาษขนาด A3 ได้โดยใส่กระดาษ ด้านกว้าง (297 มิลลิเมตร)

1.1.1.2 แบ่งตามลักษณะเครื่อง

1) ชนิดตั้งพื้น โดยทั่วไปเครื่องย่อยกระดาษชนิดนี้ แบ่งตัวเครื่องออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มียางทำงาน และส่วนที่เป็นถังรองรับเศษกระดาษ ซึ่งสามารถถอดได้เพื่อความสะดวกในการนำไปทิ้งต่อไป

2) ชนิดแขวน, ยึดติดกับโต๊ะ เครื่องชนิดนี้มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ใช้กับขนาดกระดาษ A4 ซึ่งเครื่องชนิดนี้จะมีเฉพาะตัวเครื่อง โดยใช้ถุงพลาสติกเป็นตัวรองรับเศษกระดาษ

1.1.1.3 แบ่งตามลักษณะการป้อนของกระดาษ แบ่งเป็นชนิดป้อนด้านบน และป้อนด้านข้าง

1) ชนิดป้อนด้านบน จะมีช่องเพื่อใส่กระดาษอยู่ด้านบนของตัวเครื่องในการใช้งาน โดยการใช้มือป้อนกระดาษลงมาโดยตรงจากด้านบน

2) ชนิดป้อนด้านข้าง เครื่องชนิดนี้จะมีช่องป้อนกระดาษอยู่ทางด้านของตัวเครื่อง และมีที่วางกระดาษเพื่อรอการป้อนจากเครื่องอัตโนมัติ

1.1.1.4 แบ่งตามลักษณะเศษ

1) เป็นเส้นยาว เศษกระดาษที่ได้จากการทำลายแล้วจะมีลักษณะ เป็นเส้นยาว เท่ากับความยาวของกระดาษที่นำมาตัด ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมีลักษณะการตัดเป็นแบบนี้

2) เป็นเส้นสั้น เศษที่ได้หลังจากการตัดมีลักษณะเป็นเศษชิ้นสั้นๆ ซึ่งเครื่องลักษณะนี้จะมีสวิตช์ให้เลือก ลักษณะการตัดตามความต้องการให้เศษเป็นแบบชิ้นสั้น หรือเส้นยาว

1.1.1.5 แบ่งตามลักษณะใบมีดวงแหวน

1) ใบมีดวงแหวนแผ่นเต็ม ลักษณะใบมีดชนิดนี้จะมีขนาดเท่ากับความกว้างของเศษกระดาษที่ถูกตัดขอบ โดยรอบวงแหวนมีการพิมพ์ลาย เพื่อเป็นการลดการสิ้นเปลือง และเพิ่มความสามารถในการตัดเศษ

2) ใบมีดวงแหวนแผ่นบาง ลักษณะใบมีดมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบแผ่นเต็ม แต่จะมีความบางมากกว่าการตัดเนื้ออาศัยความบางของคมตัดเศษที่ได้จะเท่ากับ ระยะห่างของใบมีดที่ตั้งไว้

1.1.2 ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องย่อยกระดาษ

1.1.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องย่อยกระดาษประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ คือ

1. ส่วนตัวถัง
2. ส่วนระบบกลไก
3. ส่วนเก็บเศษหลังการถูกทำลายแล้ว
4. ส่วนที่วางตัวเครื่องทำลายเอกสาร

1. ตัวถัง เป็นส่วนรูปลักษณะภายนอกที่ปกคลุมส่วนระบบกลไกภายในไว้ เป็นส่วนที่แสดงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่อง เพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์คือ งานออกมา เป็นส่วนที่ต้องได้รับการออกแบบ เพื่อให้สัมพันธ์กับลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานที่รวดเร็ว และสะดวกสบายต่อผู้ใช้ ประกอบด้วย

- ส่วนแผงสวิตช์ควบคุม
- ช่องใส่เอกสารเข้าเครื่อง
- ช่องที่เศษเอกสาร (กระดาษ) ออก

2. ระบบกลไกภายในเครื่อง แบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ

- 2.1 มอเตอร์ให้พลังงาน
- 2.2 ระบบทดกำลัง
- 2.3 ใบมีด

1.1.2.2 ระบบการทำงาน

เมื่อเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน มอเตอร์จะทำงาน หมุนสายพานไปยังเฟืองทดกำลัง เพื่อทดกำลังให้เฟืองหมุนจำนวนรอบน้อยลง เพื่อให้มีกำลังมากขึ้น ส่งกำลังไปให้ใบมีดทำงานตัดเอกสารตามต้องการ

3. ส่วนเก็บเศษกระดาษหลังถูกทำลายแล้ว จะมีเป็นภาชนะรองรับอยู่บริเวณช่องเศษเอกสารออก ซึ่งภาชนะนี้จะต้องหยิบยกหรือสับเปลี่ยน (เมื่อเศษกระดาษเต็ม) ได้สะดวก

ภาชนะดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เช่น ส่วนรองรับ ดุม ตะกร้าทิ้ง เศษกระดาษ
2. ชนิดที่ใช้แล้วทิ้งได้เลย เช่น ดุมพลาสติก เมื่อเศษกระดาษเต็มดุมแล้วนำไปทิ้ง

4. ส่วนที่วางตัวเครื่องทำลายเอกสาร มีไว้เพื่อให้ได้สัดส่วนเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งอาจทำเป็นเซตเดียวกับถังเก็บเศษกระดาษ ทั้งอาจอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้าย (โดยติดล้อไว้)

1.1.2.3 อุปกรณ์ประกอบ

นอกจากส่วนประกอบสำคัญทั้ง 4 ส่วนแล้ว อาจจะมีอุปกรณ์ประกอบเพื่อสะดวกต่อการใช้งานอีก คือ

- ชั้นวางกระดาษ เช่น ในกรณีทำลายกระดาษคอมพิวเตอร์ (กระดาษต่อเนื่อง) ควรจะมีชั้นสำหรับวางกระดาษคอมพิวเตอร์ เพื่อสะดวกและการทำลายที่รวดเร็ว โดยสอดปลายกระดาษด้านหนึ่งเข้าไปในช่องของเครื่องทำลายเอกสาร เครื่องจะดูดกระดาษเข้าไปเรื่อย ๆ จนหมดพับ

1.1.2.4 วิธีการใช้เครื่องทำลายเอกสาร

เครื่องทำลายเอกสารจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะเอกสารหรือสิ่งที่ต้องการทำลาย

ก. ในกรณีที่เอกสารเป็นกระดาษแผ่นเรียบ มีลักษณะเป็นปึกจำนวนมาก ๆ ก็ใช้เครื่องทำลายเอกสารแบบสอด มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. เตรียมปึกเอกสารที่ต้องการทำลายมาไว้ที่บริเวณหน้าเครื่องทำลายเอกสาร
2. เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน
3. แบ่งกระดาษเป็นปึกตามกำลังความสามารถแต่ละครั้งของเครื่อง เช่น 10 – 15 แผ่น, 20 – 30 แผ่น
4. สอดปึกกระดาษดังข้อ 3 เข้าที่ช่องเข้า
5. ปึกกระดาษดังกล่าวจะเคลื่อนที่ตามช่องเข้าของเครื่อง ผ่านใบมีดที่จะตัดกระดาษแบบครั้งเดียว หรือแบบตัดขวางให้เป็นฝอย ตามกำลังความสามารถของเครื่องจนกลายเป็นเศษชิ้นเล็กชิ้นน้อยตามลำดับ
6. เศษกระดาษจะออกทางช่องออกลงสู่ที่รองรับเศษกระดาษ อาจเป็นถัง ตะกร้า หรือถึงพลาสติก
7. นำเศษกระดาษในถัง หรือผูกปากถุงพลาสติกนำไปทิ้ง
8. ในกรณีที่ใส่กระดาษมีจำนวนมากเกินกำลังที่เครื่องจะทำงานได้ใน 1 ครั้ง เครื่องจะติดขัดแล้วจะหยุด ให้ทำการกดปุ่มสวิตช์ย้อนกลับ กระดาษจะเคลื่อนที่ถอยหลังกลับออกมา ให้ทำการกดกระดาษออกบ้าง แล้วสอดกระดาษเข้าเครื่องใหม่ ตามวิธีการข้อ 1 – 4 เครื่องจะทำงานตามปกติ

ข. ในกรณีที่ต้องการทำลายเป็นเศษวัสดุ 3 มิติ เช่น กระดาษที่ถูกขยำกลองกระดาษ เป็นต้น ให้ใช้เครื่องทำลายแบบมีกล่องวางอยู่บนช่องทางเข้าทำนองเดียวกับกรณี ก. แล้วเทวัตถุดิบที่ต้องการทำลายลงในช่องเข้านั้น

1.2 ลักษณะและประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมัน

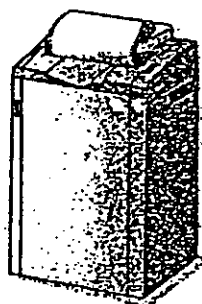
1.2.1 ลักษณะและการทำงานโดยทั่วไป ของเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมัน (Technical data of HSM Paper shredder. ม.ป.ป. :17)

ลักษณะโดยทั่วไป

เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 เป็นเครื่องย่อยกระดาษชนิดตั้งพื้น มีช่องสำหรับป้อนกระดาษทางด้านหน้าของตัวเครื่อง การเคลื่อนที่ของเพลากับมีดตัดมีลักษณะหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วรอบเท่ากันเพื่อป้องกันการเลื้อนตัวของกระดาษ มีขนาดตัวเครื่อง 595x470x908 มิลลิเมตร สามารถย่อยกระดาษขนาดหน้ากว้าง A4 และลวดเย็บกระดาษ ในกรณีที่กระดาษติดเพลากับมีดสามารถหมุนเดินหน้าและถอยหลังให้กระดาษที่ติดหลุดออกมาได้

หลักการทำงาน

วิธีการย่อยกระดาษทำได้โดยการสอดกระดาษที่ต้องการย่อยลงในช่องใส่กระดาษจากนั้นเพลาก็จะหมุนดึงกระดาษที่สอดนั้นลงไประหว่างเพลาทิ้งสอง ผ่านใบมีด ใบมีดจะตัดกระดาษทำให้กระดาษนั้นขาดออกเป็นริ้วๆ ลงสู่ส่วนรองรับกระดาษ



HSM 390.2

ภาพประกอบ 1 เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ประเทศเยอรมัน

1.2.2 ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมัน

ลักษณะการตัดกระดาษ (Cutting type)	แบบ Strip Cut
ขนาดของริ้วกระดาษที่ผ่านการย่อย (Shred size)	ประมาณ 3.9 มม.
ระดับการย่อยทำลายข้อมูล (Safety rating)	มาตรฐาน DIN 32757-1 ระดับ 2

จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง (Cutting Capacity) 34-36 แผ่น (A4 หนา 70 แกรม)
 ความเร็วในการย่อยทำลาย (Cutting speed) 126 มม./วินาที
 ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ (Cutting staple) สามารถตัดทำลายได้

1.3 มาตรฐาน DIN 32757-1 (HSM Paper Shredders Catalogue .ไม่ปรากฏปีพิมพ์ : 4-5)

มาตรฐาน DIN 32757-1 หมายถึง มาตรฐานข้อกำหนดของลักษณะกระดาษที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษ (ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ) ที่กำหนดโดย The German Institute for Standardization โดยลักษณะและขนาดกระดาษที่ผ่านการย่อยทำลายแล้ว สามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 5 Level ดังนี้

1.3.1 ระดับความละเอียดในการย่อยทำลายของเครื่องย่อยกระดาษ

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 1 เหมาะสำหรับการย่อยทำลายเอกสารการทำงาน ทั่วไป ที่ทำให้บุคคลไม่สามารถอ่านข้อมูลนั้นได้ หรือเหมาะกับเอกสารที่หมดอายุการใช้งาน หรือไม่ต้องการเก็บรักษาไว้ในช่วงเวลานั้น

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 2 เหมาะสำหรับการย่อยทำลายเอกสารข้อมูลภายในองค์กรที่ต้องการเก็บเป็นความลับและไม่ต้องการเปิดเผย อาทิเช่น เอกสารที่เป็นรายชื่อบุคคลหรือบัญชีรายการต่างๆหรือสำเนาพิเศษ

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 3 เหมาะสำหรับการย่อยทำลายเอกสารการทำงานที่เป็นความลับไม่อาจเปิดเผยได้ ตัวอย่างเช่น เอกสารที่เป็นข้อมูลส่วนตัว

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 4 เหมาะสำหรับการย่อยทำลายเอกสารการทำงาน ซึ่งจะต้องเก็บรักษาไว้เป็นความลับและเป็นเอกสารที่มีความจำเป็นหรือมีผลกระทบต่อบริษัทหรือองค์กร

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 5 เหมาะสำหรับการย่อยทำลายเอกสารการทำงาน ซึ่งต้องการเก็บรักษาไว้ให้เป็นความลับสุดยอด ไม่ต้องการเปิดเผยข้อมูลต่อบุคคลภายนอก อาทิเช่น เอกสารทางราชการ หรือเอกสารทางการวิจัย

1.3.2 ลักษณะและขนาดของกระดาษที่ผ่านการย่อย

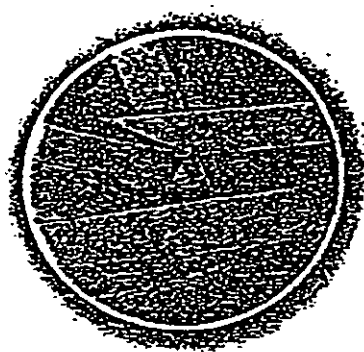
ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 1 มีการตัดย่อยแบบ Strip cut ขนาดริ้วประมาณ 10.5 มิลลิเมตร และการตัดย่อยแบบ Particle cut ขนาดริ้วประมาณ $10.5 \times 40-80$ มิลลิเมตร

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 2 มีการตัดย่อยแบบ Strip cut ขนาดริ้วประมาณ 3.9 มิลลิเมตร และขนาดริ้วประมาณ 5.8 มิลลิเมตร

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 3 มีการตัดย่อยแบบ Strip cut ขนาดริ้วประมาณ 1.9 มิลลิเมตร และการตัดย่อยแบบ Particle cut ขนาดริ้วประมาณ $3.9 \times 30-50$ มิลลิเมตร

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 4 มีการตัดย่อยแบบ Particle cut ขนาดริ้วประมาณ 1.9×15 มิลลิเมตร

ความละเอียดในการย่อยทำลายข้อมูล ระดับ 5 มีการตัดย่อยแบบ Particle cut ขนาดริ้วประมาณ 0.78×11 มิลลิเมตร



SECURITY LEVEL 1
Strip cut 10.5 mm
Particle cut 10.5 x 40-80 mm



SECURITY LEVEL 2
Strip cut 3.9 / 5.8 mm



SECURITY LEVEL 3
Strip cut 1.9 mm
Particle cut 3.9 x 30-50 mm



SECURITY LEVEL 4
Particle cut 1.9 x 15 mm



SECURITY LEVEL 5
Particle cut 0.78 x 11 mm

ภาพประกอบ 2 ลักษณะและขนาดของกระดาษที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษ
ตามมาตรฐาน DIN 32757-1

1.4 เอกสารที่ต้องใช้กับเครื่องย่อยกระดาษ (ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์.2532:37-39)

แบ่งออกได้ตามลักษณะจุดมุ่งหมายในการทำลายได้เป็น 6 ประเภท คือ

1.4.1 เอกสารที่ไม่ต้องการเปิดเผย

หมายถึงเอกสารที่ไม่ต้องการเปิดเผย เพราะเมื่อเปิดเผยแล้วจะก่อให้เกิดผลได้ - ผลเสียต่อบุคคลใดบุคคลหนึ่ง หรือกลุ่มบุคคลคณะใดคณะหนึ่ง เอกสารประเภทนี้ ได้แก่

1.4.1.1 เอกสารชั้นความลับ

กล่าวคือ หนังสือราชการเรื่องใดหรือฉบับใดที่อยู่ในข่ายที่จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดแห่งกฎหมายหรือระเบียบว่าด้วยการรักษาความปลอดภัยแห่งชาติแล้ว ก็จะต้องถือปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎหมายหรือระเบียบดังกล่าวโดยเคร่งครัดด้วย นอกเหนือไปจากการปฏิบัติตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรี ว่าด้วยงานสารบรรณ พ.ศ. 2526

นับแต่ปี พ.ศ. 2517 เป็นต้นมา รัฐบาลได้ประกาศใช้ระเบียบว่าด้วยการรักษาความปลอดภัยแห่งชาติ เป็นแนวทางสำหรับปฏิบัติ โดยใช้ชื่อระเบียบนี้ว่า “ระเบียบว่าด้วยการรักษาความปลอดภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2517” (สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 92 ตอนที่ 37 ฉบับพิเศษ วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2518) บรรดาหนังสือราชการเรื่องหรือฉบับที่เข้าข่ายต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามระเบียบนี้ มักเรียกว่า “หนังสือราชการลับ” สารสำคัญของระเบียบนี้ในส่วนที่เกี่ยวกับหนังสือราชการลับมีอยู่ดังนี้

ชั้นความลับ ได้มีการกำหนดชั้นความลับของทางราชการไว้ 4 ชั้นด้วยกัน ซึ่งเป็นการกำหนดไว้กว้าง ๆ กลุ่มถึงชั้นความลับของหนังสือราชการลับด้วย ชั้นความลับดังกล่าว คือ

1. ลับที่สุด (TOP SECRET) ได้แก่ ความลับที่มีความสำคัญที่สุดเกี่ยวกับข่าวสาร วัตถุหรือบุคคล ซึ่งถ้าหากความลับดังกล่าวทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนรั่วไหลไปถึงบุคคลที่ไม่มีหน้าที่ได้ทราบ จะทำให้เกิดความเสียหายหรือเป็นภัยอันตรายต่อความมั่นคง ความปลอดภัย หรือความสงบเรียบร้อยของประเทศชาติ หรือพันธมิตรอย่างร้ายแรงที่สุด

2. ลับมาก (SECRET) ได้แก่ ความลับที่มีความสำคัญมากเกี่ยวกับข่าวสาร วัตถุหรือบุคคล ซึ่งถ้าหากความลับดังกล่าวทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนรั่วไหลไปถึงบุคคลที่ไม่มีหน้าที่ได้ทราบ จะทำให้เกิดความเสียหาย หรือเป็นภัยอันตรายต่อความมั่นคง ความปลอดภัยของประเทศชาติ หรือพันธมิตร หรือความสงบเรียบร้อยในราชอาณาจักรอย่างร้ายแรง

3. ลับ (CONFIDENTIAL) ได้แก่ ความลับที่มีความสำคัญเกี่ยวกับข่าวสาร วัตถุหรือบุคคล ซึ่งถ้าหากความลับดังกล่าวทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนรั่วไหลไปถึงบุคคลที่ไม่มีหน้าที่ได้ทราบ จะทำให้เกิดความเสียหายต่อทางราชการ หรือต่อเกียรติภูมิของประเทศชาติหรือพันธมิตรได้

4. ปกปิด (RESTRICTED) ได้แก่ ความลับซึ่งไม่พึงเปิดเผยให้ผู้ไม่มีหน้าที่ได้ทราบ โดยสงวนไว้ให้ทราบเฉพาะบุคคลที่มีหน้าที่ต้องทราบ เพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติราชการเท่านั้น

อนึ่ง นอกจากความหมายของชั้นความลับต่าง ๆ ตามนัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ระเบียบว่าด้วยการรักษาความปลอดภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2517 ยังได้ให้ตัวอย่างเรื่องราชการของแต่ละชั้นความลับไว้ด้วย เพื่อเป็นแนวทางแก่เจ้าหน้าที่ในการพิจารณากำหนดชั้นความลับตามความเหมาะสม ผู้สนใจย่อมศึกษาได้จากระเบียบดังกล่าว

1.4.1.2 แบบแปลนและแบบสำนักงาน

เป็นแบบแสดงโครงสร้างหรือรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดรูปแบบ หรือการวางระบบงาน ซึ่งไม่ต้องการเปิดเผยหรือให้รั่วไหลสู่คู่แข่ง เพราะอาจก่อให้เกิดผลเสียหายได้

1.4.2 เอกสารที่ต้องทำลายตามมรยาท

หมายถึง เอกสารที่โดยจรรยาบรรณอาชีพนั้น ไม่ควรนำมาเปิดเผยหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน หรืออาจเนื่องจากรับปากกับบุคคลนั้นไว้แล้วก็ได้ เอกสารประเภทนี้ ได้แก่

แบบสอบถาม หมายถึง แบบฟอร์มที่มีข้อมูลในเชิงตอบคำถามเกี่ยวกับรสนิยม ความประพฤติ ตลอดจนข้อมูลส่วนตัวของบุคคลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนั้น ๆ ในทางปฏิบัติ ผู้สอบถามมักให้คำสัญญากับผู้ถูกสอบถามว่าจะเก็บเป็นความลับ

ทะเบียน หมายถึง เอกสารที่รวบรวมแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับความเป็นมาในด้านต่าง ๆ ของเฉพาะบุคคล กล่าวถึงข้อมูลส่วนตัวของบุคคลที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 เอกสารที่ถูกบังคับให้ทำลายตามระเบียบข้อบังคับ

หมายถึงเอกสารที่ตามข้อบังคับของหน่วยงานนั้น ๆ มีความประสงค์ให้ทำลาย เพื่อให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย ตามระเบียบข้อบังคับของหน่วยงานนั้น ๆ

เอกสารดังกล่าว มักได้แก่ เอกสารหรือหนังสือของหน่วยงานราชการ อันได้แก่ หนังสือราชการมี 6 ชนิด คือ

1. หนังสือภายนอก
2. หนังสือภายใน
3. หนังสือประทับตรา (เดิมใช้ว่า หนังสือประทับตราแทนการลงชื่อ)
4. หนังสือราชการ
5. หนังสือประชาสัมพันธ์ (เดิมใช้ว่า “หนังสือสั่งการและโฆษณา”)
6. หนังสือที่เจ้าหน้าที่ทำขึ้น หรือรับไว้เป็นหลักฐานในราชการ

ข้อสอบของสถานศึกษาหรือหน่วยงานที่จัดทำเอกสารดังกล่าวขึ้นมา เพื่อจุดประสงค์ให้มีการสอบแข่งขันกัน เป็นเอกสารที่แสดงถึงความรู้ ความสามารถส่วนบุคคล และตามระเบียบข้อบังคับของหน่วยงานราชการต้องทำลาย

1.4.4 เอกสารที่ไม่ต้องให้ผู้อื่นพบเห็น

ส่วนใหญ่มักหมายถึง เอกสารที่สำคัญแต่ไม่สมบูรณ์ แต่ข้อความหรือรายละเอียดในเอกสารนั้นอาจเป็นความลับได้ เอกสารดังกล่าวได้แก่

- เอกสารที่ผิดพลาดด้วยเหตุผลต่าง ๆ เช่น พิมพ์ผิด
- แบบร่าง แบบแสดงรายละเอียดคร่าว ๆ หรือแสดงแนวความคิดเบื้องต้น
- สำเนา คู่มือหรือเอกสารที่ออกมาจากต้นฉบับ

1.4.5 เอกสารที่เลิกใช้แล้วแต่อาจมีผลทางกฎหมาย

หมายถึง เอกสารที่มีผลบังคับใช้ตามกฎหมายต่อคนที่ทำเอกสารดังกล่าวขึ้นมา แต่เมื่อปฏิบัติตามข้อความที่ระบุในเอกสารนั้นแล้ว เอกสารนั้นก็ยกเลิกไป ซึ่งเป็นเรื่องที่รู้เฉพาะคนที่ทำเอกสารนั้นขึ้นมากับคู่สัญญา เอกสารดังกล่าวอาจใช้เป็นเครื่องผูกมัด หรือดำเนินการตามกฎหมายต่อผู้ที่ทำซ้ำซ้อนได้ หากไม่มีการ ชิด ฆ่า ทำลายทิ้ง หรือระบุนยกเลิกสัญญา เอกสารดังกล่าวได้แก่

- หนังสือสัญญา
- เช็ค
- ใบเสร็จรับเงิน

1.4.6 เอกสารที่ถูกทำลายด้วยเหตุผลอื่น ๆ

หมายถึง เอกสารที่ถูกทำลาย หรือไม่อยู่ในดุลยพินิจของผู้ที่เกี่ยวข้องจะเป็นผู้ตัดสินใจ เอกสารดังกล่าวได้แก่

- เอกสารค้างเก็บ
- เอกสารที่รกเกะกะ
- ฯลฯ

2. การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ

2.1 การออกแบบเครื่องจักรกล

การออกแบบเครื่องจักรเป็นศิลปะของการพัฒนาทางด้านการคิดใหม่ ๆ แล้วแสดงลงบนกระดาษในรูปของแบบลายเส้น พร้อมทั้งขนาดและรายละเอียดต่าง ๆ จากแบบที่ได้จะนำไปใช้ในการสร้างหรือพัฒนาเครื่องจักรต่อไป เครื่องจักรใหม่ ๆ เกิดขึ้นได้เพราะความต้องการในการใช้งานของมนุษย์ ซึ่งมีรายละเอียดในการออกแบบเครื่องจักรดังนี้ (วริทธิ์ อิงภากรณ์และชาญ ถนัดงาน. 2541 : 11 – 17)

2.1.1 ปรัชญาของการออกแบบ

ผู้ออกแบบจะเริ่มต้นด้วยการขีดเขียนและสร้างสรรค์แบบใหม่ ๆ ขึ้นมา แม้ว่าในการสร้างเครื่องจักรชนิดใหม่ที่ไม่เคยมีใช้มาก่อน จะต้องใช้ความคิดโดยอาศัยพื้นความรู้ต่าง ๆ อาศัยประสบการณ์และใช้เวลามากหรือน้อยก็ตาม ผู้ออกแบบจะได้ผลกำไรจากความชำนาญทางด้านวิศวกรรมและด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นหลายประการ การออกแบบส่วนมากจะทำตามแบบอย่างที่มีใช้อยู่ในอุตสาหกรรม เช่น เครื่องกลึงรุ่นใหม่ก็มีลักษณะคล้ายเครื่องกลึงรุ่นเก่า รถยนต์รุ่นใหม่ก็คล้ายกับรถยนต์รุ่นเก่า เพียงแต่มีการพัฒนาให้ดีขึ้น เพราะมีความรู้มากขึ้น มีประสบการณ์มากขึ้น ในบางครั้งการพัฒนาจะทำเมื่อต้องการสมรรถนะของเครื่องให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มหรือรักษาระดับราคาหรือเพิ่มผลการแข่งขันทางการตลาด ซึ่งปรัชญาของการออกแบบงานเฉพาะอย่างขึ้นอยู่กับลักษณะของอุตสาหกรรมหรือชนิดของเครื่องจักร การออกแบบในบางครั้งจะมีแบบต่าง ๆ หลายแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ออกแบบประสงค์จะให้งานออกมาในรูปแบบใด ในงานออกแบบบางชนิดผู้ออกแบบจะต้องค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงปรัชญาให้เหมาะสมกับธรรมชาติของงานนั้น เช่น เมื่อออกแบบเครื่องบินจะต้องทำด้วยความแม่นยำสูง ระมัดระวังด้านความต้านแรงและน้ำหนัก ซึ่งเป็นการออกแบบที่เสียค่าใช้จ่ายสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรออกแบบถึงความดันขนาดใหญ่ ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความแม่นยำสูงเหมือนกับเครื่องบินหรือไม่ต้องคำนึงถึงน้ำหนัก เป็นต้น ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ไม่ใช่ปรัชญาของการออกแบบทั้งหมดในอุตสาหกรรม แต่มีความประสงค์จะชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างบางประการ ซึ่งในการออกแบบจริงควรจะต้องพิจารณาปรัชญาที่เหมาะสมกับงานนั้น ๆ เป็นหลักสำคัญ

2.1.2 พื้นฐานของผู้ออกแบบเครื่องจักร

ผู้ออกแบบเครื่องจักรที่ดีควรจะต้องมีพื้นฐานความรู้ดังต่อไปนี้เป็นอย่างดี

2.1.2.1 พื้นฐานความรู้ทางด้านความแข็งแรงของวัสดุเป็นอย่างดี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเค้น ชิ้นส่วนเครื่องจักรจะต้องแข็งแรงและแข็งแกร่งเพียงพอที่จะรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้

2.1.2.2 พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุวิศวกรรมที่ใช้กับเครื่องจักรเป็นอย่างดี ทางด้านโลหะวิทยา กรรมวิธีทางความร้อนต่าง ๆ และติดตามการพัฒนาทางด้านวัสดุอยู่ตลอดเวลา เพื่อจะได้นำวัสดุที่เหมาะสมที่สุดมาใช้

2.1.2.3 มีความรู้ทางด้านการรวมวิธีการผลิตต่าง ๆ หลักเศรษฐศาสตร์ของวิธีการผลิต เพราะชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ผลิตขึ้นมาจะต้องแข่งขันกันทางด้านราคา บางครั้งการออกแบบชิ้นส่วนหนึ่งอาจเหมาะกับโรงงานผลิตแห่งหนึ่ง แต่ไม่เหมาะกับโรงงานผลิตอีกแห่งหนึ่งก็ได้ เช่น โรงงานผลิตที่มีแผนกเชื่อมที่ดี แต่ไม่มีแผนกหล่อ จะพบว่าการผลิตโดยวิธีเชื่อมจะประหยัดที่สุด แต่ในขณะเดียวกันโรงงานอีกแห่งหนึ่งอาจตัดสินใจใช้วิธีหล่อเพราะมีแผนกหล่อที่ดีอยู่

2.1.2.4 มีความรู้เป็นพิเศษเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุ เช่น บรรยากาศที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน อุณหภูมิต่ำมาก ๆ หรือสูงมาก ๆ เป็นต้น

2.1.2.5 เตรียมพร้อมสำหรับการตัดสินใจอย่างฉลาดได้ว่า

2.1.2.5.1 ควรเลือกใช้ชิ้นส่วนที่มีจำหน่ายอยู่แล้วหรือต้องการออกแบบใหม่

2.1.2.5.2 ควรใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากประสบการณ์ในการออกแบบชิ้นส่วนหรือไม่

2.1.2.5.3 ควรทดสอบชิ้นงานก่อนการผลิตหรือไม่

2.1.2.5.4 ต้องออกแบบเป็นพิเศษเพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนระดับเสียงดังและ

อื่น ๆ หรือไม่

2.1.2.6 มีความเข้าใจถึงความสวยงามบางประการ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตผลดูดีและดึงดูดใจผู้ใช้

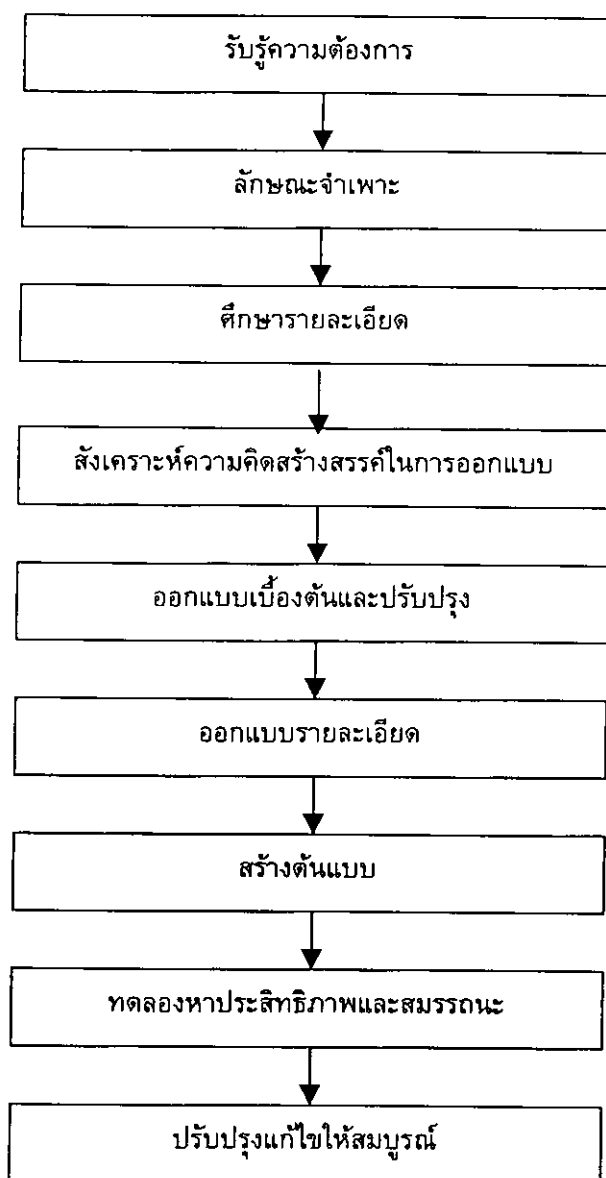
2.1.2.7 มีความรู้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการแข่งขันทางด้านราคาเพราะเหตุว่าวิศวกรมีหน้าที่ในการประหยัดเงินของผู้ว่าจ้าง การจะเพิ่มราคาสินค้าได้จะต้องมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง เช่น เพิ่มสมรรถนะ เพิ่มสิ่งดึงดูดใจ หรือเพิ่มความทนทานให้มากขึ้น

2.1.2.8 มีสัญชาตญาณในการเป็นนักประดิษฐ์และสร้างสรรค์ สิ่งสำคัญที่สุดก็คือจะต้องทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ความคิดสร้างสรรค์อาจเกิดขึ้นเพราะมีความขยันขันแข็งที่จะแก้ไขสิ่งที่ไม่ถูกใจ และมีความเต็มใจที่จะทำ

ตามปกติแล้วยังมีอีกหลายสิ่งหลายอย่างที่ควรพิจารณาโดยละเอียดอีก เช่น เครื่องจักรจะใช้งานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ มีอะไรบ้างกับการเลือกเลขอะตอมใช้งานของผู้ใช้เครื่องจักรหรือไม่ มีการสั่นสะเทือนจนอาจเกิดอันตรายหรือไม่ การประกอบชิ้นส่วนหรือการซ่อมบำรุงทำได้ยากหรือง่าย เป็นต้น แต่ไม่มีวิศวกรคนใดที่จะมีความรู้เป็นพิเศษเกี่ยวกับสิ่งที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดและตัดสินใจในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างดีที่สุด องค์การขนาดใหญ่ขึ้นย่อมจะมีผู้ชำนาญพิเศษในด้านต่าง ๆ มากขึ้นซึ่งจะช่วยให้การเป็นที่ปรึกษาได้เป็นอย่างดี วิศวกรส่วนมากจะรู้ขั้นตอนการออกแบบแล้วเป็นอย่างดีและจะดียิ่งขึ้นถ้าได้ใช้บุคคลหลายฝ่ายที่มีความชำนาญพิเศษต่างกัมาร่วมมือกันออกแบบ การออกแบบเป็นอาชีพอย่างหนึ่งซึ่งมีเสน่ห์ดึงดูดใจผู้ออกแบบ เพราะต้องใช้พื้นฐานความรู้อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ งานวิศวกรรมก็คืองานออกแบบ

2.1.3 ขั้นตอนของการออกแบบ

การออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมาก ว่าควรจะเริ่มต้นอย่างไร ควรจะเริ่มต้นจากกระดาษเปล่าแผ่นหนึ่ง แล้วเริ่มลงมือแสดงความคิดเห็นลงไป ต่อไปจะเกิดอะไรขึ้น มีอะไรบ้างที่เป็นตัวควบคุมหรือมีผลต่อการตัดสินใจและสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบทั่วไป ซึ่งงานบางประเภทอาจไม่เป็นไปตามขั้นตอนดังกล่าวนี้ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบและกรรมวิธีการออกแบบ ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนของแนวการออกแบบเครื่องย่อยกระดาษ ตามภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แผนภูมิของแนวทางการออกแบบเครื่องย่อยกระดาษ

2.1.3.1 **รับรู้ความต้องการ** การออกแบบอาจเริ่มต้นขึ้นจากการที่วิศวกรได้รับรู้ความต้องการและตัดสินใจที่จะทำอะไรบางสิ่งบางอย่างขึ้น หรืออาจได้รับข้อมูลจากลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาจเป็นแรงผลักดันให้มีการออกแบบขึ้นได้ การแข่งขันกันทางด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความต้องการในการออกแบบอุปกรณ์ กระบวนการและเครื่องจักรใหม่ๆ สิ่งสำคัญคือต้องยอมรับว่าเกิดความต้องการขึ้น แล้วใช้ประสบการณ์พื้นฐานที่มีอยู่ทำความเข้าใจกับความต้องการนั้นให้ถ่องแท้

2.1.3.2 ลักษณะจำเพาะ รวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งอาจประกอบไปด้วย คุณสมบัติ ขนาด ราคา จำนวนที่ต้องการผลิต อายุการใช้งาน อนุภูมิใช้งาน ความเชื่อถือได้และสิ่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น น้ำหนัก ขนาดต่าง ๆ พร้อมทั้งบางสิ่งบางอย่างที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากการออกแบบ เช่น กรรมวิธีการผลิต ความชำนาญของช่างและการแข่งขันทางด้านตลาด เป็นต้น การออกแบบงานบางประเภทต้องทำตามเกณฑ์ เช่น หม้อไอน้ำ ภาชนะความดัน ก็จำเป็นต้องศึกษาเกณฑ์นั้นให้ทราบถึงสิ่งสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นข้อควรระมัดระวังและปฏิบัติตาม

2.1.3.3 ศึกษารายละเอียด เมื่อได้ลักษณะจำเพาะต่าง ๆ แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็ต้องศึกษารายละเอียด ทั้งนี้ก็เพื่อแยกแยะถึงสิ่งที่อาจก่อให้เกิดความเสียหาย หรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ โดยปกติแล้วผู้ที่รับผิดชอบในการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นวิศวกรที่ผ่านงานออกแบบมาแล้วอย่างมาก มีความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ต่าง ๆ เป็นอย่างดี รู้จักการเลือกใช้วัสดุ รู้วิธีการผลิตและความต้องการของแผนกขาย ผู้ที่ทำการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นผู้รับผิดชอบโครงการทั้งหมด มีบ่อยครั้งที่ผลจากการศึกษารายละเอียดจะทำให้ลักษณะจำเพาะต้องเปลี่ยนไป เพื่อความสำเร็จของโครงการ จึงทำให้มีส่วนป้อนกลับไปยังลักษณะจำเพาะ

2.1.3.4 การสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ เมื่อศึกษารายละเอียดแล้วต่อไปก็ถึงขั้นการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ ซึ่งเป็นขั้นที่ท้าทายและน่าสนใจที่สุดในการออกแบบ เพราะถ้าไม่มีขีดจำกัดอันใดแล้ว ผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นวิศวกร นักประดิษฐ์และจิตรกรในเวลาเดียวกัน ซึ่งในขณะนี้เขาเป็นนักสร้างสรรค์ การสังเคราะห์คือการวิเคราะห์และทำให้อ่านวยประโยชน์ที่สุด ในขั้นนี้จะต้องสังเคราะห์ความคิดใหม่กับความคิดเก่า เพื่อทำให้เกิดความคิดใหม่ขึ้น ความคิดสร้างสรรค์เป็นสิ่งที่สั่งสอนกันไม่ได้แม้ว่าจะใช้วิธีกระตุ้นก็ตาม แต่ก็เชื่อได้ว่าการศึกษาที่เหมาะสมทำให้มนุษย์มีกระบวนการคิดสร้างสรรค์กว้างขวางขึ้น

2.1.3.5 ออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบแล้ว อาจจะมีวิธีการออกแบบที่เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการหลายวิธี จึงจำเป็นต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่งเป็นแบบเบื้องต้นและปรับปรุงต่อไป ในขั้นนี้ต้องมีแบบแสดงเครื่องจักร หรือระบบที่มีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของระบบทั้งหมด แบบควรมีขนาดสำคัญพร้อมทั้งรูปประกอบ รูปด้านข้างอย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาทางด้านคิเนมาติก (kinematic) ของระบบด้วยความมั่นใจว่าจะทำงานได้ โดยปกติแล้วในขั้นนี้จะไม่สมบูรณ์ จึงต้องมีส่วนป้อนกลับไปยังลักษณะจำเพาะ เพื่อทำให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน พร้อมกันนั้นก็จะมีการปรับปรุง เพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงแนวความคิด เพื่อหาวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อประเมินผลของอุปกรณ์ หรือค้นหาสิ่งที่ยังไม่แน่ชัดจากข้อมูลทางเทคนิคและประสบการณ์ที่ผ่านมา ดังนั้นช่วงการออกแบบเบื้องต้นนี้อาจจะซ้ำหรือเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ได้

2.1.3.6 ออกแบบรายละเอียด การออกแบบรายละเอียดเกี่ยวข้องกับขนาดจริงและส่วนประกอบอื่น ๆ ทั้งที่จะผลิตขึ้นเอง หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ซื้อมาใช้ ซึ่งจะประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมดเป็นระบบ ดังนั้นจึงต้องมีแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้น แสดงรูปด้านต่าง ๆ เท่าที่จำเป็น โดยต้องกำหนดทั้งขนาดพิถีพิถันความเผื่อไว้ให้ครบ วัสดุที่ใช้ กรรมวิธีทางความร้อน (ถ้ามี) จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วนและบางครั้งอาจจะต้องใช้แบบประกอบของชิ้นงานสำเร็จด้วย ซึ่งปกติช่างเขียนแบบจะทำงานไปพร้อมกับวิศวกร เพื่อเขียนแบบที่วิศวกรกำหนดขึ้น วิศวกรจะให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่น รูปแบบเบื้องต้นที่วิศวกรร่างขึ้นมาก่อน จะต้องให้ขนาด ชนิดของวัสดุ โดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์และประสบการณ์ที่ผ่านมา ซึ่งหมายความว่าวิศวกร

ต้องใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ กลศาสตร์ ความแข็งแรงของวัสดุ กลศาสตร์ของไหล การสันสะท้อน โลหะวิทยา กระบวนการผลิต โดยที่วิศวกรอาจจะหาผู้ช่วยที่มีความชำนาญเป็นพิเศษเฉพาะสาขามาช่วยได้

2.1.3.7 สร้างต้นแบบและทดสอบ หลังจากที่มีรายละเอียดต่าง ๆ สมบูรณ์ มีแบบแยกชิ้น แบบประกอบ รวมทั้งวัสดุและรายการชิ้นส่วนต่าง ๆ แล้ว จึงส่งแบบที่สมบูรณ์ทั้งหมดไปยังโรงงานเพื่อสร้างต้นแบบ เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จเรียบร้อยก็เตรียมประเมินผลและทดสอบ ผลจากการทดสอบอาจทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้น หรือแบบรายละเอียดบางประการ หลังการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงชิ้นส่วนบางชิ้นแล้ว อาจทดสอบและประเมินผลใหม่อีกครั้ง หรืออาจต้องทำอีกหลายครั้ง จนกระทั่งวิศวกรผู้ออกแบบพึงพอใจที่ชิ้นงานมีสมรรถนะตามต้องการ เมื่อถึงขั้นนี้แล้วจะส่งแบบชิ้นส่วนและรายการวัสดุไปยังแผนกวิศวกรรม เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับการผลิตต่อไป

2.1.3.8 ออกแบบสำหรับผลิต ในขั้นนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเพื่อความเหมาะสม (โดยมากจะพิจารณาจากหลักเศรษฐศาสตร์) ของวิธีการผลิตที่ดีที่สุด เนื่องจากการผลิตชิ้นงานน้อยชิ้นกับชิ้นงานมากขึ้นอาจต้องใช้วิธีการผลิตต่างกัน จึงต้องหาวิธีการผลิตที่ประหยัดที่สุด บางครั้งอาจรวมชิ้นงานหลายชิ้นเข้าเป็นชิ้นเดียว หรือเปลี่ยนใช้ชิ้นส่วนที่มีในท้องตลาดแทน อีกประการหนึ่งวิศวกรการผลิตอาจเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันแต่ราคาถูกกว่าได้ จากนั้นจึงเขียนแบบแก้ไขใหม่ให้เรียบร้อย แล้วจึงส่งฝ่ายผลิต เพื่อผลิตและส่งผลิตภัณฑ์ออกจำหน่าย

2.1.3.9 ส่งผลิตภัณฑ์ออก โดยปกติมักจะผลิตชิ้นงานต้นแบบแล้วทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ถ้ามีปัญหาที่แก้ไขไม่ได้ก็จะส่งกลับไปยังแผนกออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง หรืออาจเสนอแนะข้อคิดเห็นไปได้

สิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้อาจไม่สมบูรณ์ทางด้านรายละเอียดต่างๆหรืออาจจะใช้ได้กับกระบวนการผลิตบางอย่าง บางระบบเท่านั้น เพราะการที่จะรู้รายละเอียดถึงกรรมวิธีการออกแบบในงานต่าง ๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและเข้าไปมีส่วนร่วมในงานนั้น ๆ

โดยสรุปในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยนำเอาหลักการออกแบบเครื่องจักรมาใช้ในการออกแบบเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง แล้วออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องเป็นการเขียนแบบภาพประกอบที่แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทั้งหมดและเขียนแบบแยกชิ้นส่วนแต่ละส่วนของเครื่อง เพื่อแสดงรายละเอียดให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ส่วนในขั้นสุดท้ายเพื่อให้ได้แบบที่สมบูรณ์จริง ๆ จึงทำการปรับปรุงแบบ โดยนำแบบเครื่องย่อยกระดาษไปขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องจักรและผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าพิจารณาดูรายละเอียด แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำซึ่งผู้วิจัยคาดว่าจะได้แบบที่สมบูรณ์ไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกระดาษต่อไป

2.2 วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุในงานอุตสาหกรรม

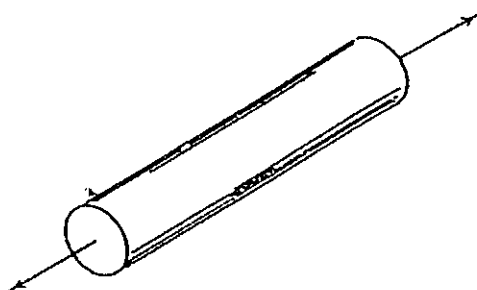
2.2.1 สมบัติของวัสดุในงานอุตสาหกรรม

การนำเอาวัสดุต่าง ๆ ไปใช้งาน จำเป็นต้องพิจารณาถึงสมบัติของวัสดุ เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สมบัติของวัสดุที่สำคัญสามารถพิจารณาได้ดังนี้

2.2.1.1 ความแข็งแรง (Strength)

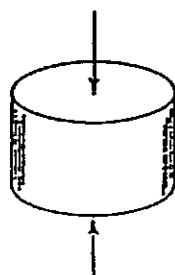
ความแข็งแรง คือ ความสามารถในการรับแรงโดยไม่แตกหักเสียหาย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

1. ความแข็งแรงในการรับแรงดึง (Tensile Strength) คือ ความสามารถของวัสดุที่จะต้านทานการแตกหักเมื่อได้รับแรงดึงสองข้างออกจากกัน ดังภาพประกอบ 4



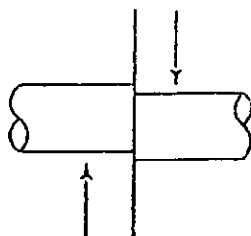
ภาพประกอบ 4 ลักษณะการรับแรงดึง
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 2)

