รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม

A machine for split the bamboo scraps from glutinous rice roasted in bamboo joints

ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	หัวหน้าโครงการ
นายอนินท์	มีมนต์	ผู้ร่วมวิจัย
นายศุภเอก	ประมูลมาก	ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม

คณะผู้วิจัย

ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	หัวหน้าโครงการ
นายอนินท์	มีมนต์	ผู้ร่วมวิจัย
นายศุภเอก	ประมูลมาก	ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2553

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องเครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม สำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมทั้งระบบสารณูปโภคต่างๆ อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและเครื่องทดสอบสำหรับการทดลองในครั้งนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พร้อมด้วยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่พิจารณามอบทุนสนับสนุนงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำไปให้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการพัฒนาวัสดุจากเศษเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมชนิดอื่น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับงานวิจัยฉบับนี้

คณะผู้วิจัย

2554

บทคัดย่อ

สมศักดิ อิทธิโสภณกุล, อนินท์ มีมนต์และ, ศุภเอก ประมูลมาก, 2553, “เครื่องจักรตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม”, การพัฒนาทดลอง, วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

เครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลามที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีขนาด 48x65x98 เซ็นติเมตร ใช้กำลังขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า (0.4 Kw) เครื่องจักตอกมีความสามารถในการจักตอกโดยเฉลี่ย 36 เมตร/นาที โดยมีความเร็วสูงสุดในการจักตอกให้ได้เส้นตอกที่มีคุณภาพดีจะเท่ากับ 4,320 เส้น ผลการทดลองจักตอกด้วยไม้ไผ่แบบปล้องเดียวที่ความหนา 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 มิลลิเมตร ยาว 38 เซ็นติเมตร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของเส้นตอกที่คุณภาพดี อยู่ในช่วง 79-69 เปอร์เซ็นต์ และความคลาดเคลื่อนของความหนาอยู่ในช่วง $\pm$0.02 มิลลิเมตร ผลการทดลองจักตอกด้วยไม้ไผ่แบบสองปล้องเดียวหรือแบบไม้ข้อไม้ไผ่ที่ความหนา 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 มิลลิเมตร ยาว 70 เซ็นติเมตร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของเส้นตอกที่คุณภาพดี อยู่ในช่วง 77-69 เปอร์เซ็นต์ และความคลาดเคลื่อนของความหนาอยู่ในช่วง $\pm$0.03 มิลลิเมตร จำนวนเส้นตอกที่เป็นของเสียมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างของใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น หรือความหนาของเส้นตอกเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยลักษณะทางกายภาพของไม้ไผ่จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบของลำต้นอยู่ในลักษณะเส้นในแนวนอน เมื่อได้รับแรงเฉือนจากใบมีด และด้วยลักษณะของเส้นตอกที่มีความบางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเส้นตอก ในลักษณะที่มีเนื้อไม้ไผ่ไม่เต็มตลอดความยาวของเส้น การจักตอกด้วยเครื่องที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีต้นทุนเฉลี่ย 1.27 บาท ต่อการจักตอก 50 เส้น ในขณะที่ราคาจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ที่ กำละ 5 บาท เครื่องจักตอกสามารถสร้างกำไรให้เกิดขึ้นจากการผลิตตอกเพื่อจำหน่ายได้ และเมื่อตอกได้รับการเพิ่มมูลค่าด้วยการใช้ภูมิปัญญาพื้นบ้านสร้างเป็นงานหัตถกรรมจักสาน เน้นการออกแบบร่วมสมัยหรือผลิตเป็นเครื่องจักสานที่ใช้สอบในชีวิต ประจำวัน สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับตอกไม้ไผ่ได้อีกหลายเท่า รวมทั้งลดปัญหาการเผาไม้ไผ่ที่เหลือใช้ ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกช่องทางหนึ่ง

คำสำคัญ : ไม้ไผ่, เครื่องจักรตอก, ข้าวหลาม, เศษไม้ไผ่

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
สารบัญ	(3)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญรูปภาพ	(6)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไม้ไผ่	5
2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่	6
2.3 วัสดุและชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในการสร้างเครื่อง	9
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	29
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 แผนการดำเนินงาน	32
3.2 การออกแบบโครงสร้างและระบบการทำงานของเครื่อง	32
3.3 เครื่องจักตอกไม่ไผ่	35
3.4 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบการจักตอกจากไม้ไผ่หนึ่งปล้อง 43

4.2 ผลการทดสอบการจักตอกจากไม้ไผ่สองปล้อง (แบบมีข้อไม้ไผ่) 46

4.3 การคำนวณต้นทุนในการจักตอก 49

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 51

5.2 ข้อเสนอแนะ 52

บรรณานุกรม 53

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 55

ภาคผนวก ข 79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การใช้งานเหล็กกล้าคาร์บอน	10
2.2	ตัวอย่างของเหล็กกล้าตามมาตรฐานสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของอเมริกา	11
2.3	ชนิดและการใช้งานของเฟือง	20
4.1	แสดงจำนวนจำนวนเส้นตอกที่เสีย และดี จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง	45
4.2	แสดงค่าความหนาเฉลี่ยของตอกไม้ไผ่จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง	46
4.3	แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์เส้นตอกที่เสีย และดี จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบสองปล้อง	48
4.4	แสดงค่าความหนาเฉลี่ยของตอกไม้ไผ่จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง	49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ข้าวหลาม	1
1.2	เศษไม้ไผ่ที่เหลือจากการผลิตข้าวหลาม	3
1.3	กองเศษไม้ไผ่เหลือจากการผลิตข้าวหลามที่รอสำหรับการเผาทำลาย	3
2.1	ลักษณะของไม้ไผ่ที่พร้อมจักตอก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตอกไม้ไผ่	6
2.2	เฟืองชนิดต่างๆ	15
2.3	ส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง	16
2.4	เฟืองตรง	16
2.5	a) เฟืองตรงฟันเฉียง b) เฟืองก้างปลา	17
2.6	เฟืองดอกจอก	18
2.7	เฟืองหนอน	19
2.8	เฟืองที่ส่งกำลังโดยเพลาไม่ขนานกัน	20
2.9	โครงสร้างของตลับลูกปืน	21
2.10	แบบต่างๆ ของลูกกลิ้ง	22
2.11	แบริงเม็ดกลมร่องลึก	22
2.12	แบริงแบบเม็ดกลมร่องลึกมีรอยบากเติมเม็ดลูกปืน	23
2.13	แมกนีโนแบริง	23
2.14	แบริงแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม และการประกอบเป็นคู่	24
2.15	แบริงแบบเม็ดกลมปรับแนวแกนได้เอง	39
2.16	แบริงแบบเม็ดกลมกันรุน	25
2.17	การขับด้วยสายพาน	26
2.18	รูปแบบการติดตั้งสายพาน	26
2.19	ตัวอย่างการตัดต่อกำลังของชุดสายพาน	27
2.20	ลักษณะของสายพานลิ่ม	28
2.21	สายพานลิ่มแบบปกติ ที่มีการหุ้มด้านข้างและไม่หุ้ม	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.22	แสดงโรเตอร์ของมอเตอร์แบบ Squirrel cage	29
2.23	แสดงแผนภูมิมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบพันขดลวด	30
2.24	แสดงโรเตอร์ของมอเตอร์วงแหวนสลิปสามเฟส	31
2.25	แผนผังการไหลของพลังงาน	31
3.1	แสดงขนาดโดยประมาณของเครื่องจักตอก	33
3.2	โครงสร้างการออกแบบเครื่องจักตอกไม้ไผ่	34
3.3	เครื่องจักรตอกที่ได้สร้างขึ้นตามการออกแบบ	35
3.4	แสดงลักษณะของไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลามเพื่อใช้สำหรับทดลองจักตอก	36
3.5	แสดงขั้นตอนการผ่าซีกไม้ไผ่	37
3.6	แสดงชุดปรับระยะห่าง (Gap) ของใบมีดจักตอก	37
3.7	แสดงตำแหน่งลูกกลิ้งและชุดปรับระยะของลูกกลิ้งในการจักตอก	38
3.8	แสดงสวิทซ์ควบคุมการทำงานของเครื่อง	38
3.9	วิธีการใส่ไม้ไผ่เพื่อทำการจักตอกด้วยเครื่องจักตอก	39
3.10	แสดงวิธีการจักตอกของเครื่องจักตอก	39
3.11	ลักษณะการเตรียมไม้ไผ่เพื่อใช้สำหรับการทดลอง	40
3.12	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	40
3.13	เครื่อง Sino meter model DT5236B (Digital thermometer ; Photo contact type)	41
3.14	แสดงตำแหน่งการวัดความหนาของเส้นตอกที่ได้ในแต่ละการกลุ่มการทดลอง	42
4.1	แสดงผลการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่หนึ่งปล้อง	43
4.2	แสดงลักษณะของลักษณะของตอกไม้ไผ่ที่ดี และเสียของเส้นตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง	44
4.3	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์เส้นตอกที่ดีจากการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	แสดงผลการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่สองปล้อง	46
4.5	แสดงลักษณะของลักษณะของตอกไม้ไผ่ที่ดี และเสียของเส้นตอกจากไม้ไผ่แบบสองปล้อง	47
4.6	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์เส้นตอกที่ดีจากการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่แบบสองปล้อง	48

บทที่ 1
บทนำ

1. 1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ไม้ไผ่ เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของชาวไทยมาช้านาน ทุกส่วนของลำจนถึงราก สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในด้านอุปโภคและบริโภค ใช้สร้างที่อยู่อาศัย ทำเครื่องมือเครื่องใช้ ไม้ค้ำยัน กระดาษ เชื้อเพลิง และงานหัตถกรรมเครื่องจักร หรือด้านอื่นๆ ไม้ไผ่จัดได้ว่าเป็นไม้อเนกประสงค์ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญอย่างยิ่ง และเป็นพืชที่ตัดแล้วไม่มีการล้มตายจากไป เหมือนต้นไม้ชนิดอื่นๆ เมื่อหนึ่งต้นถูกตัดออกไปจากกอไผ่ ก็จะมีอีกหลายหน่องอกขึ้นมาพร้อมจะโตเป็นลำต้นที่แข็งแรง สร้างความชุ่มชื้นให้กับสภาวะแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

ข้าวหลามเป็นอาหารประเภทหนึ่งที่ผลิตจากไม้ไผ่ ซึ่งทำจากการผสมข้าวเหนียว บรรจุลงในกระบอกไม้ไผ่ที่ผ่านการทำความสะอาดและตัดให้มีขนาดพอดี แล้วนำไปย่างไฟ จะได้ข้าวหลามที่มีรสชาติอร่อยน่ารับประทาน การทำข้าวหลามจะตัดกระบอกไม้ไผ่ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนความโตของกระบอกข้าวหลามขึ้นอยู่กับกระบอกไม้ไผ่ตามธรรมชาติ ซึ่งจะมีขนาดไม่เท่ากัน โดยส่วนปลายจะได้กระบอกเล็กและไล่ลงมาจนถึงส่วนโคนกระบอกจะใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ลักษณะของข้าวหลาม แสดงดังรูปที่ 1.1 ในปัจจุบันข้าวหลามได้มีการจำหน่ายและบริโภคทุกภาคส่วนของประเทศ ไม่ได้จำกัดอยู่ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งของประเทศไทย

รูปที่ 1.1 ข้าวหลาม

ในปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริมการสร้างความมั่นคงของเศรษฐกิจชุมชน โดยเน้นการผลิตเพื่อการบริโภคอย่างพอเพียงภายในชุมชน สนับสนุนให้ชุมชนมีการรวมกลุ่มในรูปสหกรณ์ กลุ่มอาชีพ สนับสนุนการนำภูมิปัญญาและวัฒนธรรมท้องถิ่นมาใช้ในการสร้างสรรค์คุณค่าของสินค้าและบริการ และสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชนในการลงทุนสร้างอาชีพและรายได้ที่มีการจัดสรรอย่างเป็นธรรมแก่ชุมชน ส่งเสริมการร่วมลงทุนระหว่างเครือข่ายองค์กรชุมชนกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งสร้างระบบบ่มเพาะวิสาหกิจชุมชนควบคู่กับการพัฒนาความรู้ด้านการจัดการ การตลาด และทักษะในการประกอบอาชีพ มีกระบวนการพัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์แก่ชุมชนในการนำไปสู่การพึ่งตนเอง รวมทั้งการสร้างภูมิคุ้มกันให้ชุมชนพร้อมเผชิญการเปลี่ยนแปลง โดยดำเนินการผ่านหน่วยงานของภาครัฐในรูปแบบต่างๆ อนึ่งนักวิชาการหรือนักวิจัยที่อยู่ในหน่วยงานของรัฐต้องทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554)

กลุ่มวิสาหกิจชุมชน, กลุ่มหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ หรือ กลุ่มสตรีแม่บ้านเกษตรกร หลายกลุ่มที่ได้รวมตัวผลิตข้าวหลามเพื่อการจำหน่าย สร้างรายได้ ซึ่งการผลิตข้าวหลามได้มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิต และในการผลิตข้าวหลาม มักจะมีเศษไม้ไผ่เหลือทิ้งอยู่เสมอ เพราะด้านโคนและปลายของลำไม้ไผ่ ไม่สามารถนำมาผลิตเป็นข้าวหลามได้ เนื่องจากด้านโคนลำไม้ไผ่มีขนาดใหญ่และมีความหนามากไป ส่วนด้านปลายมักจะมีขนาดเล็กและบางมากไป เมื่อนำไปเผาแล้วจะไหม้อย่างรวดเร็วทำให้ข้าวหลามเกิดการเสียหายได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีไม้ไผ่เหลือจากกระบวนการผลิตข้าวหลามเป็นจำนวนมากในระยะเวลาเพียง 2-3 วัน การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้นทางกลุ่มได้ทำการรอให้ไม้ไผ่แห้งและเผาทำลาย เมื่อเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้นก็จะเกิดควันและความร้อนส่งผลกระทบโดยตรงกับชั้นบรรยากาศ เป็นต้นเหตุของการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งเป็นสถานการณ์อย่างหนึ่งที่ต้องเร่งแก้ไขในปัจจุบัน รูปที่ 1.2 และ 1.3 แสดงภาพของเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลามของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรแสงตะวัน ตำบลกระแซง อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี

ด้วยเหตุนี้ทางกลุ่มนักวิจัย จึงได้มีแนวคิดลดปัญหาการเผาทำลายเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม โดยการนำเศษไม้ไผ่ดังกล่าวไปทำให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดด้วยการนำเอาเศษไม้ไผ่ที่เหลือจากการผลิตข้าวหลามมาจักตอกให้มีความบาง เพื่อนำไปจักสานด้วยภูมิปัญญาชาวบ้าน เช่น สานเป็นเข่งปลาทู, เข่งติ่มซำ, กระติ๊บข้าวขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์จักสานรูปแบบอื่นๆ หรือผลิตเป็นตอกส่งขายให้กลุ่มชุมชนอื่น ที่ต้องการใช้ตอกไม้ไผ่ผลิตเครื่องจักสานหรือผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ รวมถึงการใช้ตอกมัดผักแทนการใช้หนังยาง เป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้อย่างง่าย อีกทั้งเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนรักษาภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีมาแต่ดั้งเดิม ส่งถ่ายทอดเทคนิค

วิธีการจักสานให้กับลูกหลาน และเป็นโอกาสของการเพิ่มรายได้จากการผลิตงานหัตถกรรมจักสานให้กับกลุ่มผู้สูงอายุอีกแนวทางหนึ่ง

รูปที่ 1.2 เศษไม้ไผ่ที่เหลือจากการผลิตข้าวหลาม

รูปที่ 1.3 กองเศษไม้ไผ่เหลือจากการผลิตข้าวหลามที่รอสำหรับการเผาทำลาย

1. 2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องจักรตอกจากเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม
2) สร้างมูลค่าเพิ่มกับเศษวัสดุเหลือใช้จากไม้ไผ่ผลิตข้าวหลามให้เกิดประโยชน์
3) ส่งเสริมการรักษาภูมิปัญญาชาวบ้าน ทางด้านผลิตภัณฑ์จักสานด้วยตอกจากไม้ไผ่
4) ลดปัญหาสภาวะแวดล้อมจากกระบวนการเผาไหม้ ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างบูรณาการให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

1. 3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ออกแบบและสร้างเครื่องจักตอกขนาดกะทัดรัด สำหรับกลุ่มชุมชนผู้ผลิตข้าวหลามเพื่อการจำหน่าย โดยตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก การใช้งานง่ายและปลอดภัยต่อการปฏิบัติงานสำหรับกลุ่มผู้ใช้ในระดับชุมชน สามารถจักตอกที่มีความหนาได้ขนาด 0.2-1 มิลลิเมตร ความยาวไม่เกิน 1 เมตร และสามารถจักตอกได้ไม่ต่ำกว่า 3,600 เส้นต่อชั่วโมง

1. 4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1) ได้เครื่องจักตอกที่มีประสิทธิภาพสำหรับจักตอกไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิต ข้าวหลามของกลุ่มชุมชน
2) สามารถลดแรงงานด้านการจักตอก โดยเครื่องสามารถจักตอกได้ความหนาที่คงที่ ขนาด 0.2-1 มม. ความยาวไม่เกิน 1 เมตร โดยสามารถจักตอกได้ไม่ต่ำกว่า 3,600 เส้นต่อชั่วโมง
3) เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มกับเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวให้เกิดประโยชน์มากกว่า การเผาทำลาย ลดปัญหาสภาวะแวดล้อมที่เกิดจากความร้อนและมลพิษจากควัน ไฟในเผาไหม้ที่จะส่งผลกับสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
4) ส่งเสริมการรักษาภูมิปัญญาชาวบ้าน ทางด้านการจักสานผลิตภัณฑ์จากตอกไม้ไผ่ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และได้มาตรฐานจากเส้นตอกที่มีความหนาคงที่

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี

การวิจัยเครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม มีรายการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัย ออกแบบการทดลอง ทดสอบ เพื่อให้ได้แผ่นอัดเรียบจากซังข้าวโพดที่มีสมบัติได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2. 1 ไม้ไผ่ [1, 2, 3, 4]

ไม้ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ที่มีวิวัฒนาการมาจากพืชตระกูลหญ้า ซึ่งจัดให้เป็นหญ้าที่มีอายุยืนยาวที่สุด บางชนิดมีอายุยืนยาวเป็นร้อยปี อย่างไรก็ดีไม้ไผ่ก็ยังคงมีลักษณะทางชีพลักษณ์ (การออกดอกและผลิตเมล็ด) ในรูปแบบเดียวกับหญ้า กล่าวคือ เป็นพืชที่มีชีพลักษณ์เป็นแบบ Monocarpic เมื่อออกดอกและผลิตเมล็ดแล้วต้นแม่ก็จะตายไป ไม้ไผ่มีถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติอย่างกว้างขวางครอบคลุมเกือบทุกส่วนของโลก ทั้งในเขตหนาว เขตอบอุ่น และเขตร้อน ยกเว้นในทวีปยุโรป การกระจายพันธุ์มีมากที่สุดในแถบร้อนทางตอนใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย คือ มีการกระจายพันธุ์ถึง 45 สกุล 750 ชนิด ในขณะที่ไม้ไผ่ทั่วโลกที่มีลักษณะยืนต้นมีประมาณ 77 สกุล 1,030 ชนิด ส่วนที่พบในประเทศไทยมีประมาณ 15 สกุล 82 ชนิด ซึ่งคาดว่ายังมีบางชนิดที่หลงเหลือจากการสำรวจอยู่บ้าง เนื่องจากขึ้นอยู่ในป่าลึก และขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกชนิดพันธุ์ อุปสรรคที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการจำแนกพันธุ์ไม้ไผ่ก็คือ การที่ไม้ไผ่มีอายุขัยในการออกดอกและผลิตเมล็ดยาวนาน ไม้ไผ่ชนิดต่างๆ มีอายุไขในการออกดอกแตกต่างกัน บางชนิดใช้เวลานาน 30-50 ปี ในขณะที่บางชนิดใช้เวลานานกว่าร้อยปี อายุขัยในการออกดอกที่ยาวนานและไม่สม่ำเสมอเช่นนี้เป็นอุปสรรคในการเก็บหาและรวบรวมตัวอย่างที่จำเป็นในการจำแนกพันธุ์อย่างยิ่ง

ไม้ไผ่ จัดเป็นพืชอเนกประสงค์ที่มีความสัมพันธ์กับชีวิตและความเป็นอยู่ของคนไทยมาช้านาน คนไทยเราได้มีการใช้ประโยชน์ทรัพยากรไม้ไผ่หันมาตั้งแต่บรรพบุรุษโดยนำเอาทุกส่วนของไม้ไผ่มาใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่อสนองความต้องการขั้นพื้นฐานหรือปัจจัยสี่ที่มนุษย์ต้องการ มีการนำหน่อไม้มาใช้เป็นอาหาร นำเส้นใยที่ได้จากการตีเยื่อไผ่มาทำเครื่องนุ่งห่ม ใช้ลำไผ่ก่อสร้างที่อยู่อาศัย และแม้แต่ใช้ใบ เหง้า และหน่อเป็นยารักษาโรค ซึ่งนอกจากการใช้ประโยชน์ทางตรงที่กล่าวมาแล้วไม้ไผ่ยังสามารถให้ประโยชน์ทางอ้อมอีกนานับปการ อาทิเช่น ใช้ปลูกเป็นแนวกันลม หรือปลูกเป็นแนวริมน้ำ เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่กันอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือน โดยนำหน่อมาบริโภคในรูปแบบต่างๆ และนำเอาลำไผ่

มาใช้อย่างอเนกประสงค์ ไปจนถึงการใช้หน่อและลำเพื่อเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมขนาดเล็กถึงใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมหน่อไม้กระป๋อง หน่อไม้แห้ง หน่อไม้ดอง อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษตลอดจนอุตสาหกรรมไม้อัดบาง และไม้ปาร์เก้ และมีการส่งผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ออกไปขายยังต่างประเทศอีกด้วย รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของไม้ไผ่ที่พร้อมจักตอก และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตอกไม้ไผ่

ก) ไม่ไผ่พร้อมจักตอก ข) ผลิตภัณฑ์จากตอก

รูปที่ 2.1 ลักษณะของไม้ไผ่ที่พร้อมจักตอก และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตอกไม้ไผ่ [4]

2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่

2.2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสิ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่ [5]

1) ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ประดิษฐ์จากไม้ไผ่ชนิดที่เหมาะสมเป็นวัสดุหลักไม่ครอบคลุมถึงเครื่องเรือนไม้ไผ่ ผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่ ผลิตภัณฑ์ไผ่ขด ผลิตภัณฑ์ไผ่อัด และเครื่องเขิน

2) บทนิยาม

สิ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ไผ่ชนิดที่เหมาะสมเป็นวัสดุหลัก อาจนำมาผ่า ดัด ตัด ต่อ หรือฉลุ และอาจสาน พัน หรือถักก็ได้ อาจทาสี หรือทาสารเคลือบเงาเพื่อความสวยงามและอาจประกอบด้วยวัสดุอื่นเพื่อให้เกิดความแข็งแรง มั่นคง เรียบร้อย สวยงาม เช่น หวาย เส้นใยพืช ไม้ โลหะนิยมนำมาทำเป็นของใช้กับอาหารและน้ำ ของใช้ทั่วไป ของตกแต่ง ของที่ระลึก เช่น กระเป๋าถือ โคมไฟ กระปุกออมสิน ทัพพี แก้ว เหยือก

3) ประเภท

สิ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่ แบ่งตามการใช้งานออกเป็น ๒ ประเภท คือ

3.1) ประเภทที่ใช้กับอาหารและน้ำ (ไม่ควรใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย)

3.2) ประเภทที่ใช้เป็นของใช้ทั่วไป ของตกแต่งและของที่ระลึก

4) คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1) ลักษณะทั่วไป

- ต้องประณีต เรียบร้อย สวยงาม แข็งแรง มั่นคง บริเวณรอยต่อต้องไม่เปรอะเปื้อนสารยึดติด ไม่มีเส้นขน เสี้ยน ฝุ่นผง หรือราปรากฏให้เห็นเด่นชัดตลอดชิ้นงาน

- สิ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่ที่เป็นแบบและขนาดเดียวกัน ต้องมีรูปร่างเหมือนกันและมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.2) ไม้ไผ่

ต้องไม่เหี่ยวย่น หรือผุ ไม่มีรา และปราศจากร่องรอยการเจาะกัดกินของแมลง

4.3) สี (ถ้ามี)

ต้องสม่ำเสมอ (ยกเว้นที่มีการไล่ระดับสี) ไม่หลุดลอก และเมื่อลูบผลิตภัณฑ์แล้วสีต้องไม่ติดมือ

4.4) การประกอบด้วยวัสดุอื่น (ถ้ามี)

ต้องประณีต ติดแน่น คงทน กลมกลืน และเหมาะสมกับชิ้นงาน

4.5) การเคลือบเงา (ถ้ามี)

ต้องเรียบ สม่ำเสมอ ไม่เป็นเม็ด เป็นตุ่ม เป็นคราบ กรอบ แตก หรือหลุดลอก และต้องไม่ทำให้ชิ้นงานขาดความสวยงามตามธรรมชาติ กรณีที่เป็นประเภทที่ใช้กับอาหารและน้ำ บริเวณที่สัมผัสกับอาหารและน้ำต้องไม่เคลือบเงาหรือใช้สีเมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนน ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคนไม่น้อยกว่า ๓ คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ ๑ คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

4.6) การรั่วซึม (เฉพาะประเภทที่ใช้กับอาหารและน้ำ)

ต้องไม่รั่วซึม

4.7) การใช้งาน

ต้องสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

2.2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์จักสานจากไม้ไผ่ [6]

1) ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่ที่ทำจากไม้ไผ่ชนิดที่เหมาะสม สามารถนำพาไปใช้ประโยชน์ได้โดยสะดวก ทั้งนี้ไม่ครอบคลุมถึงเครื่องเรือนที่ทำจากไม้ไผ่ เช่น โต๊ะ เก้าอี้

2) บทนิยาม

ผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ไผ่โดยการผ่าและจักเป็นเส้นแล้วนำมาสาน ถักพัน สอด อาจมีการฟอก ย้อมสี รมควัน หรือทาสารเคลือบเงาเพื่อความสวยงาม และอาจมีการประกอบด้วยวัสดุอื่น เช่น หวาย ลวด กาว ตะปู เชือก ในการยึดเพื่อให้เกิดความแข็งแรง เรียบร้อย และสวยงาม

3) ประเภท

ผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่ แบ่งตามการใช้งานออกเป็น ๓ ประเภท คือ

3.1) ประเภทที่ใช้เป็นของใช้ทั่วไป เช่น ตะกร้า กระจาด กระเป๋า กระเช้า

3.2) ประเภทที่ใช้เป็นของตกแต่ง เช่น โคมไฟ แจกัน โมบาย กรอบรูป

3.3) ประเภทที่ใช้เป็นเครื่องประดับ เช่น เข็มกลัด กำไล กิ๊บ

4) คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1) ลักษณะทั่วไป

- ต้องมีความประณีต สวยงาม ปราศจากเส้นขน เสี้ยน ฝุ่นผง และรา ปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดตลอดชิ้นงาน