2. ความแข็งแรงในการรับแรงอัด (Compressive Strength) คือ ความสามารถของวัสดุที่จะต้านทานการแตกปริเมื่อได้รับแรงอัด ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 ลักษณะการรับแรงอัด
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 2)

3. ความแข็งแรงในการรับแรงเฉือน (Shearing Strength) คือ ความสามารถของวัสดุที่จะต้านทานการฉีกเมื่อถูกเฉือน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ลักษณะการรับแรงเฉือน
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 3)

2.2.1.2 ความแข็งของผิว (Hardness)

ความแข็งของผิว คือ สมบัติของวัสดุในการต้านทานการสึกหรอ หรือต้านทานต่อการถูกขีดข่วน หรือแรงกด โดยมาจากการวัดความแข็งใช้เปรียบเทียบกับเพชรซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งที่สุดใน การทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุ นิยมใช้กันอยู่ 3 วิธี คือ

1. การทดสอบแบบบริเนล (Brinell Test) โดยใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรกดลงบนชิ้นงาน โดยใช้แรงกด 3,000 กิโลกรัม สำหรับวัสดุแข็ง และ 500 กิโลกรัมสำหรับวัสดุอ่อน ทำการกดประมาณ 30 วินาที หลังจากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยกด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความแข็ง

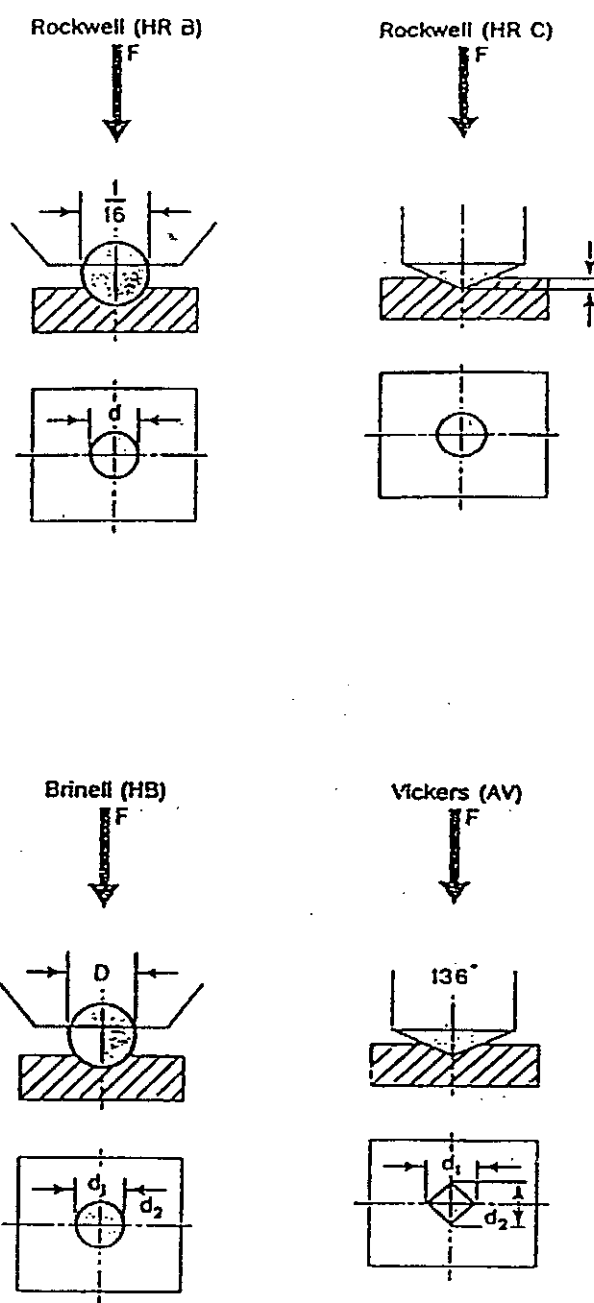
2. การทดสอบแบบร็อคเวล (Rockwell Test) โดยใช้หัวเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมมุมฉาก 136 องศา และหัวกดลูกบอลเหล็กกล้ากดลงบนชิ้นงาน การทดสอบแบบร็อคเวลเป็นการทดสอบความแข็งที่สะดวกมาก เนื่องจากสามารถอ่านค่าความแข็งได้โดยตรงจากหน้าปัดของเครื่องทดสอบ

3. การทดสอบแบบวิกเกอร์ (Vickers Test) มีสองสเกล คือ

3.1 ร็อคเวล B โดยใช้ลูกบอลเหล็กกลมกดลงบนชิ้นงาน

3.2 ร็อคเวล C โดยใช้กรวยเพชร มุมกรวย 120 องศา กดลงบนชิ้นงาน

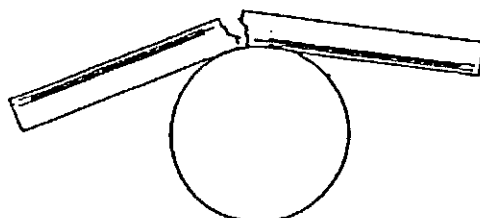
พิจารณารูปการทดสอบความแข็งของผิววัสดุได้ดังนี้



ภาพประกอบ 7 การทดสอบความแข็งของผิววัสดุ
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 5)

2.2.1.3 ความเปราะ (Brittleness)

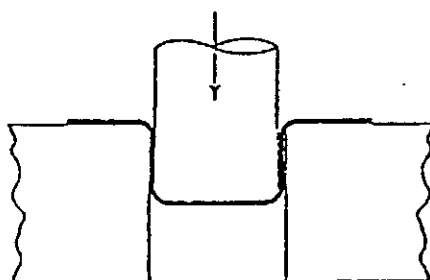
ความเปราะ คือ สมบัติของวัสดุที่จะแตกหักโดยง่ายเมื่อบิดตัวเล็กน้อย โดยทั่วไปวัสดุที่มีความแข็งมากจะเปราะมาก นั่นคือจะเกิดการแตกหักง่าย



ภาพประกอบ 8 การทดสอบความเปราะของวัสดุ
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 7)

2.2.1.4 ความสามารถในการยืดตัว (Ductility)

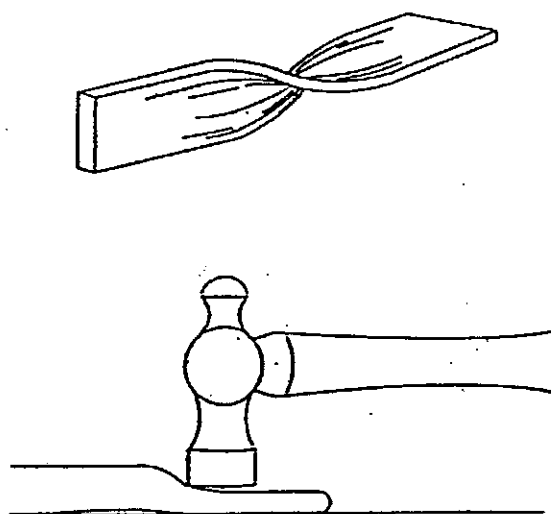
ความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ คือ สมบัติของวัสดุที่สามารถดึงหรืออัดให้ยืดตัวออกได้ง่ายโดยไม่แตกหัก วัสดุที่มีความสามารถในการยืดตัวได้ดี ได้แก่ อะลูมิเนียม ทองแดง เหล็กกล้าและทองเหลือง



ภาพประกอบ 9 ความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 7)

2.2.1.5 ความสามารถในการบิดงอและอัดรีดขึ้นรูป (Torsion and Malleability)

ความสามารถในการบิดงอและอัดรีดขึ้นรูป คือ สมบัติของวัสดุที่สามารถบิดงอหรืออัดรีดขึ้นรูปได้โดยไม่ปริแตกง่าย เป็นคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับความสามารถในการยืดตัว โลหะที่อ่อนมีความสามารถในการอัดขึ้นรูปได้ดีกว่าโลหะที่แข็ง

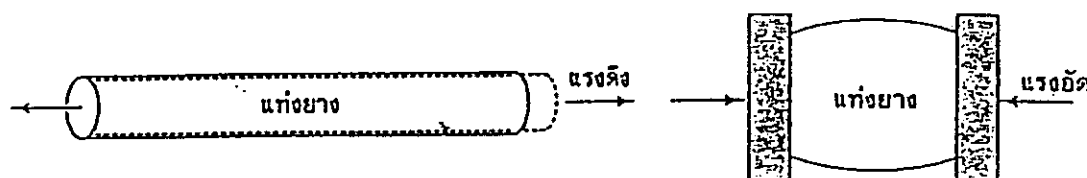


ภาพประกอบ 10 ความสามารถในการบิดงอและอัดรีดขึ้นรูปของวัสดุ
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 9)

2.2.1.6 ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว (Elasticity)

ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว คือ สมบัติในการคืนสู่สภาพเดิมหลังจากถูกดึงหรืออัด คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากสำหรับวัสดุโครงสร้าง เพราะต้องออกแบบไม่ให้อยู่รับแรงเกินจุดคราก (Yield Point) ซึ่งจะทำให้เกิดการยืดตัวอย่างถาวรนำไปสู่การแตกหักและเสียหายได้

หมายเหตุ จุดคราก (Yield Point) คือ จุดที่วัสดุมีการยืดตัวอย่างถาวรไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้



ภาพประกอบ 11 ความสามารถในการยืดหยุ่นตัวของวัสดุ
(นริศ ศรีเมฆและคณะ. 2540: 12)

2.2.1.7 ความสามารถในการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)

ความสามารถในการนำไฟฟ้า คือ สมบัติที่วัสดุยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี วัสดุที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ดี เรียกว่า ตัวนำไฟฟ้า (Conductor) วัสดุที่ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหรือผ่านได้น้อยมาก เรียกว่า ฉนวนไฟฟ้า (Insulator)

2.2.1.8 ความสามารถในการนำความร้อน (Heat Conductivity)

ความสามารถในการนำความร้อน คือ สมบัติของวัสดุที่สามารถนำให้ความร้อนไหลผ่านได้ดี

- วัสดุที่สามารถนำให้ความร้อนไหลผ่านได้ดี เรียกว่า ตัวนำความร้อน
- วัสดุที่ไม่ยอมให้ความร้อนไหลผ่านหรือผ่านได้น้อย เรียกว่า ฉนวนความร้อน

2.2.1.9 ความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact Resistance)

ความสามารถในการรับแรงกระแทก คือ ความสามารถของวัสดุที่ทนทานต่อแรงกระแทกที่มาโดยเฉียบพลันโดยไม่แตกหักเสียหาย วัสดุโดยทั่วไปจะรับแรงกระแทกได้น้อยกว่าแรงที่ค่อย ๆ รับอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ

2.2.2 ชนิดของเหล็ก

โลหะประเภทเหล็กสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. เหล็กดิบ (Pig Iron)
2. เหล็กหล่อ (Cast Iron)
3. เหล็กกล้า (Steel)

2.2.2.1 เหล็กดิบ (Pig Iron)

เหล็กดิบผลิตขึ้นจากเตาสูง (Blast Furnace) โดยการหล่อหลอมสินแร่เหล็กกับถ่านโค้กและหินปูน ซึ่งคุณภาพของเหล็กดิบที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของสินแร่ที่นำมาใช้ในการหลอม โดยปกติแล้วเหล็กดิบที่ผลิตได้จะมีธาตุต่าง ๆ ประสมอยู่โดยประมาณดังนี้

- คาร์บอน (Carbon : C) 3 – 4%
- ซิลิคอน (Silicon : Si) 1 – 3%
- แมงกานีส (Manganese : Mn) 1%
- ฟอสฟอรัส (Phosphorus : P) 0.1 – 1%
- กำมะถัน (Sulphur : S) 0.05 – 0.1%

เหล็กดิบจะมีความแข็งและเปราะ ดังนั้นจึงมีความแข็งแรง ความเหนียว ไม่มากนักและทนต่อแรงกระแทกได้น้อย เหล็กดิบส่วนมากจะถูกนำไปหล่อเป็นเหล็กชนิดต่าง ๆ เช่น เหล็กหล่อ และเหล็กกล้า เป็นต้น

ชนิดของเหล็กดิบ เหล็กดิบที่ผลิตได้จากเตาสูงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและนำมาใช้ประโยชน์ต่างกัน สามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. เหล็กดิบเบสิก (Basic Pig Iron) นำไปใช้ในการหล่อเหล็กกล้า และรีดขึ้นรูป
2. เหล็กดิบเอซิด (Acid Pig Iron) นำไปใช้ในการหล่อเหล็กกล้า ผลิตเหล็กอ่อน และรีดขึ้นรูป
3. เหล็กดิบฟอร์จิง (Forging Pig Iron) นำไปใช้ในการผลิตเหล็กอ่อน เหล็กประสม และตีขึ้นรูป
4. เหล็กดิบโรงหล่อ (Foundry Pig Iron) นำไปใช้ในการหล่อเป็นเหล็กหล่อสีเทา และเหล็กหล่อประสม
5. เหล็กดิบมัลลิวเอเบิลหรือเหล็กดิบเหนียว (Malleable Pig Iron) นำไปใช้ในการหล่อเป็นเหล็กหล่อสีขาว เหล็กหล่อเหนียว (เหล็กหล่อมัลลิวเอเบิล) และเหล็กหล่อเหนียวประสม (เหล็กหล่อมัลลิวเอเบิลประสม)

อิทธิพลของธาตุที่ประสมอยู่ในเหล็กดิบ ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่ประสมอยู่ในเหล็กดิบจะทำให้เหล็กดิบมีสมบัติดังนี้

1. คาร์บอน (Carbon : C) คาร์บอนมีอิทธิพลต่อจุดหลอมเหลวของเหล็ก คือ จะทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงจึงทำให้เหล็กหลอมได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เหล็กแข็งขึ้นสามารถชุบแข็งได้ ความเหนียวและอัตราการขยายตัวลดลง สมบัติในการตีขึ้นรูปและการเชื่อมประสานลดลง
2. ซิลิคอน (Silicon : Si) ซิลิคอนในเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอน เกิดเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งมีความแข็งมาก ดังนั้นเหล็กที่มีซิลิคอนประสมอยู่มากเกินไปจะมีความเปราะและแตกหักง่าย สมบัติในการเชื่อมประสานและปาดผิวดลดลง แต่ทำให้มีความคงทนต่อการกัดกร่อนได้ดี
3. แมงกานีส (Manganese : Mn) แมงกานีสที่ประสมอยู่ในเหล็กดิบจะทำให้เหล็กมีความแข็งและทนต่อการสึกหรอได้ดี และจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นด้วย

4. ฟอสฟอรัส (Phosphorus : P) ฟอสฟอรัสถ้ามีมากในสินแร่เหล็กจะทำให้การถลุงยากขึ้น และถ้ามีมากในเนื้อเหล็กจะทำให้เปราะหักง่ายที่อุณหภูมิเย็น แต่ถ้ามีน้อยจะช่วยให้สามารถหล่อได้บาง ๆ หลอมไหลได้ง่ายสะดวกในการเทลงแบบ

5. กำมะถัน (Sulphur : S) กำมะถันถ้ามีมากในเนื้อเหล็กจะทำให้เหล็กเปราะหักง่าย ณ ที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้การหลอมไหลยากไม่สะดวกที่จะเทลงแบบ ดังนั้นการนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง ๆ จึงไม่ดี

2.2.2.2 เหล็กหล่อ (Cast Iron)

เหล็กหล่อเกิดจากการนำเอาเหล็กดิบ หรือเหล็กดิบประสมกับเศษเหล็กหล่อหรือเศษเหล็กกล้า ไปหลอมรวมกันกับถ่านโค้กและหินปูนในเตาคิวโปลา (Cupola) ที่อุณหภูมิ 1150 – 1250 องศาเซลเซียส เหล็กหล่อจะมีธาตุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบนอกเหนือจากเหล็กดังนี้

- คาร์บอน 2.5 - 4%
- ซิลิคอน 1 – 3%
- แมงกานีส 0.4 – 1%
- กำมะถัน 0.1 – 0.35%
- ฟอสฟอรัส 0.05 – 0.1%

ชนิดของเหล็กหล่อ อธิพิผลต่าง ๆ ที่ทำให้เหล็กหล่อแบ่งเป็นหลายชนิด พิจารณาได้ดังนี้

1. ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะการรวมตัวของคาร์บอน
2. ชนิดของส่วนประสมในเหล็กหล่อ
3. อัตราการเย็นตัวของเหล็กหล่อในแบบหล่อ
4. การอบชุบภายหลังการหล่อ

แต่อิทธิพลที่เป็นข้อจำแนกเหล็กหล่อให้แยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน คือ ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะการรวมตัวของคาร์บอน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron)
- เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron)
- เหล็กหล่อมัลลิเอเบิลหรือเหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron)
- เหล็กเหนียวหล่อ (Cast Steel)
- เหล็กหล่อโนดูลาร์หรือแกรไฟต์กลม (Nodular Cast Iron or Spheroidal Graphite

Cast Iron)

- เหล็กหล่อประสม (Alloy Cast Iron)

2.2.2.2.1 เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron) เหล็กหล่อสีเทาเป็นเหล็กหล่อทั่ว ๆ ไป ซึ่งเกิดจากการหลอมเหล็กดิบ เศษเหล็กเหนียว ถ่านโค้ก และหินปูนในเตาคิวโปลาหรือเตาไฟฟ้า เหล็กหล่อชนิดนี้มีปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่ประสมอยู่ ดังนี้

- คาร์บอน 2.5 – 4%
- ซิลิคอน 1.8 – 2.5%
- แมงกานีส 0.5 – 0.8%
- กำมะถัน 0.3%

โดยที่คาร์บอนที่ประสมอยู่ในเหล็กหล่อจะอยู่ในรูปของแกรไฟต์ มีลักษณะเป็นแผ่นอยู่อย่างอิสระ แทรกอยู่บนโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นเฟอร์ไรต์ จึงทำให้เหล็กหล่อชนิดนี้อ่อนและสามารถนำไปแปรรูปบนเครื่องจักรได้ เหล็กหล่อชนิดนี้เมื่อตรวจดูรอยหักด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นสีเทา

ข้อดีของเหล็กหล่อสีเทา คือ ราคาถูก แปรรูปง่าย รับแรงสั่นสะเทือนและแรงอัดได้ดี

ข้อเสียของเหล็กหล่อสีเทา คือ รับแรงดึงได้น้อย และเปราะ แตกหักง่าย

2.2.2.2 เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เหล็กหล่อสีขาวได้จากการเทน้ำเหล็กลงในแบบหล่อ แล้วควบคุมให้น้ำเหล็กเย็นตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีการเติมธาตุต่าง ๆ เพื่อให้มีความแข็งแรงมากขึ้น เช่น นิกเกิล โครเมียม และโมลิบดีนัม

เหล็กหล่อสีขาวเป็นเหล็กหล่อที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนตั้งแต่ 2% ขึ้นไป เมื่อนำมาหักดูจะเห็นเนื้อเหล็กเป็นเม็ดเกรนสีขาว เนื่องจากสภาพของคาร์บอนที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อเหล็กจะรวมกับเนื้อเหล็กในรูปของสารประกอบที่เรียกชื่อทางเคมีว่า เหล็กคาร์ไบด์ (Fe_3C) หรือเรียกตามลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยาว่า ซีเมนต์ไต์ (Cementite) ซึ่งโครงสร้างแบบนี้จะมีผลทำให้เหล็กหล่อมีความแข็งและเปราะ ยากต่อการขึ้นรูป

2.2.2.3 เหล็กหล่อมัลลิวเอเบิลหรือเหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron) ได้จากการนำเอาเหล็กหล่อสีขาวมาทำกรรมวิธีการอบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 815 – 1110 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิการเย็นตัวโดยการอบในที่จำกัดเพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกเข้า ใช้เวลาประมาณ 40 – 100 ชั่วโมง จะทำให้โครงสร้างพื้นฐานเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ไรต์ (Ferrite) ซึ่งซีเมนต์ไต์จะแยกตัวออกเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) กับแกรไฟต์ (Graphite) โดยแกรไฟต์ที่เกิดขึ้นจะกระจุกกระจายทั่วไป และเมื่ออุณหภูมิลดลงออสเทนไนต์จะเปลี่ยนเป็นเฟอร์ไรต์ ส่วนคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแกรไฟต์ก็จะจับกลุ่มกันและอยู่กระจายทั่วไปทำให้เป็นเหล็กหล่อเหนียว

ประเภทของเหล็กหล่อมัลลิวเอเบิลหรือเหล็กหล่อเหนียว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- เหล็กหล่อมัลลิวเอเบิลไวท์ฮาร์ทหรือเหล็กหล่อเหนียวสีขาว (White Heart Malleable) เหล็กหล่อเหนียวสีขาวได้จากการนำเหล็กหล่อสีขาวไปอบด้วยความร้อนโดยใช้ผงเหล็ก หรือแร่เหล็กปิดคลุมชิ้นงาน ความร้อนที่ใช้ 850 – 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 40 – 100 ชั่วโมง จะได้โครงสร้างพื้นฐานมีทั้งเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และเพิร์ลไลต์ (Pearlite) ทำให้ปริมาณคาร์บอนบริเวณผิวลดลง

- เหล็กหล่อมัลลิวเอเบิลแบลคฮาร์ทหรือเหล็กหล่อเหนียวสีดำ (Black Heart Malleable) เหล็กหล่อเหนียวสีดำได้จากการนำเหล็กหล่อสีขาวไปอบด้วยความร้อนภายในเตาซึ่งปิดอยู่ โดยที่ภายในเตาบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อยหรืออาจใช้ทรายปิดคลุมเหล็กเอาไว้ขณะทำการอบเพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ที่ผิวเหล็ก ความร้อนที่ใช้ 900 – 1000 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 – 50 ชั่วโมง จะได้โครงสร้างพื้นฐานที่เป็นเฟอร์ไรต์ โดยมีแกรไฟต์จับกลุ่มกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้ปริมาณคาร์บอนบริเวณผิวลดลง

2.2.2.4 เหล็กเหนียวหล่อ (Cast Steel) เหล็กเหนียวหล่อเกิดจากการนำเหล็กเหนียวมาหลอมละลายด้วยความร้อนสูง ที่อุณหภูมิประมาณ 1300 – 1400 องศาเซลเซียส ดังนั้นเหล็กเหนียวหล่อจึงมีความแข็งแรงดีและความแข็งแรงมากกว่าเหล็กธรรมดา

เหล็กดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กเหนียวหล่อ จะต้องเป็นเหล็กดิบที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสมากกว่าปกติ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สะดวกต่อการเทน้ำเหล็กลงในแบบได้ง่าย ในการผลิตแต่ละครั้งจะต้องเติมเศษเหล็กเหนียวผสมประมาณ 1 ใน 3 ของเหล็กดิบ

2.2.2.2.5 เหล็กหล่อโนดูลาร์หรือแกรไฟต์กลม (Nodular Cast Iron or Spheroidal Graphite Cast Iron) เหล็กหล่อชนิดนี้เกิดจากแกรไฟต์ที่ตกผลึกอยู่ในเนื้อเหล็ก มีลักษณะเป็นก้อนกลม ที่ทำให้เหล็กมีคุณสมบัติเหนียวและสามารถรับแรงกระแทกได้ดี เมื่อเทียบกับเหล็กหล่อสีเทา

เหล็กหล่อชนิดนี้ทำได้จากการนำเหล็กหล่อสีเทามาหลอม โดยการผสมแมกนีเซียมลงในน้ำเหล็กก่อนที่จะเทลงในแบบ แต่เนื่องจากโลหะแมกนีเซียมบริสุทธิ์ได้รับความร้อนจะเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงและมีแสงสว่างจ้าเป็นอันตรายแก่ผู้อยู่ใกล้ ดังนั้นโลหะแมกนีเซียมที่นำมาใช้งานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเหล็กจึงอยู่ในรูปของโลหะผสม ที่นิยมใช้กันมากคือ โลหะผสมระหว่างแมกนีเซียมกับนิกเกิล โดยผสมลงในน้ำเหล็กก่อนที่จะเทลงแบบประมาณ 2% ซึ่งโลหะแมกนีเซียมจะเข้าไปทำให้คาร์บอนในเหล็กหล่อแยกตัวออกมาเป็นแกรไฟต์และอยู่ในลักษณะกลม (Spheroid)

2.2.2.2.6 เหล็กหล่อผสม (Alloy Cast Iron) เหล็กหล่อผสมนี้มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของสารหรือโลหะที่ผสมในเหล็กหล่อเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ โลหะที่นิยมผสมในเหล็กหล่อนอกจากส่วนผสมพื้นฐานแล้ว ยังมีธาตุอื่น ๆ อีก เช่น นิกเกิล ซิลิคอน ทองแดง แมงกานีส โครเมียม และโมลิบดีนัม

ชนิดของเหล็กหล่อผสม เหล็กหล่อผสมชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. เหล็กหล่อโครเมียมสูง (High Chromium Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีเปอร์เซ็นต์ของโครเมียม 10 – 30% เนื่องจากโครเมียมจะรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กหล่อเกิดเป็นโครเมียม – คาร์ไบต์ ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อการเสียดสีได้สูง มีอายุการใช้งานยาวนาน

2. เหล็กหล่อซิลิคอนสูง (High Silicon Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีซิลิคอนผสมอยู่ 4 – 6% มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดีมาก

3. เหล็กหล่อนิกเกิล (Nickel Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อไร้สนิม สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

3.1 เหล็กหล่อเพิร์ลไลต์ (Pearlite Cast Iron) มีนิกเกิลผสมอยู่อย่างน้อย 2% เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดในบรรดาเหล็กหล่อนิกเกิลทั้งหมด

3.2 เหล็กหล่อมาร์เทนไซต์ (Martensite Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีคุณสมบัติแข็งและทนต่อการสึกหรอได้ดี

3.3 เหล็กหล่อออสเทนไนต์ (Austenite Cast Iron) มีคุณสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก เป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทนต่อการกัดกร่อน มีความต้านทานไฟฟ้าดี

2.2.2.3 เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน โดยมีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.1 – 1.5% ซึ่งถ้ามีปริมาณคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าจะอ่อนแต่เหนียว แต่ถ้ามีปริมาณคาร์บอนสูงเหล็กกล้าจะแข็งแต่เปราะ

เหล็กกล้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.2.3.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนเป็นหลัก แต่ก็ยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วยซึ่งมาจากการผลิตเหล็กจากสินแร่เหล็ก เช่น ซิลิคอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และแมงกานีส เป็นต้น สามารถพิจารณาธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้า ได้ดังนี้

- เหล็ก 97%
- คาร์บอน 0.05 – 1.5%
- แมงกานีส 0.025 – 1.65%
- กำมะถัน 0.05%
- ฟอสฟอรัส 0.04%
- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) หรือเหล็กเหนียว (Mild Steel) คือ

เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนประสมอยู่ระหว่าง 0.10% ถึง 0.30% เป็นเหล็กกล้าที่ใช้มากที่สุดในงานช่างอุตสาหกรรม สามารถเชื่อม ตัด กลึง ได้ง่าย บีมขึ้นรูปหรือพับงอได้ไม่แตกง่าย มีจำหน่ายเป็นแผ่นบาง แผ่นม้วน ท่อ แท่งยาว เส้นลวด เหล็กฉาก ฯลฯ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำนี้ไม่สามารถนำไปชุบแข็งได้เพราะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ

- เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) คือเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนประสมอยู่ระหว่าง 0.30% ถึง 0.55% มีความเหนียวน้อยลง แต่จะมีความแข็งแรงดึงและความแข็งมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นอกจากนี้ยังให้คุณภาพในการแปรรูปที่ดีกว่า และยังสามารถนำมาชุบผิวแข็งได้

- เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนประสมอยู่ระหว่าง 0.56% ถึง 1.5% เป็นเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูง เชื่อมประสานได้ ชุบแข็งได้ดี แต่เปราะหักง่าย

2.2.2.3.2 เหล็กกล้าประสม (Alloy Steel) คือ เหล็กกล้าที่มีสารอื่นนอกจากคาร์บอนเข้าไปประสมด้วย เพื่อจะได้ให้มีคุณสมบัติพิเศษตามความต้องการในการนำไปใช้งาน ธาตุที่ประสมจะต้องอยู่ในพิสัยที่กำหนด เช่น อะลูมิเนียม นิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม วาเนเดียม เป็นต้น เหล็กกล้าประสมสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

- เหล็กกล้าประสมต่ำ (Low Alloy Steel) คือเหล็กที่มีธาตุอื่น ๆ ประสมอยู่รวมแล้วไม่เกิน 10% ซึ่งจะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับเหล็กคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon Steel)

- เหล็กกล้าประสมสูง (High Alloy Steel) คือเหล็กที่มีธาตุอื่น ๆ ประสมอยู่รวมแล้วเกิน 10% เหล็กในกลุ่มนี้รวมถึงเหล็กเครื่องมือประสมด้วย (Alloy Tool Steel)

ตัวอย่างเหล็กกล้าประสม ได้แก่ เหล็กกล้า – นิกเกิล เหล็กกล้า – โครเมียม เหล็กกล้า – โมลิบดีนัม เหล็กกล้า – แมงกานีส เป็นต้น

อิทธิพลของธาตุประสมที่มีต่อเหล็ก วัตถุประสงค์ในการนำธาตุต่าง ๆ มาประสมในเนื้อเหล็ก สามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. เพื่อให้สามารถทนต่อแรงกระแทกได้สูง
2. เพื่อรักษาความแข็งของผิวให้ทนต่อการสึกหรอหรือการตัด
3. เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี
4. เพื่อเพิ่มสมบัติทางเชิงกลในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำ
5. เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการรับภาระ (Load)
6. เพื่อรักษาความสามารถในการแปรรูปบนเครื่องจักรได้ดี
7. เพื่อเพิ่มสมบัติทางเชิงกล ตลอดจนการควบคุมองค์ประกอบ ซึ่งมีผลกระทบต่อความสามารถในการชุบแข็ง และเพิ่มความเหนียว

สมบัติของธาตุประสมที่เติมลงไปเป็นหลัก เพื่อให้ได้สมบัติของเหล็กกล้าตามต้องการ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

โครเมียม	เพิ่มความแข็งแรง ด้านทานการเป็นสนิม และคงทนต่อ
(Chromium : Cr)	การกัดกร่อน
แมงกานีส	เพิ่มความคงทนในการรับแรงกระแทก เพื่อความเหนียว
(Manganese : Mn)	และคงทนต่อการสึกหรอ
นิกเกิล	เพิ่มความคงทนในการกัดกร่อน เพื่อความเหนียว
(Nickel : Ni)	และความแข็งแรง
โมลิบดีนัม	เพิ่มความแข็งแรง ทนความร้อนสูง คงความแข็งที่อุณหภูมิสูง
(Molybdenum : Mo)	และด้านทานการสึกหรอ
วานาเดียม	เพิ่มความเหนียว ความแข็ง และคงความแข็งที่อุณหภูมิสูง
(Vanadium : V)	
ซิลิคอน	เพิ่มความคงทนในการกัดกร่อน
(Silicon : Si)	
ทังสเตน	คงความแข็งที่อุณหภูมิสูง เพิ่มความแข็งแรง และคงทนต่อ
(Tungsten : W)	การกัดกร่อน

เหล็กกล้าประสมที่ควรทราบ พิจารณาได้ดังนี้

1. เหล็กสแตนเลสหรือเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) คือเหล็กประสมกับโครเมียมและนิกเกิล รวมทั้งสารอื่น ๆ ทำให้คุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่เป็นสนิม

2. เหล็กไฮสปีดหรือเหล็กความเร็วสูง (High Speed Steel : HSS) มีธาตุประสม คือ ทังสเตน โครเมียม และวานาเดียม มีคุณสมบัติพิเศษคือ คงทน มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง เป็นเหล็กที่ใช้ทำดอกสว่าน มีดกลึง และเครื่องมือตัดโลหะต่าง ๆ

3. เหล็กกล้าทนแรงดึงสูง (High Tensile Steel) ส่วนมากจะเป็นการประสมนิกเกิล 1.5% และโครเมียม 1.25% เข้าไปในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นำไปใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น ทำเฟืองเกียร์ เพลาส่งกำลัง และชิ้นส่วนเครื่องจักรต่าง ๆ

4. เหล็กกล้าแมงกานีส (Manganese Steel) ถ้าประสมแมงกานีส 1.5% จะทำให้เหล็กกล้าสามารถรับแรงกระแทกได้ดี เหมาะสำหรับทำโช้ ข้อห้วงต่าง ๆ

ถ้าประสมแมงกานีส 12 – 14% ในเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา จะได้เหล็กกล้าที่มีความทนทานการสึกหรอมาก ใช้ทำรางรถไฟ หัวดอกเข็มบันจัน ตะแกรงเหล็ก กระทะชุดแร่ เป็นต้น

2.2.3 สมบัติและการนำไปใช้งานของเหล็กชนิดต่าง ๆ

โลหะประเภทเหล็ก (Ferrous Metals) ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. เหล็กหล่อ (Cast Iron)
2. เหล็กกล้า (Steel)

2.2.3.1 สมบัติและการนำไปใช้งานของเหล็กหล่อ

สมบัติของเหล็กหล่อสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. ผลิตจากเหล็กดิบสีเทาซึ่งมีซิลิคอนสูง
2. มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูง ประมาณ 2.5 – 4.0%
3. มีสารมลทินปนอยู่มาก
4. มีจุดหลอมเหลวต่ำ
5. รับแรงอัด (Compressive) ได้ดี
6. รับแรงดึง (Tensile) ไม่ดี
7. จะเปราะ หักง่าย ไม่เป็นสปริง
8. ผิวหยาบ เม็ดเกรนโตมองเห็นได้ชัดเจน
9. การรวมตัวกันของคาร์บอนจะอยู่ในรูปแกรไฟต์
10. ผลิตจากเตาคิวโปลา (Cupola)

2.2.3.2 เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron) มีสมบัติและการนำไปใช้งานดังนี้
สมบัติของเหล็กหล่อสีเทา

1. ทนต่อแรงอัดและสามารถรับแรงสั่นสะเทือนได้ดี
2. มีอัตราการขยายตัวน้อย เหมาะกับการทำชิ้นส่วนที่ต้องการขนาดคงที่
3. อุณหภูมิการหลอมละลายต่ำ และมีความเหนียวทำให้สามารถไหลได้ดี
4. มีความแข็งไม่มากนัก สามารถนำไปกัด กลึง เจาะ ไส หรือตกแต่งได้ง่าย
5. คาร์บอนอยู่ในรูปของแกรไฟต์

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อสีเทา ตัวอย่างงานที่ใช้เหล็กหล่อสีเทา ได้แก่ แท่นเครื่องกลึง เสื้อสูบ เครื่องยนต์ ตัวปากกาจับชิ้นงาน แท่นระดับ ท่อน้ำขนาดใหญ่ และฐานเครื่องจักรกลต่าง ๆ เป็นต้น

2.2.3.3 เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) มีสมบัติและการนำไปใช้งานดังนี้
สมบัติของเหล็กหล่อสีขาว

1. มีความเปราะ แปรขึ้นรูปได้ยาก
2. มีความแข็งมาก สึกหรอยาก
3. เม็ดเกรนมีลักษณะเป็นสีขาว
4. ทนต่อแรงกระแทกได้น้อย
5. ทนต่อการเสียดสีได้ดี
6. คาร์บอนอยู่ในรูปของคาร์ไบด์

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อสีขาว เหล็กหล่อชนิดนี้ใช้ทำชิ้นส่วนที่ต้องเสียดสีงานหนัก เช่น เครื่องบดหิน แคร่ สะพานเครื่องกลึงหรือลูกกลิ้ง ล้อรถไฟ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล แม่พิมพ์ จานเจียร์ในเพชร พลอย เป็นต้น

2.2.3.4 เหล็กหล่อมัลลิวเบลหรือเหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron) มีสมบัติและการนำไปใช้งานดังนี้

สมบัติของเหล็กหล่อมัลลิวเบลหรือเหล็กหล่อเหนียว

1. สามารถชุบผิวแข็งได้
2. ทนต่อแรงกระแทกได้ดี
3. สามารถตีขึ้นรูปได้
4. มีอัตราการยืดตัวที่ดี

5. สามารถทำการเชื่อมได้

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อมัลลิสเวิลหรือเหล็กหล่อเหนียว เหล็กหล่อชนิดนี้ใช้ในการทำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เช่น ดุมล้อ ก้านสูบ ฯลฯ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล การเกษตร ชิ้นส่วนเครื่องจักรโรงงานทอผ้า อุปกรณ์งานประปาต่าง ๆ หัวเผื่อน้ำมัน และหัวเผาก๊าซ เป็นต้น

2.2.3.5 เหล็กเหนียวหล่อ (Cast Iron) มีสมบัติและการนำไปใช้งานดังนี้

สมบัติของเหล็กเหนียวหล่อ

1. สามารถชุบแข็งได้
2. มีผิวแข็ง
3. มีความแข็งแรงมาก และความเค้นแรงดึงสูง

การนำไปใช้งานของเหล็กเหนียวหล่อ เหล็กหล่อชนิดนี้สามารถนำไปใช้ทำแผ่นเหล็กชุดดินของรถไถนา

2.2.3.6 เหล็กหล่อโนดูลาร์หรือเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม (Nodular Cast Iron or Spheroidal Graphite Cast Iron) มีสมบัติและการนำไปใช้งานดังนี้

สมบัติของเหล็กหล่อโนดูลาร์หรือเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม

1. สามารถทนแรงดึงได้สูง
2. ทนต่อการสึกหรอได้ดี
3. สามารถรับแรงกระแทกได้ดี
4. ทนต่อความร้อนได้ดี
5. สามารถงอโค้งได้โดยไม่มีรอยแตกปริ
6. สามารถนำไปอบลดความเครียด ชุบแข็ง หรือชุบผิวแข็งได้

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อโนดูลาร์หรือเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม สามารถนำไปใช้ในการทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เครื่องมือการเกษตร ท่อส่งน้ำ ท่อส่งก๊าซ โครงสร้างเครื่องจักรขนาดใหญ่ และชิ้นส่วนเรือเดินทะเล

2.2.3.7 เหล็กหล่อประสม (Alloy Cast Iron) มีสมบัติและการนำไปใช้งานดังนี้

สมบัติของเหล็กหล่อประสม ขึ้นอยู่กับชนิดของสารหรือโลหะที่ประสมในเหล็กหล่อนั้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. โครเมียม (Chromium : Cr) จะรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กหล่อกลายเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ ทำให้เหล็กหล่อมีสมบัติทนต่อการเสียดสีได้สูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
2. แมงกานีส (Manganese : Mn) จะรวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นคาร์ไบด์ ทำให้เหล็กแข็งขึ้น แต่ถ้ามีมากจะทำให้เหล็กหล่อเปราะ
3. ทองแดง (Copper : Cu) จะช่วยให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงในเหล็กหล่อ แต่ถ้ามีมาก (มากกว่า 2%) จะทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงดึงลดลง
4. ฟอสฟอรัส (Phosphorus : P) จะเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนจากกรดเกลือ กรดกำมะถัน และกรดอะซิติก แต่ถ้ามีมากจะทำให้เหล็กหล่อเปราะ มีความเค้นแรงดึงต่ำ
5. นิกเกิล (Nickel : Ni) ทำให้เหล็กหล่อไม่เป็นสนิมและยังช่วยให้เกิดแกรไฟต์
6. โมลิบดีนัม (Molybdenum : Mo) ทำให้เหล็กหล่อทนต่อการพองตัวที่อุณหภูมิสูง และทำให้ชุบแข็งได้ดียิ่งขึ้น

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อประสม สามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. เหล็กหล่อทนการสึกหรอ (Wear Resisting Iron) ใช้ในการทำลูกบดในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นต้น
2. เหล็กหล่อทนความร้อน (Heat Resisting Cast Iron) ใช้ในการทำแบบหล่อโลหะแห่งทำอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเตา อุปกรณ์ของโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น
3. เหล็กหล่อทนการกัดกร่อน (Corrosion Resisting Cast Iron) ใช้ในงานที่ต้องการทนการกัดกร่อนทั่ว ๆ ไป

2.2.3.2 สมบัติและการนำไปใช้งานของเหล็กกล้า สามารถพิจารณาได้ดังนี้

2.2.3.2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel)

คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1. สามารถเชื่อม ตัด กลึง ได้ง่าย
2. บิดขึ้นรูปหรือพับงอได้ไม่แตกง่าย
3. มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.3%
4. อ่อนและเหนียว
5. มีค่าความเค้นแรงดึงต่ำ
6. ไม่สามารถชุบแข็งหรือชุบผิวแข็งได้ เพราะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ

การนำไปใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ตัวอย่างงานที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ได้แก่ ตัวถังรถยนต์ นัด สกรู ถังน้ำมัน สังกะสีมุงหลังคา แผ่นโลหะบาง ๆ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เหล็กโครงสร้างอาคาร ฯลฯ

2.2.3.2.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel)

สมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

1. สามารถชุบผิวให้แข็งได้
2. มีความเค้นแรงดึง
3. แปรรูปได้ง่าย
4. มีความแข็งมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

การนำไปใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เป็นเหล็กกล้าที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เครื่องมือกล และอะไหล่รถยนต์ เช่น ก้านสูบ เพลาส่งกำลัง เกียร์ เฟือง เป็นต้น

2.2.3.2.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel)

สมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง

1. เป็นเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูง
2. เชื่อมประสานได้
3. ทนต่อการสึกหรอได้ดี
4. ชุบแข็งได้ดี
5. มักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคม เช่น มีด สกัด กรรไกร ใบมีดตัดกระดาษ

การนำไปใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง เป็นเหล็กกล้าที่ใช้ในการทำเครื่องมือต่าง ๆ และทำแบบพิมพ์ปั๊มโลหะ เช่น

1. ปริมาณคาร์บอน 0.7% ใช้ทำ คมกรรไกร สกัด
2. ปริมาณคาร์บอน 0.9% ใช้ทำ คัตเตอร์เครื่องกัด มีดกลึง
3. ปริมาณคาร์บอน 1.0% ใช้ทำ สปริง ดอกสว่าน ดอกตัดเกลียว
4. ปริมาณคาร์บอน 1.2% ใช้ทำ ใบมีดโกน สิว ใบกบไสไม้
5. ปริมาณคาร์บอน 1.3% ใช้ทำ ลูกปืนแข็ง ตะไบ
6. ปริมาณคาร์บอน 1.5% ใช้ทำ ใบเลื่อยตัดเหล็ก

สามารถพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติและตัวอย่างการใช้งานของเหล็กคาร์บอนได้ดังตาราง1

ตาราง1 เปรียบเทียบคุณสมบัติและตัวอย่างการใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอน

ชนิด	ปริมาณคาร์บอน (%)	สมบัติ	ตัวอย่างการใช้งาน	หมายเหตุ
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือ เหล็กเหนียว	0.10 – 0.15	อ่อน ยืดตัวได้ดี บิดงอได้ดี ทนแรงกระแทกได้	ลวดเหล็ก ท่อเหล็ก แผ่นเหล็กบาง	
	0.15 – 0.30	รับแรงดึงได้สูง ยืดตัวได้ดี บิดงอได้ดี ทนแรงกระแทกได้ดี	แผ่นเหล็ก นอต สลักเกลียว หมุดย้ำ เหล็กสำหรับตีขึ้นรูป เหล็กฉากและเหล็กโครงสร้างขนาดเล็ก	ชุบแข็งไม่ได้ดี
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	0.30 – 0.70	แข็งแรง และแข็งแรง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำแต่ ยืดตัวไม่ดีเท่า บิดงอได้ไม่ดีเท่า	เพลลา สปริง หัวค้อน ลวดสลึง เหล็กสำหรับตีขึ้นรูป พิมพ์ปั๊ม และชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรง	สามารถอบชุบแข็งด้วยความร้อนได้
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	0.70 - 1.4	แข็ง ไม่สามารถยืดตัวหรือ บิดงอได้ดี ความแข็งแรงจะลดลงเมื่อคาร์บอนมากเกินไป 0.9%	เครื่องมือตัดวัสดุ เช่น สิว สกัด ตะไบ พิมพ์ปั๊ม และพิมพ์ตัด ใบมีดตัดกรรไกร ขวาน ใบเลื่อย	สามารถอบชุบแข็งด้วยความร้อนได้

จากการศึกษาโลหะเหล็กทั้งหมด เราสามารถเปรียบเทียบเหล็กประเภทต่าง ๆ ได้ดังตาราง

ตาราง 2 เปรียบเทียบเหล็กประเภทต่าง ๆ

ชนิด	ชื่อเรียกอย่างอื่น	งานที่ใช้	สมบัติเฉพาะ	ประกายไฟ
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel, คาร์บอน 0.10 ถึง 0.30%)	เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel Machine Steel)	สลักเกลียว หมุดย้ำ สังกะสีมุงหลังคา ท่อไอเสีย ถังน้ำมัน รถยนต์ เหล็กโครงสร้าง โครงรถ ตัวถังรถ	สีดํา เหนียว และ แข็ง แรง เชื่อมได้ง่าย ราคาถูก (แพงกว่าเหล็กหล่อเล็กน้อย)	ประกายเส้นยาว สีเหลืองอ่อน ตอนปลายมีใบแตกขนาดเล็กน้อย
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel, คาร์บอน 0.30 ถึง 0.60%)	-	เพลารถยนต์ รางรถไฟ	-	คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แต่มีประกายและดอกมากกว่า เพราะมีปริมาณคาร์บอนมากกว่า
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel, คาร์บอน 0.60 ถึง 1.50%)	Tool Steel	ค้อน สกัด เหล็กชุดตะไบ	สีดําเป็นมัน	ประกายแตกดาว สีเหลืองจำนวนมาก
เหล็กกล้าคาร์บอนเร็วสูง (High Speed Steel (HSS), คาร์บอน 0.7% ทั้งสแตน 18% โครเมียม 5%)	-	สปริง เกียร์ มีดกลึง ดอกตัด เกลียว ประแจ	แข็งแรง และ เหนียวมาก	ประกายสีแดงเข้มไม่ติดต่อกัน ปลายโต ไม่แตกดาว
เหล็กหล่อ (Cast Iron)	-	แท่นเครื่อง ทังตีเหล็ก	สีเทา เนื้อเป็นเม็ดทราย	มีประกายยาวสีแดงแก่ ตอนปลายมีลูกแตก สีเหลืองจำนวนมาก

2.3 การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI (O1)

การปรับปรุงคุณภาพของเหล็กกล้าเครื่องมืออย่างเหมาะสม หมายถึงการลดต้นทุนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมสนับสนุน ภายในประเทศ

เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (cold work tool steels) ตามความหมายโดยทั่วไป คือ เหล็กกล้าที่ใช้สำหรับผลิตเป็นเครื่องมือต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมสนับสนุน เช่น แม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปโลหะแผ่นประกอบ ด้วย ดิชีขึ้นรูป อัดขึ้นรูป แม่พิมพ์ตัด เกจวัดละเอียดต่าง ๆ ตีแป และตาย เป็นต้น

เหล็กกล้าเครื่องมือ เป็นเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ เช่น คาร์บอน แมงกานีส ทังสเตน โครเมียม โมลิบดีนัม มีความสามารถในการชุบแข็งสูง โดยใช้สารชุบแตกต่างกันไปตามแต่กระบวนการชุบแข็ง ถ้าชุบแข็งด้วยเตาสุญญากาศ การชุบแข็งอาจใช้ก๊าซไนโตรเจนในสภาวะความดัน เป็นต้น และกรรมวิธีโดยทั่วไป ได้แก่ น้ำ น้ำมัน เกลือเหลว และอากาศเป็นสารชุบ ซึ่งที่สำคัญ คือ ต้องควบคุมชิ้นงานเหล็กกล้าไม่ให้เกิดการบิดตัวหรือเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม และโครงสร้างที่ได้เป็นไปตามที่ต้องการ

ผลการชุบแข็งจะปรากฏโครงสร้างคาร์ไบด์ในปริมาณสูง ซึ่งจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อการสึกหรอ สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการได้ เพราะเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นส่วนใหญ่จะผสมธาตุต่าง ๆ มากกว่าสองธาตุ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย และเลือกกรรมวิธีการปรับปรุงให้ตรงกับชนิดการใช้งานได้ เหล็กเครื่องมืองานเย็นส่วนใหญ่แล้วนำเข้าจากต่างประเทศ จะมีราคาสูงนิยมนำมาใช้ผลิตเครื่องมือต่าง ๆ

2.3.1 ประเภทและชนิดเหล็กเครื่องมืองานเย็น

เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นตามมาตรฐาน AISI สามารถแบ่งได้สามกลุ่ม คือ กลุ่ม O กลุ่ม A และกลุ่มที่ผสมโครเมียมสูงและคาร์บอนสูง คือ กลุ่ม D ในที่นี้จะกล่าวถึงเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นกลุ่มที่ชุบแข็งด้วยน้ำมันกลุ่ม O กลุ่มนี้เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่จำแนกได้สี่ชนิด คือ เหล็ก O1 เหล็ก O2 เหล็ก O6 เหล็ก O7

เหล็กกล้ากลุ่ม O นำไปผลิตเป็นเครื่องมือได้หลายชนิด มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.9 – 1.0 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ส่วนผสมของแมงกานีส (Mn) $\times 100$, 1.0 – 2.0% เหล็กเครื่องมือในกลุ่มนี้ ยังสามารถที่จะเพิ่มคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ได้อีกด้วย เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความทนต่อแรงกระแทก แรงดึง การทนทานต่อการสึกหรอ เป็นต้น

การเลือกเหล็กกล้าจะต้องเลือกใช้ชนิดที่มีธาตุแต่ละชนิดผสมในปริมาณที่เหมาะสม เพราะธาตุผสมแต่ละชนิดให้คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน เมื่อเลือกใช้ไม่ถูกต้องแล้ว ย่อมหมายถึงค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น

เหล็กกล้าที่มีในภาคอุตสาหกรรมนั้น มีมากมายหลายชนิด ในการเลือกใช้จะต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้งาน เหมาะสมต่อราคา และการใช้งานสูงสุด เหล็กกล้าเครื่องมือในกลุ่ม O นี้ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานแทนเหล็กกล้าเครื่องมือชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกันได้ เพราะเป็นเหล็กเครื่องมือที่มีราคาไม่สูงมากนัก ผู้ใช้ควรพิจารณาให้รอบคอบ

ขั้นตอนในการชุบเหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับกลุ่ม O และกลุ่ม A จะมีลักษณะและขั้นตอนเหมือนกัน จะมีที่แตกต่างกันบ้างเฉพาะอุณหภูมิออสเทนไนต์ซิง (austenizing) ซึ่งจะเลือกใช้ที่อุณหภูมิสูง ๆ เฉพาะในกรณีที่มีธาตุผสมสูงกว่าขั้นคุณภาพอื่น และการชุบแข็งอาจจะกระทำโดยการชุบในสารชุบประเภทน้ำ

กรณีที่ชิ้นงานมีความหนา หรือขนาดโต ขึ้นแรกจะต้องอบคลายตัว (stress-relief annealing) ก่อนเสมอ เพื่อลดความเค้น หรือถ้าเป็นชิ้นงานที่ผ่านการกัด กลึง ไส เจาะ และเจียระไน เช่น แม่พิมพ์ จำ

เป็นต้องลดความเค้นก่อนที่จะนำไปชุบแข็ง โดยการอบให้ความร้อนถึงอุณหภูมิออสเตไนท์ซึ่ง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิแก่ชิ้นงานมากขึ้นตามลำดับ โดยเริ่มตั้งแต่การเผาอ่อนให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 400 °C

ในกรณีที่ชุบแข็งมีรูปร่างซับซ้อน หรือหนาท่างกันมาก ๆ ยังต้องควบคุมทั้งเวลาและอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการแตกร้าว หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีกเป็นขั้นที่สอง คือการเผาชิ้นงานให้ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไปที่อุณหภูมิ 650 °C แล้วคงอุณหภูมิไว้ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ชิ้นงานได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้นไปอีกจนถึงอุณหภูมิ 850 °C สำหรับเหล็กที่ส่วนผสมสูง หรืออบให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิตามต้องการ

แต่ถ้าเป็นเหล็กกล้าที่ธาตุผสมปานกลาง การเผาเพื่อปรับสภาพความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 650 °C อาจจะไม่จำเป็นสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้จนถึงอุณหภูมิชุบแข็งได้เลย

หลังจากการปล่อยให้อุณหภูมิกระจายทั่วชิ้นงาน ทั้งภายนอกและแกนกลาง แท่งชิ้นงานมีความร้อนสม่ำเสมอ หรือเรียกอีกอย่างว่าช่วงเวลาคงอุณหภูมิ (holding time) แล้ว จากนั้นจึงนำออกมาชุบแข็งในน้ำมัน หรือเป่าด้วยในอากาศ

ถ้าเป็นกรณีการชุบแบบมาร์เทมเปอริง หรือการชุบแบบออสเทมเปอริงจะชุบแข็งในอ่างเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 500 – 550 °C ทั้งไว้ในเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสิ้นสุดตามความต้องการ ในขั้นตอนนี้จะต้องอาศัยแผนภูมิ TTT-Curve ของเหล็กกล้า เพื่อกำหนดเวลาและอุณหภูมิให้ถูกต้อง

หลังจากที่ปล่อยให้เหล็กเย็นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 150 – 180 °C ทุก ๆ กรณีของการชุบแข็งเหล็กกล้าจะต้องนำไปอบคืนตัว (tempering) ที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C (1 hr/thickness 20 mm) ตามความแข็งแรงสุดท้ายที่ต้องการ ดังรายละเอียดที่นำมาแสดงประกอบ

ตาราง 3 คุณสมบัติโดยทั่วไป และการอบชุบ

Type	Major factors					
	AISI	Wear resistance	Toughness	Hot hardness	Usual working hardness, Rockwell C	Depth or Hardness
410	01	4	3	3	57-62	M
411	02	4	3	3	57-62	M
412	-	3	3	3	57-62	M
413	07	5	3	3	58-64	M
414	-	4	3	3	58-62	M

ตาราง 4 ข้อมูลสำหรับการชุบแข็งของเหล็กเครื่องมืองานเย็น

Avail- ability	Cost	Mach- inability	Quench- ing medium	Hardening temperature	Dimensional change on hardening	Manufacturing Factors		
						Safety on hardening	Suscepti- bility to decarburi- zation	Approx hardness es- rolled or forged, SHm
4	1	8	0	1450-1500	M	H	M	325
3	1	8	0	1400-1475	M	H	M	325
2	1	8	0	1450-1600	M	M	M	350
2	1	7	W.O	1450-1625	M	M	M	325
1	1	8	0	1500-1550	M	M	M	325

2.3.2 การอบชุบโลหะด้วยความร้อน

หลักการอบชุบด้วยความร้อน (heat treatment) ของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น มีจุดมุ่งหมายโดยทั่วไป เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเหล็กด้วยการเผาให้ร้อนและปล่อยให้เย็นตัวในอัตราเร็วต่างกัน โดยอาศัยคุณสมบัติของเหล็กที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบผลึกได้ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งอุณหภูมิในการอบชุบที่จะให้ได้รับผลดีมากที่สุดควรจะต้องศึกษาโดยละเอียด เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ของชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยวเสียรูปไปขณะชุบแข็ง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชุบที่ให้ได้ผลดีมากที่สุดนั้น จะมีรายละเอียดอยู่ในตารางการอบคลายความเค้น ดังนั้นก่อนการชุบแข็งนั้นควรกำหนดช่วงอุณหภูมิให้เหมาะสม โดยอาจจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 550 – 650 °C

อุณหภูมิของเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีโครงสร้างสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นออสเทนไนต์นั้น ควรให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 790 – 880 °C และควรอุ่นชิ้นงานก่อนเสมอ ซึ่งการอุ่นชิ้นงานอาจจะกระทำกับชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดสูง และชิ้นงานที่มีขนาดแตกต่างกันมาก ๆ ซึ่งถ้าหากไม่อุ่นชิ้นงานแล้ว อาจมีผลกระทบในช่วงชุบแข็ง ทำให้รูปทรงชิ้นงานบิดเบี้ยว หรือแตกหักไป

นอกจากนี้ ของเหลวที่ใช้ในการชุบแข็งก็มีส่วนสำคัญ ซึ่งจะกล่าวในตอนหลังรวมทั้งการเลือกข้อมูลสำหรับการอบชุบโลหะด้วยความร้อนสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือ, หลักการอบชุบโลหะด้วยความร้อนที่กระทำกับเหล็กเครื่องมือ เพื่อจะให้เหล็กกล้าเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้วยการเผาให้ร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง หรือทำให้เหล็กเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป และการควบคุมคุณสมบัติของเหล็กให้เปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุประสงค์ เช่น ต้องการให้เหล็กมีความอ่อนตัวสูง เพื่อให้การขึ้นรูปได้ดีให้เหล็กมีความแข็งสูงเพื่อทนต่อการขัดสี และต้องการให้เหล็กมีความเหนียวใช้งานที่มีแรงกระแทกและแรงบิดตัวสูงได้ เป็นต้น

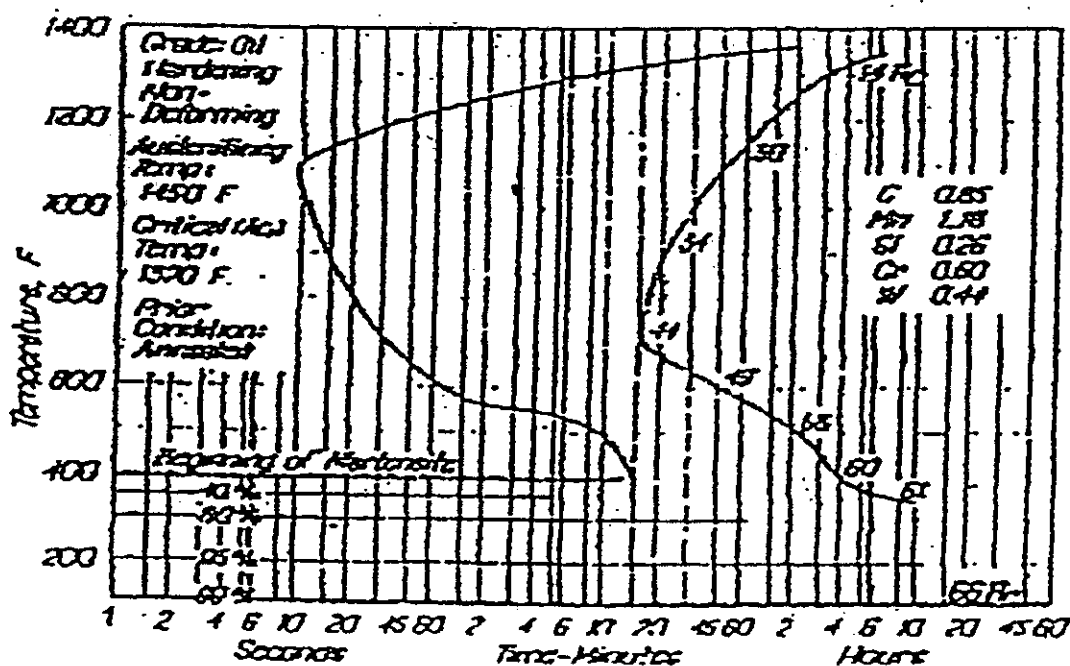
2.3.3 การชุบแข็ง

การชุบแข็ง (hardening) เป็นการอบให้ความร้อน เพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังการชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น มีความทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีที่จะให้ได้โครงสร้างสุดท้ายเป็นมาร์เทนไซต์ ซึ่งการชุบแข็งด้วยสารชุบจะใช้เวลาการเย็นตัวอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเตนไนต์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนต์ มีองค์ประกอบอย่างน้อยสามประการ คือ

1. ปริมาณคาร์บอน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ เพราะการที่ออสเตนไนต์จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนต์
2. อุณหภูมิก่อนการเย็นตัว คืออุณหภูมิที่เหล็กจะต้องเปลี่ยนเป็นออสเตนไนต์ก่อนการจุ่มชุบในสารชุบ เช่น น้ำ หรือน้ำมัน
3. อัตราการเย็นตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งที่ออสเตนไนต์จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนต์ ซึ่งจะต้องเป็นอันตรายเย็นตัวที่สูงสุด จึงปรากฏคำว่า อัตราการเย็นตัววิกฤต หมายถึง อัตราการเย็นตัวของออสเตนไนต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนต์ ถ้าอัตราการเย็นตัวช้ากว่านี้ ออสเตนไนต์จะไม่มีโอกาสเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนต์ แต่จะได้เฟอไรต์ หรือเซอร์ไบต์แทน

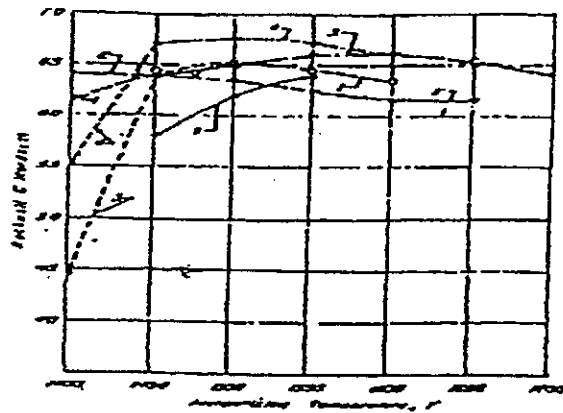
การชุบแข็งของเหล็กเครื่องมือกลุ่ม O มีส่วนผสมของแมงกานีส ซึ่งเป็นธาตุที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง โดยจะให้ค่าความแข็งสูงสุด เมื่ออบชุบที่อุณหภูมิที่พอเหมาะสม แสดงตามตารางที่ 3 อุณหภูมิช่วงขยายตัวของโครงสร้างออสเตนไนต์ของเหล็กเครื่องมือกลุ่ม O มีการค้นพบโดย เพย์สัน และครีน



ภาพประกอบ 12 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิการเกิดโครงสร้างออสเตนไนต์ของเหล็กชนิด O1

หลังจากการออสเตนไนต์ที่ 684 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(สหรัตน์ วงษ์ศรีระและคณะ. 2545: 70)



ภาพประกอบ 13 อุณหภูมิช่วงออสเทนไนต์ของงานที่ชุบน้ำมัน
(สหรัดน์ วงษ์ศรีระและคณะ. 2545: 70)

ตาราง 5 แสดงอุณหภูมิช่วงออสเทนไนต์ของงานที่ชุบน้ำมัน (สหรัดน์ วงษ์ศรีระและคณะ. 2545: 71)

Curve	Type	Composition					
		C	Mn	W	Cr	Mo	V
1	410	0.90	1.10	0.50	0.50	---	---
2	411	0.90	1.55	---	---	0.30	---
3	412	1.20	0.30	1.40	0.40	---	0.20
4	413	1.25	0.30	1.40	0.40	---	0.20
5	414	1.05	0.70	0.50	1.60	---	---

4. การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือนี้อุณหภูมิที่ใช้จะต้องมีความสัมพันธ์กัน จึงจะทำให้ ออสเทนไนต์เปลี่ยนแปลงไปอย่างเหมาะสม แต่ถ้าปล่อยให้เย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง จะมีผลให้ออสเทนไนต์ เกรนค่อนข้างใหญ่

ผลกระทบจากออสเทนไนต์ของเหล็กเครื่องมือชนิดนี้ จะมีส่วนผสมของแมงกานีส และธาตุอื่น ๆ เหล็กเครื่องมือชนิดนี้อาจจะมีค่าความแข็งสูงสุด เมื่อมีอุณหภูมิลดต่ำกว่า 600 °C โดยปกติจะชุบแข็งด้วย น้ำมัน แต่ถ้าเป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีส่วนผสมที่ซับซ้อน อาจจะใช้ไนเป็นสารชุบแข็งแทนได้

การชุบแข็งด้วยน้ำ จะใช้ที่อุณหภูมิ 780 °C หรือต่ำกว่านั้น ส่วนการอบชุบด้วยน้ำมันจะใช้ในอุณหภูมิ 755 °C ทั้งนี้การอบชุบด้วยน้ำมันช่วยให้ลดปัญหาต่าง ๆ ได้ดีกว่า และทำให้เกิดโครงสร้างตามต้องการได้ง่าย

ความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมือโดยการเปรียบเทียบตามทฤษฎีจิมมี่ (Jomimy) มีข้อแนะนำในรายละเอียดสำหรับการอบชุบเพื่อให้ได้ความแข็งเพิ่มขึ้นว่า ไม่สมควรที่จะกระทำเสมอไป เนื่องจากว่าความแข็งสูงมีผลทำให้เกิดรอยแตกร้าวได้และมีโอกาสสูงขึ้น

2.3.4 การอบให้ความร้อน

สิ่งสำคัญประการหนึ่งสำหรับการอบให้ความร้อน (heating) คือ การใช้อุณหภูมิในการอบเผา สำหรับเหล็กแต่ละชนิดนั้นมีอุณหภูมิจำกัด 810 – 840 °C ถ้าใช้อุณหภูมิและเวลามาก ผลเสียหายจะเกิดขึ้นกับเหล็กที่เผา นั่นคือ การเกิดเกรนหยาบ (grain growth) หรือเกิดการไหม้ คือ คาร์บอนถูกดูดซึม (decarization) เมื่อเกิดสิ่งนี้ขึ้น งานนั้นจะเสียหาย กล่าวคือ ชิ้นงานมีความแข็งไม่สม่ำเสมอ มีบางจุดอ่อนกว่าและผิวเป็นสะเก็ด ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักจะเกิดขึ้นเสมอ ๆ และเป็นปัญหาที่ต้องศึกษาต่อไปว่า เพราะเหตุใด ชิ้นงานอบชุบไม่ได้ผลตามต้องการ

การป้องกันสิ่งเหล่านี้จะทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิอย่างถูกต้อง, เวลาในการเผาซึ่งที่อุณหภูมิสูง ๆ อย่างถูกต้อง, ตรวจตราและซ่อมแซมเครื่องวัดต่าง ๆ อยู่เสมอ

การป้องกันการไหม้และการสูญเสียคาร์บอน ทำได้อีกวิธีหนึ่งก็คือ การใช้เตาเกลือ (salt bath) ในการอบแช่ในเวลาอันรวดเร็ว โดยใช้เกลือเป็นตัวกลางในการทำความร้อน และเป็นตัวช่วยมิให้ผิวหน้างานถูกออกซิเจนในขณะอบชุบ ผิวของงานจะไม่มีสะเก็ดและไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชิ้นงานที่บาง ๆ เช่น สปริง อุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าต่าง ๆ หรืองานที่มีจำนวนการผลิตมาก ๆ ติดต่อกันไป หรืองานที่ต้องอบเผาในอุณหภูมิสูง ๆ ทั้งนี้ชนิดของเกลือที่ใช้ขึ้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ต้องการอบชุบ ซึ่งมีเกลือชนิดต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับอุณหภูมิระหว่าง 160 – 1300 °C

ถ้าหากไม่มีเตาเกลือ หรือเตาที่ควบคุมบรรยากาศได้ วิธีป้องกันอีกอย่างหนึ่งที่สามารถจะทำได้ วิธีป้องกันอีกอย่างหนึ่งที่สามารถจะทำได้ คือ ต้องบรรจุชิ้นส่วนเหล็กกล้าเครื่องมือเหล่านี้ลงในกล่องที่มีฝาปิดแล้วใส่ถ่านโค้กหรือถ่านไม้ ซึ่งควรจะเลือกละเอียดหรือโตกว่า

ถ่านโค้กหรือถ่านไม้ที่ใส่ลงไปด้วยนี้ เมื่อถูกความร้อนจะกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งจะเป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้ผิวงานรวมตัวกับออกซิเจน นอกจากถ่านโค้ก หรือถ่านไม้แล้ว กระดาษขาวก็อาจใช้แทนได้

เพื่อการควบคุมผลที่ชัดเจนแน่นอนการวัดอุณหภูมิที่ถูกต้องนั้น ส่วนปลายของเทอร์โมคัปเปิลควรจะอยู่ติดชิดชิ้นงานให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

หลังจากการอบให้ความร้อนได้ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้แล้ว จึงนำชิ้นส่วนเหล่านั้นออกมาจุ่มชุบในสารที่ได้เตรียมไว้ ซึ่งอุณหภูมิของสารชุบที่พอเหมาะในการชุบนั้น ในกรณีที่เป็นน้ำหรือสารละลายน้ำเกลือ ควรจะมีอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซนติเกรด และในกรณีที่เป็นน้ำมันอุณหภูมิที่เหมาะสมและชุบได้ดีที่สุด คือ 50 องศาเซนติเกรด

สำหรับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งเพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งยังคงความเหนียว อาจทำได้โดยใช้น้ำฉีด หรือทำหวัสปรย์ติดในส่วนที่ต้องการชุบ จึงจำเป็นจะต้องออกแบบที่จับยึด และฉีดเฉพาะส่วนของชิ้นงานและรูปร่างที่ต้องการเท่านั้น ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความสะอาด รวดเร็วในการนำชิ้นงานออกจากเตาและการชุบด้วย

สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือที่ใช้ทำขึ้น ส่วนเครื่องมือและเครื่องจักรโดยทั่วไป ส่วนมากเป็นเหล็กที่ชุบที่ใช้สารชุบจากน้ำมันหรืออากาศ ซึ่งมีความเร็วสูง ไม่มีละอองน้ำหรือความชื้นมาก

2.3.4.1 หลักสำคัญในการชุบ ในขณะที่เหล็กกล้าชิ้นงานถูกเผาอ่อนแดงนั้น ชิ้นงานถูกจุ่มลงในสารชุบความร้อนซึ่งถูกแยกตัวออกไปนั้น จะมีอัตราการเย็นตัวไม่เท่ากัน แบ่งได้เป็นสองชั้น คือ

ชั้นแรก ในขณะที่สารชุบเดือดเป็นไอ เมื่อนำเหล็กที่มีความร้อนมากจุ่มลงในน้ำ น้ำมันหรือสารใดก็ตาม สารนั้นจะเดือดกลายเป็นไอ ซึ่งในขณะนั้นความร้อนจะไม่แผ่ขยายออกไปที่สารชุบ แต่จะถูกไอของน้ำ หรือน้ำมันทำให้ลอยขึ้นข้างบน และฟองของไอความร้อนนั้นจะเป็นตัวกั้นความร้อนไม่ให้ขยายออกไปอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ด้วยเหตุนี้ในช่วงแรกของการจุ่มชุบในขณะเดือด จึงจำเป็นต้องทำให้ฟองไวดีดนั้นกระจายจากผิวงาน ซึ่งจะทำให้ได้โดยเคลื่อนที่ชิ้นงานลง หรือโดยการกวาดสารชุบ เช่น น้ำมันให้เกิดการไหลวนเวียน

ชั้นสอง ในขณะที่น้ำ และน้ำมันหยุดเดือด ไอความร้อนจะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นปัญหาเรื่องฉนวนความร้อนจากไอที่เกิดขึ้นจากชั้นแรกจะหมดไป ดังนั้นในชั้นที่สองนี้จึงมีเพียงแต่แขนชิ้นงานให้อยู่เฉย ๆ ความร้อนจะขยายออกไปอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้การแขนแซ่ชิ้นส่วนจะต้องไม่อยู่ชิดพื้นถึงจนเกินไป ควรให้มีระยะประมาณ $1/3 - 1/2$ ของสารชุบในถุง และให้งานแต่ละชิ้นอยู่ในระยะห่างกันพอสมควร รวมทั้งควรใช้น้ำหรือน้ำมันไหลวนเวียน และต้องคอยควบคุมไม่ให้ น้ำ หรือน้ำมันร้อนเกินไป

ปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการจุ่มชุบก็คือ สารชุบมีสิ่งสกปรกปะปนอยู่มาก ฝุ่นละออง หรือสิ่งสกปรกที่ผสมอยู่ในน้ำมันจะรวมตัวกันจับคราบที่ผิวงาน คราบสกปรกที่ไหม้ติดอยู่จะเป็นฉนวนกั้นความร้อนมิให้ออกไปอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้บริเวณนั้นเกิดความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนอื่น ซึ่งเป็นผลเสียหาได้เมื่อนำชิ้นส่วนไปใช้งาน

สารชุบประเภทน้ำมันชนิดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการชุบเหล็กกล้าเครื่องมือคือ น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันถ่านหิน ส่วนน้ำมันเครื่อง หรือน้ำมันผสม ไม่เหมาะกับการชุบเหล็กกล้า เพราะมีอัตราการรับความร้อนไม่คงที่ ติดไฟง่าย และที่สำคัญที่สุด คือเกิดเป็นคราบกั้นความร้อนดังที่ได้อธิบายแล้ว

2.3.4.2 การอบคืนตัวเพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งแรง และเหนียวมากขึ้น ภายหลังจากการจุ่มชุบแล้ว ชิ้นงานควรจะอบคืนตัวทันทีเพื่อเป็นการลดแรงดันซึ่งเกิดจากความเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว การอบคืนตัวนี้จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น ความแข็งไม่ลดลง และทนทานต่อการใช้งานสามารถลดปัญหาการแตกหักได้ดีขึ้น เหนียวมากขึ้น

อุณหภูมิอบนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งและความเหนียวที่ต้องการของชิ้นงานนั้น การอบคืนตัวนี้ควรจะใช้เตาที่มีพัดลมหมุนเวียนอากาศภายใน เพราะอุณหภูมิไม่สูงมากนัก สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ต้องพยายามให้ชิ้นงานได้รับความร้อนเท่ากันทุกส่วนหรืออาจจะใช้ต้มในน้ำมัน หรือเกลือชนิดอุณหภูมิต่ำ

เหล็กกล้าเครื่องมือแต่ละชนิดมีอุณหภูมิในการอบคืนตัวไม่เท่ากัน ฉะนั้นจึงควรปฏิบัติตามกราฟคุณสมบัติ และคำแนะนำของผู้ผลิตเหล็กกล้าแต่ละชนิด การอบคืนตัวนี้วัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้เหล็กเหนียวมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติแล้ว หมายถึง การอบเพื่อต้องการให้คงความแข็ง เพื่อให้ได้ความแข็งตามต้องการ อุณหภูมิการอบคืนตัวนี้ต้องดูจาก ตารางของเหล็กแต่ละชนิดไป

ตามทฤษฎีแล้ว เหล็กกล้าจะมีความแข็งแรงเต็มที่โดยไม่ต้องอบคืนตัว ถ้าหากการอบชุบสามารถชุบไม่ต่ำกว่าศูนย์องศาเซนติเกรด (sub-zero treatment) แต่วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ทำได้ยาก และ

แพง ไม่เหมาะ สำหรับงานอุตสาหกรรมการอบคั้น ตัวกระทำขึ้นก็เพื่อที่จะทำให้โครงสร้างที่เหลือซึ่งยังเปลี่ยนแปลงไม่หมด ให้เปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์

ตัวอย่างของโครงสร้างหรือเกรนที่เหลือนี จะเห็นได้ชัดในเหล็กที่มีส่วนผสมมาก ๆ เช่น เหล็ก ทังสเตน การอบคั้นยิ่งมากครั้ง คือ ครั้งแรก และครั้งสอง ครั้งสาม ความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ และออสเทนไนท์ที่ตกค้างจะลดลง

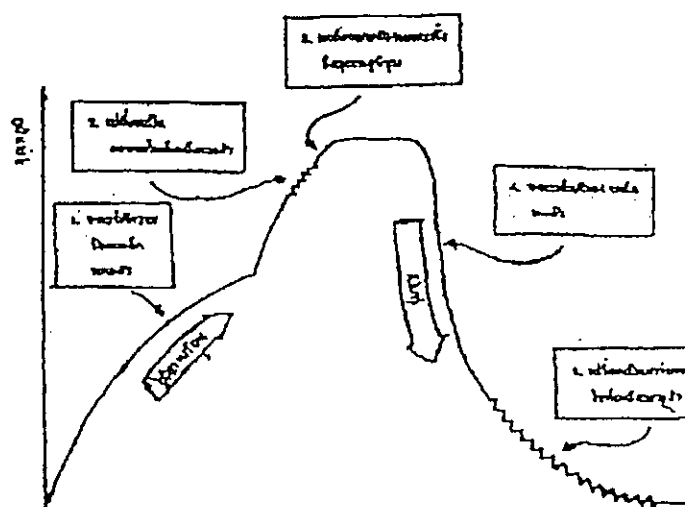
2.3.4.3 การเกิดความเค้นภายในของชิ้นงาน การทำงานเกิดบิต งอ แตก หรือร้าว หรือภายหลังจากผ่านการชุบมาแล้วนั้นก็เพราะว่า มีความเค้นเกิดขึ้นภายใน ความเค้นนี้เกิดขึ้นได้จาก

(ก) ความร้อนภายในเตาร้อนไม่เสมอกัน เช่น ส่วนบนร้อน ส่วนล่างพื้นเตาเย็น จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน หรืออีกอย่างหนึ่งเกิดขึ้นจากชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน มีส่วนหนานาง ผิดกันมาก ส่วนที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยจะได้รับความร้อนสูงกว่าปกติ เมื่อจุ่มชุบ อุณหภูมิจะแตกต่างกันมาก จะทำให้เกิดการแตก หรือบิดงอ เพราะอัตราการเย็นตัวไม่เท่ากัน

(ข) เกิดจากการหดตัว และขยายตัวไม่เท่ากันของเนื้อเหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กกล้าเครื่องมือที่ใช้ทำเครื่องมือที่ต้องการความแข็งมาก ซึ่งมีธาตุหลายอย่างผสมอยู่ ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับความร้อน และคลายความร้อนไม่เท่ากัน ดังนั้นเหล็กเครื่องชนิดพิเศษเหล่านี้จึงจำเป็นต้องอบเผาให้ร้อนขึ้นอย่างช้า ๆ ในขั้นแรก จนกระทั่งเหล็กกล้าได้รับความร้อนทั่วเท่ากันดีแล้ว จึงเร่งความร้อนเร็วขึ้น

นอกจากนี้ ชิ้นงานภายในเตาจะต้องมีฐานรองรับเพียงพอสำหรับชิ้นงานยาว ๆ หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน และจะต้องคำนึงถึงเมื่อเหล็กร้อน เพราะน้ำหนักของเหล็กจะเป็นแรงถ่วงจากส่วนที่ยื่นออกไปโดยไม่มีฐานรับ

(ค) เหล็กกล้ามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในไม่หมดในขณะที่เหล็กเปลี่ยนโครงสร้างจากออสเทนไนต์ไปเป็นโครงสร้างยังเปลี่ยนแปลงไม่หมดนั้น จะเข้ากันได้อย่างดีกับเนื้อเหล็ก แต่ถ้าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมอัลลอยสูง เกรนหรือโครงสร้างที่เหลือจะไม่รวมกับโครงสร้างอื่น แต่จะแยกอยู่เป็นอิสระเมื่อมีส่วนที่อ่อนและแข็งเกิดเป็นช่วง ๆ แรงดึงภายในที่จับยึดระหว่างเกรนจะไม่เท่ากัน ทำให้เหล็กกล้าเกิดการแตกร้าว ซึ่งการแตกร้าวชนิดนี้เป็นผลเสีย เมื่อนำเหล็กนั้นไปใช้งานจะรับภาระไม่ได้ หรือเสียหายเร็วขึ้น



ภาพประกอบ 14 การหดและขยายตัวไม่เท่ากันของเนื้อเหล็ก

(สหรัดน์ วงษ์ศรีษะและคณะ. 2545: 73)

2.3.4.4 สารชุบที่เป็นของเหลวสำหรับการชุบแข็งที่ดี โดยหลักเกณฑ์ทั่วไปจะต้องให้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ออสเทนไนต์แตกตัวไปเป็นเฟไรไลต์ หรือโครงสร้างอื่นที่ไม่ใช่มาร์เทนไซต์ และที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ควรจะให้อัตราการเย็นตัวที่ช้าลงในช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงจากออสเทนไนต์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ ซึ่งจะเป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200 – 400 °C ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดภายในกับชิ้นงานเหล็กกล้า มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการบิดตัว หรือแตกร้าวขึ้นได้

การถ่ายเทความร้อนที่สารชุบในสถานะของเหลวชนิดมีจุดเดือดกลายเป็นไอ สามารถแยกออกเป็นได้สามลักษณะที่แตกต่างกัน

ขั้นแรก เมื่อสารชุบสัมผัสกับแท่งเหล็กร้อน โดยจุ่มแท่งเหล็กกลงไป ของเหลวจะสัมผัสกับแท่งเหล็กที่ร้อนจัด ของเหลวรอบ ๆ จะรับความร้อนสูงจนกลายเป็นไอหุ้มแท่งเหล็กไว้ในลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ การถ่ายเทความร้อนในช่วงนี้จะช้า ๆ เพราะความร้อนต้องผ่านฟิล์มบาง ๆ ซึ่งมีสภาพเป็นตัวนำความร้อนต่ำ แต่จะเป็นอยู่ในระยะสั้น ๆ เมื่อไอของเหลวรวมตัวกันมากก็จะลอยขึ้น หรืออาจจะแตกออก

ขั้นที่สอง เมื่อฟิล์มบาง ๆ ของไอที่หุ้มแท่งเหล็กแตกออก ของเหลวที่อยู่รอบนอกจะเข้าสัมผัสแท่งเหล็ก ในช่วงนี้ของเหลวกลายเป็นไอ แต่ไม่โอกาสหุ้มแท่งเหล็กเหมือนในครั้งแรก ทั้งนี้เพราะของเหลวอยู่ที่ในสภาพเกิดอาการเดือด และกลายเป็นไอ ทำให้มีลักษณะเหมือนกับการกวนของเหลว จึงมีโอกาสมสัมผัสกับแท่งเหล็กอยู่ตลอดเวลา และถ่ายเทความร้อนได้ปริมาณมาก ยิ่งการเป็นไอที่เกิดขึ้นจากความร้อนจากแท่งเหล็กกล้า ยิ่งทำให้ถูกถ่ายเทความร้อนได้มาก ซึ่งในขั้นนี้อัตราการเย็นตัวสูงมาก

ขั้นที่สาม เป็นขั้นที่มีอัตราการเย็นตัวช้าลง เมื่อความร้อนจากแท่งเหล็กน้อยลง อุณหภูมิของเหลวเริ่มต่ำลงกว่าจุดเดือดความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปโดยการพาด้วยของเหลวเพียงอย่างเดียว จึงทำให้อัตราการเย็นตัวลดต่ำลงจนถึงจุดที่อุณหภูมิเท่ากันทั้งแท่งเหล็ก และของเหลว

สารที่ใช้จุ่มชุบการจุ่มชุบเหล็กกล้ามีส่วนที่ต้องพิจารณาสี่ข้อ คือ 1. ส่วนผสมของโลหะ 2. ขนาดของชิ้นงาน 3. สารที่ใช้ชุบ 4. อุณหภูมิของสารในถังชุบ

ส่วนผสมของเหล็กต่าง ๆ นั้นถือว่ามีความสำคัญเป็นอันดับแรก เหล็กคาร์บอนต่ำไม่สามารถที่จะชุบแข็งได้ แต่ถ้าเหล็กกล้ามีคาร์บอนมากกว่า 0.25% ขึ้นไป จึงจะชุบแข็งได้ ทั้งนี้โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว อัตราการเย็นตัวเวลาจุ่มชุบต้องรวดเร็ว ส่วนเหล็กผสมที่มีคาร์บอนมากกว่า 0.25% รวมอยู่ด้วย ถ้าให้อัตราการเย็นตัวเวลาจุ่มเป็นไปอย่างช้า ๆ ความแข็งที่ได้จะลึกลง และถ้าจะให้ดีที่สุด ส่วนผสมของโลหะต้องมีคาร์บอนสูงและแมงกานีสที่ต่ำ

2.3.4.5 ขีดความสามารถของสารที่ใช้ชุบมีดังต่อไปนี้

(ก) 5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (5% sodium hydroxide) เป็นตัวช่วยให้โลหะเย็นตัวเร็วที่สุด และทำให้ชิ้นงานสะอาดหลังจากจุ่มชุบ นอกจากนั้นไม่เป็นอันตรายต่อชิ้นงาน ไม่กัดกร่อนชิ้นงานที่จุ่มชุบ ส่วนข้อเสียต่อผู้ปฏิบัติงาน คือ จะทำให้รู้กลิ่นคั้นตามผิวหนังเมื่อโดนมันเข้า ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานควรใช้เครื่องมือป้องกันสำหรับการเคลื่อนย้าย หรือขณะทำงาน

(ข) เกลือ (brine solution) สารละลายน้ำเกลือนี้นี้เป็นตัวช่วยลดไอน้ำที่ปกคลุมบนผิวหน้าของสารชุบต่าง ๆ อัตราการเย็นตัวของน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นเกือบถึงจุดเดือดของน้ำถึง 10% เนื่องจากไอน้ำไปปกคลุมผิวหน้าของน้ำ ทำให้ยากแก่การระบายความร้อน

(ค) น้ำที่อุณหภูมิ 20 °C (water at 20 °C) เป็นสารชุบที่หาง่าย และสะดวกที่สุดในบรรดาสารชุบชนิดต่าง ๆ อัตราการเย็นตัวของน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นเกือบถึงจุดเดือดของน้ำถึง 10% เนื่องจากไอน้ำไปปกคลุมผิวหน้าของน้ำ ทำให้ยากแก่การระบายความร้อน

(ง) น้ำมัน (oil) น้ำมันเป็นสารชุบที่มีคุณสมบัติป้องกันการบิดตัวของชิ้นงานในขณะชุบดีกว่าสารชุบอื่น ๆ ทั้งยังลดความเครียดต่าง ๆ ภายในชิ้นงานได้อีกด้วย และยังป้องกันการแตกหักของชิ้นงานขณะชุบได้ดีกว่าดีสารอื่นอีก ๆ น้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ก็สามารถใช้เป็นสารชุบได้เช่นกัน หากแต่น้ำมันมีกลิ่นเหม็น และยังจับตัวกันเป็นยางเหนียว ๆ เมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะใช้น้ำมันจากธรรมชาติเป็นดีที่สุด นอกจากนั้นราคายังถูกกว่า และหาง่าย

การเลือกใช้น้ำมัน มีข้อควรพิจารณาคือ น้ำมันต้องมีอัตราการเย็นตัว และคุณสมบัติตามความต้องการของเหล็กที่ใช้ชุบ ต้องมีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงง่าย หาได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะที่ร้อน มีค่าความข้นสูง ไม่เปลี่ยนแปลงอัตราการเย็นตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

(จ) อากาศ (air) เหมาะสำหรับงานที่มีขนาดเล็ก ๆ ป้องกันการบิดของงานได้ดี แต่จะเกิดผิวเสียขึ้นแก่ผิวของชิ้นงาน

การเลือกสารที่ใช้ชุบ ถือเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของสารชุบแต่ละชนิดให้ละเอียดถี่ถ้วน ก่อนที่จะตัดสินใจใช้สารชุบชนิดใด เพื่อคุณภาพของงาน และประสิทธิภาพในการทำงาน

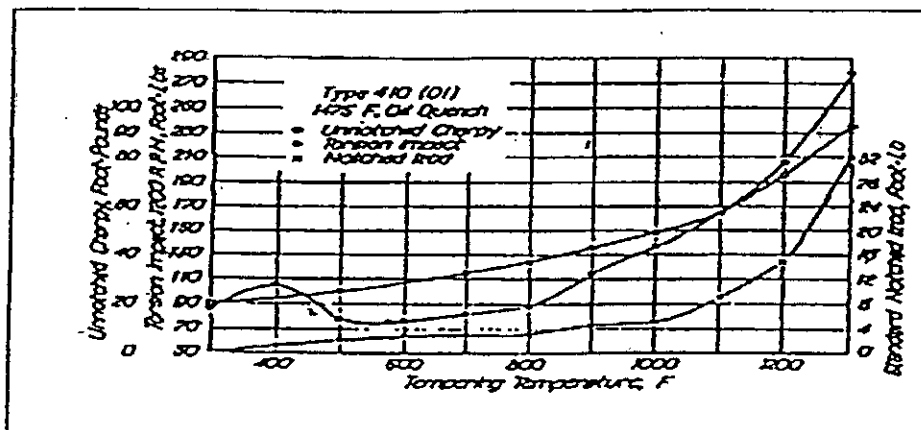
2.3.5 การอบคืนตัว

เหล็กกล้าภายหลังการชุบแข็ง จะมีโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนต์ และออสเทนไนต์ที่เหลือค้าง ถ้าเป็นเหล็กคาร์บอนสูงจะมีไฮโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์กระจายอยู่ทั่วไป นอกจากนี้เหล็กที่ผ่านชุบแข็งจะเกิดความเครียดภายใน อันเนื่องมาจากรีบเย็นตัวจากอุณหภูมิสูง คุณสมบัติของเหล็กกล้าตามลักษณะที่กล่าวจะมีความแข็งสูง แต่จะขาดคุณสมบัติด้านความเหนียวไม่ทนต่อแรงกระแทก และความเครียดภายในที่เกิดขึ้นจะมีส่วนทำให้ชิ้นงานบิดงอ หรืออาจเกิดการแตกร้าวในขณะใช้งานได้

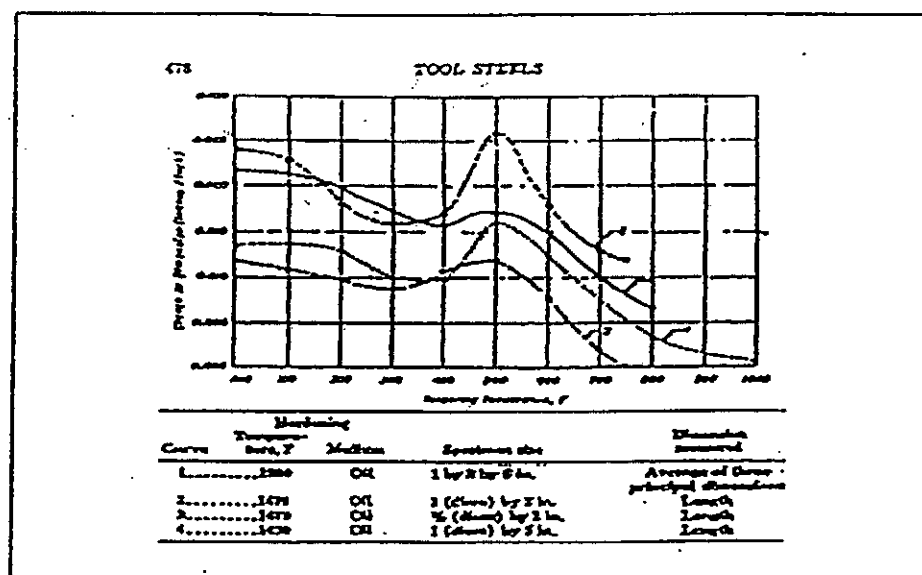
ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็ง ก่อนนำไปใช้งานจะต้องนำมาอบคืนตัว เพื่อคลายความเครียดภายในให้หมดไป หรือทำให้เหลืออยู่น้อยที่สุด และในขณะเดียวกันจะทำให้มาร์เทนไซต์แตกตัวให้โครงสร้างกิ่งสมดุล ซึ่งจะมีผลอย่างกว้างขวางต่อคุณสมบัติของเหล็ก เช่น ความแข็งจะลดลง แต่ความเหนียวจะกลับสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิของการอบคืนตัว และเวลาที่ใช้ อิทธิพลของการอบคืนตัวเพื่อลดความแข็ง ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 142 – 236 °C

ตาราง 6 อิทธิพลของอุณหภูมิของการอบคืนตัวต่อความแข็งของเหล็กเครื่องมืองานเย็น

Curve Type	Composition						Quenching medium	Specimen size
	C	Mn	W	Cr	Mo	V		
1 ... 410	0.95	1.10	0.50	0.50	...	0.20	1450	Oil
... 411	0.90	1.55	...	...	0.30	...	1450	Oil
2 ... 412	1.20	0.25	1.60	0.70	0.25	0.25	1475	Water
3 ... 413	1.25	0.70	0.50	1.60	...	...	1550	Oil



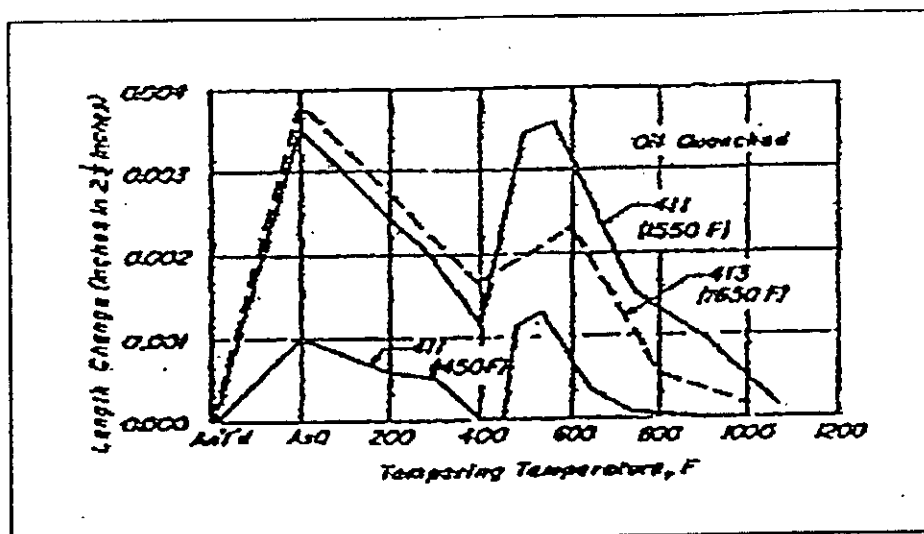
ภาพประกอบ 17 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบคืนตัวต่อความเหนียวของเหล็กเครื่องมือ
ที่มีแมงกานีส 1.2 % ของเหล็กชนิด O1
(สหรัตน์ วงษ์ศรีษะและคณะ. 2545: 77)



ภาพประกอบ 18 ขนาดของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปของเหล็ก O1 ในการอบคืนตัว
(สหรัตน์ วงษ์ศรีษะและคณะ. 2545: 7)

ตาราง 7 ขนาดของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปของเหล็ก O1 ในการอบคืนตัว