- ต้องมีรูปร่างสวยงาม รูปทรงสมมาตรกัน แข็งแรง มั่นคง ไม่บิดเบี้ยวหรือเอนเอียง

- ผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่ที่เป็นแบบและขนาดเดียวกัน ต้องมีรูปร่าง เหมือนกัน และมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.2) ลักษณะเส้นตอก

ต้องไม่ห่อตัว บิดตัว หรือหดตัวเป็นร่อง ไม่ผุ เปราะ หรือแตกหักง่าย ปราศจากรา และร่องรอยการเจาะกัดกินของแมลง

4.3) ลวดลาย

ต้องมีความประณีต สวยงาม สม่ำเสมอ ครบถ้วน และถูกต้องตามแบบของผลิตภัณฑ์

4.4) สี (ถ้ามี)

ต้องมีสีสม่ำเสมอ ยกเว้นกรณีที่มีการย้อมไล่ระดับสี หรือสานสลับสีในชิ้นงานเดียวกัน สีต้องไม่ตก และเมื่อลูบผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่แล้วสีต้องไม่ติดมือ

4.5) การประกอบด้วยวัสดุอื่น (ถ้ามี)

ต้องมีความประณีต ติดแน่น คงทน กลมกลืนและเหมาะสมกับชิ้นงาน

4.6) การเคลือบเงา (ถ้ามี)

ต้องเรียบ มีความเงาสม่ำเสมอ ไม่เป็นเม็ด เป็นตุ่ม เป็นคราบ กรอบแตก หรือหลุดลอก และต้องไม่ทำให้ชิ้นงานขาดความสวยงามตามธรรมชาติเมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนน ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคน ไม่น้อยกว่า ๓ คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ ๑ คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

4.7) การใช้งาน

ต้องสามารถใช้งานได้ตรงตามประเภทของผลิตภัณฑ์

2.3 วัสดุและชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในการสร้างเครื่อง

2.3.1 เหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าและเหล็กกล้าผสมเป็นโลหะที่สำคัญ และมีการใช้งานมากที่สุดในงานอุตสาหกรรม สามารถนำไปปรับปรุงสมบัติได้ด้วยกรรมวิธีการทางความร้อน ซึ่งจะทำให้โครงสร้างภายในเปลี่ยนแปลงไป ส่งให้สมบัติของเหล็กและเหล็กกล้าผสมมีความแตกต่างไปจากเดิม เหล็กกล้าเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน บางครั้งอาจจะเรียกว่า “เหล็กกล้าคาร์บอน” (Carbon steel) โดยทั่วไปเหล็กกล้าจะมีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลัก โดยจะผสมอยู่ประมาณ 0.1-1.7% นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ ผสมอีกในปริมาณเล็กน้อยได้แก่ ซัลเฟอร์ (Sulfur), ฟอสฟอรัส (Phosphorus), แมงกานีส (Manganese) และซิลิกอน (Silicon) โดยบางธาตุจะเป็นธาตุเจือปนที่ติดมากับกระบวนการผลิตเหล็กกล้า อาจจะเป็นธาตุที่มาจากแร่เหล็กหรือถ่านหินในกระบวนการผลิต และบางธาตุเป็นธาตุที่จงใจเติมลงไป

เหล็กกล้าคาร์บอน (Steel) หมายถึงกลุ่มเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมที่สำคัญ และมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่เล็กน้อย ความแข็งแรงของเหล็กชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นกับปริมาณของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ความเหนียวและความสามารถในการขึ้นรูปเป็นรูปทรงให้บางจะลดลงสวนทางกับปริมาณคาร์บอน สามารถแบ่งประเภทของเหล็กกล้าคาร์บอนตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมอยู่ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ คือ เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.1-0.3% เหล็กกล้าคาร์บอน

ปานกลางที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.3-0.8% และเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.8-1.4% การนำเหล็กกล้าคาร์บอนไปใช้งานแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การใช้งานเหล็กกล้าคาร์บอน [7]

ชนิด	ปริมาณคาร์บอน	การใช้งาน
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	0.1-0.15	เหล็กแผ่น ในการทำตัวถังรถยนต์ เส้นลวด
		แท่งเหล็ก หรือท่อที่ได้จากการรีด
	0.15-0.3	ใช้ทั่วไปในงานภาคปฏิบัติ
		แผ่นเหล็กทำหม้อต้มน้ำ (boiler)
เหล็กกล้าคาร์บอนกลาง	0.3-0.5	การตีขึ้นรูปเพลาข้อเหวี่ยง แกนหมุนต่างๆ
	0.5-0.8	สปริง สกัดงานขึ้นรูปเย็น
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	0.8-1.0	ขดสปริง สกัดงานไม้
	1.0-1.2	ตะไบ ดอกสว่าน ดอกทำเกลียว และแม่พิมพ์ตัด
	1.2-1.4	ใบมีดตัดที่มีความละเอียด

เหล็กกล้าคาร์บอนทั้งสามประเภทมีปริมาณคาร์บอนที่ต่างกัน ทำให้สมบัติ ต่างกันและเหมาะกับการใช้งานในลักษณะที่ต่างกัน มาตรฐานของเหล็กกล้าและเหล็กกล้าผสมตามมาตรฐาน AISI และ SAE จะจำแนกตามส่วนผสมทางเคมี และใช้ตัวเลขเป็นตัวกำหนดมาตรฐาน คือ เหล็กกล้าผสมต่ำจะใช้ตัวเลข 4 หลัก ตัวเลขสองตัวแรกแสดงชนิดของเหล็กกล้า เช่น 10 แสดงว่าคือเหล็กกล้าคาร์บอน ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้ายคือปริมาณร้อยละของคาร์บอน ตัวอย่างของเหล็กกล้าคาร์บอนแสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของเหล็กกล้าตามมาตรฐานสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของอเมริกา [8]

ชนิด	ส่วนผสม (%น้ำหนัก)	สภาวะจากการผลิต	ความแข็งแรง (MPa)	%การยืดตัว
1010	0.10C 0.40Mn	รีดร้อน	276-414	28-47
		รีดเย็น	290-400	30-45
1020	0.20C 0.45Mn	รีด	448	36
		อบอ่อน	393	36
1040	0.40C 0.45Mn	รีด	621	25
		อบอ่อน	517	30
		อบคืนไฟ	800	20
1060	0.60C 0.65Mn	รีด	814	17
		อบอ่อน	628	22
		อบคืนไฟ	110	13
1080	0.80C 0.80Mn	รีด	967	12
		อบอ่อน	614	25
		อบคืนไฟ	1304	12
1095	0.95C 0.40Mn	รีด	966	9
		อบอ่อน	665	13
		อบคืนไฟ	1263	10

เหล็กกล้าคาร์บอน หรือ carbon steel เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (strength) และความอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ทำให้เหมาะที่จะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงาน ดังตัวอย่างเช่นในเหล็กคาร์บอนถ้ามีปริมาณของคาร์บอนต่างกันเพียงเล็กน้อย แล้วทำการชุบแข็งด้วยวิธีแตกต่างกันหรือทำการขึ้นรูป (mechanical forming) แตกต่างกันอีก อาจจะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงแตกต่างกันได้อย่างมากมาย คือ อาจจะแปรค่าความแข็งแรงได้ถึง 10 kg/mm^2 อัตราการยืดตัว (Elongation) ก็อาจจะแตกต่างกันได้ตั้งแต่ 0.1% ถึง 50%

2.3.2 เหล็กเครื่องมือ

เหล็กกล้าเครื่องมือเป็นเหล็กที่มีธาตุผสมอยู่ในปริมาณที่สูงมาก และต้องผ่านกรรมวิธีการอบชุบทางความร้อนหลังจากขึ้นรูปจนมีขนาดตามต้องการ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน เพื่อที่ให้ได้สมบัติที่ดีจากผลของธาตุที่ผสมอยู่อย่างสูงสุด ธาตุผสมหลักที่พบในเหล็กเครื่องมือจะเป็นธาตุที่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ที่มีความแข็งสูง ได้แก่ ทังสเตน (W), โมลิบดินั่ม (Mo), โครเมี่ยม (Cr), วาเนเดียม(V) และโคบอลล์ (Co)

ในบางครั้งชื่อของเหล็กกล้าอาจจะสร้างความสับสนได้เนื่องจากเหล็กเครื่องมือนั้นไม่ได้หมายถึงเหล็กที่ใช้ทำฆ้อน ไขควง หรือประแจ แต่จะเป็นเหล็กที่ใช้ทำเครื่องมือในการขึ้นรูปโลหะและวัสดุอื่นๆ เช่น ดอกสว่าน มีดกลึง แม่พิมพ์ ลูกรีด เป็นต้น ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ต้องการคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ นอกเหนือไปจากสมบัติทั่วๆ ไป เช่น ทนความร้อน ทนการเสียดสี สามารถใช้งานที่ความเร็วรอบสูงได้ เป็นต้น

มาตรฐาน AISI ได้จำแนกประเภทของเหล็กกล้าเครื่องมือออกเป็น 7 ชนิดตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่

1) เหล็กเครื่องมือที่ชุบแข็งด้วยน้ำ (Water-hardening Tool Steels) เหล็กเครื่องมือชนิดนี้จะแทนด้วยสัญลักษณ์ W เป็นชนิดที่มีธาตุผสมเพียงคาร์บอน (0.6-1%) โครเมี่ยม (0.5%) และวาเนเดียม (0.25%) เท่านั้น ใช้สำหรับงานทั่วๆ ไป ที่ไม่ต้องการสมบัติที่พิเศษมากนัก

2) เหล็กเครื่องมือทนแรงกระแทก (Shock-resisting Tool Steels) เหล็กเครื่องมือชนิดนี้จะแทนด้วยสัญลักษณ์ S เป็นชนิดที่มีความแกร่ง (Toughness) และทนต่อแรงกระแทก เหล็กกลุ่มนี้มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.5% ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ ธาตุผสมหลักอื่นๆ ได้แก่ซิลิกอน โครเมี่ยม ทังสเตน และโมลิบดินั่ม เหล็กประเภทนี้นิยมใช้ทำ Punch, Chisel เครื่องมือ Pneumatic และใบมีดตัด (Shear blade) เป็นต้น

3) เหล็กเครื่องมือสำหรับการขึ้นรูปเย็น (Cold work Tool Steels) เหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญที่สุด เหล็กเครื่องมือกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่

- กลุ่มที่หนึ่ง คือ กลุ่มที่ชุบแข็งด้วยน้ำมัน แทนด้วยสัญลักษณ์ O มีธาตุผสมหลักคือแมงกานีส โดยมีโครเมี่ยมและทังสเตนผสมอยู่เล็กน้อย นิยมใช้ทำเครื่องมือทั่วๆ ไป เช่น Tap&Die สำหรับทำเกลียว และ Reamer เป็นต้น
- กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีธาตุผสมสูงขึ้นอีกเล็กน้อย แทนด้วยสัญลักษณ์ A สามารถทำการชุบแข็งได้โดยเพียงนำเอาออกจากเตาอบชุบแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศธรรมดา ธาตุผสมหลักจะมีคาร์บอนประมาณ 1% โครเมี่ยม สูงสุด 5% แมงกานีส สูงสุด 3%

และโมลิบดินั่ม ประมาณ 1% นิยมใช้ทำ Die สำหรับการทำ Blanking , Trimming และ Die สำหรับรีดเกลียว (Thread-rolling die)

- กลุ่มที่สาม คือ กลุ่มที่มีธาตุผสมสูงสุด แทนด้วยสัญลักษณ์ D มีคาร์บอนอยู่สูงถึง 2.25% และโครเมี่ยม 12% อาจมีโมลิบดินั่ม วาเนเดียม และโคบอลท์ ผสมอยู่ด้วย เหล็กกลุ่มนี้จะมีความแข็งสูงสุดและทนต่อการเสียดสีได้ดี นิยมใช้ทำ Blanking die และ Drawing die สำหรับการ ดึงลวดและเหล็กกลม

4) เหล็กเครื่องมือสำหรับการขึ้นรูปร้อน (Hot work Tool Steels) เหล็กเครื่องมือชนิดนี้จะแทนด้วยสัญลักษณ์ H เหล็กกลุ่มนี้จะคงความแข็งแรงและทนต่อการเสียดสีได้ที่อุณหภูมิสูง เหมาะกับการใช้ทำเครื่องมือที่เกี่ยวกับการขึ้นรูปร้อน เช่น แบบสำหรับการหล่อ Die casting, Extrusion และ Plastic mold

5) เหล็กเครื่องมือความเร็วรอบสูง (High speed Tool Steels) เหล็กเครื่องมือชนิดนี้มีสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่มีทังสเตนเป็นธาตุผสมหลัก แทนด้วยสัญลักษณ์ T และกลุ่มที่มีโมลิบดินั่มเป็นธาตุผสมหลัก แทนด้วยสัญลักษณ์ M นิยมใช้ทำเครื่องมือตัดที่ใช้งานรอบสูง และยังทำ Extrusion die และ Blanking pouch & die ด้วย

6) เหล็กเครื่องมือสำหรับทำแบบ (Mold Steels) เหล็กเครื่องมือชนิดนี้ จะแทนด้วยสัญลักษณ์ P เหล็กเกือบทุกเกรดในกลุ่มนี้จะมีธาตุโครเมี่ยม (2-5%) และนิกเกิล (1-3%) เป็นธาตุผสมหลักและมีคาร์บอนค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 0.1%) เมื่อเทียบกับเหล็กเครื่องมือกลุ่มอื่นๆ เหล็กชนิดนี้จะอ่อนและสามารถกัดให้เป็นรูปทรงได้ง่ายในสภาพหลังการอบอ่อน (Annealing) จึงเหมาะกับการทำแม่พิมพ์สำหรับการฉีดพลาสติก แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงมากๆ เนื่องจากมีธาตุผสมต่ำเกินกว่าจะคงความแข็งแรงเอาไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง

7) เหล็กเครื่องมือสำหรับงานเฉพาะอย่าง (Special purpose Tool Steels) เหล็กเครื่องมือในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มนอกเหนือจาก 6 กลุ่มที่ได้กล่าวมาแล้ว แบ่งออกเป็นสองกลุ่มย่อยคือ กลุ่มทีมีธาตุผสมต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ L ซึ่งมีโครเมี่ยมเป็นธาตุผสมหลัก และกลุ่มที่มีคาร์บอนกับทังสเตนเป็นธาตุผสมหลัก แทนด้วยสัญลักษณ์ F เหล็กเครื่องมือเป็นเหล็กที่มีธาตุผสมอยู่สูงมาก การผลิตและการปรับแต่งคุณสมบัติด้วยกรรมวิธีการอบชุบด้วยความร้อนจึงมีขั้นตอนที่รัดกุม ต้องดูแลเป็นพิเศษ ดังนั้นในการนำเหล็กเครื่องมือมาใช้งานจำเป็นต้องศึกษาและปฏิบัติตามคำแนะนำที่ได้มีการจัดเตรียมไว้โดย AISI (American Iron and Steel Institute) จึงจะทำให้เหล็กเครื่องมือมีสมบัติสูงสุดตามที่ต้องการ

2.3.3 เฟือง

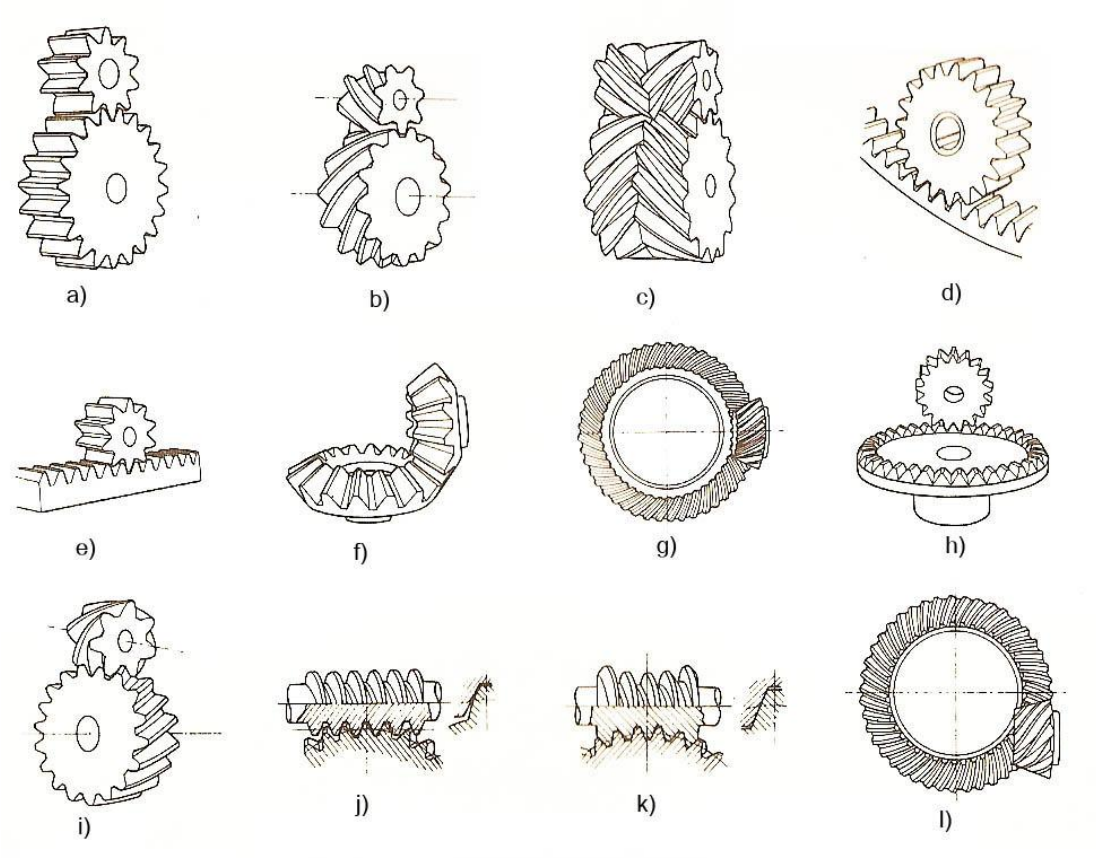
เฟือง (Gear) เป็นส่วนเครื่องจักรกลที่พบอยู่ทั่วๆ ไปในเครื่องจักร โดยหน้าที่ส่งกำลังให้หมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งได้ โดยที่ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเฟืองขับ (Driving Gear) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (Driven Gear) หรือมีชื่อเรียกว่า Pinion ในบางกรณีอาจให้เฟืองขับใหญ่กว่าเฟืองตามก็ได้ เมื่อมีการทดกำลังขึ้นมา เรียกว่า ชุดเฟืองทด (Gear Box) เฟืองชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.2

ระบบของเฟือง ในปัจจุบันเฟืองที่ใช้อยู่ด้วยกันมี 2 ระบบ คือ ระบบเมตริกและระบบอังกฤษ โดยได้วัดหน่วยวัดขนาดในระบบเมตริกจะวัดเป็นมิลลิเมตรและระบบอังกฤษจะวัดขนาดเป็นนิ้ว ซึ่งมีการเรียกชื่อที่ต่างกัน คือ เฟืองโมดูล (Module) ตัวย่อ M. เฟืองโมดูลจะเป็นเฟืองระบบเมตริก มีหน่วยวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร โมดูลมีหลายขนาด เฟืองสองตัวจะมีโมดูลเท่ากัน ระยะพิตซ์เท่ากัน ขนาดความหนาและความสูงของฟันเท่ากันจึงจะขบกันได้ และเฟืองดีพี (Diameter Pitch) ตัวย่อ D.P. เป็นเฟืองในระบบอังกฤษที่มีหน่วยวัดเป็นนิ้ว โดยที่แต่ละส่วนสามารถคำนวณได้

คำศัพท์ต่างๆ ที่มีการเรียกชื่อฟันเฟืองแบบเฟืองตรง แสดงดังรูปที่ 2.3โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

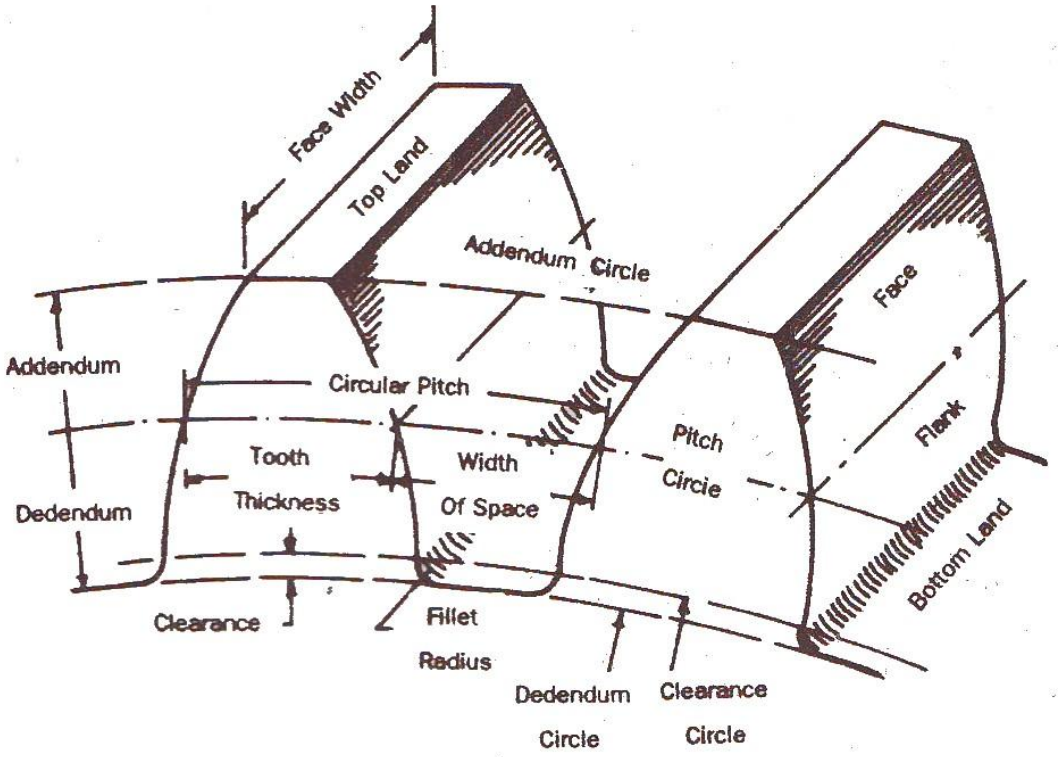
- วงกลมพิตซ์ (Pitch Circle) เป็นส่วนหลักในการเรียกขนาดของเฟือง โดยบอกขนาดของฟันเฟืองด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ (Pitch Diameter) โดยทางทฤษฎีแล้วเฟืองอยู่ที่ขบกันจะต้องมีเส้นสัมผัสกัน ณ วงกลมพิตซ์
- ระยะพิตซ์ของเฟือง (Circular Pitch) เป็นระยะที่วัดบนเส้นรอบวงกลมของพิตซ์จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่ง ณ ตำแหน่งเดียวกันบนฟันถัดไป จะเห็นได้ว่าระยะนี้จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความกว้างฟันและความกว้างของช่องว่างระหว่างฟัน
- ช่วงสูงฟันช่วงบน (Addendum) เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (Top Land) ถึงวงกลมพิตซ์
- ช่วงสูงฟันช่วงล่าง (Dedendum) เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน (Bottom Land) รวมถึงวงกลมพิตซ์ ฉะนั้นความสูงของฟันเฟือง คือ ผลรวมระหว่าง Addendum กับ Dedendum
- ช่องว่างของการขบกัน (Clearance) ในการที่เฟืองสองตัวขบกัน Dedendum ของเฟืองตัวหนึ่งต้องมีค่ามากกว่า Addendum ของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันขึ้น ผลต่างระหว่างค่า Dedendum และ Addendum นี้เรียกว่า Clearance

- ความหนาของฟัน (Face Width) คือ ความหนาของฟันเฟือง วัดในทิศทางเดียวกับแนวแกนของเฟือง โดยจะเรียกว่า ความหนาเฟือง
- มุมกดของฟันเฟือง (Pressure Angle) คือ มุมที่เกิดขึ้นจากทิศทางการสัมผัสของฟันเฟืองระหว่างส่วนโค้งของฟันเฟือง ตัวขับและตัวตาม



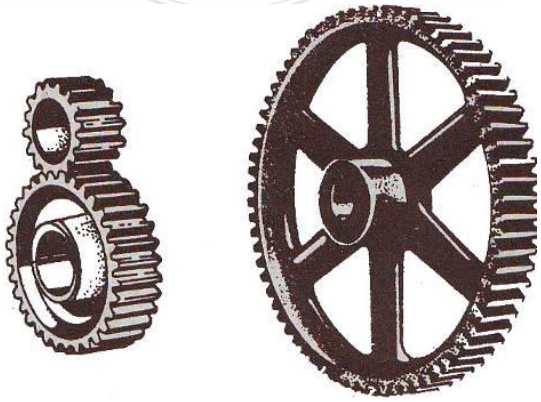
a) เฟืองตรง (spur gear)
b) เฟืองเอียง (helical gear)
c) เฟืองเอียงคู่ (double helical)
d) เฟืองฟันใน (internal gear)
e) พีเนี่ยนและเฟืองราง (pinion and rack)
f) เฟืองดอกจอกฟันตรง (straight bevel gear)
g) เฟืองดอกจอกเกลียว (spiral bevel gear)
h) เฟืองหน้าตรง (face gear)
i) เฟืองเอียงขวาง (crossed helical gear)
j) เฟืองหนอนทรงกระบอก (cyrindrical worm gear)
k) เฟืองหนอนล้อมคู่ (double enveloping worm gear)
l) เฟืองหน้าเอียง (hypoid gear)

รูปที่ 2.2 เฟืองชนิดต่างๆ [9]



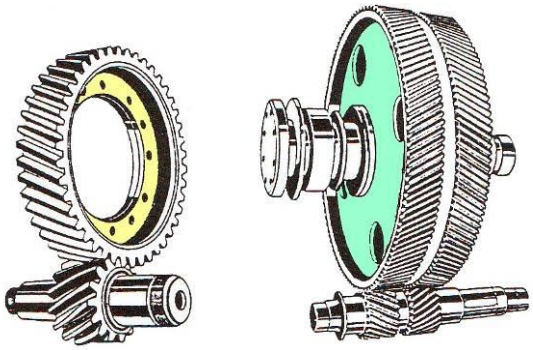
รูปที่ 2.3 ส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง [10]

1) เฟืองตรง (Spur Gear) เฟืองตรงเป็นลักษณะของล้อทรงกระบอกกลม และมีฟันขนานกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนเพลา โดยภาคหน้าตัดของฟันเฟืองจะมีขนาดเท่ากันและมีความเหมือนกันตลอดทุกฟัน ซึ่งเฟืองตรงจะมีการใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ในเครื่องวัดที่มีเข็มวัด (Meters) เครื่องจักร นาฬิกา เครื่องจักรกลที่ใช้ทดกำลังทุกชนิด เช่น ในกระปุกเกียร์รถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เฟืองตรง (Spur Gear) [10]