Curve	Hardening		Specimen size	Dimension measured
	Temperature	Medium		
1	1500	Oil	1 by 3 by 6 in	Average of three principal dimension
2	1500	Oil	2 (dia) by 2 in	Length
3	1500	Oil	3/8 (dia) by 2 in	Length
4	1500	Oil	1 (dia) by 5 in	Length



ภาพประกอบ 19 ระยะการเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิของการอบคืนตัวของเหล็กชนิด 01
(สหรัตน์ วงษ์ศรีระและคณะ. 2545: 81)

2.3.6 สรุป

ความนิยมเลือกใช้เหล็กกล้าในกลุ่มนี้ โดยเฉพาะเหล็ก 01 นั้นเป็นเพราะความแข็งแรงที่ได้จากการชุบที่อุณหภูมิสูงซึ่งต่ำ ซึ่งเป็นการผลิตที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการชุบแข็ง โดยความแข็งแรงของผิวชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่จะไม่รับอิทธิพล over heating เพราะมีความเหนียวมากกว่าชนิดอื่น เหล็กกล้า 01 นี้ นิยมใช้ทำใบมีดตัดพลาสติก เกจวัด ใบมีดกระดาศ พิมพ์ตัด ใบมีดตัดเหล็กแผ่นบาง ดอกคว้านรูเรียบ เหล็กทำพิมพ์งานเย็น พิมพ์พลาสติก ดอกตัดใบ ลูกรีด ดอกสว่าน

การเลือกเหล็กเครื่องมือต้องพิจารณาองค์ประกอบสองประการ คือ 1. ลักษณะการทำงานของเครื่องมือ และ 2. ปัญหาหรือข้อจำกัดในการผลิตเครื่องมือ นั้น ๆ

ลักษณะการทำงานของเครื่องมือเหล็กเครื่องมือโดยทั่วไป จะใช้ผลิตเครื่องมือหลายอย่าง ซึ่งสามารถจำแนกได้ห้าประเภท

1. เครื่องมือขึ้นรูป (forming tools) ใช้ได้ทั้งเครื่องมือขึ้นรูปงานร้อนหรือเย็น เช่น เครื่องมือขึ้นรูปร้อน เครื่องมืออัดขึ้นรูป เครื่องมือขึ้นรูปงานลึก งานเย็นพิมพ์รีดเกลียว และพิมพ์อัดขึ้นรูป เครื่องมือดังกล่าวเมื่อใช้งานสัมผัสกับโลหะงาน ขณะขึ้นรูป และอาจเกิดความเค้นสูงเป็นระยะเวลานาน ๆ ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญประการแรกความต้านทานต่อการเสียดสี ร่องลงมา คือ ความเหนียว และความสามารถตัดแต่ง แต่ถ้าใช้งานร้อนต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ความแข็งแรงขณะร้อน

2. เครื่องมือตัดเฉือน (shearing tools) ได้แก่ กรรไกรตัดโลหะ เครื่องมือตัดงานตีขึ้นรูป หรืองานปั๊ม งานพิมพ์ตัดเจาะด้วยคัตเตอร์ตัดโลหะแผ่น ฟันซ์ และตัวเจาะงานแผ่นงาน เครื่องมือเหล่านี้ต้องรับ

ความเค้นสูง โดยเฉพาะความหนา ดังนั้นนอกจากจะต้องทนต่อการเสียดสีแล้ว จะต้องมีความเหนียวสูงด้วย เพื่อรักษาขอบคม และขนาดเครื่องมือ คุณสมบัติอันดับรองลงมา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดขณะอบชุบต้องน้อยที่สุด ซึ่งถ้าหากเครื่องมือมีความยาว หรือซับซ้อนแล้ว จะต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดเป็นสำคัญอันดับแรก

3. เครื่องมือตัดแต่งโลหะ เครื่องมือเหล่านี้ ได้แก่ มีดกัด มีดไส มีดกลึง สกัด มีดคว้าน และ คัตเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งต้องการความแข็งและทนทานต่อการเสียดสีเป็นอันดับแรก ส่วนรองลงมา ได้แก่ ความเหนียว และความสามารถในการเจียระไน

4. แม่พิมพ์ (molding tools) ได้แก่ พิมพ์งานพลาสติกแบบหล่ออัดฉีด และแบบถาวรสำหรับสังกะสี อะลูมิเนียม และทองแดง ตลอดจนเครื่องมือขึ้นรูป เครื่องมือที่ทำด้วยผงโลหะ อิฐ เซรามิก

5. เครื่องมือต่าง ๆ ชิ้นส่วนที่ต้องเกิดการเสียดสีขณะใช้งาน จะต้องมีความต้านทานการเสียดสีสูง ชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงกระแทกต้องมีความเหนียวสูง และเกจต่าง ๆ ต้องการความแข็งสูง ผิวเรียบ และมีขนาดแน่นอน ดังนั้นข้อพิจารณาขั้นตอนแรกในการเลือกเครื่องมือเหล่านี้ก็คือ การพิจารณาว่าเครื่องมือนั้นต้องการคุณสมบัติด้านใด

2.4 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องย่อยกระดาษ

2.4.1 เพลา (Shaft)

เพลาเป็นชิ้นส่วนทางกลที่หมุนเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงขณะใช้งาน ใช้ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิดและถ่ายทอดการหมุนของชิ้นส่วนทางกลที่ติดตั้งอยู่กับเพลา เช่น มู่เลย์ ล้อเฟือง คัปปลิง เฟืองโซ่ หรือ ลูกเบี้ยว เป็นต้น ภาระที่กระทำกับเพลาจึงเกิดขึ้นทั้งการหมุนบิดและการโก่งงอ

(ปรีชา ทิมทอง.2543 :226)

2.4.1.1 ลักษณะของเพลาแบ่งตามรูปร่างหน้าตัด โดยทั่วไปมีอยู่ 6 หน้าตัด คือ

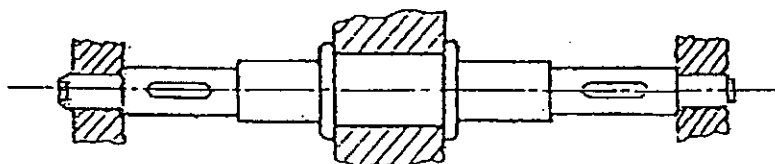
เพลาตัน ใช้งานโดยทั่วไป ลักษณะอาจออกแบบเป็นเพลาเกลี้ยงไม่มีปาดใด ๆ แต่ส่วนใหญ่ มักใช้งานในลักษณะกลึงขึ้นรูปเป็นขั้นหรือเป็นปาดเพื่อกำหนดตำแหน่งส่งถ่ายกำลัง เช่น ล้อมู่เลย์ ล้อเฟือง

เพลากลวง ออกแบบใช้งานเพื่อลดน้ำหนักเพลา ซึ่งจะเบากว่าเพลาตันประมาณ 25 % ใช้ทำเป็นเพลาเมนหลัก(Main Spindle) ของเครื่องมือกลทั่วไป เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด

เพลาสปลายน์ ใช้ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิดของชุดล้อต่าง ๆ

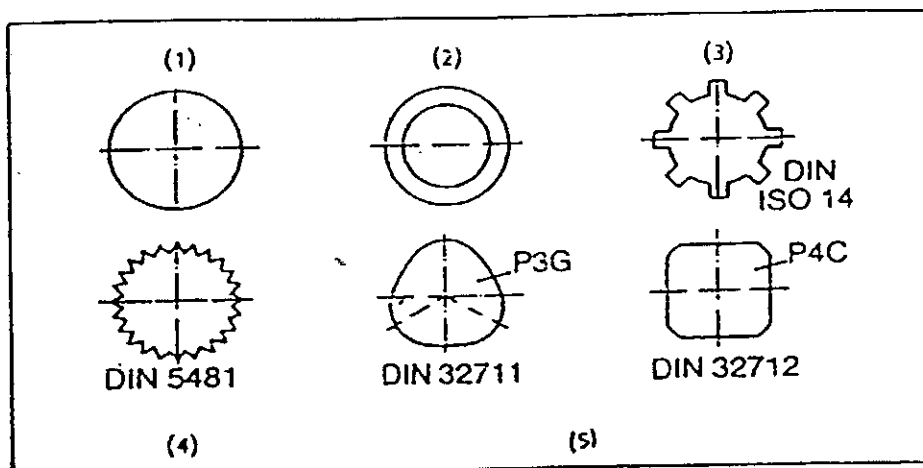
เพลาซี่ฟัน ใช้จับยึดและส่งถ่ายกำลังของคันโยกต่าง ๆ

เพลาโพลีคอน ใช้ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิดของชุดล้อ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ขัดตัวเพื่อส่งถ่ายกำลัง



ภาพประกอบ 20 แสดงรูปร่างลักษณะของเพลา

(ปรีชา ทิมทอง.2543 :226)



ภาพประกอบ 21 แสดงรูปร่างหน้าตัดของเฟลา
(ปรีชา ทิมทอง.2543 :227)

2.4.1.2 วัสดุทำเฟลา โดยปกติเฟลาจะทำจากวัสดุต่าง ๆ ดังนี้

เหล็กเหนียว หรือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) เช่น st37 st42 st44 และ st60
เหมาะสำหรับงานที่รับภาระไม่มากนักหรือภาระปกติทั่วไป เช่นเฟลาของระบบสายพานลำเลียง อุปกรณ์ต้น
กำลังขับที่มีขนาดขับไม่มากนัก

เหล็กกล้าผสมต่ำความต้านแรงสูง (High Steel, Low alloy Steel) ได้แก่
25CrMO4 28Mn6 ตัวอย่างเช่น เฟลาของรถยนต์ แกนเฟลามอเตอร์ เฟลาเครื่องมือกล เป็นต้น

เหล็กกล้าชุบผิวแข็ง (Case Hardening Steel) ได้แก่ เกรด C15 ck15 17cr Ni
MO6 เป็นต้น วัสดุกลุ่มนี้เฟลาจะมีผิวแข็งทนการสึกหรอได้ดี ส่วนแกนกลางจะเหนียว ทำให้ทนทานต่อแรง
กระตุกเป็นพิเศษ อายุการใช้งานยาวนาน

2.4.1.3 การออกแบบเพื่อหาขนาดของเฟลา จะต้องมีการพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ คือ

1. กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่เฟลาต้องส่งกำลัง
2. ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเฟลา รวมทั้งรูปร่าง ขนาด วัสดุทำเฟลา และผิวงาน
สำเร็จของเฟลาซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเค้นสะสม (Stress Concentration)
3. ความแกร่ง (Rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือบิดไปของ
เฟลาเมื่อรับภาระ
4. ความเร็ววิกฤตของเฟลา (Critical Speed)

โดยปกติในการออกแบบขนาดเฟลาสำหรับงานทั่วไป จะพิจารณาในหัวข้อที่ 1 และ 2 นั่นคือ
จะพิจารณากำลังงาน ภาระ แล้วคำนวณตรวจสอบความเค้นที่เกิดขึ้นกับเฟลาเพื่อให้ได้ค่าปลอดภัยที่เพียงพอ
สรุป ผู้วิจัยเลือกใช้เฟลาดันแบบมีร่องผ่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม. ทำจากวัสดุเหล็ก
เกรด AISI C1137 เพราะสามารถทนต่อโมเมนต์แรงบิดที่ออกแบบไว้ อีกทั้งทนทานต่อการสึกหรอและการ
แอ่นตัวของเฟลาได้

2.4.2 เฟือง (Gears)

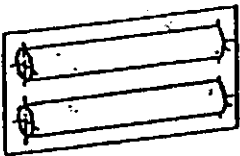
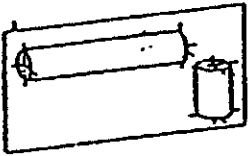
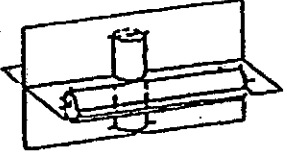
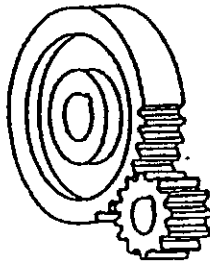
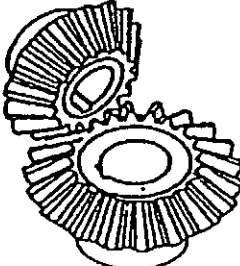
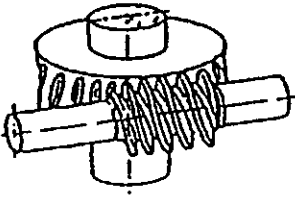
เฟืองเป็นชิ้นส่วนทางกล ใช้สำหรับส่งถ่ายกำลังจากเพลานึงสู่อีกเพลานึงโดยอาศัยรูปทรงของฟันเฟืองขัดส่งกำลัง ทำให้ปราศจากการลื่นไถล ใช้งานอย่างแพร่หลายในเครื่องจักรอุปกรณ์ นับตั้งแต่การส่งกำลังเพียงเล็กน้อย เช่น ลานนาฬิกา จนถึงการส่งกำลังมากๆ เช่น ในงานรีดโลหะ (ปรีชา ทิมทอง.2543 :128) ดังนั้นเฟืองจึงมีหน้าที่หลักอยู่ 3 ประการคือ

1. ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิด (Torque)
2. ทดรอบการหมุน (Speed Ratio)
3. เปลี่ยนทิศทางการหมุน (Change Direction)

รูปทรงเฟืองต่างๆและการใช้งาน (Gear Forms) (ปรีชา ทิมทอง. 2543 :145)

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งประเภทของเฟืองตามตำแหน่งการวางตัวของเพลาคือ 3 รูปแบบคือ

- 2.4.2.1 แบบเพลาวางตัวขนานกัน
- 2.4.2.2 แบบเพลาวางตัวตั้งฉากกันหรือเอียงทำมุมต่อกัน
- 2.4.2.3 แบบเพลาวางตัวขนานกัน

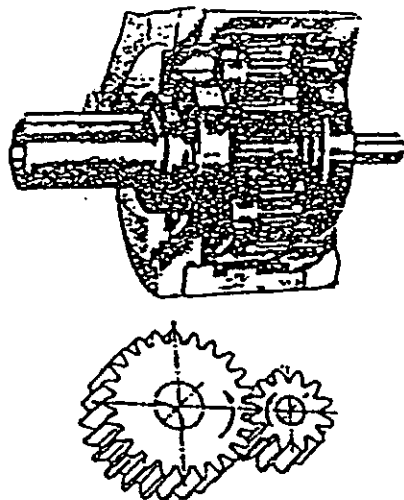
ตำแหน่ง	เพลาวางตัวขนานกัน	เพลาวางตัวตั้งฉากกัน	เพลาวางตัวเอียงกัน
			
ตัวอย่าง			

ภาพประกอบ 22 รูปทรงเฟืองชนิดต่างๆ และการใช้งาน

(ปรีชา ทิมทอง.2543 :128)

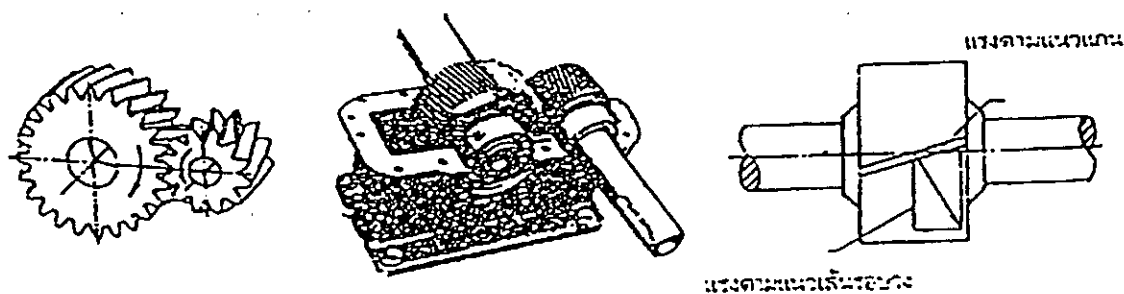
2.4.2.1 เพลาวางตัวขนานกัน ตัวอย่าง เฟืองลักษณะนี้ได้แก่ เฟืองฟันตรง เฟืองฟันเอียง เป็นต้น
เฟืองฟันตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองรูปทรงพื้นฐาน ซึ่งฟันเฟืองจะวางตัวขนานกับแกนเพลาส่งถ่ายกำลังได้ความเร็วรอบถึง 20 m/s

ข้อดี ของเฟืองฟันตรง คือ ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูง อัตราการสึกหรอของฟันต่ำ เนื่องจากมีผิวสัมผัสของฟันเต็มหน้าตลอด ข้อด้อย หากใช้งานรอบสูงจะเกิดเสียงดังเนื่องจากขณะหมุนทำงานจะมีเพียง 1 หรือ 2 ซี่ฟันเฟืองที่ขบสัมผัสกันอยู่เท่านั้นและจากเสียงที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนตามมา



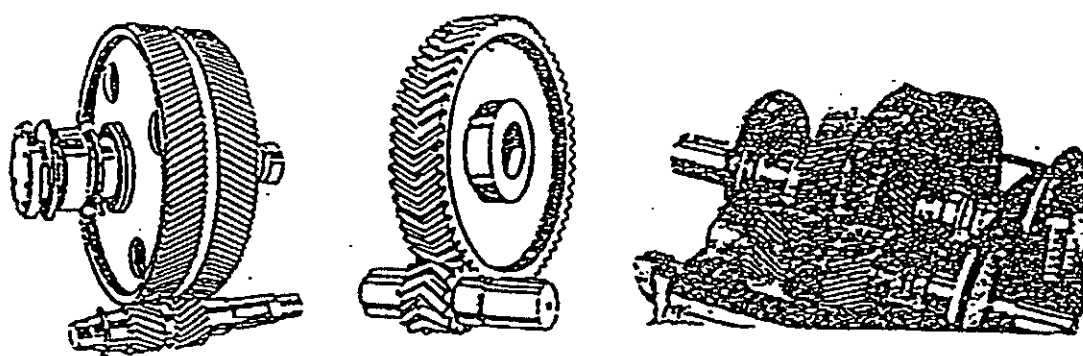
ภาพประกอบ 23 ลักษณะของเฟืองฟันตรง
(ปรีชา ทิมทอง.2543 :129)

เฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) ลักษณะซี่ฟันเฟืองจะวางเอียงทำมุมกับแกนเพลาสสามารถหมุนส่งกำลังที่ความเร็วรอบสูงๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งหากฟันเฟืองผ่านการเจียรระในมาจะหมุนได้ความเร็วรอบสูงถึง 100 m/s ขณะใช้งานเสียงจะเจียบเบาและหมุนได้ราบเรียบกว่าเฟืองฟันตรง ข้อด้อย ของเฟืองฟันเฉียง คือ ขณะส่งกำลังจะเกิดแรงดันในแนวแกนเพลหรือแรงดันด้านข้าง(Thrust Force) ดังนั้นจึงต้องออกแบบบรรจุให้สามารถรับแรงดังกล่าวได้ด้วย



ภาพประกอบ 24 ลักษณะเฟืองฟันเฉียง
(ปรีชา ทิมทอง.2543 :129)

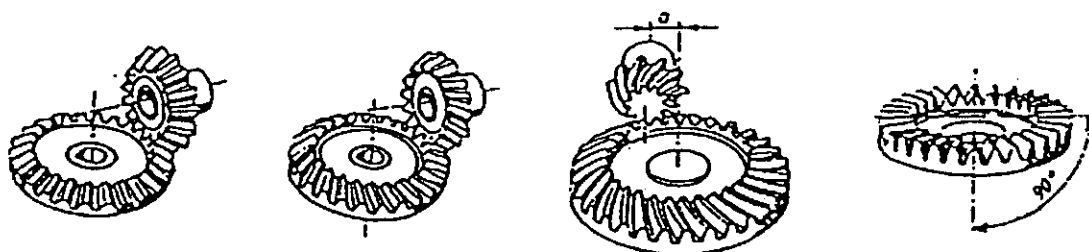
เฟืองฟันเฉียงสองทิศทางหรือ เฟืองก้างปลา(Herringbone Gear) จากสภาพปัญหาเกิดแรงในแนวแกนของเฟืองเฉียง เราสามารถออกแบบฟันเฟืองให้มีทิศทางเฉียงซ้ายและขวายูบงเฟืองเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถขจัดแรงในแนวแกนลงได้ ตลอดจนสามารถส่งถ่ายกำลังได้สูงขึ้นในสภาพการหมุนที่ราบเรียบ แต่มีข้อเสียคือ ผลิตยาก ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง



ภาพประกอบ 25 ลักษณะเฟืองฟันเฉียงสองทิศทาง
(ปรีชา ทิมทอง.2543 :130)

2.4.2.2 เพลาวางตัวตั้งฉากกันหรือเอียงทำมุมต่อกัน

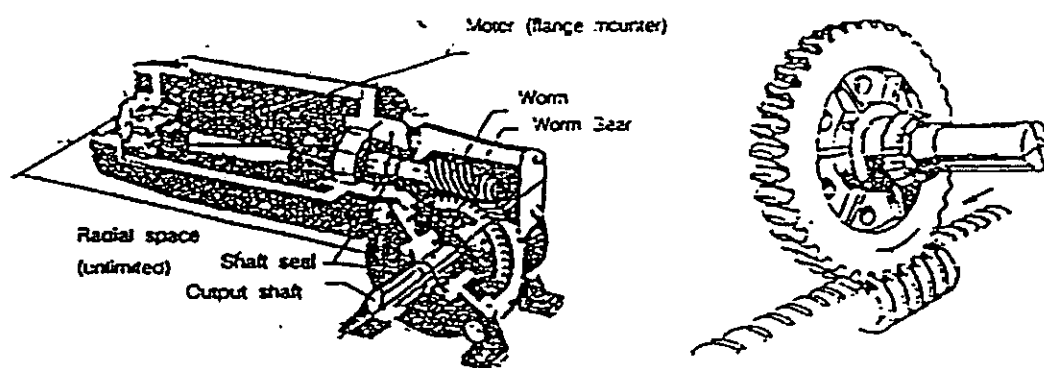
เฟืองที่ใช้งานลักษณะนี้ได้แก่ เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) ซึ่งมีทั้งชนิดฟันตรง ฟันเฉียงหรือฟันเลื่อย สามารถส่งถ่ายกำลังและโมเมนต์แรงบิดจากเพลาหนึ่งสู่อีกเพลาหนึ่งที่เอียงทำมุมต่อกันได้ดี รูปทรงล้อเฟืองจะเป็นรูปทรงกรวยเรียว แล้วตัดซี่ฟันบนผิวเรียบนั้น



ภาพประกอบ 26 ตัวอย่างเฟืองดอกจอกแบบต่างๆ
(ปรีชา ทิมทอง.2543 :131)

2.4.2.3 เพลาวางตัวตัดขวางกัน ตัวอย่างเฟืองชนิดนี้ได้แก่ ชุดเฟืองหนอน เฟืองเฉียงฟันเลี้ยว ใช้
ส่งกำลังกรณีแกนเพลาวางตัวตัดขวางกัน

เฟืองหนอน (Worm Gear)

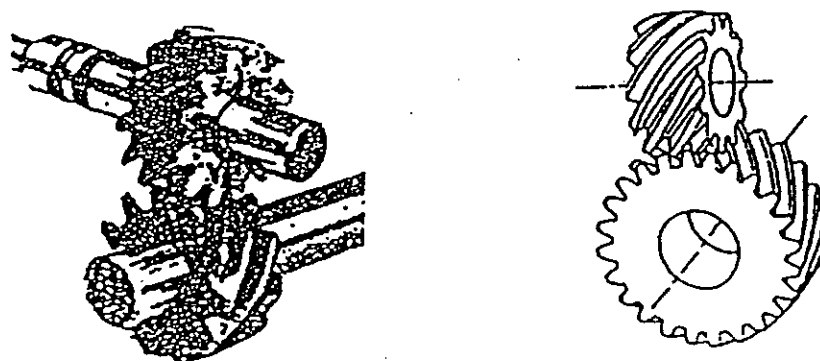


ภาพประกอบ 27 ลักษณะเฟืองหนอน

(ปรีชา ทิมทอง.2543 :132)

ชุดเฟืองหนอนประกอบด้วย ล้อเฟืองหนอน (Worm Gear) และเกลียวหนอนข้อดีของชุดเฟืองหนอน เมื่อเทียบกับเฟืองฟันตรงและเฟืองฟันเฉียง ก็สามารถทดรอบด้วยอัตราทดสูงๆ ได้ดี ด้วยชุดเฟืองชุดเดียวซึ่งอาจสูงได้ถึงอัตราทด 100 : 1 และหมุนได้ราบเรียบไม่เกิดเสียงดัง ทนทานต่อแรงกระแทก ข้อด้อยของชุดเฟืองหนอน คือ ขณะใช้งานจะมีแรงเสียดทานมาก ทำให้อัตราการสึกหรอสูง และเกิดแรงรูน (Thrust Force) ตามแนวแกน ดังนั้นจึงต้องออกแบบแบบริ้งให้สามารถรับแรงดังกล่าวด้วย

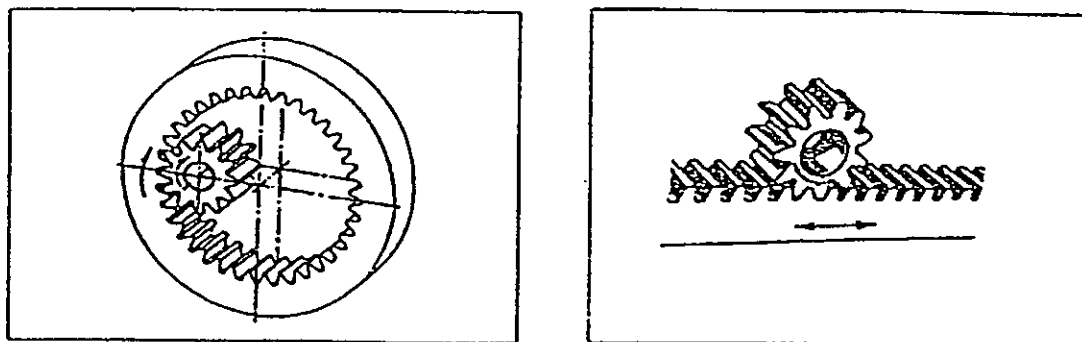
เฟืองเฉียงฟันเลี้ยว (Spiral Gear)



ภาพประกอบ 28 ลักษณะเฟืองเฉียงฟันเลี้ยว

(ปรีชา ทิมทอง.2543 :133)

เฟืองเฉียงฟันเลื้อย ก็คือ เฟืองฟันเฉียง (Helical Gear) นั่นเอง เพียงแต่ซี่ฟันบิดเฉียงและเลื้อยมากกว่าคล้ายกับเกลียวหนอน ผิวสัมผัสของซี่ฟันเฟืองน้อย ทำให้ส่งกำลังและโมเมนต์แรงบิดได้เพียงเล็กน้อย อัตราการสึกหรอค่อนข้างสูง นอกจากเฟืองทั้ง 3 รูปแบบนี้แล้ว ยังมีเฟืองลักษณะพิเศษอีก 2 ลักษณะ คือ เฟืองขับในและเฟืองสะพาน

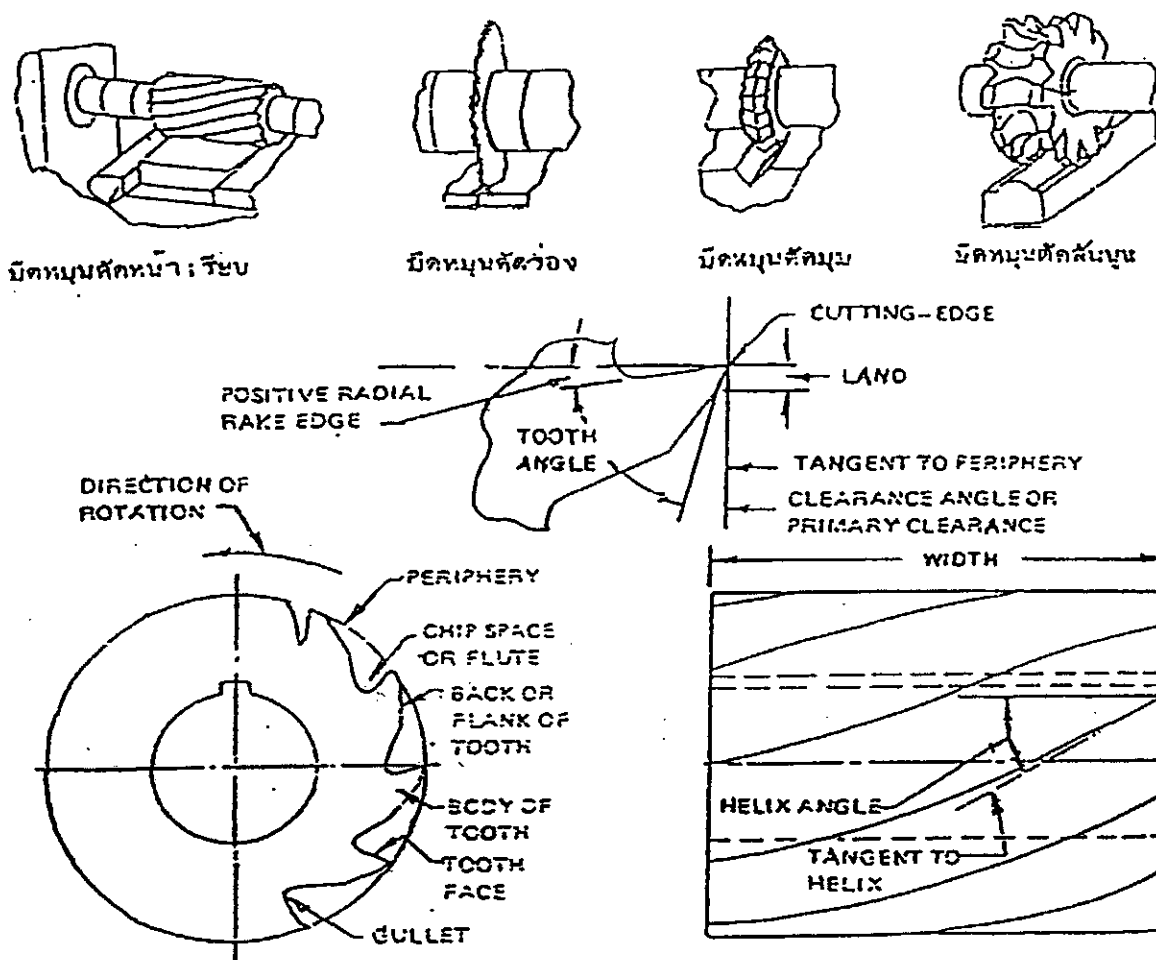


ภาพประกอบ 29 เฟืองขับในและเฟืองสะพาน
(ปรีชา ทิมทอง.2543 :134)

สรุป ผู้วิจัยเลือกใช้เฟืองฟันตรง แบบ 20 องศา (20 Degree Full Depth) ที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที เพราะประสิทธิภาพการส่งกำลังสูง (แรงบิด) อัตราการสึกหรอของฟันต่ำ เนื่องจากมีผิวสัมผัสของฟันเต็มหน้าตลอด ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากและมีราคาถูก

2.4.3 ใบมีดตัดกระดาษ

2.4.3.1 มีดหมุนตัด (ซินินทร์ ศรีถนอมทรัพย์.2532 : 111-113) หรือเครื่องมือตัดที่ใช้ตัดผิววัสดุทุกชนิดบน เครื่องหมุนตัดโลหะ เรียกว่า มีดหมุนตัด ขนาดและรูปร่างของมีดหมุนตัดมีหลายชนิด เช่น แบบรูปทรงมาตรฐานและรูปทรงไม่มาตรฐาน ซึ่งแต่ละแบบนั้นประการสำคัญต้องมีความแข็งแรงเหมาะสมกับการตัดวัสดุแต่ละชนิดด้วย ตามปกติมีดตัดมีชื่อเรียกตามลักษณะงานที่ตัดและลักษณะการติดตั้งตัวมีดหมุนตัด เช่น มีดหมุนตัดหน้าเรียบ ลักษณะมีรูปร่างทรงกระบอกมีฟันตัดพันรอบตัว เอียงบิดหรือขนานไปกับแกนของตัวมีดหมุนตัดก็ได้ มีดหมุนตัดรอง มีรูปร่างกลม แบบบางมีฟันรอบตัวคล้ายกังจักร มีดหมุนตัดขึ้นรูป ลักษณะมีฟันตัดโค้งหรือเว้าใช้ตัดผิววัสดุโค้งหรือเว้าตามรูปร่างคมมีด



ภาพประกอบ 30 รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับมุมมีด
(ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์.2532 : 111)

2.4.3.2 โลหะที่ใช้ทำมีดตัด

มีดหมุนตัดที่ใช้สำหรับตัดผิววัสดุให้ได้ด้นั้น ต้องมีพื้นที่เป็นมุมคมตัดหลายพื้น ทำหน้าที่ตัดลงบนผิววัสดุหลายๆครั้ง เพื่อให้ผิวเรียบ เป็นร่องหรือเป็นมุมคมตามต้องการ ดังนั้น โลหะที่ใช้เอามาทำเป็นมีดหมุนตัดต้องมีความแข็งแรงในการตัด และทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดี วัสดุที่ใช้ทำได้แก่ เหล็กความเร็วสูงและโลหะผสมแข็งพิเศษ

มีดหมุนตัดทำจากเหล็กความเร็วสูง เหมาะใช้กับงานตัดผิววัสดุทั่วไป ส่วนมากพื้นของคมตัดสร้างแบบมีพื้นในตัว คือ มีดหมุนตัดแบบนี้ทำมาจากเหล็กความเร็วรอบสูงที่เป็นแท่งตัน โดยเอามาทำการตกแต่งด้วยเครื่องจักร ให้ได้ขนาดรูปร่างและมุมตามมาตรฐาน แล้วนำไปเจียรนัยเพื่อให้ได้ขนาดถูกต้องยิ่งขึ้น มีดหมุนตัดแบบนี้มีใช้มากตามโรงงานเครื่องมือกลทั่วไป

มีดหมุนตัดทำจากโลหะผสมแข็งพิเศษ เหมาะใช้กับงานที่มีพื้นผิวค่อนข้างแข็งเป็น ส่วนมาก ตัวใบมีดหมุนทำจากเหล็กแข็งพิเศษที่มีราคาแพง ได้แก่ คาร์ไบด์สเตลไลต์ เซรามิก เซอร์เมท ใบ มีดนี้เป็นแบบใช้สวมอัดเข้าไปในตัวมีดตัด ตัวมีดทำจากเหล็กหล่อเหนียวหรือเหล็กผสมแข็งเหนียว แล้วเจาะ ให้เป็นช่องขนาดใกล้เคียงกับขนาดของใบมีดที่จะสวมอัดเข้าไป ยึดให้แน่นด้วยสกรูเกลียว บัดกรีแข็งหรือ แบบหนีบกี้ได้ และเมื่อใช้ไปจนหมดความคมแล้ว สามารถถอดออกกลับใหม่หรือเปลี่ยนใบมีดได้

2.4.3.3 ชนิดของมีดหมุนตัด แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด ได้แก่

1. แบบใช้งานมาตรฐาน
2. แบบใช้งานพิเศษ

มีดหมุนตัดแบบใช้งานมาตรฐาน เป็นแบบที่มีขนาดความโต ความหนา ความโตในรู ใน ความโตในร่องลิ้นและมุมของคมตัด เป็นไปข้อกำหนดของสมาคมมาตรฐานอเมริกา แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบมีดหมุนตัดมีรูสวมตรงกลางและแบบมีดหมุนตัดมีก้าน

มีดหมุนตัดแบบใช้งานพิเศษ รูปร่างของมีดหมุนตัดขึ้นอยู่กับ ลักษณะของงานที่จะตัด เป็นส่วนใหญ่ คือ ไม่ได้กำหนดเป็นมาตรฐานอย่างแบบแรก ดังนั้น จึงมีรูปร่างผิดแปลกไปจากธรรมดา ทั้ง การใช้งานตัดและการติดตั้ง



ภาพประกอบ 31 แสดงรูปแบบมีดกัด
(ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์.2532 : 112)

สรุป จากการศึกษา ผู้วิจัยเลือกที่จะออกแบบใบมีดหมุนตัดเป็นแบบมีรูสวมตรงกลาง มุมคม 45 องศา โดยการสวมอัดด้วยร่องลิ้น เพราะมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถถอดเปลี่ยนตัวใบมีดออกจาก เพลาใบมีดได้ง่ายเมื่อมีการสึกหรอของคมมีดตัดกระดาษ

ในส่วนของวัสดุที่ใช้ทำใบมีดตัดกระดาษผู้วิจัยเลือกใช้ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มาตรฐานเยอรมัน DIN- MATERIAL= 2510 หรือเทียบเท่ามาตรฐานอเมริกา คือ AISI กรด O1

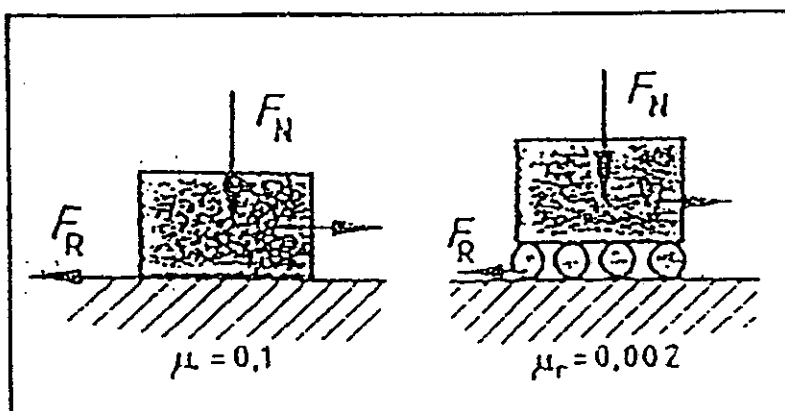
เนื่องจากเหล็กประเภทนี้มีความแข็งแรงสูง สามารถรักษาเหลี่ยมมุมได้ดี มีการเปลี่ยนรูปร่างน้อยมากภายหลังการชุบอบแล้ว ซึ่งความแข็งแรงภายหลังการชุบเท่ากับ 64 HRC และนิยมนำมาใช้ผลิตแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ ใบมีดตัดกระดาษ สว่าน และเครื่องมือทำเกลียว

2.4.4 แป้นเกลียว

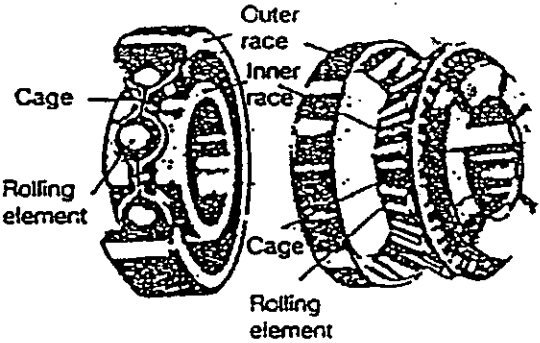
แป้นเกลียว เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของเครื่องยอยกระดาษ โดยมีหน้าที่เป็นตัวรองรับกระดาษเพื่อที่จะให้ใบมีดตัดกระดาษกรีดตามร่องของแป้นเกลียวเพื่อให้กระดาษขาดออกจากกันและเป็นตัวบังคับทิศทางของรีวกระดาษให้ตกลงไปในส่วนรองรับเศษรีวกระดาษโดยกระดาษที่ผ่านการยอยแล้วจะมีลักษณะเป็นริ้วๆ ตามความยาวของกระดาษที่ทำการยอย ผู้วิจัยเลือกใช้เหล็กแผ่นหนา 3 มม. ขนาดกว้าง 30 มม. ยาว 290 มม. นำมาตัดโค้งให้มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ปลายด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นร่องฟัน (4 มม.) สลับกันไปตลอดความยาวของแป้นเกลียว

2.4.5 แบริ่งลูกกลิ้ง หรือรอกเพลาลูกกลิ้ง (Rolling Bearings)

แบริ่งลูกกลิ้ง เป็นรอกเส้นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย เพราะได้รับการออกแบบให้มีขนาดเป็นมาตรฐาน สามารถรับภาระและมีขนาดให้เลือกใช้งานได้กว้างขวาง การติดตั้งตลอดจนการบำรุงรักษาทำได้สะดวก รวดเร็ว การหมุนเคลื่อนที่โดยอาศัยเม็ดลูกกลิ้งป็นวงอยู่ระหว่างแหวนนอกและแหวนใน ความเสียดทานที่เกิดขึ้นจึงเป็น ความเสียดทานแบบหมุน (Rolling Friction) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบริ่งปลอก



ภาพประกอบ 32 แรงที่กระทำต่อแบริ่งลูกกลิ้ง
(มานพ ดันตระบัณฑิตย์และคณะ. 2536:97)

ภาพแสดง	ส่วนประกอบ	หน้าที่การใช้งาน
	แฉกนอก (Outer Races)	- เป็นรางวิ่งของเม็ดลูกปืน - สวมยึดกับตัวเรือน
	แฉกใน (Inner Races)	- เป็นรางวิ่งของเม็ดลูกปืน - สวมยึดเข้ากับเพลา
	เม็ดลูกปืน (Ball)	- ลดแรงเสียดทานระหว่าง แฉกนอกและแฉกใน
	กรงลูกปืน (Cage)	- จัดเรียงและยึดตำแหน่ง เม็ดลูกปืน

ภาพประกอบ 33 ส่วนประกอบทั่วไปของแบริ่งลูกกลิ้ง
(มานพ ตันตระกูลประดิษฐ์และคณะ. 2536:98)

ข้อดี ของแบริ่งลูกกลิ้ง

1. ความเสียดทานน้อยกว่าแบริ่งปลอก 25 – 50 เปอร์เซ็นต์
2. ระยะคลอนของตลับลูกปืนน้อยมาก ทำให้มีความเที่ยงศูนย์สูง
3. บำรุงรักษาง่าย ถอดเปลี่ยนสะดวก
4. หากมีการชำรุดสามารถหาอะไหล่ทดแทนได้ง่าย

ประเภทของแบริ่งลูกกลิ้งหรือ ร่องเพลาลูกกลิ้ง (มานพ ตันตระกูลประดิษฐ์. 2536:30-31)

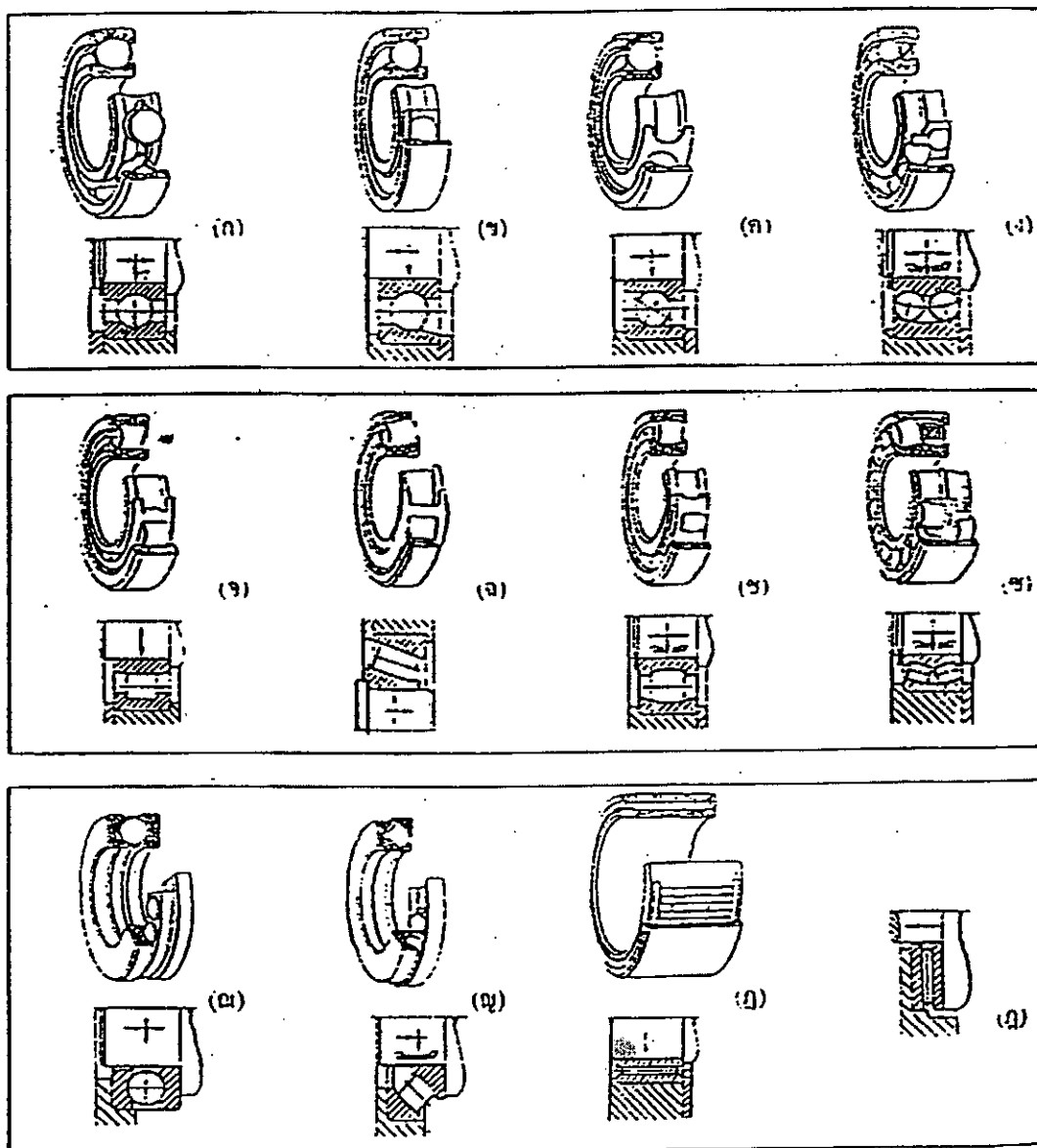
เมื่อจำแนกตามรูปร่างพื้นฐานของตัวลูกกลิ้ง จะแบ่งออกได้ดังนี้

1. ร่องเพลาลูกกลิ้งกลม (Grooved Ball Bearing) มีแบบแถวเดียวและสองแถว เหมาะสำหรับรับภาระปานกลางตามแนวรัศมีและภาระต่ำตามแนวแกนและสำหรับความเร็วรอบสูง
2. ร่องเพลาลูกกลิ้งกลม แบบมีปากกับฐาน (Shoulder Ball Bearing) และร่องเพลาลูกกลิ้งแบบเอียง (Angular Contact Ball Bearing) สามารถใช้รับแรงตามแนวรัศมีและตามแนวแกนในหนึ่งทิศทางได้ ร่องเพลาแบบนี้ส่วนใหญ่จะนิยมนำมาประกอบเป็นคู่ให้เกิดการต้านกันเอาไว้
3. ร่องเพลาลูกกลิ้งรับแรงตามแนวแกน (Axial Ball Thrust Bearing) จะนำมาใช้งานให้รับแรงตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว ส่วนมากจะนิยมนำมาประกอบร่วมกับร่องเพลาที่รับแรงตามแนวรัศมี
4. ร่องเพลาลูกกลิ้งทรงกระบอก (Cylindrical Ball Bearing) จะนำมาใช้รับภาระสูงตามแนวรัศมีและใช้กับเพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตๆ

5. ร่องเฟลา ลูกกลิ้งเรียว (Tapered Ball Bearing) ร่องเฟลาแบบนี้สามารถแยกชิ้นได้ สามารถรับแรงตามแนวรัศมีได้ ร่องเฟลาแบบนี้นิยมนำมาประกอบเป็นคู่ให้ย้อนทิศทางการ

6. ร่องเฟลา ลูกกลิ้งกลมแบบแกว่งปรับศูนย์ (Self Aligning Ball Bearing) และร่องเฟลา ลูกกลิ้งป้อม (Barrel Type Ball Bearing) จะนำมาใช้งานสำหรับรับแรงตามแนวรัศมีและแนวแกน รวมทั้งสามารถใช้กับเฟลาที่เบี่ยงเบนไปจากศูนย์และเฟลาที่รับการดัดงอได้

7. ร่องเฟลา ลูกกลิ้งเข็ม (Needle Roller Bearing) ใช้สำหรับบริเวณที่มีพื้นที่การประกอบน้อย แต่ก็ยังมากกว่าร่องเฟลาธรรมดา



ภาพประกอบ 34 ประเภทของร่องเฟลา ลูกกลิ้ง
(มานพ ดันตระบัณฑิตย์และคณะ. 2536:99)

สรุป ผู้วิจัยเลือกใช้แบบร่องลึกกลิ้ง ชนิดเม็ดกลมแถวเดี่ยวร่องลึก (Single Row Deep Groove) อนุกรม มิติ 02 เบอร์ 6206 ขนาดรูรวม 30 มม. เพราะมีความแข็งแรงทนทานพอต่อแรงหมุนตามแนวรัศมีของเพลลา ที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้ อัตราการสึกหรอต่ำ บำรุงรักษาง่ายและราคาไม่แพง

2.4.6 คัปปลิงส่งกำลัง (Coupling)

คัปปลิงหรือข้อต่อเพลลาส่งกำลังเครื่องทุ่นแรงและเครื่องจักร หมายถึง ชิ้นส่วนเครื่องกลชิ้นหนึ่งที่ใช้ส่งถ่าย กำลังและการหมุนจากเพลลาขับไปยังเพลลางาน (อำพล ชี้อตรง.2536 :111)

2.4.6.1 หน้าที่ของคัปปลิง

1. ส่งถ่ายกำลังระหว่างเพลลาขับกับเพลลางาน
2. ใช้ต่อเพลลาของอุปกรณ์ที่ผลิตแยกกัน เช่น เพลลาของมอเตอร์กับเครื่องสูบน้ำ
3. ช่วยลดแรงกระตุกในการส่งกำลังจากเพลลาหนึ่งไปยังเพลลาหนึ่ง
4. ป้องกันการใช้งานเกินโหลด (Overload)
5. ช่วยลดการสั่นสะเทือนทางกลระหว่างการใช้งาน

2.4.6.2 ประเภทของคัปปลิง จำแนกออกได้ดังนี้ (วรวิทย์ อึ้งภากรณ์และชาญ ฤกษ์งาน.2525:1)

คัปปลิงแบบแข็งเกร็ง (rigid coupling) ใช้กับรอยต่อของเพลลาที่มีระยะห่างระหว่างปลาย เพลลาทั้งที่และศูนย์ของเพลลาทั้งสองต้องตรงกัน และอยู่ในแนวเดียวกัน

คัปปลิงแบบอ่อนตัว (flexible coupling) ใช้ต่อกำลังสำหรับเพลลาที่เยื้องศูนย์บ้างเล็กน้อย และยังช่วยลดการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดกับเพลลาด้วย เพราะสภาพงานจริง ต้องยอมให้เพลลาเยื้องศูนย์ได้บ้าง

คัปปลิงนิรภัย (safety coupling) ใช้ป้องกันรอยต่อจากการเกินภาระหรือเมื่อมีโมเมนต์บิด สูงเกินไป จะทำงานได้ด้วยตัวเองโดยการเบรคหรือวิธีการอื่น

คัปปลิงแบบสลลิป (slip coupling) จะหมุนได้เมื่อความเร็วรอบพอกๆกัน แต่ถ้าตัวขับมีความเร็วลดลง คัปปลิงจะทำให้เกิดการหลวมตัวขึ้น

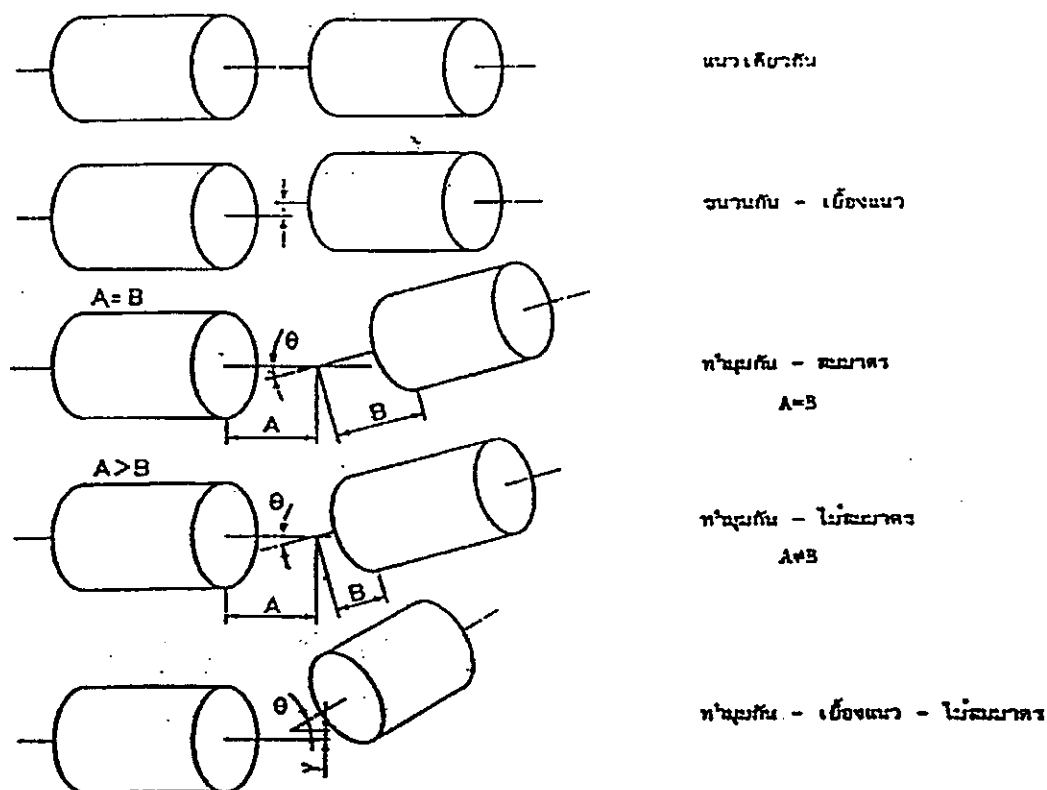
2.4.6.3 วิธีเลือกใช้คัปปลิง

วิธีเลือกใช้คัปปลิงให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้น ให้พิจารณาจากงานที่ใช้มีความปลอดภัย ประหยัด และมีขนาดพิกัดพอส่งกำลังได้อย่างเพียงพอ ซึ่งหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิต โดยอาศัยหลักการต่อไปนี้

1. กำลังหรือทอร์กที่ต้องส่งกำลังไปใช้งาน
2. ความเร็วรอบของเพลลาหรือของคัปปลิงส่งกำลัง
3. ขนาดเพลลาหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาขับและเพลลางาน
4. พิกัดเผื่อเฉพาะงาน (Service Factor)

2.4.6.4 คัปปลิงแบบอ่อนตัว (flexible coupling) (วรวิทย์ อึ้งภากรณ์และชาญ ฤกษ์งาน.2525:11)

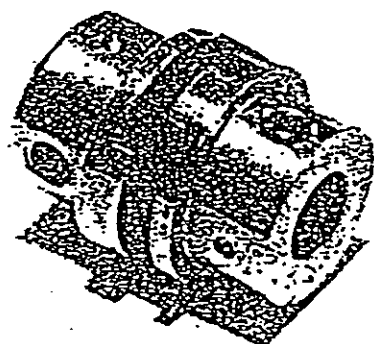
คัปปลิงแบบอ่อนตัว (flexible coupling) ใช้ต่อเพลลาที่เยื้องแนวกันในลักษณะต่างๆ ดังรูป และช่วยลดผลจากการกระตุกและการกระแทกจากแรงภายนอกที่ส่งผ่านเพลลา คัปปลิงแบบอ่อนตัวแบ่งออก อย่างกว้างๆ ได้ 2 ประเภทคือ คัปปลิงที่อ่อนตัวทางด้านคินมาติก (kinematic flexibility) และคัปปลิงที่ใช้ชิ้น ส่วนยืดหยุ่น (resilient parts)



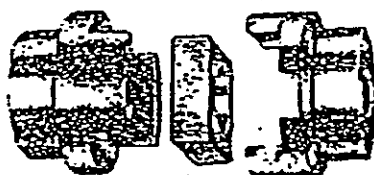
ภาพประกอบ 35 ลักษณะการเยื้องแนวของเพลลา
(อำพล ชื่อตรง.2536 :111)

คัปปลิงแบบอ่อนตัวที่ใช้ชิ้นส่วนแข็ง ออกแบบไว้สำหรับใช้กับเพลลาที่เยื้องแนวโดยเฉพาะ และไม่บังคับทิศทางในการเยื้องแนว คัปปลิงชนิดนี้ส่งโมเมนต์ได้โดยไม่มี angular play (นั่นคือไม่มีการอ่อนตัวทางด้านมุมบิด) มากเกินกว่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ นอกจากนั้นคัปปลิงประเภทนี้ยังใช้รับแรงกระตุกและแรงกระแทกได้ด้วย คัปปลิงแบบอ่อนตัวประเภทนี้มีลักษณะต่างๆ ดังภาพประกอบ

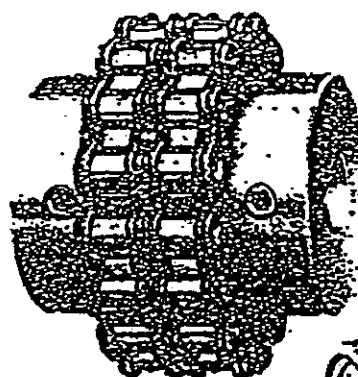
คัปปลิงแบบอ่อนตัวที่ใช้วัสดุยืดหยุ่นเป็นส่วนประกอบ สามารถใช้ต่อเพลลาที่เยื้องแนวได้ และใช้รับแรงกระตุกและแรงกระแทกได้ คัปปลิงประเภทนี้มีความอ่อนตัวทางด้านมุมบิดจึงทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ช่วยปรับการผิดศูนย์เชิงมุม ด้วย ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนที่ต่อกับคัปปลิงประเภทนี้ได้ โดยมีโลหะทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนยืดหยุ่น



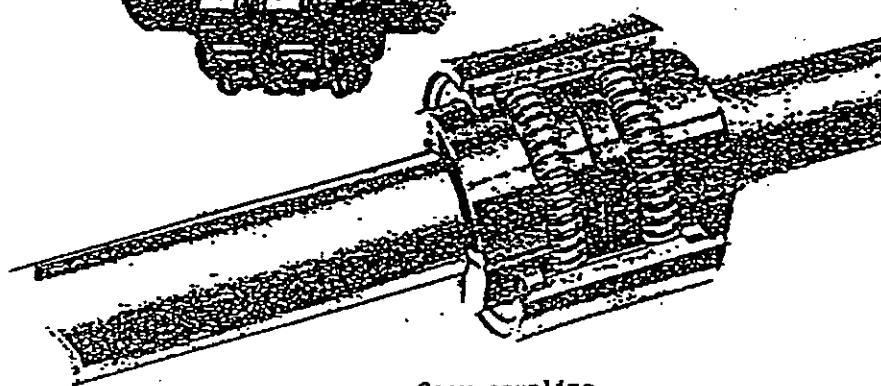
Double slider coupling
(oldham's coupling)



Slider block coupling



Double roller chain



Gear coupling

ภาพประกอบ 36 คัปปลิ่งแบบต่างๆ
(อำพล ชี้อตรง.2536 :113)

สรุปจากการศึกษาข้อมูลด้านต่างๆเกี่ยวกับคัปปลิ่ง ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องย่อยกระดาษ ผู้วิจัยเลือกใช้ คัปปลิ่งแบบอ่อนตัว(flexible coupling) โดยชิ้นส่วนยึดหยุ่นทำจากยาง ใช้งานกับแรงขนาด 1-1.5 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 50-1500 rpm ทำจากโลหะอัลลอยด์จำนวน 2 ชุด เพราะมีความแข็งแรง

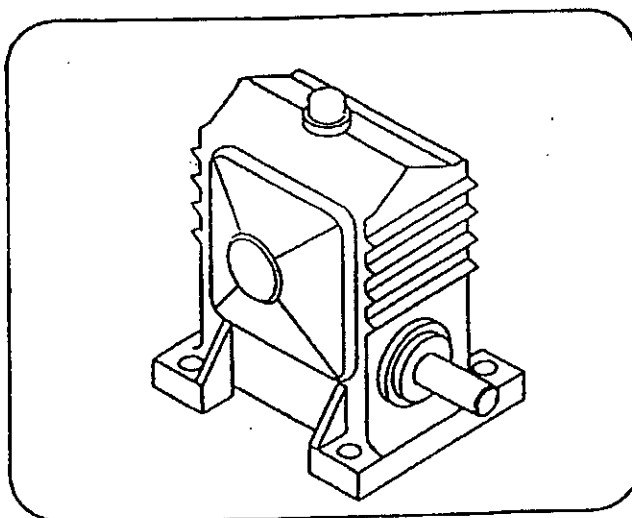
ทนทานต่อแรงกระทำที่ได้คำนวณไว้ และใช้ต่อกำลังสำหรับเพลลาที่เยื้องศูนย์บ้างเล็กน้อย ซึ่งสภาพงานจริงต้องยอมให้เพลลาเยื้องศูนย์ได้บ้าง อีกทั้งช่วยลดการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดกับเพลลา มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาไม่แพง

2.4.7 ชุดเกียร์ทดรอบ

ชุดเกียร์ทดรอบ คือ ส่วนประกอบทางกลส่วนหนึ่งที่สำคัญในเครื่องย่อยกระดาษ โดยมีหน้าที่หลักสองประการคือ การรับกำลังงานจากเพลลาขับของมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ /นาที่ เพื่อส่งถ่ายกำลังไปยังเฟืองขับที่ติดตั้งอยู่บนแกนเพลลาใบมีดตัดกระดาษ และในการทดรอบความเร็วจากเพลลาขับของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ /นาที่ ให้ลดลงเหลือประมาณ 50 รอบ /นาที่ เพราะเป็นความเร็วที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับเพลลาขับของใบมีดตัดกระดาษ

เนื่องจากในการทำงานจริง จำเป็นที่จะต้องใช้ชุดเกียร์ทดรอบที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งมีขายในท้องตลาด เพราะต้องการที่จะลดการเกิดเสียงดังในขณะเครื่องจักรทำงาน ต้องการความเที่ยงตรงสูงและการสึกหรอน้อย เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้มากขึ้น ในการสร้างชุดเกียร์ทดรอบ มีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก ถ้าการที่จะสร้างเองทำให้ขนาดชุดเฟืองและชุดเกียร์ใหญ่มากทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ของเครื่องจักรซึ่งมีพื้นที่อยู่อย่างจำกัดอาจทำให้เครื่องมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยไม่จำเป็น (ปราโมทย์ บุญเกษมและผู้อื่น.2537 :7)

ในการใช้เกียร์ทดรอบนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ชุดเกียร์ทดรอบแบบ PA ใช้กับแรงขนาด 1 แรงม้า ที่อัตราทด 1:30 ซึ่งความเร็วของมอเตอร์ขับเท่ากับ 1500 รอบ /นาที่ เมื่อทดแล้วจะเหลือรอบเพียง 50 รอบ ต่อ นาที ซึ่งถ้าใช้ความเร็วรอบที่ 50 รอบ /นาที่ จะมีผลดีคือจะช่วยทำให้เกิดเสียงดังลดน้อยลง และช่วยยืดอายุการใช้งานของใบมีดตัดกระดาษให้ยาวนานขึ้นเพราะถ้าใช้ความเร็วรอบสูงจะเกิดการเสียดสีระหว่างใบมีดตัด ทำให้ใบมีดตัดสึกหรอเร็วขึ้นกว่าเดิมโดยไม่จำเป็น จึงพิจารณาเลือกชุดเกียร์มาตรฐานมาใช้เพื่อความเหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องย่อยกระดาษให้สูงขึ้นและเมื่อเกิดการเสียหายของชุดเฟืองทดเราสามารถหาเปลี่ยนใหม่ได้จากท้องตลาดทั่วไป



ภาพประกอบ 37 ชุดเกียร์ทดรอบ แบบ PA อัตราทดรอบ 1:30
(ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์.2532 : 115)

2.4.8 มอเตอร์ไฟฟ้า

ในปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าจะเป็นเครื่องต้นกำลังที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในการอุตสาหกรรมทั่วไป ทั้งนี้เป็นเพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความสะดวกในการแปรรูปเป็นรูปอื่น โดยมีราคาของพลังงานถูก เมื่อเทียบกับพลังงานอื่น ถ้าจะแยกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้าตามความสำคัญ และสัดส่วนของการใช้งานทั่วไป พอจะแยกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ มอเตอร์กระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ และมอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีความแข็งแรงทนทาน มีราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง ความแน่นอนในการใช้งานสูง การบำรุงรักษาสะดวก ในปัจจุบันจะกล่าวได้ว่าเครื่องต้นกำลังในการอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมด ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเกือบทั้งหมดของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในรูปต้นกำลัง ซึ่งจะให้เห็นความสำคัญของมอเตอร์ได้อย่างชัดเจน มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานโดยการเปลี่ยนกำลังทางไฟฟ้าให้เป็นกำลังทางกล ซึ่งเกิดในส่วนหมุนของมอเตอร์โดยกระแสไฟฟ้า

2.4.8.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่อยู่กับที่ (stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ของมอเตอร์ ประกอบด้วย แกนเหล็กแผ่น (laminated core) อัดแน่นเป็นรูปทรงกระบอกและมีร่อง (slot) สำหรับใส่ขดลวดบรรจุอยู่ภายใน ฟอรัมด้านหนึ่งของแกนเหล็กจะฉาบด้วยออกไซด์หรือน้ำยาวานิช

2. ส่วนที่เคลื่อนที่ (rotor) มอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะมีส่วนที่เคลื่อนที่อย่างเดียวก็คือแกนเพลลา ซึ่งจะวางอยู่บนแบร็ง

2.4.8.2 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไปมีอยู่ 3 ประเภทคือ มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ มอเตอร์แบบซิงโครนัสและมอเตอร์แบบมีคอมมิวเตอเรเตอร์และแปรงถ่าน แต่ที่มีใช้ในประเทศไทยจะใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ ซึ่งมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำจะแยกตามเฟสของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเฟสเดียว แยกได้ดังนี้ ชนิดแยกเฟสสตาร์ท ชนิดคาปาซิเตอร์สตาร์ท ชนิดคาปาซิเตอร์ถาวรและชนิดเด็คโพล

2. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำหลายเฟส ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 เฟส และ 3 เฟส แต่มอเตอร์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องจักรจะต้องใช้แรงม้าสูง ส่วนมากจึงนิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งจะถูกรังให้มีแรงม้าตั้งแต่ต่ำถึงแรงม้าสูงๆ ได้ มอเตอร์นี้จึงนำมาใช้งานได้หลายอย่าง เช่น เครื่องท่อนแรงยกของ เครื่องกลึง เครื่องเจาะลิฟท์ เป็นต้น มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ

3 เฟส มีส่วนประกอบคือ ส่วนที่อยู่กับที่ เป็นเรือนเหล็กเหนี่ยวนำและมีขดลวดฝังอยู่ในร่อง (slot) ต่อกันอยู่ 3 ชุด แต่ละชุดเรียกว่าเฟส แต่ละเฟสจะทำมุมกัน 120 องศา

สรุป จากการศึกษาคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้เป็นต้นกำลังของเครื่องย่อยกระดาษ ผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเฟสเดียว ขนาดกำลังขับ 1 แรงม้า ความเร็วรอบ 1480 รอบต่อนาที ใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 ไซเคิล เพราะสามารถใช้กับระบบไฟฟ้าตามสถานที่ทั่วไปได้ ทำให้สะดวกในการใช้งาน มีความทนทานและประสิทธิภาพสูง การซ่อมบำรุงหรือจัดหาเปลี่ยนอะไหล่มีตามท้องตลาดทั่วไป

3. ประสิทธิภาพและสมรรถนะ

ประสิทธิภาพและสมรรถนะตามพจนานุกรมไทย ฉบับปรับปรุงใหม่ พิมพ์ครั้งที่ 15 พ.ศ. 2538 ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

ประสิทธิภาพ (ประ – สิต – ทิ – พาบ) หมายถึง ความคล่องแคล่วในการปฏิบัติงานให้สำเร็จ
สมรรถนะ (สะ – มัต – ณะ – ณะ) หมายถึง กำลังความสามารถ, ความเชี่ยวชาญ

1.2.1 สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งจำแนกออกได้ 2 ประเภท คือ ประสิทธิภาพเชิงกล และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ประณต กุลประสูตร, 2533 : 83)

1.2.2 สำหรับสมรรถนะของเครื่องยนต์ หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้นความสามารถของเครื่องยนต์ จึงเป็นเครื่องบอกให้ทราบถึง คุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องยนต์ นั้น ๆ อันสามารถนำมาใช้เป็นข้อพิจารณาในการเลือกและใช้เครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ นอกจากนั้นการศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยละเอียดแล้ว ยังสามารถนำมาใช้ปรับปรุงการทำงานของเครื่องยนต์ให้ดีขึ้นได้อีกด้วย (ประณต กุลประสูตร, 2533 : 59)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้าง การพัฒนาเครื่องย่อย การศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ พบว่ามีจุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันคือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของสิ่งที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น อาทิการศึกษาค้นคว้าของ

ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์ (2532 : ไม่ปรากฏเลขหน้า, 11) ได้ทำการศึกษาโครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสารให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน มีรูปทรงและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้ เครื่องทำลายเอกสารต้นแบบที่นำมาออกแบบปรับปรุง มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษขนาด A4 ได้ครั้งละประมาณ 10 แผ่น ความเร็วในการตัดทำลายกระดาษ 0.01 เมตรต่อวินาที ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการตัดเป็นริ้วตรงขนาด 5 มิลลิเมตร

ปราโมทย์ บุญเกษมและถาวรเหลือทอง (2537 : 10) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องทำลายเอกสาร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องทำลายเอกสาร จากผลการทดสอบพบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษขนาด A4 (หนา 70-80 แกรม) ได้ครั้งละ 10 แผ่น ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยเป็นเส้นขนาด 3.5 มิลลิเมตร

กานต์ อัมพานนท์และคณะ (2538 : 8) ได้ศึกษาโครงการสร้างเครื่องย่อยเอกสาร มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพ จากการทดสอบพบว่า มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษหน้ากว้างประมาณ 300 มิลลิเมตร ความหนาแน่นของกระดาษไม่เกิน 6 มิลลิเมตรได้ ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยเป็นเส้นขนาด 4 มิลลิเมตร

ศรณรินทร์ พิชัยรัฐและประเสริฐติลปี่ พลวิเศษ (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพลาสติกชนิดไม่ตัด โดยมีความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้น ผลของการทดลองพบว่าเครื่องมีความเร็วในการตัดฉีกพลาสติกได้ 500 เมตรต่อนาที โดยสามารถย่อยพลาสติกชนิด PP, PE, PA และ PVC ได้ปริมาณ 40-50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

นอกจากนั้นราคาของเครื่องถูกกว่าของต่างประเทศประมาณ 2-3 เท่าแต่มีประสิทธิภาพในการใช้งานใกล้เคียงกัน

ยิ่งยศ ลิเซ็นและคณะ (2541 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้แบบเคลื่อนที่ มีความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องย่อย จากการทดลองพบว่าสามารถตัดย่อยเศษกิ่งไม้สดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25-30 มิลลิเมตรได้ เศษหลังจากการตัดย่อยมีขนาดตามที่ต้องการคิดเป็นร้อยละ 88.48 โดยน้ำหนัก และมีกำลังการผลิตประมาณ 95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

วัฒนา ไชยวาน (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อการศึกษาพฤติกรรมการตัดเฉือน โดยมีจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติกและศึกษาพฤติกรรมการตัดเฉือนของกลไกการย่อยที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะอาจมีผลกระทบกับพฤติกรรมการย่อย เช่น ความเร็วรอบ มุมต่างๆของใบมีด ระยะเกยของคมตัด ความลึกฟันของใบมีด และระยะช่องคายเศษ จากผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของช่องคายเศษต่อความลึกฟันของใบมีดที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 2-3 มุมหลบหลังของฟันใบมีดที่มากขึ้น ช่วยลดการติดขัดของการย่อยให้น้อยลง อัตราการย่อยแปรผันตามความเร็วรอบของใบมีด ชนิดของแผ่นฟิล์มพลาสติกมีผลต่ออัตราการย่อยและอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ความกว้างของเศษเท่ากับความหนาใบมีด ส่วนความยาวของเศษเท่ากับระยะห่างระหว่างฟันของใบมีด เครื่องย่อยที่พัฒนาขึ้นสามารถย่อยแผ่นฟิล์มชนิด BOPP ที่มีความหนารวมกันเป็น 6 มิลลิเมตร ได้ในอัตราการย่อยมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดเศษย่อยที่ได้มีขนาดไม่เกิน 10×10 มิลลิเมตร

สกล นันทศรีวิวัฒน์ (2543 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องหยอดขนมทองหยอด โดยการวัดสมรรถนะ 4 ด้าน และประสิทธิภาพ 1 ด้านโดยให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตอบแบบประเมิน ซึ่งได้แก่ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านลักษณะการบำรุงรักษา ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน และประสิทธิภาพเครื่องหยอดขนมทองหยอด ผลการวิจัยปรากฏว่า ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน และประสิทธิภาพเครื่องหยอดขนมทองหยอดอยู่ในเกณฑ์ดี

ปาริฉัตร คำเหล็ก (2544 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีความมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ออกแบบและสร้างขึ้น เมื่อเทียบกับความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผายี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C 19 ของประเทศเยอรมัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั้งสอง ไม่แตกต่างกัน

สรุปจากการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องย่อย ผู้วิจัยพบว่ามีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำการศึกษาค้นคว้าถึงประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาค้นคว้าทั้งสองที่จะนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อนำผลการวิจัยมาใช้ในการพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษต่อไป โดยในส่วนของประสิทธิภาพนั้นจากเอกสารและข้อมูลของเครื่องที่มีจำหน่ายในท้องตลาดดัดดัดทั่วไปจะทำการศึกษาค่า 4 ค่าคือ ค่าจำนวนของแผ่นกระดาษสูงสุดที่เครื่องสามารถย่อย

ทำลายได้ ค่าอัตราการย่อยทำลายกระดาษ ค่าความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษและค่าความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ ในส่วนของสมรรถนะจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ทำการศึกษาค่าสมรรถนะใน 4 ด้านคือ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการออกแบบ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน ซึ่งผู้วิจัยได้ประมวลค่าประสิทธิภาพและสมรรถนะในการวิจัยครั้งนี้ จำแนกเป็น

ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ จะเป็นความสามารถในการย่อยทำลายกระดาษหรือเอกสารขนาดหน้ากว้าง 297 มิลลิเมตร หน้า 70 แกรม ได้ครั้งละ 1 – 36 แผ่น อัตราการทำลายกระดาษ เท่ากับ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยแล้วได้ตามมาตรฐาน DIN 32757-1 level 2 และสามารถย่อยทำลายลวดเย็บกระดาษ (Staple) ได้ ทำให้ช่วยประหยัดเวลาและแรงงานคนในการย่อยทำลายกระดาษในปริมาณมาก ๆ

จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง หมายถึง จำนวนของแผ่นกระดาษสูงสุด (กระดาษ A4 ขนาด 70 แกรม) ที่เครื่องย่อยกระดาษสามารถย่อยทำลายได้ครั้งละ 1 – 36 แผ่น โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ

อัตราการทำลายกระดาษ หมายถึง ความเร็วสูงสุดของเพลานำมิดตัดกระดาษ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที ในการย่อยทำลายกระดาษที่สามารถทำได้มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรต่อวินาที

ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ หมายถึง ลักษณะและขนาดของกระดาษที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษ จะมีลักษณะเป็นเส้นยาวตามความยาวของกระดาษ (Strip cut) และมีขนาดหน้ากว้างแต่ละชิ้นประมาณ 4 มิลลิเมตร

ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ หมายถึง ความสามารถและความทนทานของใบมีดตัดกระดาษที่สามารถย่อยทำลายลวดเย็บกระดาษ (Staple) ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวใบมีดตัดกระดาษ

สมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ จะเป็นความสามารถในการทำงานของเครื่องย่อยกระดาษ ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ จึงเป็นเครื่องบอกให้ทราบถึงคุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องย่อยกระดาษที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อพิจารณาในการเลือก และใช้เครื่องย่อยกระดาษได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษได้ 4 ด้านด้วยกัน คือ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการออกแบบ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

ด้านลักษณะทางกายภาพ หมายถึง ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อยกระดาษมีความกะทัดรัด สวยงาม ชิ้นส่วนทุกชิ้นสามารถแยกชิ้นและถอดประกอบได้ มีความแข็งแรงทนทาน และมีความปลอดภัยขณะใช้งาน

ด้านลักษณะการออกแบบ หมายถึง ชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษได้รับการออกแบบให้เหมาะสม กับลักษณะการใช้งานของเครื่อง และสอดคล้องกับสัดส่วนรูปร่างของคนไทย

ด้านลักษณะการบำรุงรักษา หมายถึง การซ่อมแซมบำรุงรักษาเครื่องย่อยกระดาษสามารถทำได้โดยง่าย การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นไม่ก่อให้เกิดการชำรุดเสียหาย ถ้าชำรุดก็สามารถซ่อมแซมได้ง่าย ทั้งนี้เพราะวัสดุทุกชิ้นหาได้ง่ายและราคาถูก

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน หมายถึง ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถใช้งานได้สะดวก มีความปลอดภัย โดยเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในสำนักงานขนาดใหญ่หรือสถานศึกษา และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกระดาษ

ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์ (2532 : ไม่ปรากฏเลขหน้า, 11) ได้ทำการศึกษาโครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสารให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน มีรูปทรงและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้ เครื่องทำลายเอกสารต้นแบบที่นำมาออกแบบปรับปรุง มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษขนาด A4 ได้ครั้งละประมาณ 10 แผ่น ความเร็วในการตัดทำลายกระดาษ 0.01 เมตรต่อวินาที ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการตัดเป็นริ้วตรงขนาด 5 มิลลิเมตร หลักการทำงานของเครื่องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 1/2 แรงม้าเป็นต้นกำลัง โดยส่งผ่านแรงด้วยมุลย์และสายพานไปยังชุดเฟืองทดรอบ เฟืองขับและเพลาลูกเบี้ยวตัดกระดาษ วัสดุที่นำมาใช้ทำชุดใบมีดทำจากเหล็กผายกรรมวิธี

ปราโมทย์ บุญเกษมและถาวรเหลืองทอง (2537 : 10) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องทำลายเอกสาร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องทำลายเอกสาร จากผลการทดสอบพบว่า มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษขนาด A4 (หนา 70-80 แกรม) ได้ครั้งละ 10 แผ่น ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยเป็นเส้นขนาด 3.5 มิลลิเมตร หลักการทำงานของเครื่องใช้ คลิปปลั๊ส่งผ่านกำลัง ขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 1/3 แรงม้า ผ่านชุดเฟืองทด เพื่อถ่ายทอดกำลังไปยังชุดใบมีดตัดกระดาษ วัสดุที่นำมาใช้ทำชุดใบมีดทำจากเหล็ก SKD 11

กานต์ อัมพานนท์และคณะ (2538 : 8) ได้ศึกษาโครงการสร้างเครื่องย่อยเอกสาร มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพ จากการทดสอบพบว่า มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษหน้ากว้างประมาณ 300 มิลลิเมตร ความหนาแน่นของกระดาษไม่เกิน 6 มิลลิเมตรได้ ลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยเป็นเส้นขนาด 4 มิลลิเมตร หลักการทำงานของเครื่องใช้ มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสขนาด 5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ส่งผ่านกำลังด้วยมุลย์และสายพาน ไปยังชุดเกียร์ทดรอบ เพื่อถ่ายทอดกำลังไปยังชุดใบมีดตัดกระดาษ

ณัฐพล ปกรณ์ขจรนาวินและคณะ (2539 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องตัดกระดาษ มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อตัดกระดาษให้ได้ขนาดต่างๆตามมาตรฐานกระดาษ และสามารถตัดกระดาษได้คราวละมากๆ ในส่วนของการออกแบบมุมของตัวใบมีดตัดกระดาษได้ทำการออกแบบมุมมีดตัดกระดาษเป็นมุมเอียง 45 องศาตลอดความยาวของใบมีดตัดกระดาษ หลักการทำงานของเครื่องตัดกระดาษ อาศัยการทดรอบจากมอเตอร์และลิ้มิตสวิตซ์ ในเครื่องตัดกระดาษจะมีสเกลบอกระยะตัดและแท่นกดทับกระดาษ เพื่อไม่ให้กระดาษเลื่อนไปมาขณะตัด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องย่อย

ศรณรินทร์ พิษัยรัฐและประเสริฐศิลป์ พลวิเศษ (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพลาสติกชนิดไม่ตัด โดยมีความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้น ผลของการทดลองพบว่าเครื่องมีความเร็วในการตัดเฉือนพลาสติกได้ 500 เมตรต่อ

นาที โดยสามารถย่อยพลาสติกชนิด PP,PE,PA และ PVC ได้ปริมาณ 40-50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง นอกจากนั้น ราคาของเครื่องถูกกว่าของต่างประเทศประมาณ 2-3 เท่าแต่มีประสิทธิภาพในการใช้งานใกล้เคียงกัน

ยิ่งยศ ลิเชินและคณะ (2541 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ศึกษาโครงการออกแบบและสร้างเครื่องย่อย เศษกิ่งไม้แบบเคลื่อนที่ มีความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องย่อย จากการทดลองพบว่าสามารถตัดย่อยเศษกิ่งไม้สดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25-30 มิลลิเมตรได้ เศษหลังจากการตัดย่อยมีขนาดตามที่ต้องการคิดเป็นร้อยละ 88.48 โดยน้ำหนัก และมีกำลังการผลิตประมาณ 95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

วัฒนา ไชยวาน (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อการศึกษาพฤติกรรมการตัดเฉือน โดยมีจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติกและศึกษาพฤติกรรมการตัดเฉือนของกลไกการย่อยที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะอาจมีผลกระทบกับพฤติกรรมการย่อย เช่น ความเร็วรอบ มุมต่างๆของใบมีด ระยะเกยของคมตัด ความลึกฟันของใบมีด และระยะช่องคายเศษ จากผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของช่องคายเศษต่อความลึกฟันของใบมีดที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 2-3 มุมหลบลหลังของฟันใบมีดที่มากขึ้น ช่วยลดการติดขัดของการย่อยให้น้อยลง อัตราการย่อยแปรผันตามความเร็วรอบของใบมีด ชนิดของแผ่นฟิล์มพลาสติกมีผลต่ออัตราการย่อยและอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ความกว้างของเศษเท่ากับความหนาใบมีด ส่วนความยาวของเศษเท่ากับระยะห่างระหว่างฟันของใบมีด เครื่องย่อยที่พัฒนาขึ้นสามารถย่อยแผ่นฟิล์มชนิด BOPP ที่มีความหนารวมกันเป็น 6 มิลลิเมตร ได้ในอัตราการย่อยมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดเศษย่อยที่ได้มีขนาดไม่เกิน 10×10 มิลลิเมตร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการชุบแข็งเหล็กกล้า

สรวัดน์ วงษ์ศรีษะ (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยการวิเคราะห์ตัวแปรในการชุบแข็งเหล็กกล้ารอบสูงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานต่อการสึกหรอของเอ็นมิลล์ โดยมีจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรในการชุบแข็งเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steels) สำหรับการผลิตเอ็นมิลล์ (End mill) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานต่อการสึกหรอ (Wear Resistance) อันเนื่องจากการตัดเฉือน (Machining) โดยวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเอ็นมิลล์เป็นเหล็กกล้ารอบสูงหมายเลข 1.3247 (ตามมาตรฐาน DIN) ที่ผ่านการชุบแข็งและการเจียระไนขึ้นรูปแล้วมีความแข็งประมาณ 66 HRC ภายใต้เงื่อนไขของตัวแปรต่างๆในการอบชุบ เช่น อุณหภูมิชุบแข็ง เวลาในการคงอุณหภูมิ อุณหภูมิการอบคืนตัวและจำนวนครั้งในการอบคืนตัว ผลการวิจัยการตัดเฉือนเพื่อทดสอบการสึกหรอพบว่า เงื่อนไขการชุบแข็งที่ก่อให้เกิดการสึกหรอน้อยที่สุดเท่ากับ 0.123 มิลลิเมตร อยู่ที่อุณหภูมิชุบแข็ง 1210 องศาเซลเซียส เวลาในการคงอุณหภูมิ 2.5 นาที และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 535 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ครั้ง ผลจากการวิจัยเอ็นมิลล์มีอายุการใช้งานดีขึ้นและประสิทธิภาพการต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

สมศักดิ์ ปานสกุล (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเรื่องผลกระทบอุณหภูมิอบคืนตัวของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่มีต่อการสึกหรอและความเหนียว โดยมีจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อทำการศึกษาผลกระทบอุณหภูมิอบคืนตัวของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่มีต่อการสึกหรอและความเหนียว โดยใช้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นคือ เหล็ก 1.2379 (ตามมาตรฐาน DIN) เหล็ก SKD11V และSKD11 (ตามมาตรฐาน JIS) เป็นชิ้นงานทดลอง จากผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิอบคืนตัวของเหล็ก 1.2379

เหล็ก SKD11V และSKD11 ที่ 200 และ 500 องศาเซลเซียสมีความแข็งแรงสูงและอัตราการสึกหรอต่ำกว่า การอบคืนตัวที่อุณหภูมิอื่นๆ และหลังจากอุณหภูมิอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสพบว่าเหล็กทั้งสามชนิดมีความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอลดลงอย่างมาก ขณะที่ความเหนียวของเหล็กสูงขึ้นมาก งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะ

สกล นันทศรีวิวัฒน์ (2543 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องหยอดขนมทองหยอด โดยการวัดสมรรถนะ 4 ด้าน และประสิทธิภาพ 1 ด้านโดยให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตอบแบบประเมิน ซึ่งได้แก่ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านลักษณะการบำรุงรักษา ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน และประสิทธิภาพเครื่องหยอดขนมทองหยอด ผลการวิจัยปรากฏว่า ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษา ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน และประสิทธิภาพเครื่องหยอดขนมทองหยอดอยู่ในเกณฑ์ดี

ปาริฉัตร คำเหล็ก (2544 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีความมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ออกแบบและสร้างขึ้น เมื่อเทียบกับความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผายี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C 19 ของประเทศเยอรมัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั้งสอง ไม่แตกต่างกัน

งานวิจัยต่างประเทศ

พี วุฒินันท์และคณะ (1996 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ตัวแปรการสึกกร่อนของผิวเครื่องมืองานกัดในงานกัดละเอียด โดยมีความมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อศึกษาชนิดของตัวแปรที่จะมีผลต่อการสึกหรอของเอ็นมิลล์ (End Mill) งานกัดละเอียด จากผลการวิจัยพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการสึกกร่อนของเอ็นมิลล์ ได้แก่ความเร็วตัด (cutting speed) ความเร็วป้อน (feed velocity) ความลึกในการตัดเฉือน (depth of cut) อัตราการป้อนต่อฟัน (feed per tooth) ระยะทางในการตัดเฉือน และคุณสมบัติทางโลหะวิทยาของเอ็นมิลล์ที่ได้จากการวิจัยปรากฏว่า ถ้าโครงสร้างหลักของเอ็นมิลล์เป็นมาร์เทนไซด์และคาร์ไบด์มีการสลายตัวแตกต่างกัน โครงสร้างที่มีการสลายตัวของคาร์ไบด์สม่ำเสมอและมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนักจะส่งผลต่อการสึกหรอเนื่องจากการตัดเฉือนน้อยกว่าเอ็นมิลล์ที่มีคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ซึ่งมีการสลายตัวไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างมาร์เทนไซด์ของเหล็กกล้ารอบสูงจะมีความแข็งแรงมาก และเอ็นมิลล์ที่มีโครงสร้างเกิดการสลายตัวของคาร์ไบด์ได้ดีและกระจายได้อย่างเหมาะสมมากกว่า จะส่งผลให้มีความแข็งแรงมากกว่า

โฮลดอน เจ สวีเนตเตียน (1991 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเลือกชนิดวัสดุเครื่องมือตัดในกระบวนการตัดเฉือนโลหะ โดยมีความมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเลือกใช้เครื่องมือตัดเฉือนโลหะในงานอุตสาหกรรม จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เครื่องมือตัด ได้แก่ รูปร่างทรงเรขาคณิต(รูปร่างและขนาดต่างๆของมีด) วัสดุของมีดตัด สารเคลือบผิวตามมีดที่ใช้จับยึด ชนิดวัสดุของชิ้นงานที่จะทำการผลิต และที่สำคัญคือเงื่อนไขในการตัดเฉือน จำแนกเป็น

รัศมีโค้งปลายมีด มุมตั้งมีด มุมคาย มุมหลบ มุมลิ้ม ความลึกในการตัด อัตราป้อน(รอบต่อนาที) ความเร็วป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที) และความเร็วตัด (มิลลิเมตรต่อนาที)

สรุป จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกระดาษ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องย่อย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชุบแข็งเหล็กกล้า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ โดยเลือกใช้ใบมีดตัดกระดาษทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูงตามมาตรฐาน AISI O1 ที่ผ่านการชุบแข็งเพราะสามารถย่อยทำลายกระดาษและลวดเย็บได้ อีกทั้งทนทานต่อการสึกหรอได้เป็นอย่างดี โดยมีความมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษและศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษที่ผู้วิจัยได้พัฒนา โดยทำการหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เฮช เอส เอ็ม HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมัน ที่สามารถย่อยกระดาษขนาด A4 ได้ครั้งละ 1 -36 แผ่น ความเร็วในการย่อยทำลายกระดาษ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษได้ตามมาตรฐาน DIN 32757-1 ระดับ 2 และใบมีดตัดกระดาษสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ ในส่วนของสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษผู้วิจัยจะทำการศึกษาใน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการออกแบบ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าผลการวิจัยจะเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตเครื่องย่อยกระดาษต้นแบบที่สามารถนำมาผลิตในเชิงอุตสาหกรรม โดยใช้วัสดุและกรรมวิธีการผลิตภายในประเทศ ซึ่งสามารถทดแทนการนำเข้าเครื่องย่อยกระดาษจากต่างประเทศ รวมถึงการบำรุงรักษาและ ซ่อมแซมสามารถทำได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าเครื่องที่มีอยู่โดยทั่วไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้า เรื่องการพัฒนาเครื่องยoyoกระดาษ เป็นการศึกษาค้นคว้าเชิงทดลอง (experimental research) ที่มีความมุ่งหมายของศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาเครื่องยoyoกระดาษ และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องยoyoกระดาษ ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังรายละเอียดเป็นหัวข้อดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการยoyoกระดาษและการพัฒนาส่วนประกอบของเครื่องยoyoกระดาษ
2. ร่างแบบ เขียนแบบเครื่องยoyoกระดาษและคำนวณชิ้นส่วนเครื่องยoyoกระดาษ
3. การดำเนินการสร้างเครื่องยoyoกระดาษ
4. การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องยoyoกระดาษ
5. การวิเคราะห์ข้อมูล
6. การสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องยoyoกระดาษ

1. ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการยoyoกระดาษและการพัฒนาส่วนประกอบของเครื่องยoyoกระดาษ

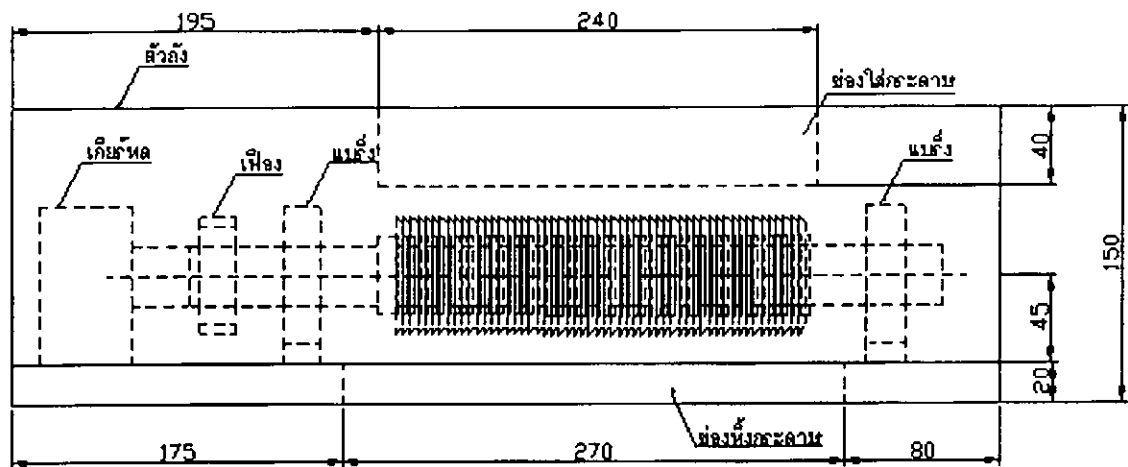
ในการศึกษารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการยoyoกระดาษและการพัฒนาเครื่องยoyoกระดาษ แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

- 1.1 ศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา และงานทดลองที่เกี่ยวกับเครื่องยoyoกระดาษที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ การยoyoทำลายกระดาษ วัสดุที่นำมาใช้ผลิตใบมีดตัดกระดาษ การทดสอบ การวัดประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องยoyoกระดาษ
- 1.2 ศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา และงานทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องยoyoกระดาษ
- 1.3 ศึกษาคุณสมบัติส่วนประกอบต่างๆของเครื่องยoyoกระดาษ เพื่อกำหนดและจัดหาวัสดุอุปกรณ์ วงจรควบคุมการทำงานที่เหมาะสมมาประกอบเป็นเครื่องยoyoกระดาษ

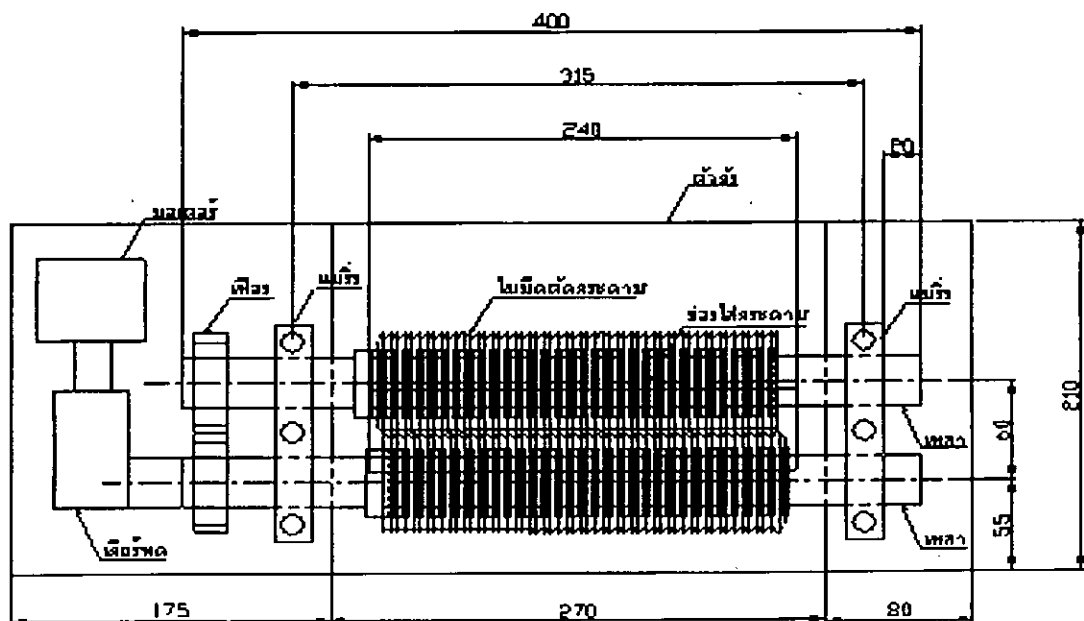
2. ร่างแบบ เขียนแบบเครื่องยoyoกระดาษและคำนวณชิ้นส่วนเครื่องยoyoกระดาษ

- 2.1 ศึกษาปัญหาและความต้องการใช้งานเครื่องยoyoกระดาษ จากเอกสารและงานทดลองที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องยoyoกระดาษ และแบบเครื่องที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
- 2.2 กำหนดส่วนประกอบหลักของเครื่องยoyoกระดาษ ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเกียร์ทดรอบ คัปปลิงส่งกำลัง แบริ่งลูกกลิ้ง แป้นเกลียว เฟลา เฟืองและใบมีดตัดกระดาษ

2.3 ทำการร่างแบบและเขียนแบบคร่าว ๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ เพื่อที่เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณชิ้นส่วนต่างๆได้ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดแบบของเครื่องย่อยกระดาษที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 38 รูปด้านบนของเครื่องย่อยกระดาษ หน่วยเป็นมิลลิเมตร



ภาพประกอบ 39 รูปด้านบนของเครื่องย่อยกระดาษ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

2.4 ทำการคำนวณชิ้นส่วนประกอบหลักของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเกียร์ทดรอบ แบร์ริงลูกกลิ้ง เฟลา เฟืองและใบมีดตัดกระดาษ เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดวัสดุ ชนิดและขนาดในการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดการคำนวณ ดังนี้

ทฤษฎีและการคำนวณ

หาน้ำหนักโดยเฉลี่ยของกระดาษขนาด A4 ชนิด 70 แกรม

ทดลองชั่งกระดาษหนัก 50 แผ่น ได้น้ำหนัก 220 กรัม

กระดาษ 1 แผ่นหนักเฉลี่ย $220/50 = 4.4$ กรัม

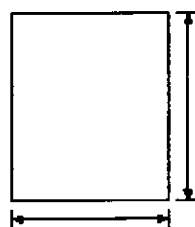
พื้นที่ของกระดาษ A4 $= 0.210\text{m} \times 0.297\text{m} = 0.06237 \text{ m}^2$

น้ำหนักกระดาษ A4 ต่อ พื้นที่กระดาษ A4 1 แผ่น $= 4.4/0.06237 = 70.55 \text{ g/m}^2 = 70 \text{ g/m}^2$

ที่น้ำหนักมาตรฐาน 70 g/m^2 มีค่าความต้านแรงฉีกขาดจากทุกแนวไม่น้อยกว่า 500 mN

(อ้างอิงจาก พรทวิ พึงรัศมี.2537 : 143)

ยาว 297 mm



กว้าง 210 mm

ภาพประกอบ 40 ขนาดของกระดาษ A4

ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ประเทศเยอรมัน (อ้างอิงจาก OPERATING INSTRUCTIONS PAPER SHREDDERS HSM 390.2 ไม่ปรากฏปีพิมพ์ : 17)

สามารถย่อยกระดาษได้สูงสุดครั้งละ 34-36 แผ่น (กระดาษ A4 ชนิด 70 แกรม)

ทำการปัดเศษจำนวนกระดาษ 34-36 เป็นจำนวน 40 แผ่น

$$\begin{aligned} \text{แรงที่กระทำกับใบมีด 1 ใบ} &= \text{แรงต้านการฉีกขาด} \times \text{จำนวนแผ่นกระดาษ} \times 2 \\ &= 500 \times 10^{-3} \times 40 \times 2 = 40 \text{ N} \end{aligned}$$

กำหนดรัศมีใบมีดตัดกระดาษ $= 0.030 \text{ m}$

เพลาชับ : จำนวนใบมีด 53 ใบ

แรงบิด (Torque) $= FR$

$$T = 40 \times 53 \times 0.030 = 63.6 \text{ N.m}$$

เพลตาม : จำนวนไบมีด 53 ไบ

แรงบิด(Torque) = FR

$$T = 40 \times 53 \times 0.030 = 63.6 \text{ N.m}$$

$$\text{แรงบิดรวม} = 63.6 + 63.6 = 127.2 \text{ N.m}$$



ภาพประกอบ 41 แสดงลักษณะของไบมีดที่ใส่อยู่บนเพล

เลือกมอเตอร์ type 15 1500 rpm ขนาดอัตราทดรอบ 1 : 25

$$\text{ได้ความเร็วรอบ} = 1500/25 = 60 \text{ rpm}$$

อัตราป้อน (feed) หมุน 1 รอบ

$$\text{ไบมีดหมุนไป } 2r = 2 \pi \times 0.030 \text{ m}$$

หมุน 60 รอบ

$$\text{ไบมีดหมุนไป } 2r = 2 \pi \times 0.030 \times (60/60) = 0.1885 \text{ m/s}$$

หา Power

$$2\pi TN/60 = (2\pi \times 127.2 \times 60)/60 = 799.22 \text{ W} = 1.07 \text{ hp}$$

เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 1 เฟส

แรงที่เฟืองกระทำกับเพล

ใช้ฟันเฟืองตัดแบบ 20 องศา (20 Degree Full - Depth)

ความเร็วรอบ 60 rpm

$$\text{Power} = 799.22 \text{ W} = 0.8 \text{ kW}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ = 60 mm

$$F = (60 \times 10^{-3} \times P) / (2 \pi r N)$$

$$= (60 \times 10^{-3} \times 0.8) / (2 \pi \times 30 \times 60)$$

$$= 4.24 \text{ kN}$$

$$F'_{23} = F'_{b3} = 4.24 \text{ kN}$$

$$Fr_{23} = F'_{23} \tan 20 = 4.24 \tan 20 = 1.54 \text{ kN} = 1540 \text{ N}$$

$$F_{23} = F'_{23} / \cos 20 = 1540 / \cos 20 = 1638 \text{ N} = 1.638 \text{ kN}$$

แรงที่ชุดใบมีดกระทำกับเพลลา - แรงเนื่องจากน้ำหนักของใบมีด

น้ำหนักของใบมีด 1 ใบ

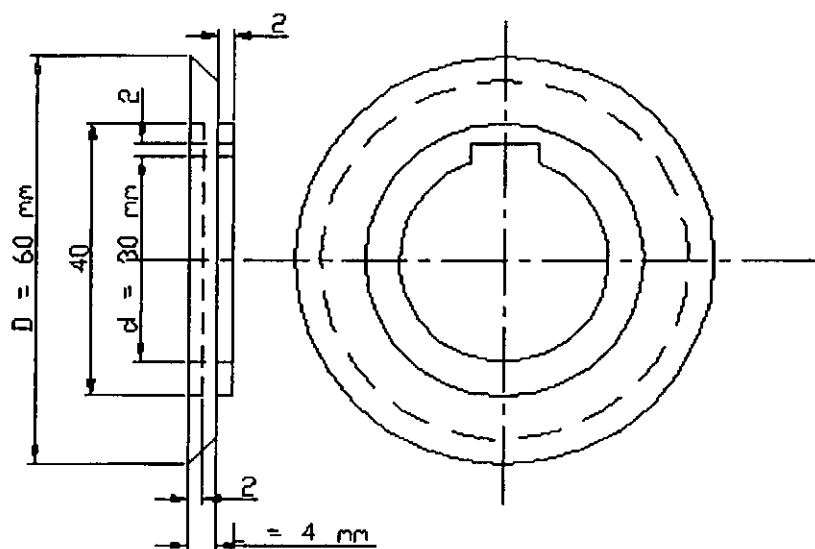
$$W = PV$$

$$W = P(\pi/4)(D^2 - d^2)L$$

ขนาดของใบมีดที่เลือกใช้

$$D = 0.06 \text{ m} \quad d = 0.03 \text{ m} \quad L = 0.004 \text{ m}$$

ความหนาแน่น ของใบมีด = $76.5 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ (ใบมีดทำจากเหล็ก AISI เกรด O1)



ภาพประกอบ 42 แสดงลักษณะและขนาดของใบมีดตัดกระดาษ

$$\text{ดังนั้น } W = 76.5 \times 10^3 \times \pi/4 \times (0.06^2 - 0.03^2) \times 0.004 = 0.65 \text{ N}$$

ชุดใบมีดแต่ละใบมีดห่างกัน 0.4 cm

ดังนั้นน้ำหนักจากชุดใบมีดต่อเพลลาจึงเป็นโหลดกระจายคือ $0.65 \text{ N} / 0.4 \text{ cm} = 1.625 \text{ N/cm}$

$$W = 1.625 \text{ N/cm}$$

แรงเนื่องจากการตัดกระดาษของใบมีด (F_D)

$$\text{แรงกระทำกับใบมีด 1 ใบ} = 40 \text{ N}$$

ใบมีดแต่ละใบห่างกัน 0.4 cm

แรงเนื่องจากการตัดกระดาษของใบมีดเป็นโหลดกระจาย

$$F_D = 40/0.4 = 100 \text{ N/cm}$$

Take Moment ที่ A X-Z

$$(2120 \times 20.6) + (R_D^X \cdot 41.2) + (1540 \times 46.2) = 0$$

$$R_D^X = -2786.89 \text{ N}$$

$$\sum F_X = 0 ; \quad R_A = 2786.89 - 2120 - 1540 \\ = -873.11$$

พิจารณาระนาบ Y-Z

$$(4240 \times 46.2) + (R_D^Y \cdot 41.2) = 34.45 \times 20.6$$

$$R_D^Y = -4737.34 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 ; \quad R_A^Y = 34.45 + 4737.34 - 4240 = 531.79 \text{ N}$$

และจากการ Take Moment ที่ระนาบ X-Z และ ระนาบ Y-Z

จะได้ว่าที่ จุด D เกิดค่า Moment ดัดสูงสุด โดยค่า Moment ดัดที่มากที่สุด

$$[(21200.078^2 + 7699.868^2)]^{1/2} = 22555 \text{ N.cm} = 225550 \text{ N.mm}$$

การคำนวณหาขนาดเพลลา

$$\text{จาก Torque} = 127.2 \text{ N.m} = 127200 \text{ N.mm}$$

เนื่องจากความเค้นดัด $stress_{max} = -stress_{min}$

$$\text{ได้เป็น } stress_m = (stress_{max} + stress_{min}) / 2 = 0$$

$$stress_a = (stress_{max} - stress_{min}) / 2 = stress_{max}$$

$$stress_a = (32M) / (\pi d^3 (1 - k^4)) \text{ แต่ } K = 0 \text{ เมื่อเป็นเพลลาตัน}$$

$$stress_a = 2297433.435 / d^3 \text{ N/mm}^2$$

เนื่องจาก Moment บิดมีค่าคงที่

ทำให้ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันตลอดรอบผิวของเพลลา ดังนั้น shear A = 0

แทนค่าได้

$$\text{Shear M} = 16T_m / (\pi d^3 (1 - k^4))$$

เมื่อ K = 0

$$\text{แทนค่าได้ shear M} = 647824.28 / d^3$$

เมื่อ K_f = 1.6 เลือกใช้ AISI C1137

$$\text{ค่าเฉลี่ยของความเค้น } stress_u = (87 + 158) / 2 = 122.5 \text{ ksi} = 844.64 \text{ N/mm}^2$$

$$stress_n = (60 + 130) / 2 = 99 \text{ ksi} = 682.60 \text{ N/mm}^2$$

$$stress_n f = 0.5 stress_u = 0.5 \times 844.64 = 422.32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ตัวประกอบของผิว } K_a = 0.89$$

$$\text{สมมติให้เพลลามีขนาดเล็กกว่า 50 mm ตัวประกอบขนาด } K_b = 0.85$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } stress_n = 0.89 \times 0.85 \times 422.32 = 319.50 \text{ N/mm}^2$$

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

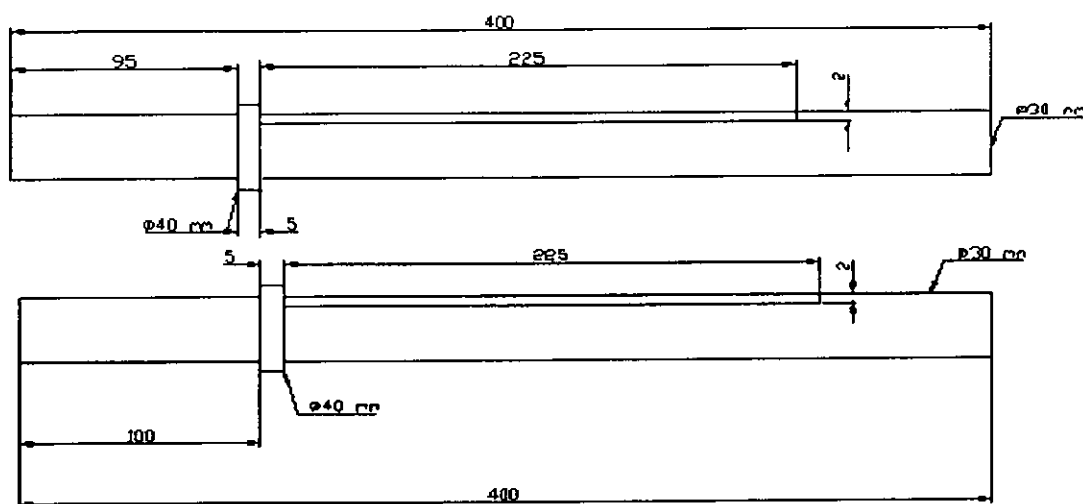
$$\text{shear } Y = 0.5 \text{stress}_y = 0.5 \times 682.60 = 341.30 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{ให้ } \text{stress}_m = \text{shear } A = 0$$

$$1/N = ((K_f (a/N))^2 + ((\text{shear}_m / \text{shear}_u)^2))^{1/2}$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการได้ $d = 27.58 \text{ mm}$

เลือกใช้ เฟลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm



ภาพประกอบ 43 แสดงลักษณะและขนาดของเฟลาที่เลือกใช้

การเลือกแบร์ริง

กำหนดอายุการใช้งานของ bearing กำหนดให้วงแหวนในหมุน

กำหนดให้แรงในแนวแกน เป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการ รับโหลดตักย์

$$F_a = 0.05 C_0$$

เลือกใช้ single row deep groove อนุกรมมิติ 02 ขนาดรูรวม 30 mm

$$C_0 = 10 \text{ kN}$$

$$C = 14.95 \text{ kN}$$

$$F_a = 0.05 \times 10 = 0.5 \text{ kN}$$

$$F_R = [(4737.34^2 + 2786.89^2)^{1/2}] = 5.496 \text{ kN}$$

$$iF_a / C_0 = (0.5 \times 1) / 10 = 0.05$$

$$F_a / VF_r = 0.5 / (1 \times 5.256) = 0.095$$

จากตาราง e อยู่ระหว่าง 0.22 กับ 0.26

$$F_a / VF_r < e \quad ; \quad X = 1, Y = 0$$

$$P = XVF_r + Yfa$$

$$= 1 \times 1 \times 5.496 = 5.496 \text{ kN}$$

$$P = VF_r = 1 \times 5.496 = 5.496 \text{ kN}$$

$$L_{10} = (C/P)^k = (14.95/5.496)^3 = 20.13 \text{ mr}$$

$$L_{10} = 20.13 \times 10^6 / (60 \times 60) = 5600 \text{ hr}$$

สรุป

-ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1 แรงม้า 1 เฟส จำนวน 1 ตัว

-ใช้เฟืองฟันตรงแบบ 20 องศา (20 Degree Full Depth) เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ 60 มม. จำนวน 2 ตัว

-ใช้ใบมีดขนาด $D = 0.06 \text{ m}$ $d = 0.03 \text{ m}$ $L = 0.004 \text{ m}$ ทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนสูง AISI

เกรด O1 จำนวน 106 ใบ

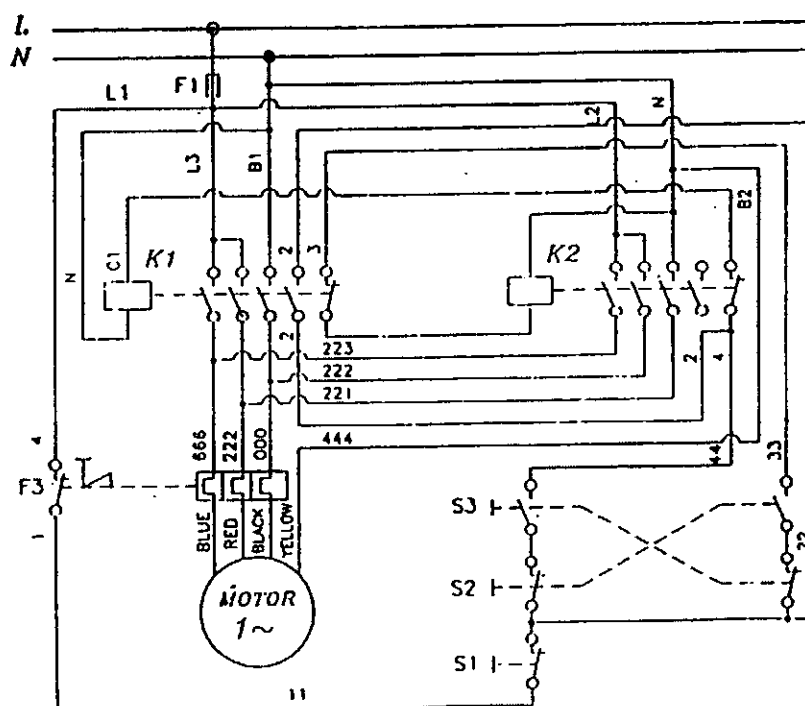
-ใช้เพลาดันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม ยาว 400 มม ทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนสูง AISI

เกรด C1137 จำนวน 2 ท่อน

-ใช้แบริ่งลูกกลิ้งแบบ Single row deep groove อนุกรมมิติ 02 เบอร์ 6206 ขนาดรูสวม 30 มม

จำนวน 4 ตัว

2.5 ศึกษาวงจรการทำงานและลักษณะการใช้งานของเครื่องย่อยกระดาษในท้องตลาด เพื่อทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบร่างวงจรการทำงานทางไฟฟ้าของเครื่องย่อยกระดาษ ดังนี้



ภาพประกอบ 44 วงจรการทำงานทางไฟฟ้าของเครื่องย่อยกระดาษ

3. การดำเนินการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ

3.1 กำหนดวัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า
ในการวิจัยครั้งนี้เป็นวิธีการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยได้จัดแบ่งรายละเอียดออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1.1 วัสดุ

เหล็กเพลลา AISI O1	ขนาด 65 × 1000 มม.	จำนวน 2 ท่อน
เหล็กเพลลา AISI C1137	ขนาด 45 × 1000 มม.	จำนวน 1 ท่อน
แผ่นเหล็กไร้สนิม	ขนาด 1,000×700×3มม.	จำนวน 2 แผ่น
เหล็กฉาก St 37	ขนาด 40 × 3 มม.	จำนวน 6 ท่อน
แปรงแบบเม็ดกลมแถวเดียวร่องลึก	ขนาดอนุกรมมิติ 02 รูสวมใช้งาน 30 มม.	จำนวน 4 ตัว
เฟืองตรง ขนาด $\varnothing$ 60 มม. แบบ 20 องศา (20 Degree Full Depth)		จำนวน 3 ตัว
กัปปลิงแบบยึดหย่อน ชนิดหน้าแปลนยาง		จำนวน 2 ชุด
ชุดเกียร์ทดรอบ แบบ PA ขนาดใช้กับแรง 1 hp อัตราทดรอบ 1 : 30		จำนวน 1 ตัว
มอเตอร์ไฟฟ้า แบบเฟสเดียว ใช้กับระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิรท์		
สวิตซ์ไฟฟ้าเปิดปิด		จำนวน 1 ตัว
สายไฟชนิด VCT ยาว 5 เมตร		จำนวน 1 เส้น
ล้อเลื่อนเหล็ก ขนาด $\varnothing$ 3 นิ้ว		จำนวน 4 ล้อ
น็อตตัวผู้ ตัวเมีย ขนาด M 4		จำนวน 1 กล่อง
ทึนเนอร์		จำนวน 1 กระป๋อง
กระดาษทราย เบอร์ 40		จำนวน 10 แผ่น
สีรองพื้นกันสนิม		จำนวน 1 กระป๋อง
สีเคลือบ		จำนวน 1 กระป๋อง

3.1.2 กำหนดเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องเลื่อยกลโลหะ	จำนวน 1 เครื่อง
เครื่องกลึงโลหะพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องกัดโลหะแนวตั้งพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องเชื่อมไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องเจียรระไนพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องเจาะตั้งพื้นพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องพับโลหะพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องมือทำเกลียวพร้อมอุปกรณ์	จำนวน 1 ชุด
เครื่องมืออุปกรณ์งานช่างโลหะ	จำนวน 1 ชุด
เครื่องมืออุปกรณ์งานช่างไฟฟ้า	จำนวน 1 ชุด
เครื่องมืออุปกรณ์งานช่างสี	จำนวน 1 ชุด
ตะไบเหล็ก	จำนวน 1 ชุด
สว่านมือเจาะเหล็กพร้อมดอกสว่าน	จำนวน 1 ชุด

มัลติมิเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
ดัลบีเมตร	จำนวน 1 อัน
เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	จำนวน 1 ชิ้น
ประแจปากตายชุดใหญ่	จำนวน 1 ชุด
ประแจบล็อกชุดใหญ่	จำนวน 1 ชุด

3.2 กำหนดสถานที่และระยะเวลาในการศึกษาค้นคว้า

สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกระดาษ ผู้วิจัยได้ใช้อาคารปฏิบัติงานช่าง ของกลุ่มงานเทคโนโลยีเครื่องจักรกล สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ถนนรามอินทรา เขตบางเขน จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ผู้วิจัยได้ใช้เวลาในการสร้างตั้งแต่ เดือนมกราคม พศ. 2547 ถึงเดือนมิถุนายน พศ.2547 รวมระยะเวลา 6 เดือน

3.3 การดำเนินการสร้าง

ในการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกระดาษ ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการสร้างออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ คือ ขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วย การรับรู้ปัญหา ศึกษารายละเอียด ออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ ขั้นตอนที่ 2 การตรวจแบบโดยผู้เชี่ยวชาญและทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ ก่อนทำการสร้าง ขั้นตอนที่ 3 ประกอบด้วย การดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ จะประกอบไปด้วย การรับรู้ปัญหา การศึกษารายละเอียดเพื่อหาข้อมูลในการออกแบบ และการออกแบบส่วนต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายของการทดลอง ในขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปัญหาและความต้องการของการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
2. ศึกษาและค้นคว้าจากหนังสือ วารสารและตำราที่เกี่ยวข้องกับเครื่องย่อยกระดาษ
3. ศึกษาและค้นคว้าจากเอกสาร ตำราที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
4. ศึกษาคุณสมบัติส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ เพื่อจัดหาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ

5. ออกแบบร่างแบบและเขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ ในการเขียนแบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนแบบเป็นรายละเอียด แบบภาพประกอบและภาพแยกชิ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 โครงสร้างเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วยฐานรองรับเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีความสูง 1000 มม. กว้าง 297 มม. ยาว 525 มม. ผู้วิจัยเลือกใช้เหล็กฉาก St 37 ขนาด 40 × 3 มม. ซึ่งเป็นเหล็กฉากที่มีราคาไม่แพงและหาซื้อได้ง่าย มีความแข็งแรงต่อการรองรับ การจับยึดและน้ำหนักของชิ้นส่วนและชุดส่งกำลังได้ดี

5.2 ชุดส่งกำลัง เป็นส่วนที่ใช้ส่งกำลังโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบคือ มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเกียร์ทดรอบ คัปปลิงส่งกำลัง แปรงลูกกลิ้ง เฟืองขับฟันตรง และเพลาลูกกลิ้งทดกระดาษ

5.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า ผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำแบบเฟสเดียวมีโครงสร้างและหลักการทำงานในการทำให้หมุนด้วยความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ขนาด 1 แรงม้า ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลต์ เป็นตัวต้นกำลังในการส่งแรง ซึ่งเพียงพอต่อการส่งกำลังให้กับเพลลาใบมีดตัดกระดาษ

5.2.2 ชุดเกียร์ทดรอบ ผู้วิจัยเลือกใช้ชุดเกียร์ทดรอบแบบ PA ขนาดใช้กับแรง 1 แรงม้า ขนาดอัตราทดรอบ 1 : 30 ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปเพื่อหาเปลี่ยนอะไหล่ได้ง่าย และต้องการทดรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะส่งไปยังเฟืองขับฟันตรงให้เหลือประมาณ 50 รอบต่อนาที เพื่อเพิ่มแรงบิดให้กับเพลลาใบมีดขณะทำการย่อยกระดาษ อีกทั้งเพื่อยืดอายุการใช้งานของใบมีดและลดการเกิดเสียงดังในขณะย่อยกระดาษ

5.2.3 คัปปลิงส่งกำลัง ผู้วิจัยเลือกใช้ คัปปลิงแบบอ่อนตัว (flexible coupling) โดยชิ้นส่วนยึดหมุนทำจากยาง ใช้งานกับแรงขนาด 1 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 50-1500 rpm ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยด์จำนวน 2 ชุด เพราะมีความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระทำที่ได้คำนวณไว้ และใช้ต่อกำลังสำหรับเพลลาที่ยึดศูนย์บ้างเล็กน้อยซึ่งสภาพงานจริง ต้องยอมให้เพลลาเยื้องศูนย์ได้บ้าง อีกทั้งช่วยลดการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดกับเพลลา มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาไม่แพง

5.2.4 แบริ่งลูกกลิ้ง ผู้วิจัยเลือกใช้แบริ่งลูกกลิ้ง ชนิดเม็ดกลมแถวเดียว ร่องลึก (Single Row Deep Groove) อนุกรมมิติ 02 ขนาดรูสวม 30 มม. เพราะมีความแข็งแรงทนทานพอต่อแรงหมุนตามแนวรัศมีของเพลลาที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้ อัตราการสึกหรอต่ำ บำรุงรักษาง่ายและราคาไม่แพง

5.2.5 เฟืองขับฟันตรง ผู้วิจัยเลือกใช้เฟืองฟันตรง แบบ 20 องศา (20 Degree Full Depth) ที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาทีเพราะประสิทธิภาพการส่งกำลังสูง(แรงบิด) อัตราการสึกหรอของฟันต่ำ เนื่องจากมีผิวสัมผัสของฟันเต็มหน้าตลอด ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากและมีราคาถูก

5.2.6 เพลลาใบมีดตัดกระดาษ ผู้วิจัยเลือกใช้เพลลาต้นแบบมีปากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม. ทำจากวัสดุเหล็กเกรด AISI C1137 เพราะสามารถทนต่อโมเมนต์แรงบิดที่ออกแบบไว้ อีกทั้งทนทานต่อการสึกหรอและการแอ่นตัวของเพลลาได้

5.3 ใบมีดตัดกระดาษ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในการย่อยทำลายกระดาษ ผู้วิจัยเลือกออกแบบใบมีดหมุนตัดกระดาษ หนา 6 มม.เป็นแบบมีรูสวมตรงกลาง มุมคม 45 องศา โดยการสวมอัดด้วยร่องลิ้น เพราะมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถถอดเปลี่ยนตัวใบมีดออกจากเพลลาใบมีดได้ง่าย เมื่อมีการสึกหรอของคมมีดตัดกระดาษ ในส่วนของวัสดุที่ใช้ทำใบมีดตัดกระดาษผู้วิจัยเลือกใช้ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มาตรฐานเยอรมัน DIN- MATERIAL= 2510 หรือเทียบเท่ามาตรฐานอเมริกา คือ AISI O1 เนื่องจากเหล็กประเภทนี้มีความแข็งแรงสูง สามารถรักษาเหลี่ยมมุมได้ดี มีการเปลี่ยนรูปน้อยมากภายหลังการชุบแข็งแล้ว ซึ่งความแข็งภายหลังการชุบเท่ากับ 64 HRC และนิยมนำมาใช้ผลิตแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ ใบมีดตัดกระดาษ สว่าน และเครื่องมือทำเกลียว

5.4 ส่วนประกอบอื่น ๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วย แป้นเกลียว กล่องรองรับเศษกระดาษ ตัวเสื้อแบริ่งลูกกลิ้ง แผ่นฝาปิดโครงเครื่อง ล้อเลื่อนเหล็ก สายไฟ สวิตช์ไฟฟ้า และนัตตัวผู้เมียขนาด M4

5.4.1 แป้นเกลียว ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นเหล็ก St 37 หนา 3 มม. ขนาดกว้าง 30 มม. ยาว 300 มม. ตัดโค้งเป็นครึ่งวงกลม ด้านยาวด้านหนึ่งทำเป็นร่องฟันขนาด 4 มม. ตลอดความยาวของแป้นเกลียว

5.4.2 กล่องรองรับเศษกระดาศ ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นเหล็ก St 37 มาพับขึ้นรูปเป็นกล่องเหล็กมีขนาดหนา 2 มม กว้าง 315 มม. ยาว 210 มม. สูง 500 มม.

5.4.3 ตัวเสื้อแปรงลูกกลิ้ง ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นเหล็กเอชเอช 41 จำนวน 2 แผ่น ปาดเรียบผิว ทั้ง 6 ด้าน ขนาดกว้าง 20 มม. ยาว 150 มม. สูง 90 มม. มาทำเป็นตัวเสื้อสำหรับติดแปรงลูกกลิ้ง ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานเพียงพอ

5.4.4 แผ่นฝาปิดโครงเครื่อง ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นเหล็ก St 37 มีขนาดหนา 2 มม. กว้าง 825 มม. ยาว 510 มม มาตัดและพับขึ้นรูปเป็นฝาปิดโครงเครื่อง

5.4.5 ล้อเลื่อนเหล็ก ผู้วิจัยเลือกใช้ล้อเลื่อนเหล็กขนาด $\varnothing 3$ นิ้วแบบมีล้อยาง เบรกติดล้อ จำนวน 4 ตัว ซึ่งสามารถรับน้ำหนักของตัวเครื่องและสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องได้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

5.4.6 สายไฟ ผู้วิจัยเลือกใช้สายไฟชนิด VCT ตัวนำไฟฟ้าทำด้วยทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC ใช้ติดตั้งในงานเครื่องจักรกลต่างๆได้ ซึ่งทนอุณหภูมิได้สูงถึง 60 องศาเซลเซียส ใช้กับแรงดันไฟฟ้าได้ 750 โวลต์ ขนาด 2×2.5 มม.

5.4.7 สวิตช์ไฟฟ้า ผู้วิจัยเลือกใช้สวิตช์ไฟฟ้าแบบ SAFETY BREAKER ใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ 15 แอมป์ เปิดและปิดด้วยมือ เพื่อนำกระแสไฟไปเลี้ยงมอเตอร์และตัดโดยอัตโนมัติ เมื่อวงจรไฟฟ้ามีปัญหา

5.4.8 นัตตัวผู้เมีย ผู้วิจัยเลือกใช้นัตตัวผู้เมียขนาด M4 สำหรับยึดติดโครงฝาปิดตัวเครื่อง

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจแบบโดยผู้เชี่ยวชาญและทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ ก่อนทำการสร้าง

ขั้นตอนที่ 3 การดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆของเครื่องย่อยกระดาศ แล้วนำส่วนประกอบต่างๆ มาประกอบเข้าเป็นตัวเครื่อง สำหรับขั้นตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้จำแนกเป็น 4 กลุ่มด้วยกันประกอบด้วย 1. โครงสร้างของเครื่อง 2. ชุดส่งกำลัง 3. ใบมีดตัดกระดาศ 4. ส่วนประกอบอื่นๆของเครื่องย่อยกระดาศ โดยแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการสร้างเป็นหัวข้อตามลำดับดังนี้

1. โครงสร้างของเครื่องย่อยกระดาศ มีขั้นตอนดังนี้

1.1 ตัดเหล็กเหล็กราคา St 37 ขนาด 40×3 มม. ให้ได้ตามแบบที่ออกแบบไว้

1.2 เชื่อมฐานรองรับ ฐานรองรับทั้งส่วนล่างและส่วนบนให้ได้ฉากตามแบบ(ขนาดความสูง 1000 มม. กว้าง 297 มม. ยาว 525 มม.) ด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้า

1.3 ใช้ดอกสว่านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 และ 12 มม. เจาะรูที่ฐานและแขนจับยึด เพื่อจับยึดมอเตอร์ไฟฟ้า และชุดเกียร์ทดรอบตามแบบ

1.4 ทำการตรวจสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมและทำความสะอาดผิวของโครงเครื่องให้สะอาดด้วยกระดาษทราย

1.5 ทาสีกันสนิมและสีรองพื้นให้ตัวโครงสร้าง

2. ชุดส่งกำลัง มีส่วนประกอบคือ มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเกียร์ทดรอบ คัปปลิ่งส่งกำลัง แปรงลูกกลิ้ง เพื่องขับเคลื่อน และเพลานใบมีดตัดกระดาศ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า นำมอเตอร์ไฟฟ้ามาประกอบเข้ากับฐานรองรับตามแบบแล้วยึดด้วยนัต

2.2 ชุดเกียร์ทดรอบ นำชุดเกียร์ทดรอบมาประกอบเข้ากับฐานรองรับตามแบบแล้วยึดด้วยนัต

2.3 คัปปลิงส่งกำลัง ทำการกลึงคว้านรูคัปปลิงให้ได้ตามขนาดของแกนเพลลาที่จะสวมตามแบบ (ขนาดของเพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้า-เพลลาของชุดเกียร์ทดรอบ ,ขนาดเพลลาของชุดเกียร์ทดรอบ-เพลลาของใบมีดตัดกระดาษ) จากนั้นทำการสวมอัดด้วยร็องลิ้มเข้ากับเพลลาต่างๆตามแบบ .

2.4 แบริ่งลูกกลิ้ง ทำการติดตั้งตัวแบริ่งลูกกลิ้งเข้ากับตัวเสื้อแบริ่งลูกกลิ้งโดยทำการสวมอัดให้ได้ระยะตามแบบจำนวน 4 ตัว

2.5 เฟืองขับฟันตรง นำเฟืองขับฟันตรงตัวแรกติดตั้งเข้ากับปลายเพลลาของชุดเกียร์ทดรอบแล้วทำการอัดด้วยร็องลิ้ม ส่วนอีก 2 ตัวนำมาติดตั้งเข้ากับปลายเพลลาของใบมีดตัดกระดาษทั้ง 2 เพลลา แล้วทำการอัดด้วยร็องลิ้ม

2.6 เพลลาใบมีดตัดกระดาษ นำเหล็กเพลลา AISI C1137 มาตัด กลึงและปอกปาดหน้าหลัง ให้มีผิวและได้ขนาดตามแบบจำนวน 2 เพลลา

3. ใบมีดตัดกระดาษ มีขั้นตอนดังนี้

3.1 นำเหล็กเพลลา AISI O1 มาตัดเป็นชิ้นๆด้วยเครื่องเลื่อยโลหะ ให้ได้ความหนาประมาณ 8-9 มม. จำนวน 106 ชิ้น

3.2 นำเหล็กที่ตัดได้ทั้งหมด มาทำการปาดผิวหน้า-หลังให้เรียบจนได้ขนาดหนา 6 มม.ตามแบบด้วยการกลึง

3.3 นำมาทำการเจาะรูตรงจุดศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม. เพื่อไว้สำหรับสวมยึดกับแกนจับสำหรับขั้นตอนการปอกผิว

3.4 ทำการปอกผิวด้านนอกของชิ้นงานให้มีขนาดตามแบบ

3.5 ทำการคว้านผิวหน้าด้านหนึ่งตามขนาดและความลึกตามแบบ

3.6 ทำการเซาะร่องบ่าให้เป็นไปตามแบบ

3.7 นำชิ้นงานที่ได้มาทำการกลึงผิว ตามเส้นรอบวง ให้ได้มุมมีด 45 องศา

3.8 นำชิ้นงานที่ได้ผ่านขั้นตอนทั้งหมด นำไปให้โรงชุบเหล็กทำการชุบให้มีความแข็งประมาณ 64 HRC

3.9 นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว นำไปติดตั้งเข้ากับเพลลาใบมีดตัดทั้ง 2 เพลลา โดยวิธีการสวมเข้าไปที่ละใบ จนครบตามจำนวนใบมีดแต่ละเพลลา จากนั้นทำการสวมอัดด้วยร็องลิ้ม

4.ส่วนประกอบอื่น ๆ ของเครื่องย่อยกระดาษ มีขั้นตอนดังนี้

4.1 แป้นเกลียว ใช้แผ่นเหล็กSt 37 หนา 3มม ขนาดกว้าง 30 มม. ยาว 300 มม. ตัดโค้งเป็นครึ่งวงกลม ด้านยาวด้านหนึ่งทำเป็นร่องฟันขนาด 4 มม. ตลอดความยาวของแป้นเกลียว จากนั้นนำไปติดตั้งเข้ากับตัวเสื้อแบริ่งลูกกลิ้งตามแบบ

4.2 กล่องรองรับเศษกระดาษ ใช้แผ่นเหล็กSt 37 มาพับขึ้นรูป เป็นกล่องเหล็ก มีขนาดหนา 2 มม กว้าง 315 มม. ยาว 210 มม. สูง 500 มม. จากนั้นนำไปประกอบเข้ากับบริเวณใต้ฐานรองรับเครื่อง

4.3 ตัวเสื้อแบริ่งลูกกลิ้ง ใช้แผ่นเหล็กเอชเอช 41 จำนวน 2 แผ่น ปาดผิวเรียบ ทั้ง6 ด้าน ขนาดกว้าง 20 มม. ยาว 150 มม. สูง 90 มม. มาทำเป็นตัวเสื้อสำหรับติดแบริ่งลูกกลิ้ง จากนั้นทำการประกอบติดตั้งด้วยการเชื่อมไฟฟ้าให้ตรงตำแหน่งตามแบบ

4.4 แผ่นฝาปิดโครงเครื่อง ใช้แผ่นเหล็กSt 37 มีขนาดหนา 2 มม. กว้าง 825 มม. ยาว 510 มม. มาตัดและพับขึ้นรูปเป็นฝาปิดโครงเครื่อง จากนั้นนำมาทำสีโดยการพ่นสีรองพื้น 1 ครั้งเมื่อแห้งจึงทำ

การขัดผิวให้เรียบ จากนั้นพ่นสีรองพื้นอีกครั้งหนึ่งแล้วขัดผิวจากนั้นจึงพ่นสีรองพื้น 2 ครั้ง เพื่อที่สีจะได้ทนทานต่อสภาพการเกิดสนิม ทั้งไว้ให้สีแห้งสนิทจากนั้นนำมาประกอบยึดเข้ากับโครงเครื่องด้วยสกรู

4.5 ล้อเลื่อนเหล็ก ประกอบล้อเลื่อนเหล็กขนาด $\varnothing 3$ นิ้วแบบมีล้อยางและเบรกติดล้อ จำนวน 4 ตัว ติดตั้งเข้ากับขาตั้งรองรับของเครื่องโดยวิธีการยึดด้วยสกรู

4.6 สายไฟและสวิตช์ไฟฟ้า ติดตั้งสายไฟและสวิตช์ไฟฟ้าโดยประกอบสายไฟเข้ากับมอเตอร์และปลั๊กไฟฟ้า

4. การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

4.1 ศึกษาวิธีการและข้อมูลจากเอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

4.2 สร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ เป็นแบบกรอกข้อมูลค่าตัวเลข ที่วัดได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ จำแนกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านจำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง ด้านอัตราการทำลายกระดาษ ด้านลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยและ ด้านความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

4.3 สร้างแบบประเมินสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วยคำชี้แจงและข้อแนะนำ ซึ่งมีรายละเอียดประกอบด้วย 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) กำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 114) ดังนี้

- 5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก
- 4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี
- 3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้
- 2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับควรปรับปรุง
- 1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

ตอนที่ 2 เป็นแบบปลายเปิด สำหรับผู้ตอบแบบประเมินแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ

4.4 ตรวจสอบแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ จะดำเนินการดังนี้

4.4.1 นำแบบประเมินเสนอต่อกรรมการผู้ควบคุมปริญญาโท เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

4.4.2 นำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านการวัดผล คุณวุฒิ กศม. และกศด. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 2 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง

4.5 ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องจำนวน 8 คน ตรวจสอบเครื่องย่อยกระดาษที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น พร้อมทั้งคู่มือการใช้งานและการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะลงในแบบประเมิน

4.5.1 นำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจสอบเครื่องย่อยกระดาษที่ออกแบบและสร้างขึ้น ผู้เชี่ยวชาญได้แก่

ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องกล วุฒิ วศบ.เครื่องกล ตำแหน่งวิศวกรเครื่องกล สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประสบการณ์ด้านเครื่องกล 10 ปีขึ้นไป จำนวน 4 ท่าน

ผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า วุฒิ วศบ.ไฟฟ้ากำลัง ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประสบการณ์ด้านไฟฟ้าเครื่องกล 10 ปีขึ้นไป จำนวน 2 ท่าน

ผู้ใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ วุฒิ วทบ. เทคโนโลยีการพิมพ์ ประสบการณ์ด้านเครื่องจักรที่ใช้ในงานสิ่งพิมพ์ 10 ปีขึ้นไป จำนวน 2 ท่าน

4.5.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำด้วยตนเอง ดังนี้

4.5.2.1 ขอนหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4.5.2.2 มอบคู่มือการใช้เครื่องย่อยกระดาษ ให้ผู้เชี่ยวชาญก่อนการทดสอบ 15 วัน

4.5.2.3 เมื่อทดสอบแล้ว ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นลงใน แบบประเมินสมรรถนะ เพื่อนำผลการประเมินไปวิเคราะห์ต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแบบทดสอบและประเมินผลมาดำเนินการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้วยวิธีการทางสถิติดังนี้

1. ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องกล เกี่ยวกับสมรรถนะ ประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการออกแบบ ลักษณะการบำรุงรักษา ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

2. นำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

2.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ใช้สูตร

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

เมื่อ	$\bar{x}$	คือ	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
	$\sum x$	คือ	ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
	N	คือ	จำนวนกลุ่มตัวอย่างประชากร

2.2 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตร

$$SD = \sqrt{\frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ	SD	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร
	x	คือ	ข้อมูลแต่ละจำนวน
	N	คือ	จำนวนของกลุ่มประชากร

2.3 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

โดยใช้สถิติ t - test for Independent samples โดยใช้สูตร (สุวัฒน์ วัฒนวงศ์. 2527 :

127)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

เมื่อ	t	หมายถึง ค่าสถิติที่ใช้พิจารณาใน t-distribution
	$\bar{X}_1, \bar{X}_2$	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2
	S_1^2, S_2^2	หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2
	n_1, n_2	หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2

3. กำหนดเกณฑ์ในการทดสอบและแปลความหมายข้อมูลทางด้านประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

3.1 เกณฑ์ในการทดสอบเครื่องย่อยกระดาษ

3.1.1 ทำการทดสอบเดินเครื่องย่อยกระดาษติดต่อกันเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

3.1.2 ทำการวัดค่าจำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง อัตราการทำลาย

กระดาษ ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ โดยทำการวัดค่าทั้ง 4 ด้านทุกๆ 10 นาที รวมทั้งสิ้น 60 ครั้ง นำผลตัวเลขที่ได้กรอกลงในแบบทดสอบประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

3.1.3 นำผลข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต แล้วทำการเทียบกับเกณฑ์ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เอส เอ็ม (HSM) รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี้

3.2 เกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูล

3.2.1 ด้านจำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 เท่ากับ 36 แผ่น)

ค่าเฉลี่ย จำนวนแผ่นกระดาษสูงสุดที่ป้อนได้ต่อครั้ง มากกว่าหรือเท่ากับ 36 แผ่น แปลความเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย จำนวนแผ่นกระดาษสูงสุดที่ป้อนได้ต่อครั้ง น้อยกว่า 36 แผ่น แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

3.2.2 ด้านอัตราการทำลายกระดาษ

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 เท่ากับ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที)

ค่าเฉลี่ย อัตราการทำลายกระดาษ มากกว่าหรือเท่ากับ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที แปลความเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย อัตราการทำลายกระดาษ น้อยกว่า 126 มิลลิเมตรต่อวินาที แปลความ
เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

3.2.3 ด้านความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ประมาณ 3.9 มิลลิเมตร)

ค่าเฉลี่ย กระดาษที่ผ่านการย่อยเป็นริ้วยาวขนาดหน้ากว้าง ระหว่าง 3.5 -4.0 มิลลิเมตร แปลความ
เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย กระดาษที่ผ่านการย่อยเป็นริ้วยาวขนาดหน้ากว้าง มากกว่า 4.0 มิลลิเมตร แปลความ
เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

3.2.4 ด้านความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 คือ สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ)

กำหนดเกณฑ์

2 คะแนน แปลความ สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้หมด

1 คะแนน แปลความ สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้บางส่วน

0 คะแนน แปลความ ไม่สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้

ค่าเฉลี่ย ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ 2 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดสามารถ
ตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้หมด แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่า
เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ 1 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดสามารถ
ตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้บางส่วน แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่า
เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ 0 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดไม่
สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่า
เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

4. การกำหนดเกณฑ์การประเมินด้านสมรรถนะ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale)
กำหนดค่าระดับเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540 :114) ดังนี้

คะแนน	แปลความ
5 หมายถึง	ผลการประเมินในระดับดีมาก
4 หมายถึง	ผลการประเมินในระดับดี
3 หมายถึง	ผลการประเมินในระดับพอใช้
2 หมายถึง	ผลการประเมินในระดับควรปรับปรุง
1 หมายถึง	ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

5. การกำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลทางด้านสมรรถนะ ดังต่อไปนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.50 - 5.00	ผลการประเมินในระดับดีมาก
3.50 - 4.49	ผลการประเมินในระดับดี
2.50 - 3.49	ผลการประเมินในระดับพอใช้
1.50 - 2.49	ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง
1.00 - 1.49	ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

6. การนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจัดทำ 2 แบบดังนี้

6.1 การนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลทางประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

6.1.1 เสนอเป็นการบรรยายเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพทั้ง 4 ด้านของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เฮช เอส เอ็ม (HSM) รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี

6.2 การนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลทางสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

6.2.1 เสนอเป็นการบรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะ ทั้ง 4 ด้าน ของเครื่องย่อยกระดาษ ตารางแปลความหมายเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นผลการประเมินผลหาสมรรถนะของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 ท่าน

6.2.2 ส่วนข้อมูลจากคำถามปลายเปิดแสดงความคิดเห็นอิสระของผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยนำคำตอบและข้อเสนอแนะมารวบรวม จากนั้นเรียงลำดับเสนอเป็นข้อ จากข้อที่มีความถี่ของผู้ตอบมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดตามลำดับ

6. การสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ

6.1 ศึกษาจากเอกสาร คู่มือการใช้งานของเครื่องย่อยกระดาษในท้องตลาดและลักษณะการใช้งานจริงของผู้ใช้งานเครื่อง

6.2 สร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ โดยภายในคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบไปด้วยรายละเอียดภายในคู่มือดังนี้

- 6.2.1 คำเตือนก่อนการใช้งาน
- 6.2.2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องย่อยกระดาษ
- 6.2.3 แบบและส่วนประกอบต่างๆของเครื่องย่อยกระดาษ
- 6.2.4 วิธีการใช้งาน
- 6.2.5 การบำรุงรักษา

6.3 เมื่อสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษเสร็จแล้ว นำคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษไปขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครื่องจักรกลและผู้ใช้งาน เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย การศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการย่อยกระดาษและการพัฒนาส่วนประกอบของเครื่องย่อยกระดาษ การร่างแบบเขียนแบบและคำนวณชิ้นส่วนเครื่องย่อยกระดาษ การดำเนินการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ การสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษเสร็จแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องย่อยกระดาษ

จากการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 คน คือ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครื่องกล 4 คน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านไฟฟ้า 2 คน และผู้ใช้งานเครื่องย่อยกระดาษจำนวน 2 คน โดยประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะออกเป็นด้านๆดังนี้

1. ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งจำแนกออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

- 1.1 จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง
- 1.2 อัตราการทำลายกระดาษ
- 1.3 ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ
- 1.4 ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

2. สมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งจำแนกออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

- 2.1 ด้านลักษณะทางกายภาพ
- 2.2 ด้านลักษณะการออกแบบ
- 2.3 ด้านลักษณะการบำรุงรักษา
- 2.4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

1. การประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ จำนวน 60 ครั้ง ในระยะเวลาการทดสอบ 10 ชั่วโมงทำงาน ดังแสดงในตาราง 8 - 10

ตาราง 8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ โดยรวมและรายด้าน

ประสิทธิภาพ	$\bar{X}$
1. จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง	36 แผ่น
2. อัตราการทำลายกระดาษ	131.24 มิลลิเมตร/วินาที
3. ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ	4 มิลลิเมตร
4. ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ	1.83 คะแนน

จากตาราง 8 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ โดยรวมทุกด้านมี
 ประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง $\bar{X} = 36$ แผ่น
 อัตราการทำลายกระดาษ $\bar{X} = 131.24$ มิลลิเมตร/วินาที ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ
 $\bar{X} = 4$ มิลลิเมตร และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ $\bar{X} = 1.83$ คะแนน

ตาราง 9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา กับ เครื่องย่อยกระดาษ
ยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี โดยรวมและรายด้าน

ประสิทธิภาพ	เครื่องย่อยกระดาษ ยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2	เครื่องย่อยกระดาษ ที่พัฒนา
1. จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง	1-36 แผ่น	1-36 แผ่น
2. อัตราการทำลายกระดาษ	126 มม.วินาที	131.24 มม.วินาที
3. ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ	3.9 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
4. ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ	2 คะแนน	1.83 คะแนน

จากตาราง 9 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา กับเครื่องย่อย
กระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี ได้ดังนี้

เครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า
จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง $\bar{X} = 36$ แผ่น อัตราการทำลายกระดาษ $\bar{X} = 126$ มิลลิเมตร/
วินาที ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ $\bar{X} = 3.9$ มิลลิเมตร และความสามารถในการตัดทำลาย
ลวดเย็บกระดาษ $\bar{X} = 2$ คะแนน

เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง
 $\bar{X} = 36$ แผ่น อัตราการทำลายกระดาษ $\bar{X} = 131.24$ มิลลิเมตร/วินาที ความละเอียดในการย่อย
ทำลายกระดาษ $\bar{X} = 4$ มิลลิเมตร และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ $\bar{X} = 1.83$
คะแนน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในแต่ละด้านของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น
มีความสามารถเทียบเคียงกับเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี

ตาราง 10 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาศ ชั่วโมงที่ 1-10

เวลาในการทดลองย่อยกระดาศ	จำนวนแผ่นกระดาศที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลายกระดาศ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาศ (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาศ (คะแนน)
<u>ชั่วโมงที่ 1</u>				
นาฬิกาที่ 10	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 20	35	135	4	2
นาฬิกาที่ 30	37	132	4	2
นาฬิกาที่ 40	36	134	4	2
นาฬิกาที่ 50	35	132	4	2
นาฬิกาที่ 60	35	132	4	1
<u>ชั่วโมงที่ 2</u>				
นาฬิกาที่ 10	37	132	4	2
นาฬิกาที่ 20	38	133	4	2
นาฬิกาที่ 30	35	132	4	2
นาฬิกาที่ 40	36	134	4	1
นาฬิกาที่ 50	36	133	4	2
นาฬิกาที่ 60	37	131	4	2
<u>ชั่วโมงที่ 3</u>				
นาฬิกาที่ 10	35	130	4	2
นาฬิกาที่ 20	37	131	4	2
นาฬิกาที่ 30	37	133	4	1
นาฬิกาที่ 40	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 50	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 60	35	130	4	2
<u>ชั่วโมงที่ 4</u>				
นาฬิกาที่ 10	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 20	36	131	4	2
นาฬิกาที่ 30	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 40	37	132	4	2
นาฬิกาที่ 50	36	131	4	2
นาฬิกาที่ 60	35	132	4	1

ตาราง 10 (ต่อ)

เวลาใน การทดลองย่อย กระต่าย	จำนวนแผ่น กระต่าย ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระต่าย (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระต่าย (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระต่าย (คะแนน)
<u>ชั่วโมงที่ 5</u>				
นาฬิกาที่ 10	35	132	4	2
นาฬิกาที่ 20	36	131	4	1
นาฬิกาที่ 30	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 40	36	131	4	2
นาฬิกาที่ 50	35	132	4	2
นาฬิกาที่ 60	37	130	4	2
<u>ชั่วโมงที่ 6</u>				
นาฬิกาที่ 10	35	132	4	1
นาฬิกาที่ 20	36	131	4	2
นาฬิกาที่ 30	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 40	37	132	4	2
นาฬิกาที่ 50	35	130	4	2
นาฬิกาที่ 60	35	131	4	2
<u>ชั่วโมงที่ 7</u>				
นาฬิกาที่ 10	37	132	4	2
นาฬิกาที่ 20	35	132	4	2
นาฬิกาที่ 30	36	131	4	1
นาฬิกาที่ 40	37	131	4	2
นาฬิกาที่ 50	38	130	4	2
นาฬิกาที่ 60	36	132	4	2
<u>ชั่วโมงที่ 8</u>				
นาฬิกาที่ 10	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 20	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 30	37	130	4	2
นาฬิกาที่ 40	35	131	4	1
นาฬิกาที่ 50	37	131	4	2
นาฬิกาที่ 60	36	132	4	2

ตาราง 10 (ต่อ)

เวลาในการทดลองย่อย กระดาษ	จำนวนแผ่น กระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
<u>ชั่วโมงที่ 9</u>				
นาฬิกาที่ 10	36	132	4	2
นาฬิกาที่ 20	36	132	4	2
นาฬิกาที่ 30	37	130	4	2
นาฬิกาที่ 40	35	130	4	2
นาฬิกาที่ 50	37	132	4	1
นาฬิกาที่ 60	36	131	4	2
<u>ชั่วโมงที่ 10</u>				
นาฬิกาที่ 10	36	130	4	2
นาฬิกาที่ 20	37	131	4	2
นาฬิกาที่ 30	35	130	4	1
นาฬิกาที่ 40	36	132	4	2
นาฬิกาที่ 50	37	130	4	2
นาฬิกาที่ 60	36	131	4	2
รวม	360	1,312.41	40	18.30
$\bar{X}$	36	131.24	4	1.83

จากตาราง 10 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ โดยรวมทุกด้านมี
ประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง $\bar{X} = 36$ แผ่น
อัตราการทำลายกระดาษ $\bar{X} = 131.24$ มิลลิเมตร/วินาที ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ
 $\bar{X} = 4$ มิลลิเมตร และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ $\bar{X} = 1.83$ คะแนน

2. การประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

การเปรียบเทียบการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ ค่าคะแนนระดับ 4
 ดังแสดงในตาราง 11 -15

ตาราง 11 ผลการเปรียบเทียบการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ โดยรวมและรายด้าน N = 8

สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ	t	$\bar{X}$	S.D.	แปลความ
1. ด้านลักษณะทางกายภาพ	2.58	4.34	0.37	ดี
2. ด้านลักษณะการออกแบบ	2.18	4.28	0.36	ดี
3. ด้านลักษณะการบำรุงรักษา	4.24	4.34	0.22	ดี
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน	7.00	4.43	0.17	ดี
รวม	7.70	4.35	0.12	ดี

จากตาราง 11 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญ
 ทั้ง 8 คน โดยรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.35$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าสมรรถนะเครื่อง
 ย่อยกระดาษอยู่ในเกณฑ์ดีทุกด้าน ($\bar{X} = 4.43 - 4.28$) โดยเรียงลำดับดังนี้ ความเหมาะสมด้านการนำไป
 ใช้งาน ($\bar{X} = 4.43$) ด้านลักษณะทางกายภาพ ($\bar{X} = 4.34$) ด้านลักษณะการบำรุงรักษา ($\bar{X} = 4.34$)
 ด้านลักษณะการออกแบบ ($\bar{X} = 4.28$)

ตาราง 12 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านลักษณะทางกายภาพ N = 8

ด้านลักษณะทางกายภาพ		$\bar{X}$	S.D.	แปลความ
1.1	ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อยกระดาษ มีความกะทัดรัด สวยงาม	4.12	0.64	ดี
1.2	ชิ้นส่วนทุกชิ้นสามารถแยกชิ้นและถอดประกอบได้	4.37	0.52	ดี
1.3	ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรงทนทาน	4.37	0.74	ดี
1.4	ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความปลอดภัยขณะใช้งาน	4.50	0.53	ดีมาก
รวม		4.34	0.37	ดี

จากตาราง 12 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน เป็นผู้ประเมินสมรรถนะด้านลักษณะทางกายภาพโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.34$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความปลอดภัยขณะใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\bar{X} = 4.50$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อยกระดาษมีความกะทัดรัด สวยงาม อยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.12$)

ตาราง 13 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านลักษณะการออกแบบ N = 8

	ด้านลักษณะการออกแบบ	$\bar{X}$	S.D.	แปลความ
2.1	ชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษ ออกแบบได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน	4.50	0.53	ดีมาก
2.2	เครื่องย่อยกระดาษออกแบบได้เหมาะสมกับสัดส่วนรูปร่างของคนไทย	4.12	0.83	ดี
2.3	การออกแบบใบมีดตัดกระดาษออกแบบได้เหมาะสม	4.25	0.70	ดี
2.4	การออกแบบระบบชุดส่งกำลังออกแบบได้เหมาะสม	4.25	0.46	ดี
	รวม	4.28	0.36	ดี

จากตาราง 13 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน เป็นผู้ประเมินสมรรถนะด้านลักษณะการออกแบบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.28$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษ ออกแบบได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.50$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ เครื่องย่อยกระดาษออกแบบได้เหมาะสม กับ สัดส่วนรูปร่างของคนไทยอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{X} = 4.12$)

ตาราง 14 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา N = 8

	ด้านลักษณะการบำรุงรักษา	$\bar{X}$	S.D.	แปลความ
3.1	การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่ายและสะดวก	4.25	0.46	ดี
3.2	การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นปฏิบัติได้รวดเร็วไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหายต่อส่วนอื่น	4.62	0.51	ดีมาก
3.3	เมื่อชิ้นส่วนใดชำรุดสามารถซ่อมแซมและเปลี่ยนได้ง่าย	4.37	0.51	ดี
3.4	วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องย่อยกระดาษหาได้ง่ายและราคาไม่แพง	4.12	0.64	ดี
	รวม	4.34	0.22	ดี

จากตาราง 14 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน เป็นผู้ประเมินสมรรถนะด้านลักษณะการบำรุงรักษาโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.34$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นปฏิบัติได้รวดเร็วไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหายต่อส่วนอื่นอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.62$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องย่อยกระดาษหาได้ง่ายและราคาไม่แพงอยู่ในเกณฑ์ระดับ ดี ($\bar{X} = 4.12$)

ตาราง 15 การทดสอบหาค่าสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน N=8

ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน		$\bar{X}$	S.D.	แปลความ
4.1	ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้	4.50	0.53	ดีมาก
4.2	มีความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน	4.37	0.51	ดี
4.2	เหมาะสมนำไปใช้ในสถานศึกษาและสำนักงานขนาดใหญ่	4.25	0.46	ดี
4.4	เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต้องการได้สะดวก	4.62	0.51	ดีมาก
รวม		4.43	0.12	ดี

จากตาราง 15 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางการประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน เป็นผู้ประเมินสมรรถนะด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.43$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต้องการได้สะดวกอยู่ในเกณฑ์ระดับ ดีมาก ($\bar{X} = 4.62$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ เหมาะสมนำไปใช้ในสถานศึกษาและสำนักงานขนาดใหญ่อยู่ในเกณฑ์ระดับ ดี ($\bar{X} = 4.25$)

3. ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับข้อมูลคำถามปลายเปิด เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้รวบรวมแนวคิดและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญนำเสนอในตารางดังนี้

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่แสดงความคิดเห็น
1. น้ำหนักของตัวเครื่องยังมีน้ำหนักมาก	3
2. เวลาเดินเครื่องยังมีเสียงดังอยู่บ้าง	3
3. รูปร่าง ความกะทัดรัดของเครื่องยังไม่มากพอ	3
4. ตัววัสดุและสีที่มาทำตัวเครื่องยังไม่ค่อยมีความสวยงาม	4
5. ตำแหน่งแผงสวิตช์คอนโทรลยังต้องปรับปรุงให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน	3
6. ปรับปรุงองศาของช่องป้อนกระดาษ	2

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ เพื่อศึกษาและทดลองหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษในด้านต่างๆ ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ได้เครื่องย่อยกระดาษที่มีประสิทธิภาพในการย่อยทำลายกระดาษเช่นเดียวกับเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เฮช เอส เอ็ม (H S M) รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี และสามารถทดแทนการนำเข้า รวมทั้งการบำรุงรักษาซ่อมแซมชุดใบมีดตัดกระดาษ ชุดส่งกำลัง ชุดหดรอบสามารถทำได้ง่ายและราคาถูกกว่าเครื่องย่อยกระดาษจากต่างประเทศ เพื่อนำไปใช้งานในสำนักงานหรือสถานศึกษาที่ต้องการย่อยทำลายกระดาษ

สมมุติฐานในการศึกษาค้นคว้า

1. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ
2. เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการย่อยกระดาษและการพัฒนาส่วนประกอบของเครื่องย่อยกระดาษ

1.1 ศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา และงานทดลองที่เกี่ยวข้องกับเครื่องย่อยกระดาษที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ การย่อยทำลายกระดาษ วัสดุที่นำมาใช้ผลิตใบมีดตัดกระดาษ การทดสอบ การวัดประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ

1.2 ศึกษาคุณสมบัติส่วนประกอบต่างๆของเครื่องย่อยกระดาษ เพื่อกำหนดและจัดหาวัสดุอุปกรณ์ วงจรควบคุมการทำงานที่เหมาะสมมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษ

ขั้นตอนที่ 2 ร่างแบบ เขียนแบบเครื่องย่อยกระดาษและคำนวณชิ้นส่วนเครื่องย่อยกระดาษ

2.1 ศึกษาปัญหาและความต้องการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ จากเอกสารและงานทดลองที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องย่อยกระดาษ และแบบเครื่องที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

2.2 กำหนดส่วนประกอบหลักของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเกียร์หดรอบ คัปปลิงส่งกำลัง แบร์ริงลูกกลิ้ง แป้นเกลียว เฟลา เฟืองและใบมีดตัดกระดาษ

2.3 ทำการร่างแบบและเขียนแบบคร่าวๆของเครื่องย่อยกระดาษ เพื่อที่เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณชิ้นส่วนต่างๆได้ในขั้นตอนต่อไป

2.4 ทำการคำนวณชิ้นส่วนประกอบหลักของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเกียร์ทดรอบ แบร็งกลูกกลิ้ง เพลา เฟืองและใบมีดตัดกระดาษ เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดวัสดุ ชนิดและขนาดในการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ

2.5 ศึกษาวงจรการทำงานและลักษณะการใช้งานของเครื่องย่อยกระดาษในท้องตลาดเพื่อทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องย่อยกระดาษ

ขั้นตอนที่ 3 การดำเนินการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ

3.1 กำหนดวัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

3.2 กำหนดสถานที่และระยะเวลาในการศึกษาค้นคว้า โดยสถานที่สำหรับใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกระดาษ ผู้วิจัยได้ใช้อาคารปฏิบัติงานช่าง ของกลุ่มงานเทคโนโลยีเครื่องจักรกล สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ถนนรามอินทรา เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ผู้วิจัยได้ใช้เวลาในการสร้างตั้งแต่ เดือนมกราคม พศ. 2547 ถึงเดือนมิถุนายน พศ.2547 รวมระยะเวลา 6 เดือน

3.3 ดำเนินการสร้างตามแบบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

4.1 ศึกษาวิธีการและข้อมูลจากเอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

4.2 สร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ เป็นแบบกรอกข้อมูลค่าตัวเลข ที่วัดได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ จำแนกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านจำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง ด้านอัตราการทำลายกระดาษ ด้านลักษณะของกระดาษที่ผ่านการย่อยและ ด้านความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

4.3 สร้างแบบประเมินสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการออกแบบ ลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

4.4 ตรวจสอบแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผล

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ข้อมูลทางประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ เกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพทั้ง 4 ด้าน ของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ เฮช เอส เอ็ม (HSM) รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี

5.2 วิเคราะห์ข้อมูลทางสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ เกี่ยวกับสมรรถนะ ทั้ง 4 ด้าน ของเครื่องย่อยกระดาษ ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 ท่าน

ขั้นตอนที่ 6 การสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ

6.1 ศึกษาจากเอกสาร คู่มือการใช้งานของเครื่องย่อยกระดาษในท้องตลาดและลักษณะการใช้งานจริงของผู้ใช้งานเครื่อง

6.2 เมื่อสร้างคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษเสร็จแล้ว นำคู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษไปขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครื่องจักรกลและผู้ใช้งาน เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผลการวิจัย

กระบวนการในการพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ คือการออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษที่มีประสิทธิภาพการทำงานใน 4 ด้านคือ จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง 1-36 แผ่น อัตราการทำลายกระดาษ 126 มิลลิเมตร/วินาที ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ 3.9 มิลลิเมตร และมีความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

ระบบการทำงานของเครื่องย่อยกระดาษ ประกอบไปด้วย ชุดเพลาลับใบมีดตัดกระดาษ ชุดใบมีดตัดกระดาษ ชุดเกียร์ทดรอบ ชุดขับปลิงส่งกำลัง ชุดแบร์ริงลูกกลิ้งและชุดเฟืองส่งกำลัง โดยเฉพาะการออกแบบพัฒนาชุดตัดฉีกกระดาษของชุดใบมีดตัด และการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำตัวใบมีดตัดผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูงตามมาตรฐาน AISI O1 ที่ผ่านการชุบแข็งเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยทำลายลวดเย็บกระดาษได้ การออกแบบพัฒนาระบบการทำงานของชุดเพลาลับใบมีดตัดกระดาษให้มีระบบทดกำลังเพื่อเพิ่มแรงบิดในขณะใช้งาน รวมถึงสามารถถอดเปลี่ยนซ่อมบำรุงชุดใบมีดตัดกระดาษทำได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าเครื่องย่อยกระดาษจากต่างประเทศ

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ และทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยมานำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับความมุ่งหมายของการวิจัยดังนี้

ด้านประสิทธิภาพ

1. ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษโดยรวมทุกด้าน มีประสิทธิภาพดี และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง ($\bar{X} = 36$ แผ่น) อัตราการทำลายกระดาษ ($\bar{X} = 131.24$ มิลลิเมตร/วินาที) ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ ($\bar{X} = 4$ มิลลิเมตร) และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ ($\bar{X} = 1.83$ คะแนน)

2. ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษ ยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี ทั้ง 4 ด้าน นำมาอภิปรายผลดังนี้

เครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง ($\bar{X} = 36$ แผ่น) อัตราการทำลายกระดาษ ($\bar{X} = 126$ มิลลิเมตร/วินาที) ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ ($\bar{X} = 3.9$ มิลลิเมตร) และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ ($\bar{X} = 2$ คะแนน)

เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนา เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง ($\bar{X} = 36$ แผ่น) อัตราการทำลายกระดาษ ($\bar{X} = 131.24$ มิลลิเมตร/วินาที) ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ ($\bar{X} = 4$ มิลลิเมตร) และความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ ($\bar{X} = 1.83$ คะแนน)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในแต่ละด้านของเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถเทียบเคียงกับเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมันนี

ด้านสมรรถนะ

ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ โดยรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.35$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษอยู่ในเกณฑ์ดีทุกด้าน ($\bar{X} = 4.43 - 4.28$) โดยเรียงลำดับดังนี้ ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน ($\bar{X} = 4.43$) ด้านลักษณะทางกายภาพ ($\bar{X} = 4.34$) ด้านลักษณะการบำรุงรักษา ($\bar{X} = 4.34$) ด้านลักษณะการออกแบบ ($\bar{X} = 4.28$) ด้านลักษณะทางกายภาพ เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความปลอดภัยขณะใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\bar{X} = 4.50$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อยกระดาษมีความกะทัดรัด สวยงาม อยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X} = 4.12$) ด้านลักษณะการออกแบบ เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษ ออกแบบได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.50$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ เครื่องย่อยกระดาษออกแบบได้เหมาะสม กับสัดส่วนรูปร่างของคนไทยอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{X} = 4.12$) ด้านลักษณะการบำรุงรักษา เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นปฏิบัติได้รวดเร็วไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหายต่อส่วนอื่นอยู่ในเกณฑ์ระดับ ดีมาก ($\bar{X} = 4.62$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องย่อยกระดาษหาได้ง่ายและราคาไม่แพงอยู่ในเกณฑ์ระดับ ดี ($\bar{X} = 4.12$) ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต้องการได้สะดวกอยู่ในเกณฑ์ระดับ ดีมาก ($\bar{X} = 4.62$) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ เหมาะสมนำไปใช้ในสถานศึกษาและสำนักงานขนาดใหญ่อยู่ในเกณฑ์ระดับ ดี ($\bar{X} = 4.25$)

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทดสอบเครื่องย่อยกระดาษ พบว่า มีข้อเสนอแนะที่ควรนำมาเป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครื่องย่อยดังนี้

1. น้ำหนักของตัวเครื่องยังมีน้ำหนักมาก จำนวน 3 ท่าน
2. เวลาเดินเครื่องยังมีเสียงดังอยู่บ้าง จำนวน 3 ท่าน
3. รูปร่าง ความกะทัดรัดของเครื่องยังไม่มากพอ จำนวน 3 ท่าน
4. ตัววัสดุและสีที่นำมาทำตัวเครื่องยังไม่ค่อยมีความสวยงาม จำนวน 4 ท่าน
5. ตำแหน่งแผงสวิทช์คอนโทรลยังต้องปรับปรุงให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน

จำนวน 3 ท่าน

6. ปรับปรุงองศาของช่องป้อนกระดาษ จำนวน 2 ท่าน

อภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ เพื่อให้เครื่องย่อยกระดาษ มีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องย่อยกระดาษโดยทั่วไปที่ไม่สามารถถอดเปลี่ยนชุดใบมีดได้ เพราะชุดใบมีดกับเพลาส่งกำลังโดยทั่วไปตามท้องตลาดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเดียวกันไม่สามารถถอดแยกชิ้นได้ เมื่อเกิดการสึกหรอที่คมของใบตัดบางใบก็ต้องเปลี่ยนทั้งชุดทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก อีกทั้งเครื่องโดยทั่วไปไม่สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเครื่อง ซึ่งในการใช้งานจริงต้องมีเอกสารจำนวนมากที่ต้องการย่อยทำลายที่มีลวดเย็บกระดาษติดปะปนมาด้วย ทำให้ผู้ใช้งานต้องทำการแกะลวดเย็บออกก่อนที่จะใช้งานเครื่องย่อยกระดาษได้ ทำให้เสียเวลา ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารของชินินทร์ ศรีถนอมทรัพย์ (2532 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการศึกษารวบรวมการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน มีรูปทรงและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้

จากสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ คือ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยในบทที่ 4 คือ

1. ด้านประสิทธิภาพ ซึ่งเปรียบเทียบกับเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 จำแนกออกเป็น 4 ด้าน คือ

1.1 จำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นสามารถทำลายกระดาษที่อัตราเฉลี่ยสูงสุดจำนวน 36 แผ่น ซึ่งประสิทธิภาพไม่แตกต่างกับเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 เนื่องจากผู้วิจัยได้ออกแบบชุดส่งกำลังและชุดใบมีดตัดของเครื่องย่อยกระดาษ โดยคำนึงถึงความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของพรทวี พึ่งรัศมีและอรัญ หาญสืบสาย(2537 : 143) และทำการศึกษาดังพฤติกรรมการย่อย และพบว่าความเร็วรอบ มุมต่างๆของใบมีด ระยะเกยของคมตัด (CLEARANCE) มีผลต่อจำนวนของกระดาษที่จะทำการย่อยได้ในแต่ละครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวัฒนา ไชยวาน (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ทำการศึกษารวบรวมการพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อการศึกษาพฤติกรรมการตัดเฉือน

1.2 อัตราการทำลายกระดาษ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นสามารถทำลายกระดาษที่อัตราความเร็วเฉลี่ย 131.25 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งมีความเร็วกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ที่ทำได้ 126 มิลลิเมตร/วินาที เนื่องจากได้ทำการออกแบบให้มุมตัดของใบมีดตัดเกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดความเร็วรอบในการย่อยที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติพงศ์ จงวัฒนาพรชัยและคณะ (2544 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการศึกษาดังมุมของใบมีดตัดกระดาษที่เหมาะสมในการตัด ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างการตัดกระดาษมีค่าที่น้อยลง ทำให้ประหยัดพลังงานในการย่อยทำลายกระดาษ

1.3 ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นสามารถย่อยทำลายกระดาษเฉลี่ยเป็นริ้วประมาณ 4 มิลลิเมตร ซึ่งมีความละเอียดในการย่อยทำลายน้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ที่ทำได้ 3.9 มิลลิเมตร เนื่องจากความผิดพลาดในขั้นตอนของการผลิตตัวใบมีด ซึ่งมีขั้นตอนยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือขึ้นรูปที่มีความละเอียดสูง ทำให้ริ้วกระดาษที่ผ่านการย่อยมีขนาดโตกว่าที่กำหนดไว้ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัฒนา ไชยวาน (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติก ผลการศึกษาพบว่า ความกว้างของเศษที่ได้จากการย่อยเท่ากับความหนาของใบมีด ส่วนความยาวของเศษเท่ากับระยะห่างระหว่างฟันของใบมีด

1.4 ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษเฉลี่ยที่ 1.83 คะแนน ซึ่งความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษน้อยกว่า เครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 เนื่องจาก การทดสอบย่อยกระดาษและลวดเย็บเป็นเวลานาน ทำให้ใบมีดเกิดความร้อนและเกิดการขยายตัวเล็กน้อยทำให้ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษลดน้อยลง ถึงแม้ว่าใบตัดกระดาษเป็นเหล็กกล้า AISI O1 ที่ผ่านการชุบแข็งและทนต่อการสึกหรอ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการวิจัยหาตัวแปรในการชุบแข็งเหล็กกล้า เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานต่อการสึกหรออันเนื่องจากการตัดเฉือนพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการตัดเฉือน

2. ด้านสมรรถนะของเครื่องย่อยกระดาษ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 ท่าน ประเมินสมรรถนะทั้ง 4 ด้าน คือด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการออกแบบ ด้านลักษณะการบำรุงรักษา และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน ผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี

2.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่าชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความปลอดภัยขณะใช้งาน เนื่องจากชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษ ต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานและการทำงานของชุดใบมีดตัดกระดาษที่มีความเร็วรอบสูงและความคมของใบมีดตัดสูง อีกทั้งต้องนำไปใช้ในสถานศึกษาหรือสำนักงานได้ ผู้วิจัยจึงทำการป้องกันในทุกๆ ส่วนที่มีการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรงทนทาน เพราะส่วนใหญ่จะออกแบบสร้างด้วยเหล็ก กับเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว ชิ้นส่วนทุกชิ้นสามารถแยกชิ้นและถอดประกอบได้ เพราะออกแบบให้สามารถติดตั้งถอดประกอบได้สะดวก แด่ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อยกระดาษยังมีขนาดไม่กะทัดรัด สวยงาม ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารของ ชรินทร์ ศรีถนอมทรัพย์ (2532 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการศึกษาศึกษาการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน มีความปลอดภัย มีรูปทรงและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้

2.2 การวิเคราะห์ลักษณะการออกแบบ พบว่าชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อยกระดาษ ออกแบบได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน เครื่องย่อยกระดาษออกแบบได้เหมาะสมกับสัดส่วนรูปร่างของคนไทย เนื่องจากเครื่องย่อยกระดาษจากต่างประเทศมักจะมีขนาดเครื่องที่สูงไม่เหมาะกับสัดส่วนรูปร่างของคนไทย เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาจึงออกแบบให้เหมาะกับสัดส่วนรูปร่างคนไทย ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารของ ชรินทร์ ศรีถนอมทรัพย์ (2532 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการศึกษาศึกษาการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน มีรูปทรงและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้ การออกแบบใบมีดตัดกระดาษและระบบชุดส่งกำลังออกแบบได้เหมาะสม เนื่องจากออกแบบให้มีระบบทดกำลังเพื่อเพิ่มแรงบิดในขณะใช้งาน อีกทั้งให้ใบมีดตัดกระดาษมีความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวัฒนา ไชยวาน (2542 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติก ผลการศึกษาพบว่าเครื่องย่อย ต้องคำนึงถึงความเร็วรอบ มุมต่างๆ ของใบมีด ระยะเกยของคมตัด ความลึกฟันของใบมีดและระยะช่องคายเศษ

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะการบำรุงรักษา พบว่าการประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นปฏิบัติได้รวดเร็วไม่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหายต่อส่วนอื่น การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่ายและสะดวก เมื่อชิ้นส่วนใดชำรุดสามารถซ่อมแซมและเปลี่ยนได้ง่าย วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องย่อยกระดาษหาได้ง่ายและราคาไม่แพง อยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสกล นันทศรีวิวัฒน์ (2543 : 74) ที่ได้ทำการศึกษาศึกษาการพัฒนาเครื่องหยอดขนมทอง

หยอด พบว่าการลักษณะการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเครื่องย่อยกระดาษส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จะเป็นเครื่องจากต่างประเทศมีราคาแพง เมื่อใบมีดตัดเกิดการสึกหรอหรือหมดความคมหรือต้องการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุง ต้องเปลี่ยนทั้งเพลาชับและชุดใบมีดตัดเนื่องจากชิ้นรูปจากชิ้นเดียวกัน ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ใบมีดตัดเป็นวงแหวนใบมีด สามารถถอดประกอบเพื่อเปลี่ยนหรือนำมาทำคมใหม่ได้ทำให้ประหยัด นอกจากนั้นวัสดุอุปกรณ์ก็หาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง

2.4 การวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน พบว่า เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต้องการได้สะดวก ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้ มีความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน เหมาะสมนำไปใช้ในสถานศึกษาและสำนักงานขนาดใหญ่ อยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากการออกแบบได้คำนึงถึงลักษณะการใช้งานจริง สัดส่วนรูปร่างของคนไทย ความปลอดภัยและปัญหาในการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารของชินินทร์ ศรีธนะมรินทร์ (2532 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ที่ได้ทำการศึกษาการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน มีรูปทรงและลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษโดยรวม พบว่าเครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและสมรรถนะเทียบเคียงกับเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2 ของประเทศเยอรมัน ซึ่งมีราคาประมาณ 80,000 บาท แต่เครื่องย่อยที่ทำการพัฒนาขึ้นที่ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกไว้เป็นเงินทั้งสิ้น 35,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบจะเห็นได้เครื่องย่อยที่พัฒนามีราคาถูกกว่าคิดเป็นสัดส่วน 8.00 : 3.50

ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. ในการพัฒนาชุดใบมีดตัดกระดาษ ควรคำนึงถึงการเสียรูปทรง ของตัวใบมีดตัดกระดาษที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิสูงๆ เพราะถ้าตัวใบมีดวงแหวนที่ทำการออกแบบมีความหนาแน่นน้อยมาก โอกาสที่ตัวใบมีดจะเสียรูปทรงที่กำหนดไว้ มีโอกาสสูง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยกระดาษลดน้อยลงด้วย
2. ควรมีการปรับปรุงในเรื่องของมุมช่องป้อนกระดาษ ให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงน้ำหนักของกระดาษและทิศทางการไหลเข้าช่องป้อนของกระดาษที่จะทำการย่อย เพื่อกระดาษจะได้ไม่ไปขวางกันเอง ขณะย่อย จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดน้อยลง

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาออกแบบเกี่ยวกับชุดป้อนกระดาษอัตโนมัติที่ใช้ประกอบกับเครื่องย่อยกระดาษ ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกและปลอดภัยมากขึ้นในขณะใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ
2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับมุมตัดของใบมีดตัดกระดาษที่เหมาะสม ที่จะทำให้เกิดแรงเสียดทานในการตัดกระดาษมีค่าน้อยลง ซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดได้

บรรณานุกรม

- กานต์ อัมพานนท์. (2538). เครื่องย่อยเอกสาร. ปรินูญานิพนธ์. คอ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล).
กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- ชนินทร์ ศรีถนอมทรัพย์. (2532). โครงการออกแบบปรับปรุงเครื่องทำลายเอกสาร. ปรินูญานิพนธ์.
สท.บ. (ศิลปอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- ณัฐพล ปกรณ์ขจรนาวันและคณะ. (2539). เครื่องตัดกระดาษ. ปรินูญานิพนธ์. อส.บ. (เทคโนโลยี
การผลิต). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- ทวี เทศเจริญ. (2542). กรรมวิธีการผลิต. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นริศ ศรีเมฆและคณะ. (2540). โลหะวิทยา1. กรุงเทพฯ : บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด.
- บรรเลง ศรีนิลและกิตติ นิงสานนท์. (2530). การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปาริฉัตร คำเหล็ก. (2544). การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการ
เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา. ปรินูญานิพนธ์. กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ปราโมทย์ บุญเกษมและถาวร เหลืองทอง. (2537). เครื่องทำลายเอกสาร. ปรินูญานิพนธ์. อส.บ.
(เทคโนโลยีการผลิต). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
ถ่ายเอกสาร.
- ปรีชา ทิมทอง. (2543). ชิ้นส่วนเครื่องกล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จิตรวัดน์ จำกัด.
- ประณต กุลประสูตร. (2533). เครื่องยนต์เล็ก. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- ฝ่ายวิชาการบริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด. (2542). วัสดุช่าง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
สกายบุ๊กส์ จำกัด.
- พจนานุกรมไทยราชบัณฑิตยสถาน. (2538). พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์.
- พรทวี พึ่งรัศมีและอรุณ หาญสืบสาย. (2537). สารานุกรมเรื่องกระดาษพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์ด้านสหวิชาการพิมพ์ จำกัด.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7.
กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- มานพ ดันตระบัณฑิตย์และคณะ. (2536). ชิ้นส่วนเครื่องกล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประชาชน จำกัด.
- ยิ่งยศ ลิเชินและคณะ. (2541). การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้แบบเคลื่อนที่. ปรินูญา
นิพนธ์. วศ.บ. (วิศวกรรมการผลิต). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
ถ่ายเอกสาร.
- วัฒนา ไชยวาน. (2541). การพัฒนาเครื่องย่อยแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อการศึกษาพฤติกรรม
การตัดเฉือน. วิทยานิพนธ์. วศ.ม. (วิศวกรรมการผลิต). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.

- วรวิทย์ อึ้งภากรณ์และชาญ ถนัดงาน. (2541). การออกแบบเครื่องจักรกล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด.
- ศรนรินทร์ พิชัยรัฐและประเสริฐศิลป์ พลวิเศษ. (2542). การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพลาสติก ชนิดไม่ตัด. ปรินญาณพนธ์. คอ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ. (2541). การวิเคราะห์ตัวแปรในการชุบแข็งเหล็กกล้ารอบสูงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานต่อการสึกหรอของเอ็นมิลล์. วิทยานิพนธ์. วศ.ม. (วิศวกรรมการผลิต). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- สหรัตน์ วงษ์ศรีษะและคณะ. (2545). การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น AISI (O1). วารสารเทคนิค. 19 (209) : หน้า 69
- สมศักดิ์ ปานสกุล. (2542). ผลกระทบอุณหภูมิอบคืนตัวของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่มีต่อการสึกหรอและความเหนียว. วิทยานิพนธ์. วศ.ม. (วิศวกรรมการผลิต). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- สกล นันทศรีวิวัฒน์. (2543). การพัฒนาเครื่องหยอดขนมทองหยอด. ปรินญาณพนธ์. กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- อำพล ชื่อดรง. (2536). ชิ้นส่วนเครื่องกล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- Haldon J.Swinestein. (1991). **Cutting tool Material Selection.** American Society of Tool and Manufacturing Engineering.
- HSM Paper Shredders Catalogue A. (n.d.). Germany: n.p.
- Operating Instructions Paper Shredder. (n.d.). Germany: n.p.
- P. Wilkinson and Group. (1996). **Surface Finish Parameters as Diagnostics of Tool Wear in Face Milling.** Herriot - Watt University. Riccarton. United Kingdom.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือขอความร่วมมือในการวิจัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มศว โทร. 5731, 5618

ที่ ศธ 0519.12/4564

วันที่ 19 เมษายน 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

เนื่องด้วย นายธนเรศ ทิพย์เจริญ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์สุทธรไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิพนธ์ เทียมทิพานุกุล และ อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ และแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินเครื่องย่อยกระดาษ ให้ นายธนเรศ ทิพย์เจริญ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้
ค้ำ

(รองศาสตราจารย์อภรณ์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ศธ 0519.12/4561



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 เมษายน 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายธนเรศ ทิพย์เจริญ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์สุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายรามศ สุขภิบาล นายคุณิศ บัวเกตุ นายวีระชาติ จริตงาม นายจงศิริ ชัยทองงาม และ นายคุณาวุฒิ เครือสินธุ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ และแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินเครื่องย่อยกระดาษ ให้ นายธนเรศ ทิพย์เจริญ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-5109552-4 ต่อ 134

มือถือ 09-9259024

ที่ ศธ 0519.12/4562



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 เมษายน 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายธนเรศ ทิพย์เจริญ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์ไอลาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายสมภพ สมประสงค์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ และแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินเครื่องย่อยกระดาษ ให้ นายธนเรศ ทิพย์เจริญ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 02-5109552-4 ต่อ 134

มือถือ 09-9259024



ที่ ศธ 0519.12/4563

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

19 เมษายน 2547

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการองค์การค้ำของคุรุสภา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายธนเรศ ทิพย์เจริญ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องย่อยกระดาษ” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายภูวนัย ทิพย์เจริญ และ นางสาววิมลรัตน์ บุญประสิทธิ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ และแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินเครื่องย่อยกระดาษ ให้ นายธนเรศ ทิพย์เจริญ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ภาณุ วัฒนพงศ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

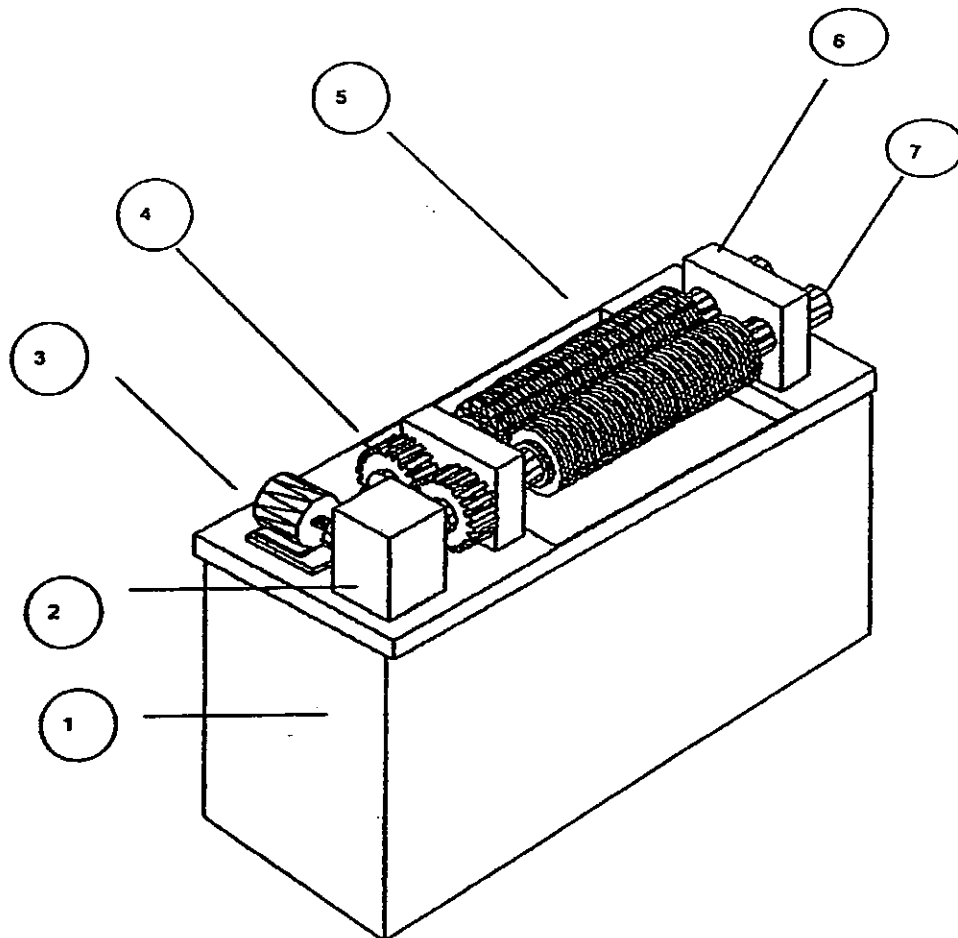
รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 คอ 5618, 5731

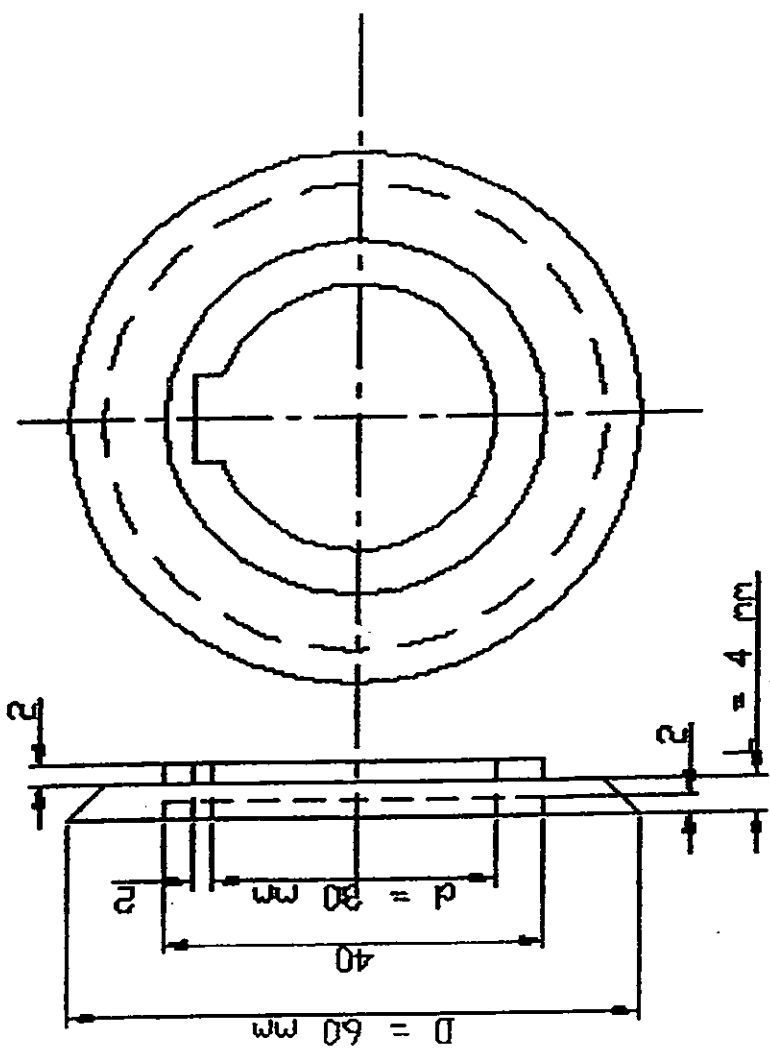
หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิตติ โทรศัพท์ 02-5109552-4 คอ 134

ภาคผนวก ข เขียนแบบเครื่องย่อกระดาษ

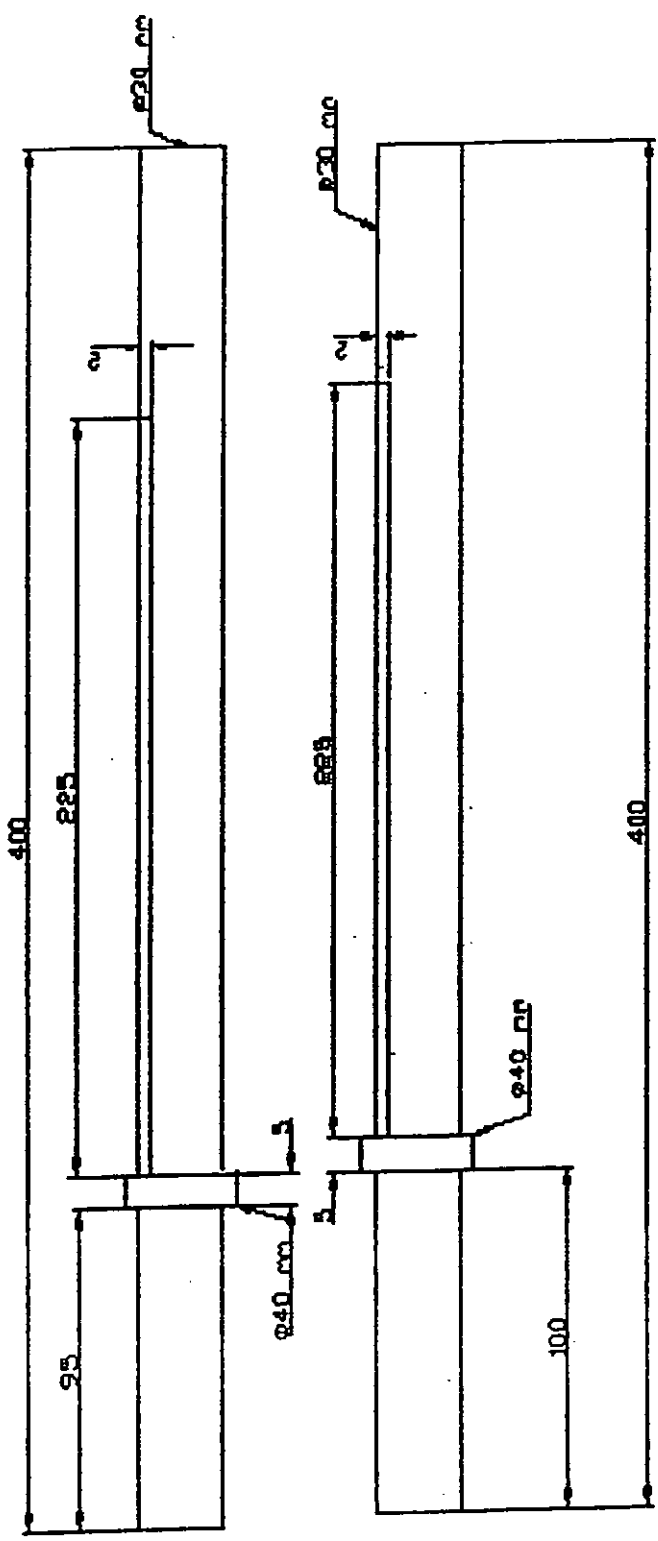


DRAWING NO.	ส่วนประกอบเครื่องย่อยกระดาษ
1	โครงเครื่องย่อยกระดาษ
2	ชุดเกียร์ทดรอบ
3	มอเตอร์ไฟฟ้า
4	เฟืองฟันตรง
5	ชุดใบมีดตัดกระดาษ
6	ชุดลูกปืน
7	เพลาลูก

ภาพใบมีดตัดกระดาษ (มม.)