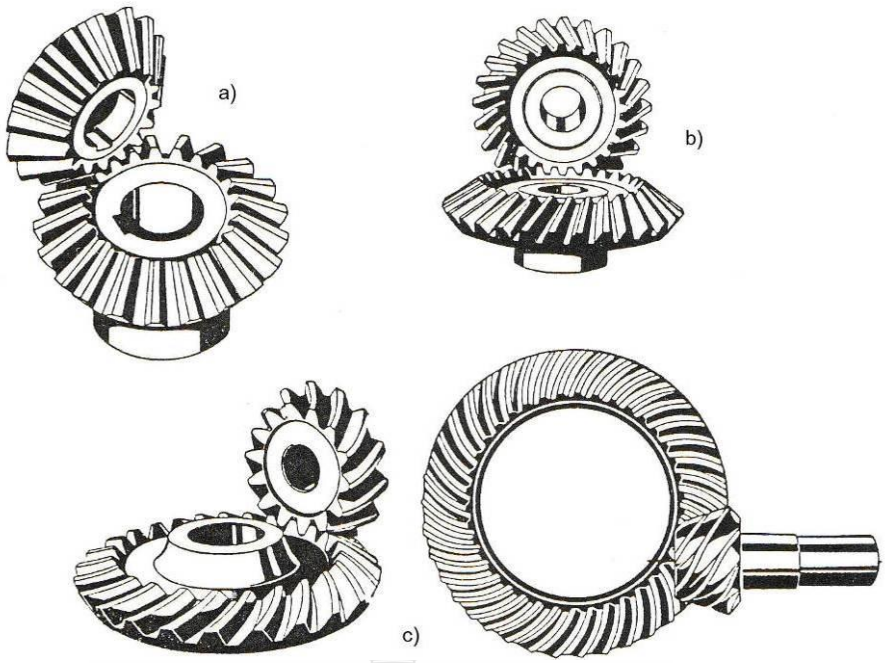
2) เฟืองตรงฟันเฉียง (Helical Spur Gear) เฟืองเฉียงจะมีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรง จะต่างกันตรงที่ฟันของเฟืองเฉียงจะทำมุมเอียงกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนของเพลา เฟืองเฉียงจะใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน เพลาทำมุมตั้งฉากกัน และเพลาทำมุมน้อยกว่ามุมฉาก เฟืองเฉียงอาจจะกัดร่องเฉียง เป็นมุมสองมุมอยู่คนละด้านกัน ซึ่งจะเรียกว่าเฟืองก้างปลา (Herring–Bone Gear) ซึ่งจะใช้ส่งกำลังได้ระหว่างเพลาที่ขนานกันเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



a) b)

รูปที่ 2.5 a) เฟืองตรงฟันเฉียง (Helical Spur Gear) [10]
b) เฟืองก้างปลา (Herring – Bone Gear)

3) เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) เฟืองดอกจอกหรือในบางครั้งเรียกว่า เฟืองบายศรี มีรูปร่างลักษณะเป็นรูปทรงกรวย (Cone) ซึ่งมีฟันติดอยู่โดยรอบผิวของทรงกรวย ฟันจะถูกตัดขนานกับแกนของเฟืองหรือแกนเพลา และหน้าตัดด้านหน้ากับด้านหลังจะไม่เท่ากัน เฟืองดอกจอกจะใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาที่ตั้งฉากกัน โดยส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมน้อยกว่า 90 องศา และมากกว่า 90 องศา ซึ่งลักษณะของเฟืองดอกจอก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

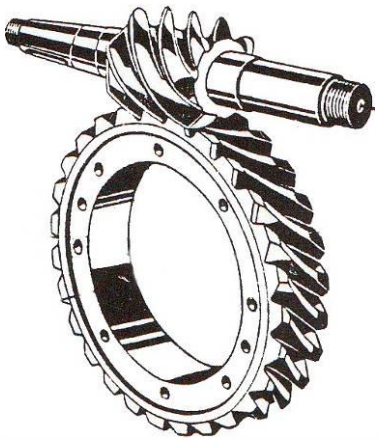


รูปที่ 2.6 เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) [10]

ฟันของเฟืองดอกจอกจะมีด้วยกันหลายแบบ (ได้จำแนกตามรูปที่ 2.6) ซึ่งการใช้งานก็จะแตกต่างกันไป เช่น

- เฟืองดอกจอกฟันตรง (a) ใช้กับงานที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น ชุดอุปกรณ์สำหรับยก ที่ควบคุมด้วยมือ เป็นต้น
- เฟืองดอกจอกฟันเฉียง (b) มีเสียงดังน้อยกว่าแบบฟันตรงธรรมดา มักนำมาใช้ในงานที่มีความเร็วรอบและกำลังงานสูงกว่า เช่น ชุดเฟืองขับในเครื่องมือกล เป็นต้น
- เฟืองดอกจอกฟันโค้ง (c) ใช้งานที่ต้องการความเงียบมาก เช่น ชุดเฟืองทดกำลังงานสูงๆ เฟืองดิฟเฟอร์เรนเชียลของยานยนต์ เป็นต้น

4) เฟืองหนอน (Worm Gear) เฟืองหนอนประกอบด้วยตัวเกลียวหนอนและเฟืองหนอนจะต้องใช้งานร่วมกัน โดยเกลียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม ระยะพิตช์ของเกลียวและระยะพิตช์ของเฟืองจะมีค่าเท่ากัน เกลียวหนอนและเฟืองหนอนจะส่งกำลังระหว่างเพลาที่ตั้งฉากกันและเป็นเพลาที่วางข้ามกัน ชุดเฟืองหนอนจะมีใช้ในชุดหัวแบ่ง (Indexing Head) ในเครื่องมือวัดบางอย่างและในเครื่องจักรกลบางชนิดที่ต้องการทดรอบจากความเร็วสูงให้เป็นความเร็วต่ำมากๆ เฟืองหนอนจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เฟืองหนอน (Worm Gear) [10]

เมื่อพิจารณาการจัดวางตำแหน่งของเพลา เฟืองสามารถจำแนกประเภทตามลักษณะการใช้งานได้อีก ดังนี้

- การส่งกำลังเมื่อเพลาวางขนานกัน (Parallel Shaft) เฟืองที่ใช้ได้แก่
  - เฟืองตรง (Spur Gear)
  - เฟืองเฉียง (Helical Gear)
  - เฟืองก้างปลา (Herring Bone Gear)
- การส่งกำลังเมื่อเพลาวางตัดกัน (Intersecting Shaft)
  - เฟืองดอกจอกฟันตรง (Straight Bevel Gear)
  - เฟืองดอกจอกฟันเฉียง (Spiral Bevel Gear)
- การส่งกำลังเมื่อวางเพลาไม่ขนานกันและไม่ตัดกัน (Non Parallel, Non Intersecting) หรือเพลาที่ตรงข้างกันเฟืองที่ใช้ ได้แก่
  - เฟืองเกลียวกากบาท (ฮีลิกขวาง) (Crossed Helical Gear) รูปที่ 2.8 (a)
  - เฟืองหน้าเอียง (ไฮปอยด์) (Hypoid Gear) รูปที่ 2.8 (b)
  - เฟืองหนอน (Worm Gear) รูปที่ 2.8 (c)

a) b) c)

รูปที่ 2.8 เฟืองที่ส่งกำลังโดยเพลาไม่ขนานกัน [10]

ตัวอย่างการใช้งานของเฟืองที่นิยมใช้ในเครื่องมือ – เครื่องจักร และข้อดีข้อเสียของการใช้งานเฟืองแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.3

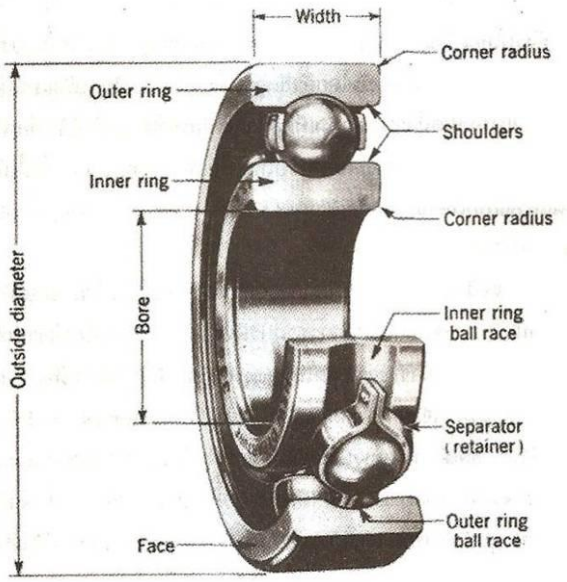
ตารางที่ 2.3 ชนิดและการใช้งานของเฟือง [9]

ชนิดเฟือง	ตัวอย่างการใช้งาน	เกิดผลดี	เกิดผลเสีย
- เฟืองตรง (Spur Gear)	- หัวแท่นเครื่องกลึง	- ผลิตได้ง่าย	- เสียงดังขณะใช้งาน
- เฟืองเฉียง (Helical Gear)	- ปั๊มน้ำ	- เกิดเสียงดังน้อยกว่าเฟืองตรง	- เกิดแรงต้านในแนวแกน - การผลิตยากกว่าเฟืองตรง
- เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)	- สว่านมือ	- ส่งกำลังเพลาที่ทำมุมต่อกันได้	- กรรมวิธีการผลิตที่ยุ่งยาก - เกิดแรงต้านในแนวแกน
- เฟืองหนอน (Worm Gear)	- หัวแบ่งบนเครื่องกัด	- ทดความเร็วรอบได้สูง - สามารถส่งถ่ายแรงบิด (Torque) ได้สูง - สามารถล็อคตัวเองได้	- จะใช้ตัวเฟืองเป็นตัวต้นกำลังไม่ได้
- เฟืองสะพาน (Rack Gear)	- สว่านตั้งโต๊ะ	- เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ จากการหมุนเป็นการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	- มีข้อจำกัดเรื่องระยะการเคลื่อนที่

2.3.4 ตลับลูกปืน

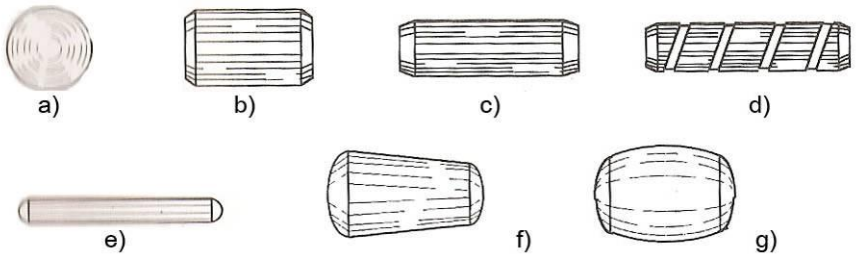
ตลับลูกปืน หรือแบริ่ง (Bearing) คือ ชิ้นส่วนเครื่องกลที่ใช้ในการช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงาน โดยโหลดจะถูกส่งไปส่วนต่าง ผ่านการสัมผัสของเม็ดลูกกลิ้งที่บรรจุอยู่ภายใน โดยให้เพลารับโหลดและหมุนได้เป็นไปอย่างราบรื่น เพื่อให้เครื่องจักรกลทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเที่ยงตรงแรงเสียดทานเริ่มต้นในแบริ่งสัมผัสแบบกลิ้งจะมีค่ามากเป็นสองเท่าของแรงเสียดทานขณะทำงาน ดังนั้น การรับโหลด ความเร็วในการหมุน และความหนืดของสารหล่อลื่นล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของแบริ่ง โครงสร้างของตลับลูกปืนดังรูปที่ 2.9 ตลับลูกปืนมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ประกอบด้วย

- วงแหวนนอก (Outer Ring) มีหน้าที่สวมเข้ากับตัวเรือน (Housing) ของตลับลูกปืน และเป็นรางวิ่งให้กับเม็ดลูกปืนที่ผิวด้านนอก
- วงแหวนใน (Inner Ring) มีหน้าที่สวมเข้ากับเพลา และเป็นรางวิ่งด้านในของเม็ดลูกปืน
- เม็ดลูกปืน (Ball) มีหน้าที่ลดความเสียดทาน เพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด
- ตัวประคอง หรือตัวยึดลูกปืน (Retainer หรือ Cage) เป็นตัวกำหนดระยะห่างระหว่างเม็ดลูกปืนให้อยู่ตำแหน่งที่ถูกต้องหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากรอบบังคับระยะ ทำหน้าที่ยึดเม็ดลูกปืนและคั่นระหว่างเม็ดลูกปืนให้มีระยะห่างคงที่ เมื่อวงแหวนเกิดการหมุน เม็ดลูกปืนจะกลิ้งอยู่ในรางของวงแหวน เนื่องจากพื้นที่ผิวลูกกลิ้งสัมผัสกับรางของวงแหวนน้อยมาก จึงทำให้แรงเสียดทานระหว่างรางและวงแหวนลดลงมาก



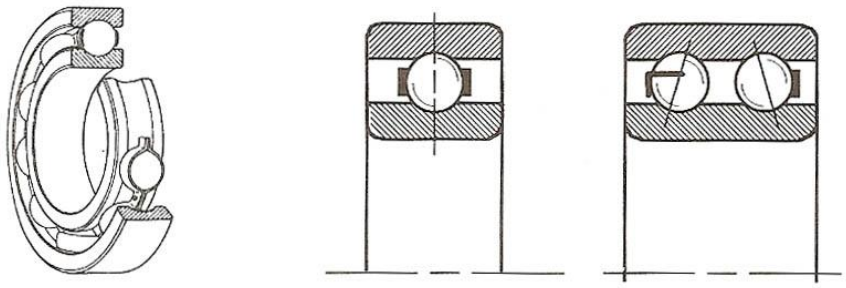
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของตลับลูกปืน [10]

พิจารณาการรับโหลดของแบริ่ง สามารถแบ่งออกได้สองประเภท คือ แบริ่งรัศมี (Radial bearing) ใช้รับโหลดในแนวรัศมีเป็นส่วนใหญ่ โดยยอมให้รับโหลดในแนวแกนได้บ้างเล็กน้อย และแบริ่งกันรุน (Thrust bearing) ใช้รับโหลดในแนวแกนของเพลา แต่ถ้าพิจารณารูปร่างของลูกปืนสามารถแบ่งได้ สองประเภท คือ แบริ่งแบบเม็ดกลม ดังรูป 2.10a และแบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอก (Roller bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกสั้นดังรูป 2.10b ทรงกระบอกยาวดังรูป 2.10c ทรงกระบอกร่องวนดังรูป 2.10d ทรงกระบอกเข็มดังรูป 2.10e ทรงกระบอกแบบเรียวดังรูป 2.10f และทรงกระบอกกลมดังรูป 2.10g



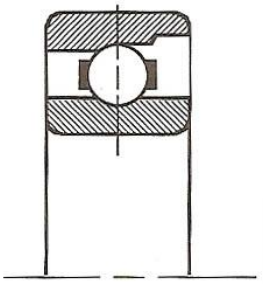
รูปที่ 2.10 แบบต่างๆ ของลูกกลิ้ง [11]

1) แบริงแบบเม็ดกลมร่องลึก (Deep groove ball bearing) เป็นชนิดของแบริงที่ไม่สามารถแยกส่วนได้ มีร่างร่องลึกสำหรับเม็ดลูกปืน ดังแสดงในรูปที่ 2.11a และ b เป็นแบริงเม็ดกลมร่องลึกแถวเดียว โดยปกติใช้สำหรับรับโหลดในแนวรัศมี แต่สามารถรับโหลดในแนวแกนได้ร้อยละ 70 ของโหลดในแนวรัศมี เป็นแบริงที่มีการใช้งานกว้างขวางที่สุด รูปที่ 2.11c เป็นแบริงเม็ดกลมร่องลึกสองแถว สามารถรับโหลดในแนวรัศมีและแนวแกนได้สูงกว่าแบบแถวเดียว ความกว้างจะกว้างกว่าแบบแถวเดียวประมาณร้อยละ 60-80 สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน



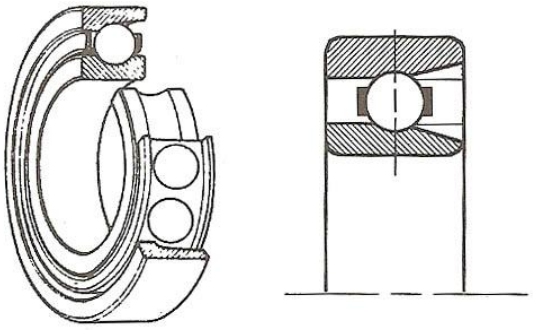
รูปที่ 2.11 แบริงเม็ดกลมร่องลึก [11]

2) แบริงแบบเม็ดกลมร่องลึกมีรอยบากเติมเม็ดลูกปืน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 มีรอยบากด้านบนด้านหนึ่งของวงแหวนสำหรับเติมเม็ดลูกปืน ทำให้เพิ่มความสามารถรับโหลดในแนวรัศมี แต่ความสามารถในการรับโหลดในแนวแกนจะลดลง เนื่องจากเม็ดลูกปืนชนรอยบาก



รูปที่ 2.12 แบริงแบบเม็ดกลมร่องลึกมีรอยบากเติมเม็ดลูกปืน [11]

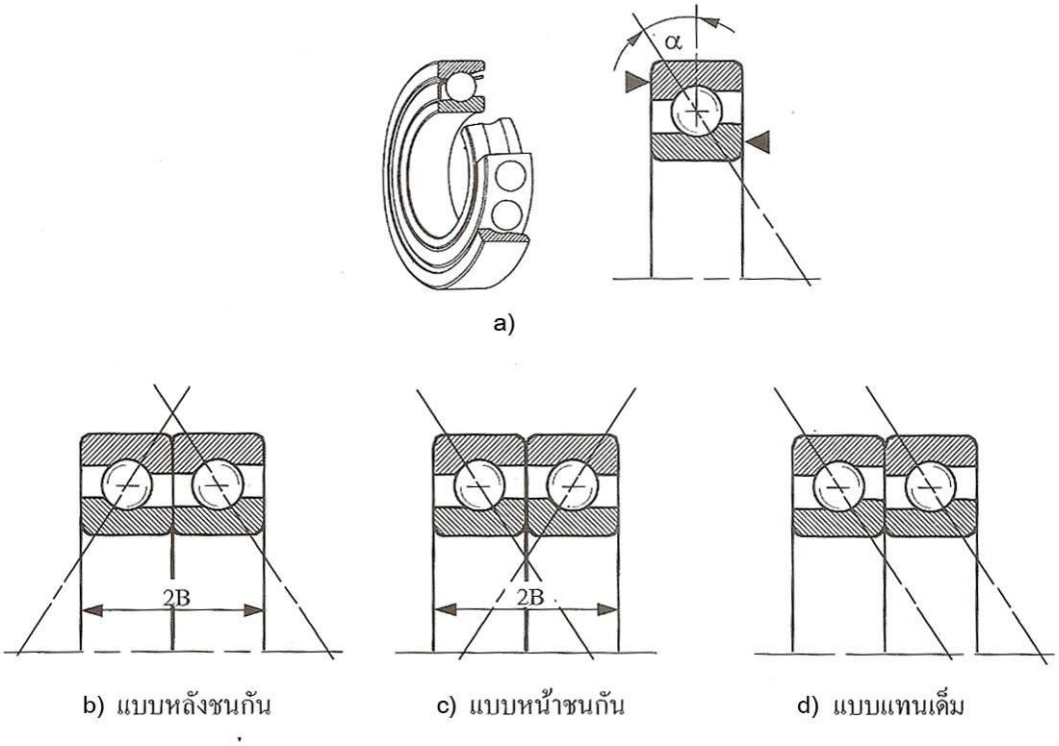
3) แมกนีโตแบริง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ร่องที่วงแหวนในของแบริงแบบนี้จะตื้นกว่าแบริงแบบเม็ดกลมร่องลึก ด้านหนึ่งของวงแหวนนอกจะมีบ่า ร่องอีกด้านไม่มีบ่า วงแหวนนอกสามารถแยกส่วนออกมาได้ ซึ่งเป็นข้อดีต่อการประกอบ แมกนีโตแบริงเป็นแบริงขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเพลาตั้งแต่ 4-30 มม. ใช้งานในมอเตอร์เล็กๆ



รูปที่ 2.13 แมกนีโนแบริง [11]

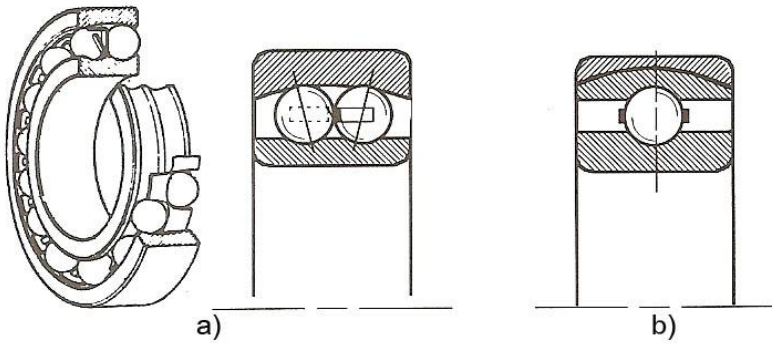
4) แบริงแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม เป็นแบริงแบบแยกส่วนไม่ได้ แต่สามารถรับโหลดแนวแกนได้สูง แบริงแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมแถวเดียว ดังแสดงรูปที่ 2.13a รับโหลดได้ในแนวแกนทิศทางเดียว ความสามารถในการรับโหลดรุนขึ้นอยู่กับมุมสัมผัส ซึ่งมุมที่โตจะสามารถรับโหลดรุนได้สูงกว่า งานที่มีความเร็วรอบสูงนิยมมุมสัมผัสน้อย การใช้แบริงประกอบเป็นคู่ (แบบ Duplex) ตามปกติจะประกอบแบบหลังชน (แบบ DB) หรือแบบหน้าชน (DF) หรือแบบแทนเด็ม (Tandem; แบบ DT) ดัง

แสดงในรูปที่ 2.13b-2.13d ซึ่งแบบ DB และ DF สามารถรับโหลดรุนได้สองทิศทาง ส่วนแบบ DT รับโหลดได้ทิศทางเดียวและในบริเวณที่จำเป็นต้องการให้โหลดบนแต่ละแบริงเท่ากัน



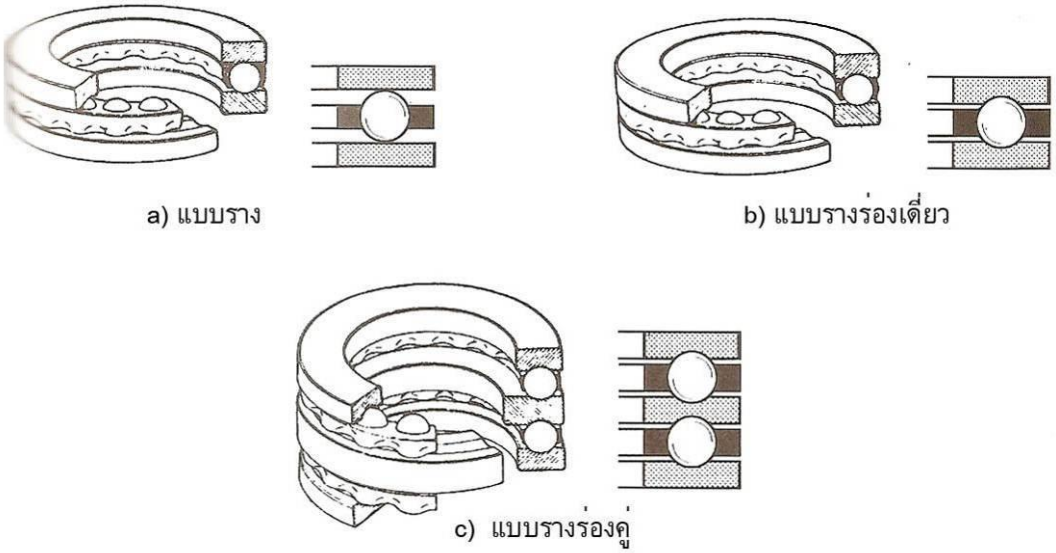
รูปที่ 2.14 แบริงแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม และการประกอบเป็นคู่ [11]

5) แบริงแบบเม็ดกลมปรับแนวแกนได้เอง (Self-aligning ball bearing) เป็นชนิดที่แยกส่วนไม่ได้ ความสามารถในการรับโหลดต่ำกว่าแบบร่องลึก เพราะว่ารัศมีของวงแหวนโตขึ้นทำให้เกิดความเค้นสัมผัสสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.14a เป็นแบบปรับแนวแกนเองได้ภายน รูปที่ 2.14b เป็นแบบปรับแนวแกนได้เองภายนอก



รูปที่ 2.15 แบริงแบบเม็ดกลมปรับแนวแกนได้เอง [11]

6) แบริงแบบเม็ดกลมกันรุน (Thrust ball bearing) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 มีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ แบบรางราบ แบบรางร่องเดี่ยว และแบบรางร่องคู่ แบริงแบบนี้สามารถแยกส่วนได้ ใช้กับแนวแกนของเพลาที่เที่ยงตรงสูง และเหมาะสำหรับกรใช้งานที่โหลดต่ำแต่ความเร็วรอบสูง



รูปที่ 2.16 แบริงแบบเม็ดกลมกันรุน [11]

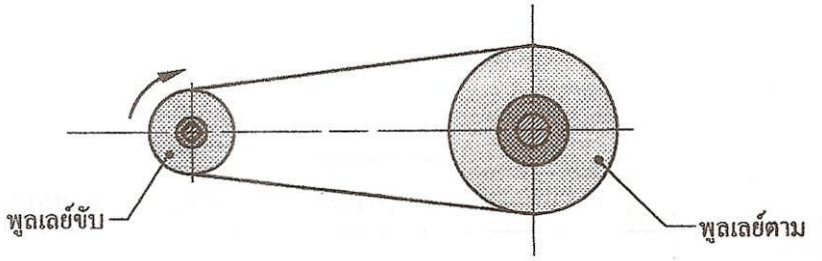
การเลือกใช้ตลับลูกปืน มีองค์ประกอบที่จะต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อตลับลูกปืน
- ความเร็วในแนวหมุนของแหวนวงในและแหวนวงนอก
- อายุการใช้งานของตลับลูกปืนที่ต้องการ
- ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหวนใน–แหวนนอก อุณหภูมิภายนอก (Ambient temperature)
- การได้แนวศูนย์ของแกนในตลับลูกปืนที่ต้องการ
- ขนาดของแรงบิดที่เกิดจากความเสียดทาน (Friction Torque) และความดังของเสียงที่เกิดขึ้น
- ชนิดของสารหล่อลื่นที่ต้องการจะใช้
- จำนวนของตลับลูกปืนที่ใช้รับแรง
- เนื้อที่สำหรับตลับลูกปืนจำกัดหรือไม่

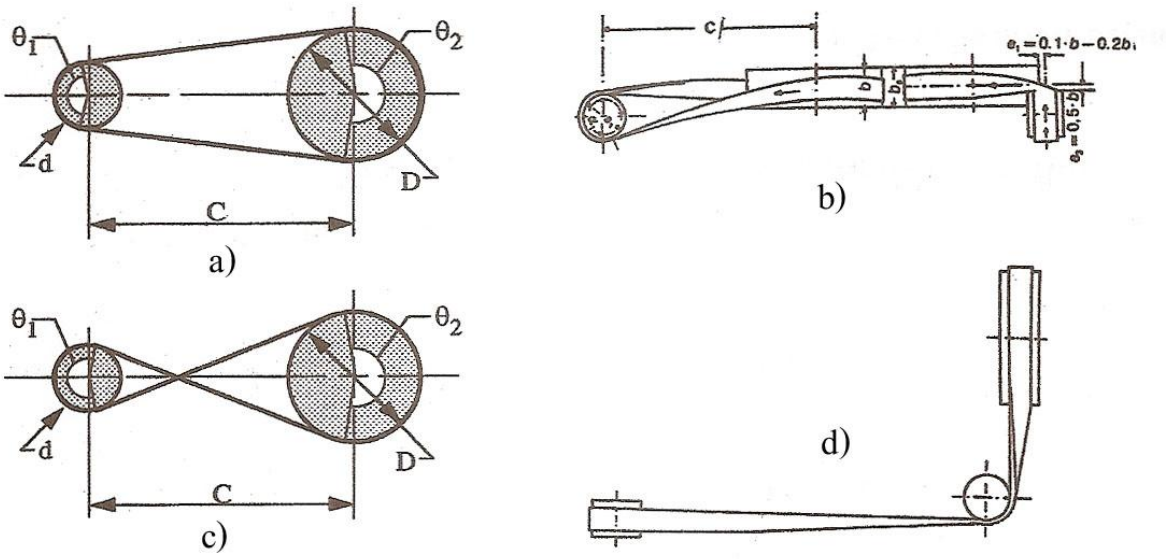
2.3.5 สายพาน

สายพาน เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลประเภทถ่ายทอดกำลังหรือการหมุนผ่านอุปกรณ์ที่ยืดหยุ่นได้โดยการพันสายพานรอบมู่เล่ การส่งกำลังด้วยสายพาน จะประกอบด้วยสายพานที่หยุ่นตัวได้ติดตั้งรอบพลูเลย์ (Pulley) ตั้งแต่สองอันขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน แรงในแนวสัมผัส จะถูกส่งถ่ายจากพูลเลย์ขับไปยังพูลเลย์ตาม โดยอาศัยความเสียดทานระหว่างสายพานและพูลเลย์

ในการส่งกำลังด้วยสายพาน สามารถติดตั้งสายพานขับได้หลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ได้แก่ สายพานแบบเปิด (Open belt) สำหรับขับเพลาที่ขนานกันให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 2.17a) สายพานแบบไขว้ (Crossed belt) สำหรับขับเพลาที่ขนานกันให้หมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม (รูปที่ 2.17b) สายพานแบบกึ่งไขว้ (Half-crossed belt) สำหรับขับเพลาที่ข้ามกัน (รูปที่ 2.17c) สายพานแบบทำมุมกัน (Angular belt) สำหรับขับเพลาที่ตัดกัน (รูปที่ 2.17d)



รูปที่ 2.17 การขับด้วยสายพาน [11]



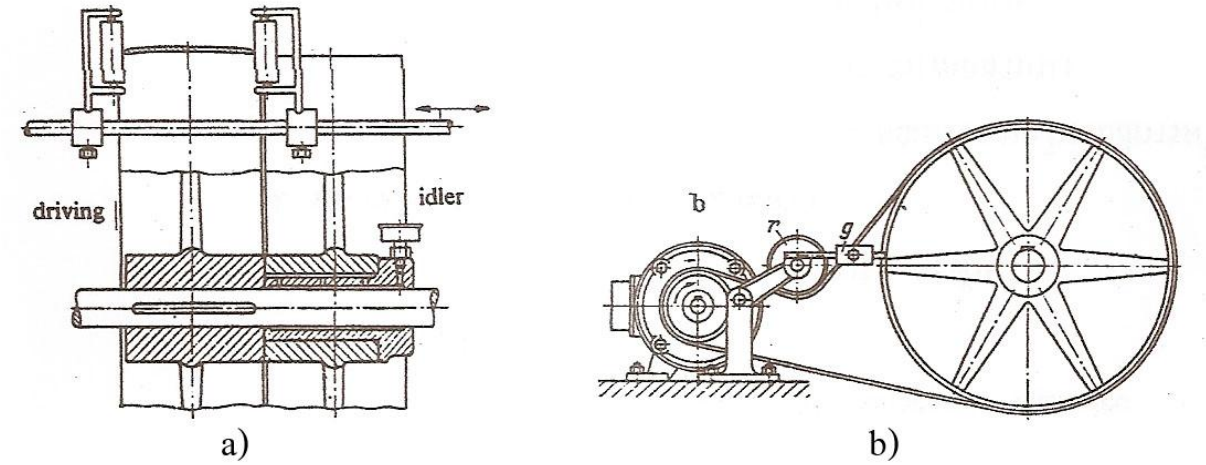
รูปที่ 2.18 รูปแบบการติดตั้งสายพาน [11]

ข้อดีของสายพานส่งกำลัง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เฟืองและโซ่ส่งกำลัง ซึ่งทำให้การใช้สายพานส่งกำลังอย่างกว้างขวาง ได้แก่

1) การทำงานค่อนข้างเงียบกว่า (ยกเว้นเสียงกระแทกจากรอยต่อของสายพานแบน)
2) สามารถดูดซับการกระแทกและการสั่นสะเทือนได้ดีกว่า
3) การติดตั้งง่ายไม่ต้องการเรือนเฟืองและการหล่อลื่น
4) ราคาถูกกว่ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเพลาห่างกันมากและการติดตั้งพูลเลย์ทำได้ง่าย
5) การตัดต่อกำลังทำได้ง่าย เช่น การเลื่อนสายพานแบนไปอยู่ไอเดิลพูลเลย์ (idler pulley) ดูรูปที่ 2.18a หรือการยกพูลเลย์กด (Jockey pulley) ขึ้น ดูรูปที่ 2.18b

ข้อเสียของสายพานส่งกำลัง ได้แก่

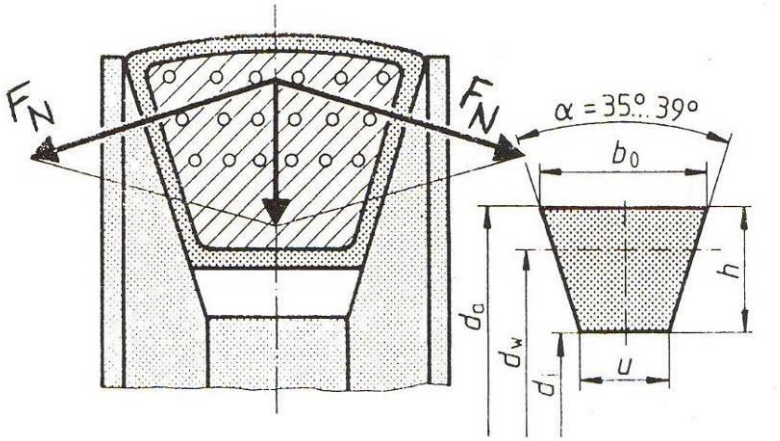
1) ใช้เนื้อที่มากกว่า
2) เกิดการลื่น (Slip) 1 ถึง 2% การลื่นจะแปรเปลี่ยนตามแรงในแนวสัมผัส แรงดึงเบื้องต้น ส่วนยืดถาวร และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
3) ส่วนยืดถาวรในสายพานเพิ่มขึ้นแบบก้าวหน้าตามเวลาและโหลด ทำให้เกิดการลื่นและสายพานหลุดออกจากพูลเลย์ จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยปรับความตึง



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการตัดต่อกำลังของชุดสายพาน [11]

สายพานลิ่ม เป็นสายพานทำจากยางมีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูครึ่งหนึ่ง ด้านบนมีเส้นโพลีเอสเตอร์ที่ผ่านการวัลเคไนซิ่งมาแล้วแทรกอยู่ ทำให้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น สายพานลิ่มชนิดที่มีชั้นใยสิ่งทอหุ้มอยู่รอบๆ จะช่วยป้องกันการสึกหรอได้อีกด้วย

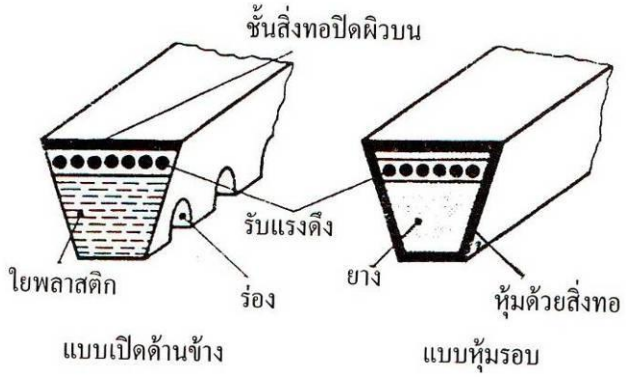
สายพานลิ่มจะไม่รับแรงตามแนวรัศมีโดยตรงเหมือนสายแพนแบน แต่จะรับแรงตามแนวตั้งฉากกับด้านข้างของสายพานลิ่ม ดังรูปที่ 2.19 (แรงปกติ F_N) สายพานลิ่มที่มีความดึงและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ เท่ากับสายพานแบน จะสามารถส่งกำลังได้ดีกว่าสายพานแบนได้ถึง 3 เท่า ลักษณะของสายพานลิ่มแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 ลักษณะของสายพานลิ่ม [9]

สายพานลิ่มปกติ เป็นสายพานที่กำลังจะถูกทดแทนด้วยการนำเอาสายพานลิ่มเส้นบางที่มีประสิทธิภาพกำลังงานดีกว่ามาใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ล้อสายพานที่มีขนาดเล็กจะมีการนำสายพานลิ่มเส้นบางเปิดด้านข้างมาใช้งาน ดังรูปที่ 2.20

- สายพานลิ่มชนิดที่มีการวัลเคไนเซชั่น และมีพลาสติกใยแก้วสั้นๆ เสริมด้านล่าง จะทำให้ด้านข้างของสายพานทนแรงดัดและการสึกหรอได้สูงขึ้น
- สายพานที่มีร่องฟันใต้สายพานจะเหมาะสำหรับใช้งานกับล้อสายพานขนาดเล็กสายพานลิ่มเส้นบางเปิดด้านข้างจะนิยมนำมาใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์หมุนเร็วในยานยนต์



รูปที่ 2.21 สายพานลิ่มแบบปกติ ที่มีการหุ้มด้านข้างและไม่หุ้ม [9]

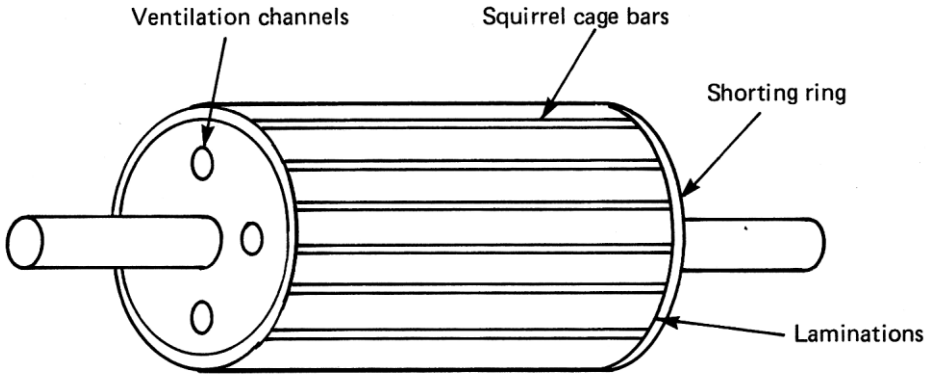
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC motor)

2.4.1 มอเตอร์กระแสสลับแบบอนุกรม (Series AC Motors)

มอเตอร์ชนิดนี้เรียกอีกอย่างว่า มอเตอร์แบบทั่วไป (Universal motor) ทำงานได้ดีทั้งรูปแบบกระแสตรงและกระแสสลับ โครงสร้างไม่แตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (DC series motor) มอเตอร์แบบนี้ คือ มอเตอร์ที่ใช้กับเครื่องมือขนาดเล็กที่เคลื่อนย้ายไปมาได้ เช่น สว่านมือ เครื่องเจียระไนมือ เครื่องทำดูดฝุ่น

2.4.2 มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (Induction AC motors)

มอเตอร์แบบ Squirrel cage มีลักษณะดังรูปที่ 2.21 เป็นมอเตอร์ที่อัดยึดโรเตอร์เข้ากับเพลาหมุน ร่องตามยาวขนานกับตัวโรเตอร์จะถูกกัดเซาะร่องออก และใส่แท่งทองแดงหรืออลูมิเนียมในร่องที่เซาะออก แท่งอลูมิเนียมหรือทองแดงจะถูกต่อเข้าด้วยกันด้วยแถบ (Band) อลูมิเนียมหรือทองแดง ขั้วของสนามแม่เหล็ก เมื่อพลังงานกระแสสลับต่อเข้ากับขดลวดสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้วสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มและลดลงตัดผ่านแท่งโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force) ในแท่งโรเตอร์ กระแสไฟฟ้าปริมาณสูงจะเกิดขึ้นในแท่งโรเตอร์หลายๆ ตัวที่ถูกต่อเข้าด้วยกัน กระแสที่เหนี่ยวนำในแท่งโรเตอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตอนเริ่มต้นระหว่างขั้วไฟฟ้า การเกิดสนามแม่เหล็กลักษณะนี้ทำให้เกิดแรงบิดทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ในมอเตอร์ มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดเริ่มการหมุนสูงและราคาถูก มีการใช้งานค่อนข้างมาก

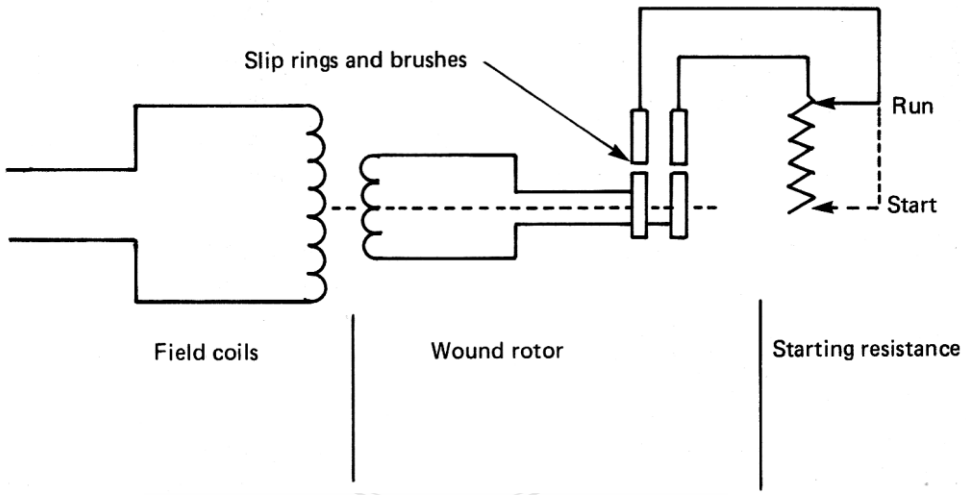


รูปที่ 2.22 แสดงโรเตอร์ของมอเตอร์แบบ Squirrel cage [12]

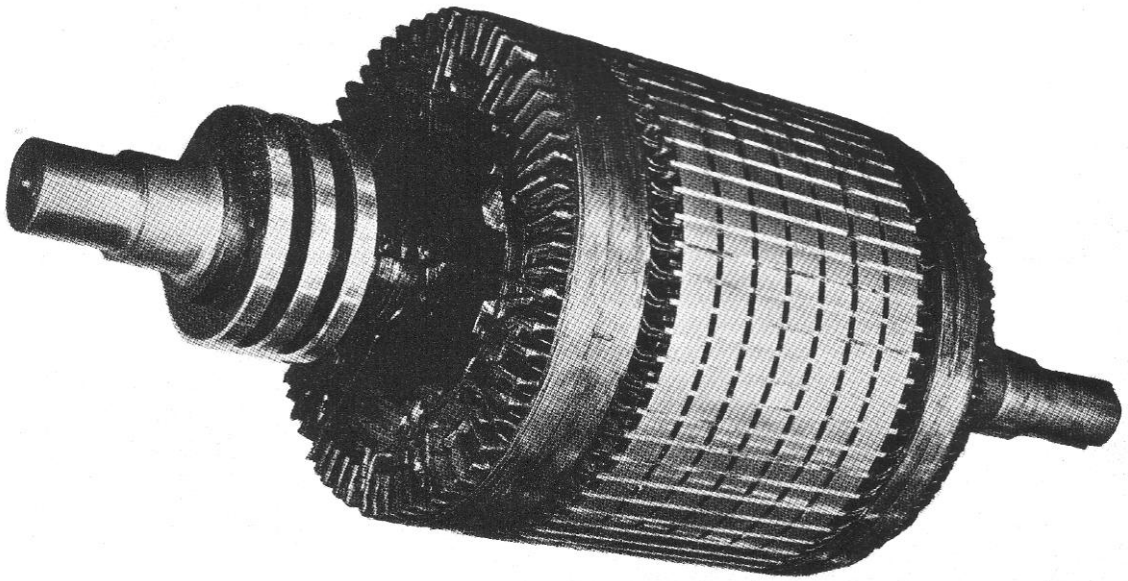
มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จำเป็นต้องเริ่มหมุนขดลวดในสนามแม่เหล็กก่อนเพื่อให้เกิดแรงบิดที่เพียงพอในการหมุนมอเตอร์ การเริ่มหมุนขดลวดของมอเตอร์จะถูกตัดออกด้วยสวิทช์แรงเหวี่ยง (Centrifugal switch) ที่ประมาณความเร็วหมุนประมาณ 65-75%

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มีแรงบิดเริ่มต้นในการหมุนขดลวดมอเตอร์ที่สูงกว่า ขดลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์สามเฟสมีค่า 120^{o} และทำการต่อเฟสที่แตกต่างเข้าด้วยกันและเป็นผลทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการหมุนทำให้โรเตอร์เกิดการหมุน

มอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์พันขดลวด (Wound rotor induction motor) มีหลักการแบบเดียวกับมอเตอร์แบบ Squirrel cage โรเตอร์ที่พันด้วยลวดจะต่อเข้ากับวงแหวนสลิบ (Slip ring) ตัวต้านทานภายนอกถูกต่อเข้าไปกับวงแหวนสลิบเพื่อควบคุมกระแสของโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 และ 2.23 การเพิ่มความต้านทานภายนอกวงจรโรเตอร์นี้ขณะการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์จะทำให้ลดกระแสการเริ่มหมุนของมอเตอร์และง่ายต่อการควบคุมแรงบิดเริ่มต้น เมื่อมอเตอร์หมุนไปจนถึงความเร็วปฏิบัติการ ตัวต้านทานหรือความต้านทานจะถูกค่อยๆ ตัดออก

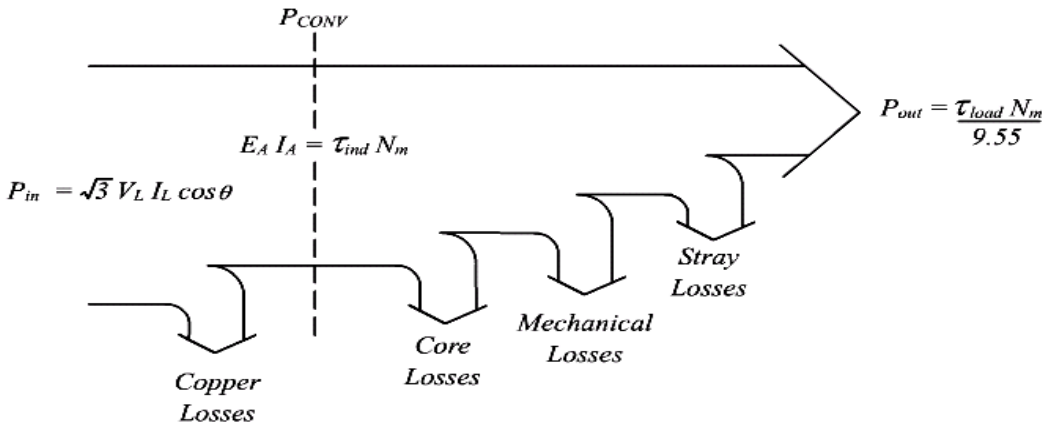


รูปที่ 2.23 แสดงแผนภูมิมอเตอร์เหนี่ยวนำโรเตอร์แบบพันขดลวด [12]



รูปที่ 2.24 แสดงโรเตอร์ของมอเตอร์วงแหวนสลิปสามเฟส [12]

ขณะที่มอเตอร์ทำงานอยู่นั้น มอเตอร์จะรับกำลังทางไฟฟ้าขาเข้า (Input Power, P_{in}) และเปลี่ยนรูปพลังงานส่งออกมาเป็นกำลังทางกลขาออก (Output Power, P_{out}) ซึ่งจะพบว่ากำลังทางกลขาออกนั้นจะมีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า สาเหตุเป็นเพราะมีการสูญเสียเกิดขึ้นในมอเตอร์ในหลายๆ ส่วนด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ตามผังการไหลของกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ค่าพลังงาน ประสิทธิภาพ และกำลังม้าของมอเตอร์ จะแปรผันโดยตรงกับความถี่ของมอเตอร์



รูปที่ 2.25 แผนผังการไหลของพลังงาน (Power Flow Diagram) ในมอเตอร์ [12]

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ ค้นคว้าข้อมูลของไม้ไผ่และชนิดของไม้ไผ่ที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ศึกษากระบวนการจักตอกด้วยมือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ชุมชนจากไม้ไผ่ และผลิตภัณฑ์ชุมชนเครื่องจักสานด้วยตอกไม้ไผ่ รวมถึงขึ้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องตลอดจนการทดสอบประสิทธิภาพการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

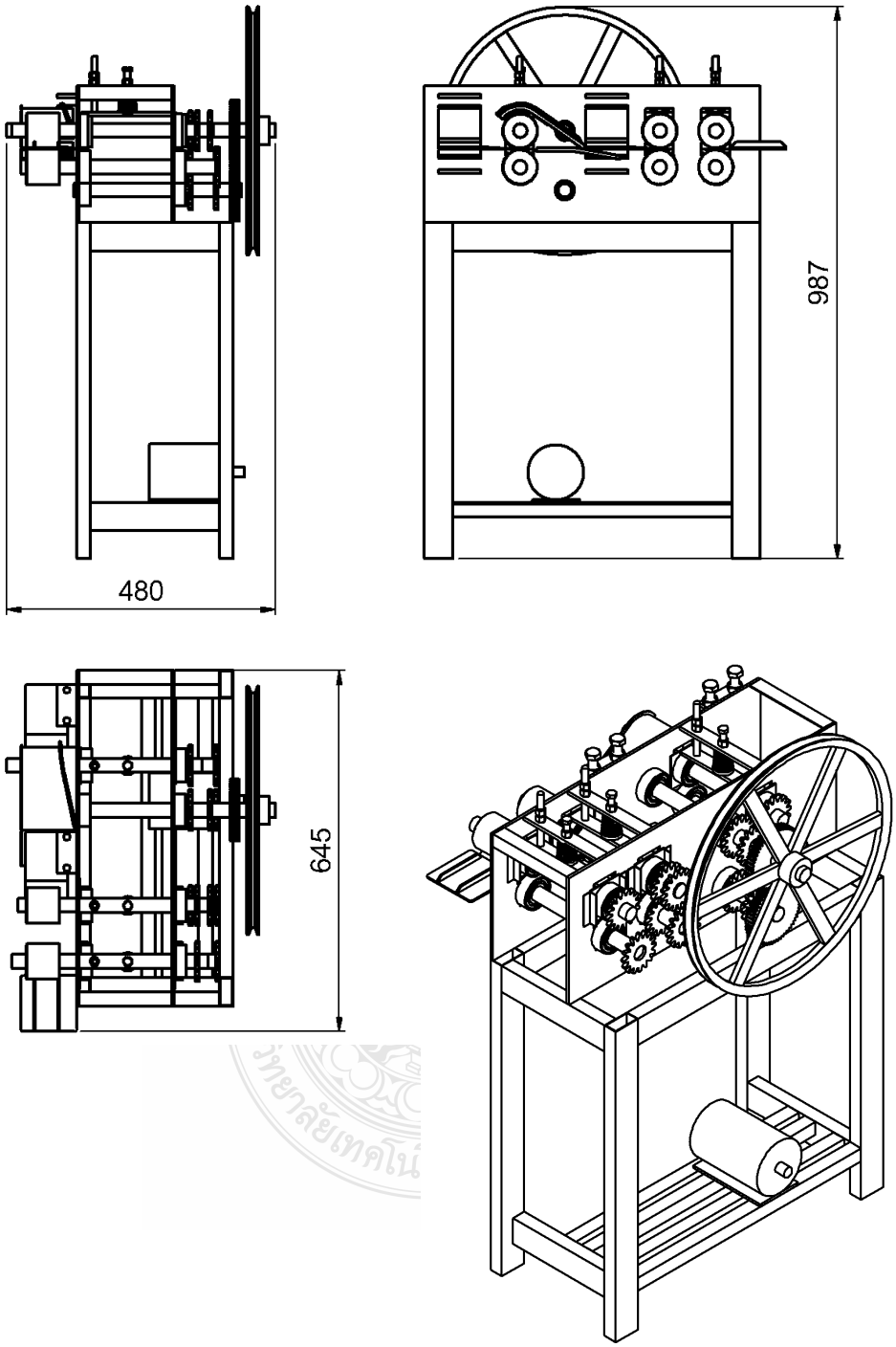
3. 1 แผนการดำเนินงาน

การออกแบบและสร้างเครื่องจักรตอกจากเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลามมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มกับเศษวัสดุเหลือใช้จากไม้ไผ่ผลิตข้าวหลามให้เกิดประโยชน์ ส่งเสริมการรักษาภูมิปัญญาชาวบ้าน ทางด้านผลิตภัณฑ์จักสานด้วยตอกจากไม้ไผ่ ลดปัญหาสภาวะแวดล้อมจากกระบวนการเผาใหม้ ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างบูรณาการให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ซึ่งจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของโครงการอย่างรอบคอบ เพื่อที่จะทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางเอาไว้เป็นอย่างดี การการออกแบบและสร้างเครื่องจักรตอกจากเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม มีการวางแผนและขั้นตอนการดำเนินการในการปฏิบัติตามระยะเวลาที่กำหนด โดยมีแผนการดำเนินโครงการดังนี้

1) ค้นคว้าข้อมูลไม้ไผ่สำหรับผลิตข้าวหลาม, ชนิดของตอกไม้ไผ่ , ประเภทของงานจักรสานที่ต้องใช้ตอกไม้ไผ่, ดำเนินการออกแบบเครื่องฯ
2) จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างเครื่อง, ดำเนินการสร้างเครื่องฯ
3) ดำเนินการสร้างเครื่องตามที่ได้ ออกแบบ
4) ทำการทดลองจักรตอก และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฯ
5) วิเคราะห์ผลการทดลอง และแก้ไขปรับปรุง
6) สรุป และจัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

3.2 การออกแบบโครงสร้างและระบบการทำงานของเครื่อง