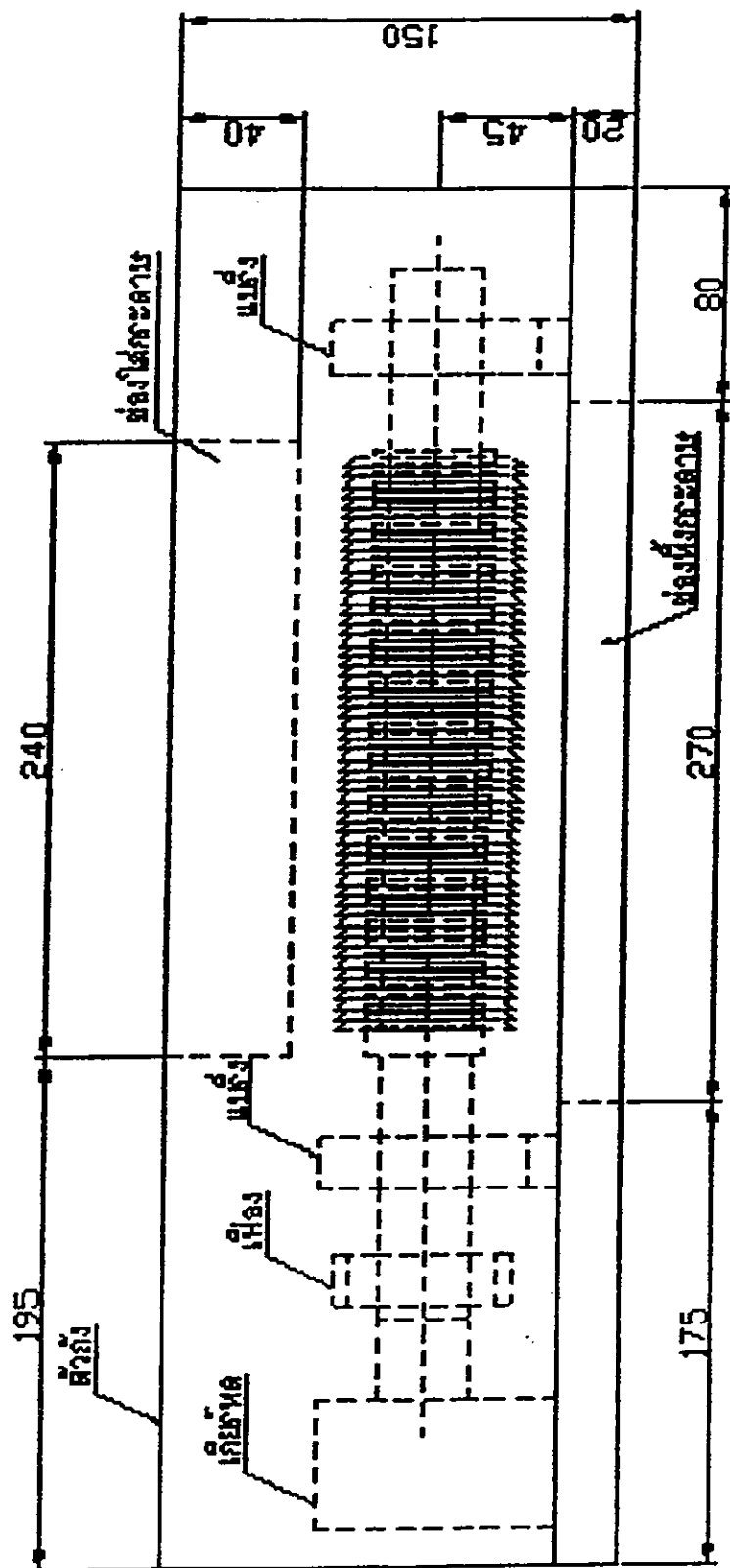


TITLE	CUTTING ROLLERS	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			



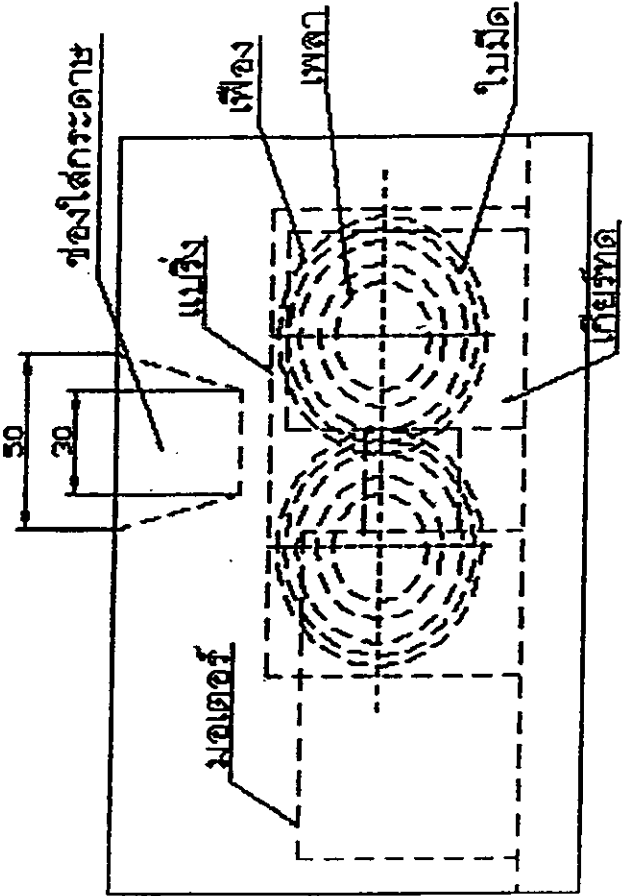
TITLE	SHAFT	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			

ภาพด้านหน้าเครื่องย่อยกระดาษ (มม.)



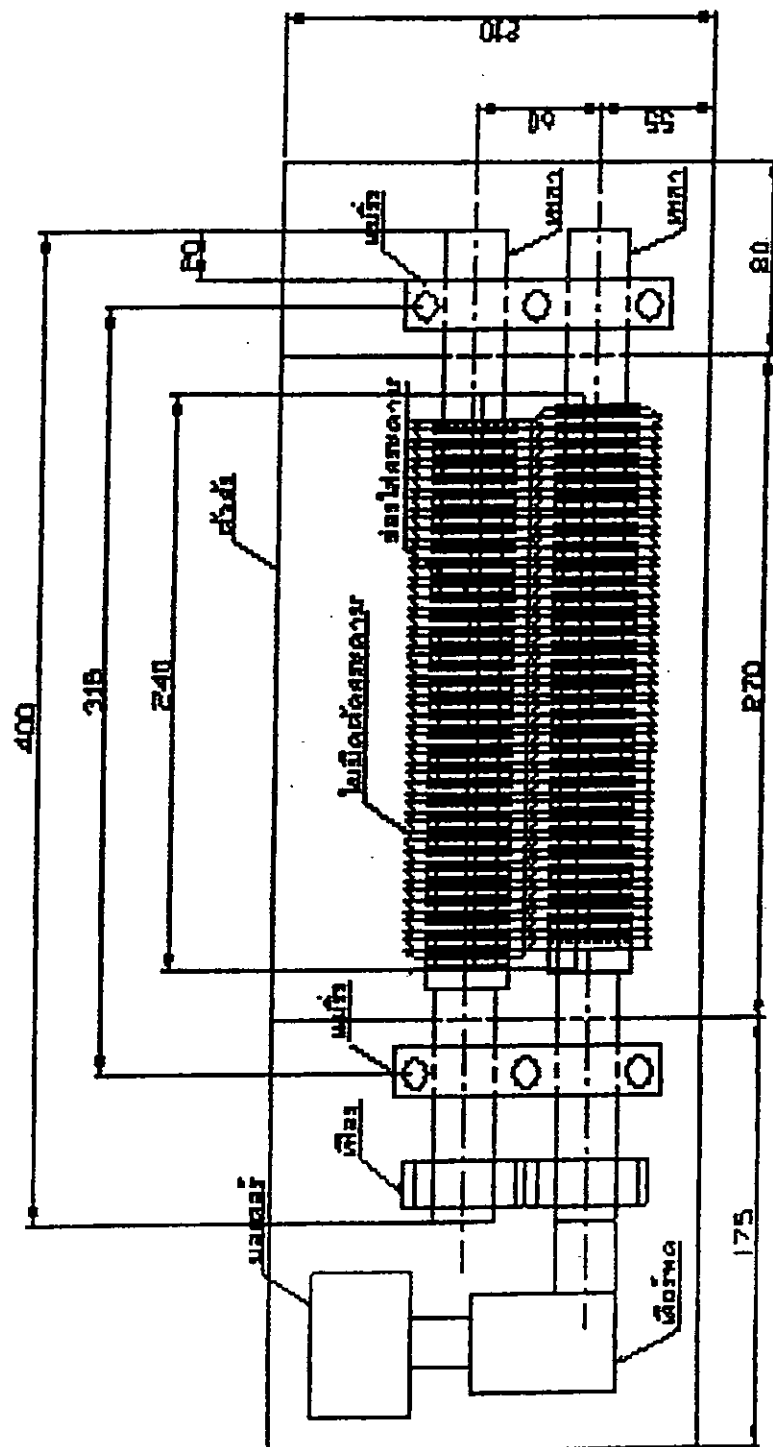
TITLE	PAPER SHREDDING MACHINE	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			

รูปแสดงภาพด้านข้างของเครื่องย่อยกระดาษ (หน่วยเป็น mm)

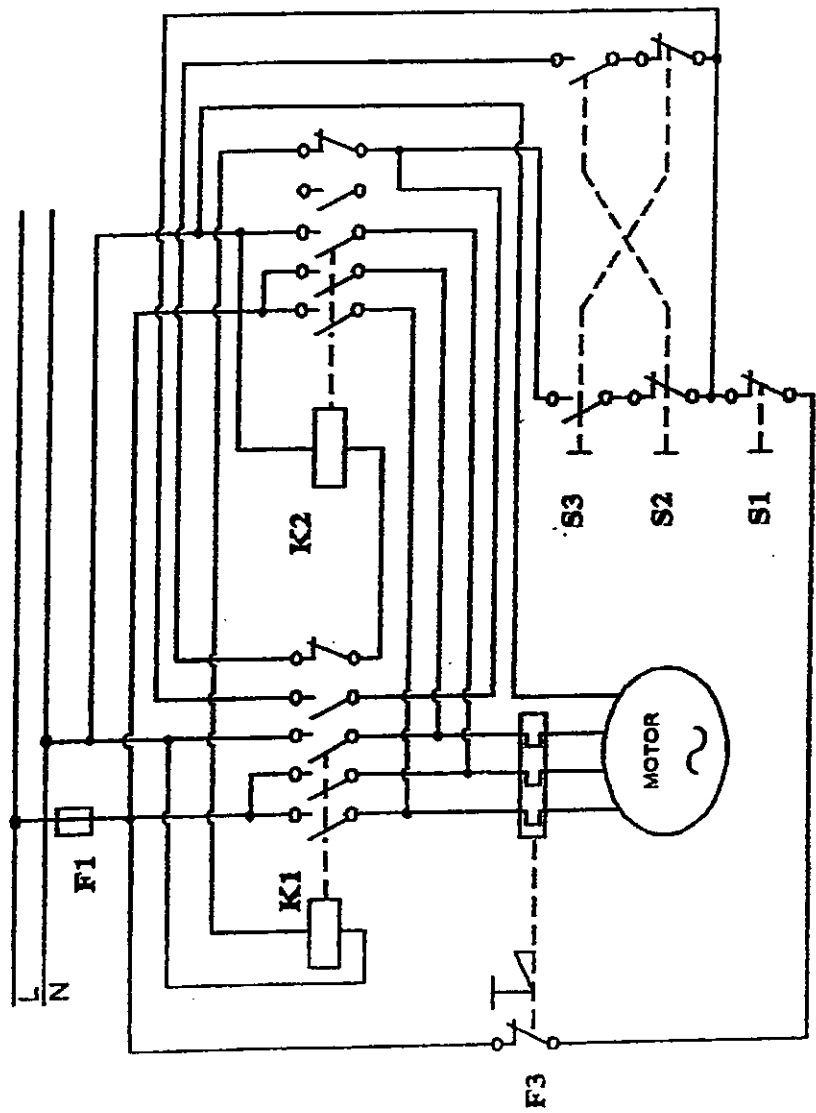


TITLE	PAPER SHREDDING MACHINE	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			

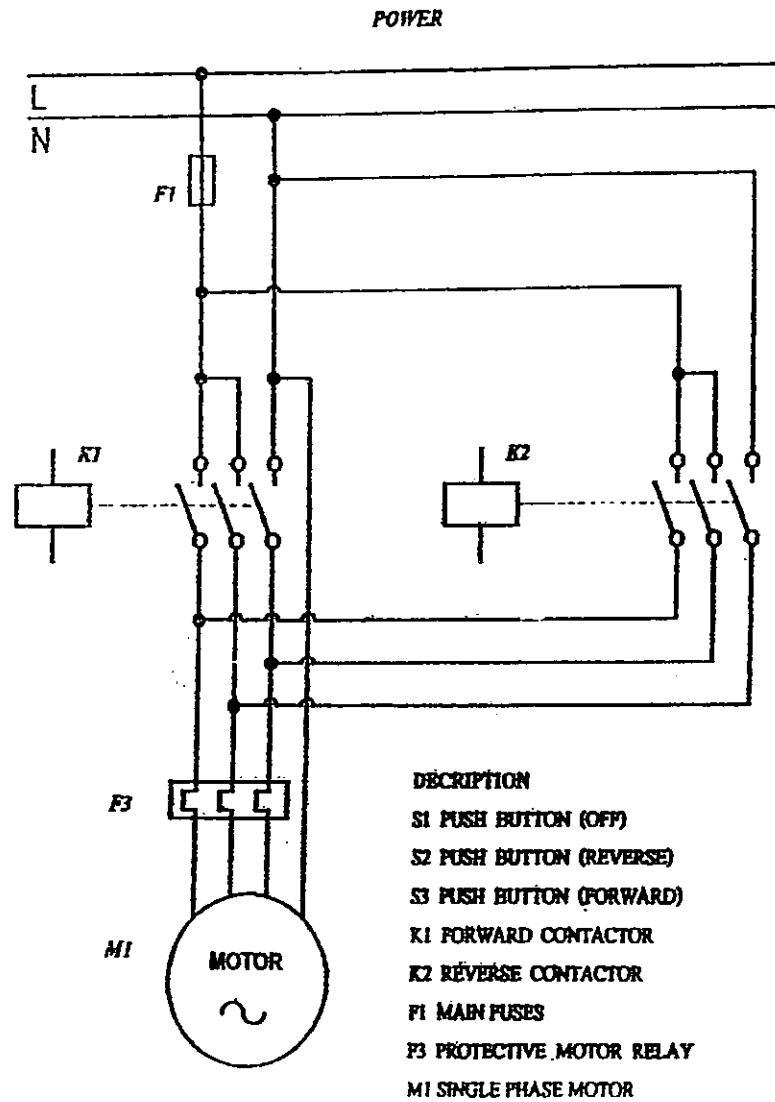
ภาพด้านบนเครื่องย่อยกระดาษ (มม.)



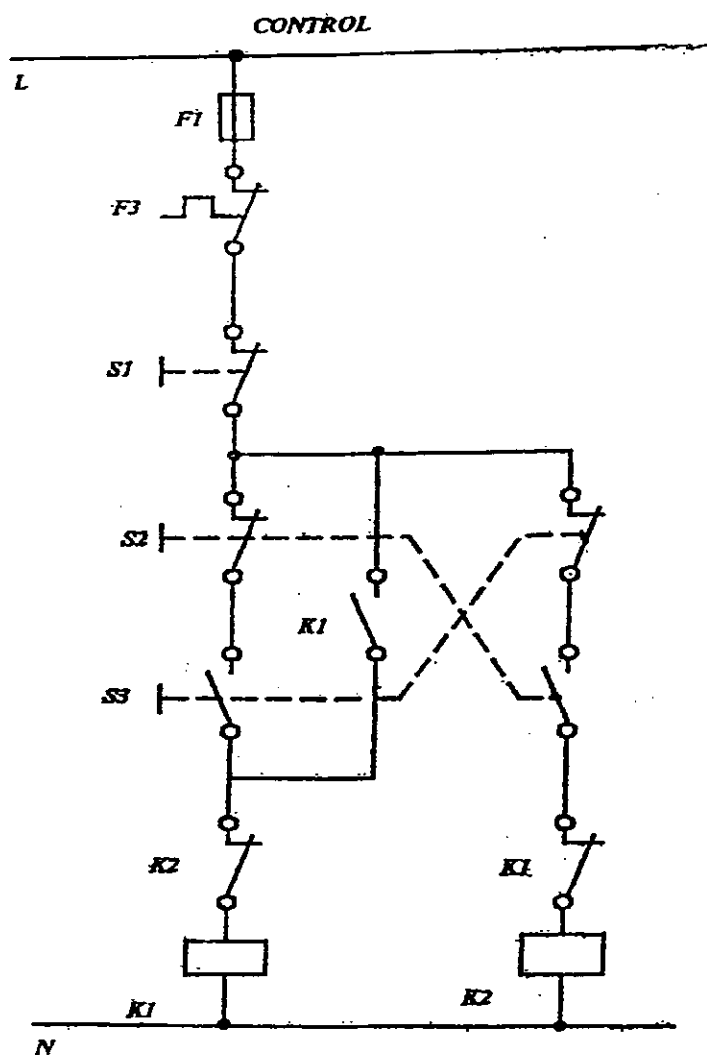
TITLE	PAPER SHREDDING MACHINE	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			



TITLE	CIRCUIT	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			

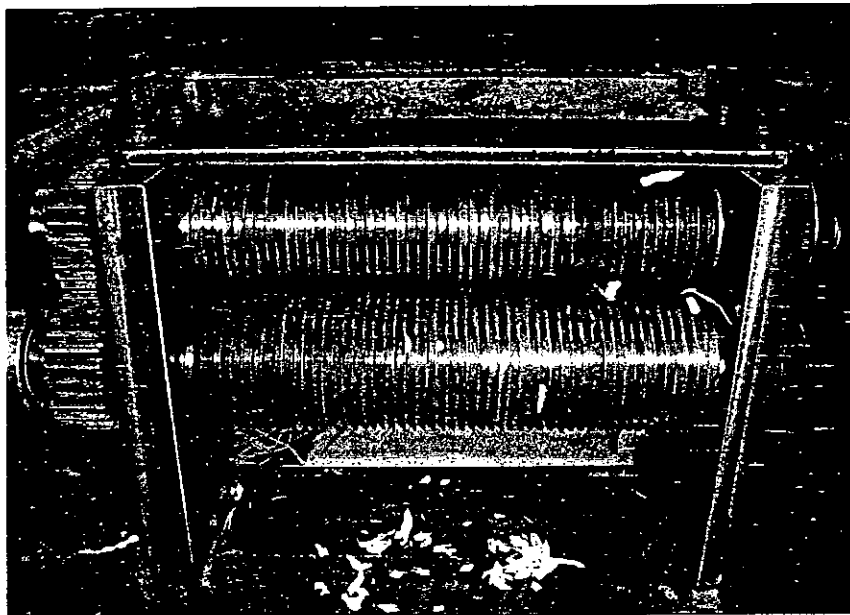


TITLE	POWER	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			

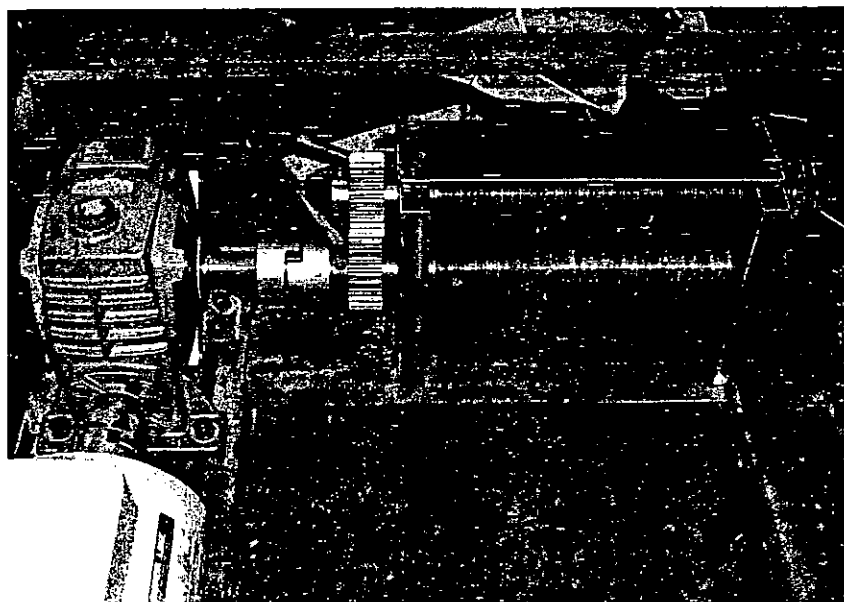


TITLE	CONTROL	DRAWING NO.	-
MATERIAL	N/A	SCALE	N/A
DRAW BY	T. THANARES	DATE	2005
SRINAKARINWIROT UNIVERSITY			

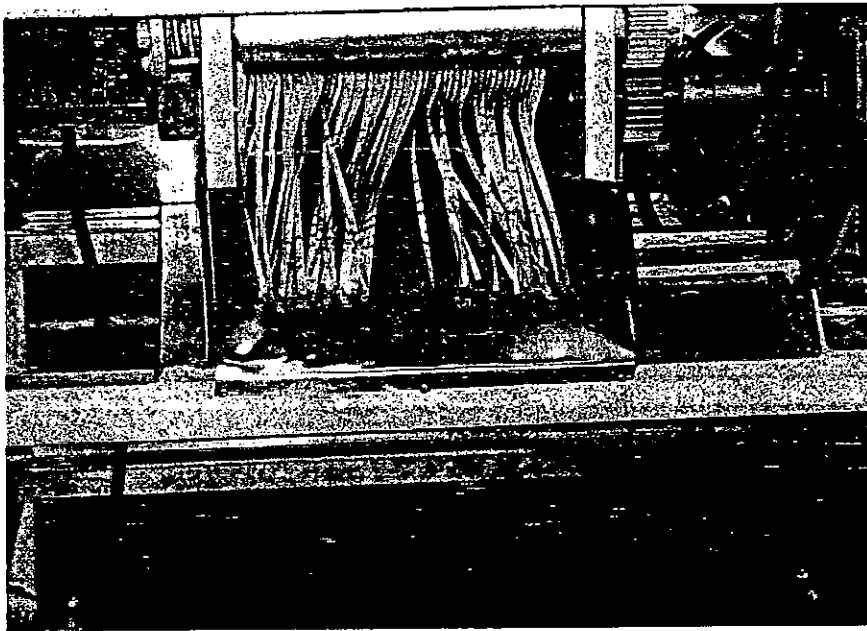
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการสร้างเครื่องย่อยกระดาษ



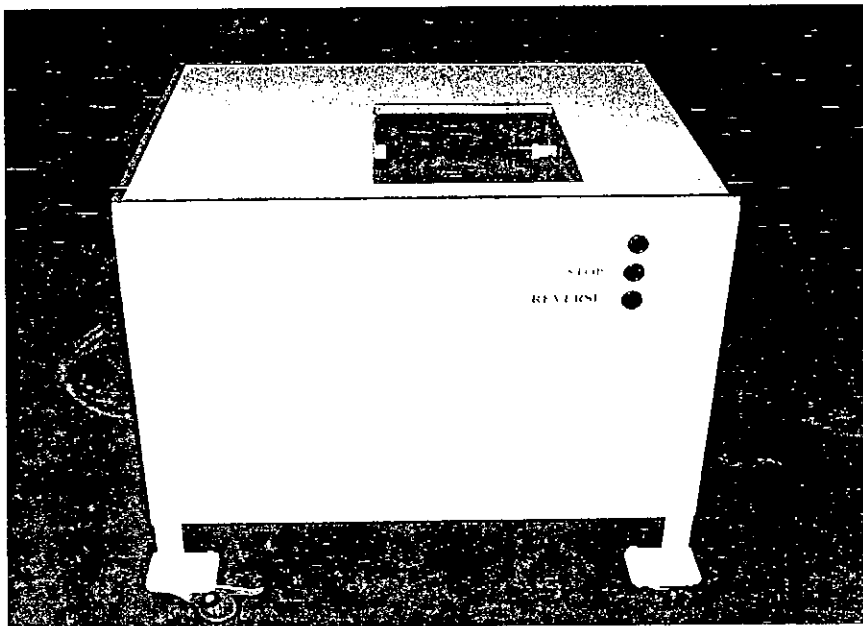
ภาพประกอบ 45 ชุดใบมีดตัดย่อยกระตาส



ภาพประกอบ 46 ระบบส่งกำลังเครื่องย่อยกระตาส



ภาพประกอบ 47 การทดสอบย่อยกระดาศ



ภาพประกอบ 48 เครื่องย่อยกระดาศ

ภาคผนวก ง แบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

แบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

คำชี้แจง

1. เกณฑ์ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

- 1.1 ทดสอบเดินเครื่องย่อยกระดาษอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง
- 1.2 ทดสอบย่อยทำลายกระดาษ ขนาด A4 หนา 70 แกรม
- 1.3 บันทึกค่าตัวเลขในแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ ได้แก่
 - 1.3.1 ค่าจำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง
 - 1.3.2 ค่าอัตราการทำลายกระดาษ
 - 1.3.3 ค่าความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ
 - 1.3.4 ค่าความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ
- 1.4 บันทึกค่าทั้ง 4 ด้าน ทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 60 ครั้ง
- 1.5 นำค่าที่บันทึกทั้ง 4 ด้าน จำนวน 60 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตในแต่ละด้าน
- 1.6 นำค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ได้จากข้อ 1.5 มาเทียบกับเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

2. เกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยกระดาษ

เกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูล

2.1 ด้านจำนวนแผ่นกระดาษที่ป้อนได้ต่อครั้ง

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 เท่ากับ 36 แผ่น)

ค่าเฉลี่ย จำนวนแผ่นกระดาษสูงสุดที่ป้อนได้ต่อครั้ง มากกว่าหรือเท่ากับ 36 แผ่น แปลความ
เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย จำนวนแผ่นกระดาษสูงสุดที่ป้อนได้ต่อครั้ง น้อยกว่า 36 แผ่น แปลความ เครื่องย่อย
กระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

2.2 ด้านอัตราการทำลายกระดาษ

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 เท่ากับ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที)

ค่าเฉลี่ย อัตราการทำลายกระดาษ มากกว่าหรือเท่ากับ 126 มิลลิเมตรต่อวินาที แปลความ
เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย อัตราการทำลายกระดาษ น้อยกว่า 126 มิลลิเมตรต่อวินาที แปลความ
เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

2.3 ด้านความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 เท่ากับ 3.9 มิลลิเมตร)

ค่าเฉลี่ย ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ เป็นริ้วาวขนาดหน้ากว้างระหว่าง 4.0 มิลลิเมตร แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย ความละเอียดในการย่อยทำลายกระดาษ เป็นริ้วาวขนาดหน้ากว้างมากกว่า 3.5-4.5 มิลลิเมตร แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

2.4 ด้านความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ

(เทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องย่อยกระดาษยี่ห้อ HSM รุ่น 390.2 คือ สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษ) กำหนดเกณฑ์

2 คะแนน	แปลความ	สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้หมด
1 คะแนน	แปลความ	สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้บางส่วน
0 คะแนน	แปลความ	ไม่สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้

ค่าเฉลี่ย ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ 2 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดกระดาษสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้หมด แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ 1 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดกระดาษสามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้บางส่วน แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

ค่าเฉลี่ย ความสามารถในการตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ 0 คะแนน หมายถึง ใบมีดตัดกระดาษไม่สามารถตัดทำลายลวดเย็บกระดาษได้ แปลความ เครื่องย่อยกระดาษที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเครื่องย่อยกระดาษ HSM รุ่น 390.2

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 1

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 2

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 3

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 4

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 5

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 6

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 7

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 8

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 9

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

เวลาในการทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
------------------------------	--	---	--	---

ชั่วโมงที่ 10

นาฬิกาที่ 10

นาฬิกาที่ 20

นาฬิกาที่ 30

นาฬิกาที่ 40

นาฬิกาที่ 50

นาฬิกาที่ 60

รวม

ค่าเฉลี่ย

สรุปผลการทดลอง

เวลาใน การทดลอง ย่อยกระดาษ	จำนวนแผ่นกระดาษ ที่ป้อนได้ต่อครั้ง (จำนวนแผ่น)	อัตราการทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร/วินาที)	ความละเอียดใน การย่อยทำลาย กระดาษ (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การตัดทำลาย ลวดเย็บกระดาษ (คะแนน)
ค่าเฉลี่ย แต่ละด้าน				

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาษ

คำชี้แจง

1. แบบประเมินที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะทั้ง 4 ด้าน ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

- 1.1 ลักษณะทางกายภาพ
- 1.2 ลักษณะการออกแบบ
- 1.3 ลักษณะการบำรุงรักษา
- 1.4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน

2. แบบประเมินแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องย่อยกระดาษ

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องย่อยกระดาษ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องย่อยกระดาษ

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 1 มีทั้งหมด 14 ข้อ
2. โปรดขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดสอบใช้เครื่องย่อยกระดาษ โดยมีค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

5	หมายถึง	ผลการประเมินในระดับดีมาก
4	หมายถึง	ผลการประเมินในระดับดี
3	หมายถึง	ผลการประเมินในระดับพอใช้
2	หมายถึง	ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง
1	หมายถึง	ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดี มาก	ดี	พอ ใช้	ต้อง ปรับปรุง	ใช้ ไม่ได้
		(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
1	ด้านลักษณะทางกายภาพ					
	1.1 ขนาดและรูปทรงของเครื่องย่อยกระดาษ มีความกะทัดรัด สวยงาม.....	.....	.....	.....	.....	.....
	1.2 ชิ้นส่วนทุกชิ้นสามารถแยกชิ้นและถอดประกอบได้.....	.....	.....	.....	.....	.....
	1.3 ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความแข็งแรงทนทาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
	1.4 ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีความปลอดภัยขณะใช้งาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	ด้านลักษณะการออกแบบ					
	2.1 ชิ้นส่วนทุกชิ้นที่นำมาประกอบเป็นเครื่องย่อย กระดาษ ออกแบบได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้ งาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
	2.2 เครื่องย่อยกระดาษออกแบบได้เหมาะสม กับสัดส่วนรูปร่างของคนไทย.....	.....	.....	.....	.....	.....
	2.3 การออกแบบใบมีดตัดกระดาษออกแบบได้ เหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
	2.4 การออกแบบระบบชุดส่งกำลังออกแบบได้ เหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	ด้านลักษณะการบำรุงรักษา					
	3.1 การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่ายและสะดวก.....	.....	.....	.....	.....	.....
	3.2 การประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นปฏิบัติได้รวดเร็วไม่ก่อ ให้เกิดความชำรุดเสียหายต่อส่วนอื่น.....	.....	.....	.....	.....	.....
	3.3 เมื่อชิ้นส่วนใดชำรุดสามารถซ่อมแซมและเปลี่ยนได้ ง่าย.....	.....	.....	.....	.....	.....
	3.4 วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องย่อยกระดาษหาได้ง่ายและ ราคาไม่แพง .....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน					
	4.1 ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถควบคุมการทำงานของ เครื่องได้.....	.....	.....	.....	.....	.....
	4.2 มีความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
	4.3 เหมาะสมนำไปใช้ในสถานศึกษาและสำนักงาน ขนาดใหญ่.....	.....	.....	.....	.....	.....
	4.4 เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงานในที่ต้องการได้สะดวก....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องย่อยกระดาษ

[illegible]

ដូច្នេះបញ្ជាក់.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ

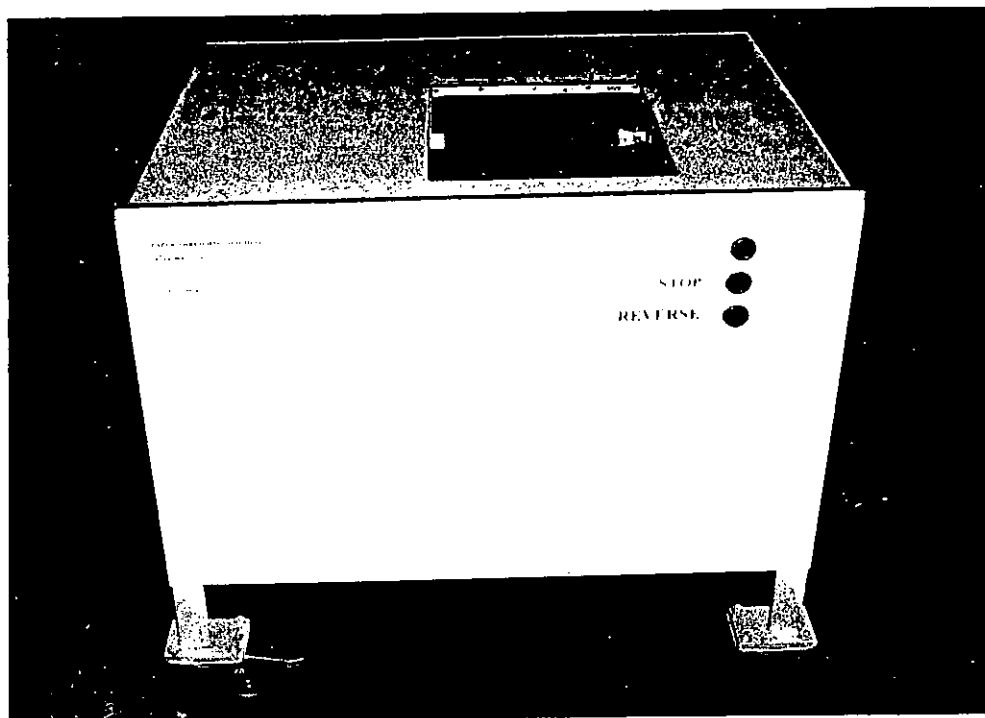
คำนำ

คู่มือการใช้งาน เครื่องย่อยกระดาษ ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อแนะนำให้ผู้ใช้ได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับ
ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องย่อยกระดาษ รวมทั้งการใช้งานและบำรุงรักษา เพื่อให้การใช้งานของ
เครื่องย่อยกระดาษเป็นไปอย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ ปลอดภัยและมีอายุการใช้งานได้ยาวนาน
ดังนั้นผู้วิจัยจึงมั่นใจว่าคู่มือฉบับนี้จะทำให้ท่านผู้ใช้งาน เครื่องย่อยกระดาษ ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

ธนเรศ ทิพย์เจริญ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ภาพเครื่องย้อยกระดาศ	146
ข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของเครื่อง	146
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องย้อยกระดาศ	147
การใช้งานเครื่องย้อยกระดาศ	149
การเปิด – ปิดเครื่อง	
การใส่กระดาศ	
การนำกระดาศที่ย้อยออกจากเครื่อง	
การบำรุงรักษาเครื่องย้อยกระดาศ	150



1. ข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของเครื่อง
 - 1.1 ใช้ไฟฟ้า 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต
 - 1.2 ย่อยกระดาษขนาด A4 (หนา 60-70 แกรม) ได้ครั้งละ 1- 36 แผ่น
และลวดเย็บกระดาษ (staple NO.10-35) ได้
 - 1.3 น้ำหนักเครื่อง 60 กิโลกรัม
 - 1.4 ขนาดของเครื่อง

ความกว้าง	55	เซนติเมตร
ความยาว	80	เซนติเมตร
ความสูง	65	เซนติเมตร

2. ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องย่อยกระดาษ

2.1 สวิตช์ควบคุมเครื่อง

ปุ่ม FORWARD (เดินเครื่อง)

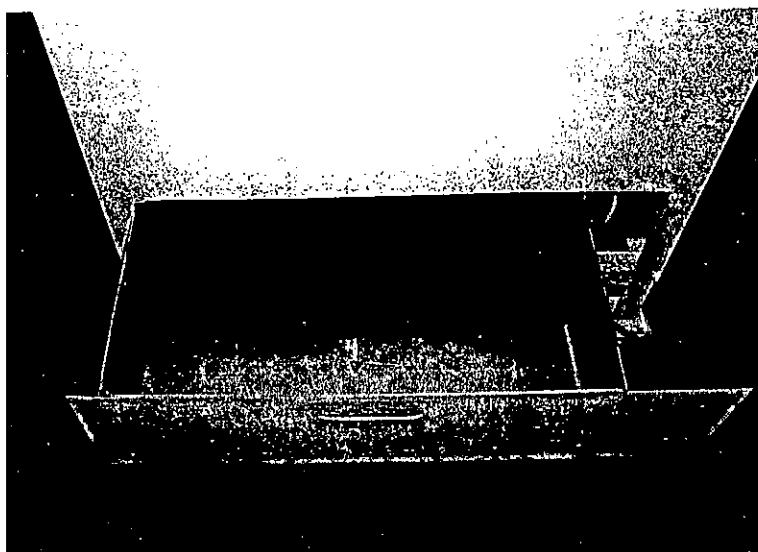
ปุ่ม STOP (หยุดการทำงาน)

ปุ่ม REVERSE (นำกระดาษออก)

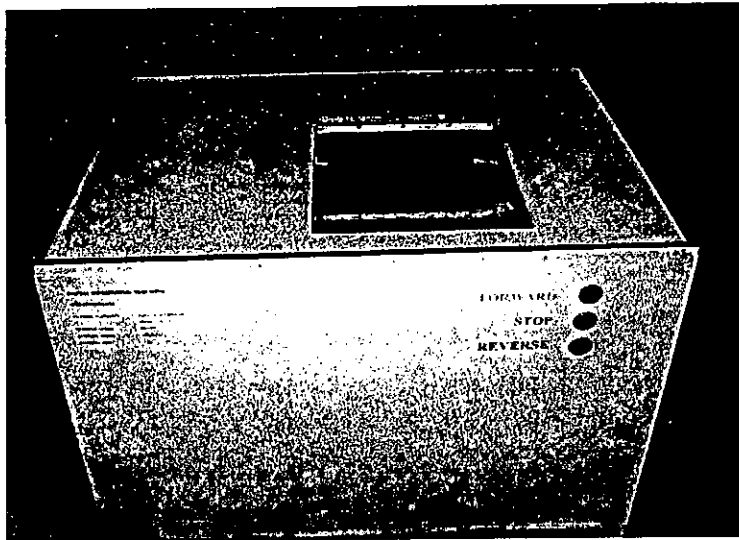


2.2 ส่วนประกอบด้านหลังของเครื่องย่อยกระดาษ

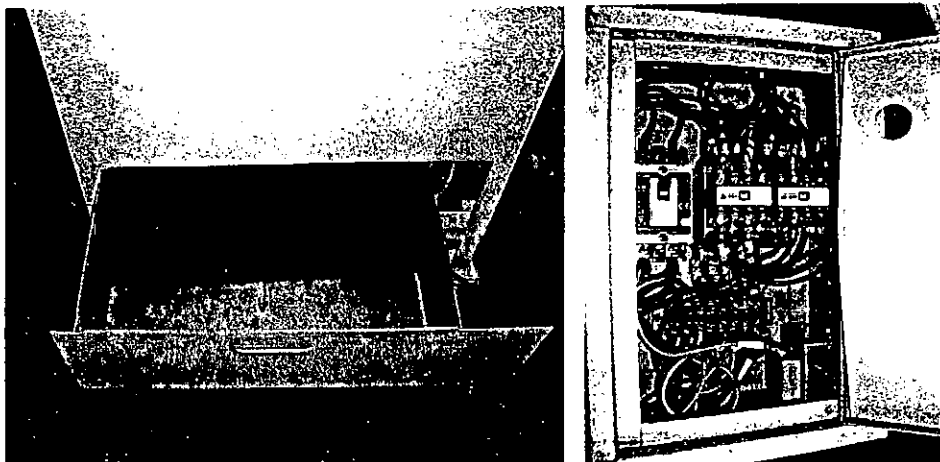
ถาดรองรับกระดาษ



2.3 ส่วนประกอบด้านบนของเครื่องย้อยกระดาษ ช่องป้อนกระดาษ



2.4 ส่วนประกอบด้านล่างของเครื่องย้อยกระดาษ ถาดรองรับกระดาษ / ถังรองรับกระดาษ



3. การใช้งานเครื่องย่อยกระดาษ

3.1 การเปิด – ปิดเครื่อง

- กดปุ่ม FORWARD (เดินเครื่อง)
- กดปุ่ม STOP (หยุดการทำงาน)
- กดปุ่ม REVERSE (นำกระดาษออก)

3.2 วิธีการใส่กระดาษเพื่อย่อยทำลาย

- เตรียมปึกเอกสารที่ต้องการทำลายมาไว้ที่บริเวณหน้าเครื่องทำลายเอกสาร
- เสียบปลั๊กไฟและเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน
- แบ่งกระดาษเป็นปึกตามกำลังความสามารถแต่ละครั้งของเครื่อง (1-36 แผ่น)
- สอดปึกกระดาษเข้าที่ช่องป้อนกระดาษตามแนวยาวกระดาษ
- ปึกกระดาษดังกล่าวจะเคลื่อนที่ตามช่องเข้าของเครื่อง ผ่านใบมีดที่จะตัดกระดาษ
- เศษกระดาษจะออกทางช่องออกลงสู่ที่รองรับเศษกระดาษ
- เปิดถาดรองรับกระดาษ นำกระดาษออกเมื่อกระดาษที่ผ่านการย่อยแล้วเต็มถาด
- ในกรณีที่ใส่กระดาษมีจำนวนมากเกินกำลังที่เครื่องจะทำงานได้ใน 1 ครั้ง เครื่องจะ

ติดขัดแล้วจะหยุด ให้ทำการกดปุ่มสวิตช์ย้อนกลับ กระดาษจะเคลื่อนที่ถอยหลังกลับออกมา ให้ทำการคัดกระดาษออกบ้าง แล้วสอดกระดาษเข้าเครื่องใหม่ เครื่องจะทำงานตามปกติ

4. การบำรุงรักษาเครื่องย่อยกระดาษ

4.1 การบำรุงรักษารายวัน

- ปิดสวิตช์(กดปุ่ม STOP)เครื่องย่อยกระดาษ เมื่อไม่ใช้งาน
- ถอดเต้าเสียบออกจากปลั๊กไฟ
- ใช้ผ้าสะอาดเช็ดตามเครื่องให้สะอาด

4.2 การบำรุงรักษารายเดือน

- ตรวจสอบระดับน้ำมันเครื่องของชุดเกียร์รอบ อย่างสม่ำเสมอ

อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง

- ถ่ายเปลี่ยนน้ำมันเครื่องของชุดเกียร์รอบทุกๆ 2 ปี

ภาคผนวก จ รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ ทดสอบสมรรถนะเครื่องย่อยกระดาศ

ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องกล

นายดุสิต บัวเกตุ

ตำแหน่ง นายช่างเครื่องกล 5 สำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา
ประสบการณ์ทำงาน 16 ปี

นายวีระชาติ จริตงาม

ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล 5 สำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา
ประสบการณ์ทำงาน 15 ปี

นายจงศิริ ชัยทองงาม

ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล 5 สำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา
ประสบการณ์ทำงาน 15 ปี

นายราเมศ สุขาภิบาล

ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล 5 สำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา
ประสบการณ์ทำงาน 10 ปี

ผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า

นายสมภาพ สมประสงค์

ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า 5 สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา
ประสบการณ์ทำงาน 13 ปี

นายคุณาวุฒิ เครือสินธุ์

ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 5 วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี 2
ประสบการณ์ทำงาน 15 ปี

ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานกระดาศ

นายภูวนัย ทิพย์เจริญ

ตำแหน่ง นักวิชาการ 6 โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว
ประสบการณ์ทำงาน 15 ปี

นางสาววิมลรัตน์ บุญประสิทธิ์

ตำแหน่ง นักวิชาการ 5 โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว
ประสบการณ์ทำงาน 10 ปี

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายธนเรศ ทิพย์เจริญ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	171/47 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 22 แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องกล ระดับ 5
สถานที่ทำงาน	กลุ่มวิจัยพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยี สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ถนนรามอินทรา เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
ปีการศึกษา 2539	วศบ. (เครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ปีการศึกษา 2547	การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประวัติการทำงาน	
พศ. 2540 - 2546	วิศวกรเครื่องกล สังกัดกองบริการเครื่องจักรกล กรมอาชีวศึกษา
พศ. 2546 ถึงปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องกล สังกัดสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา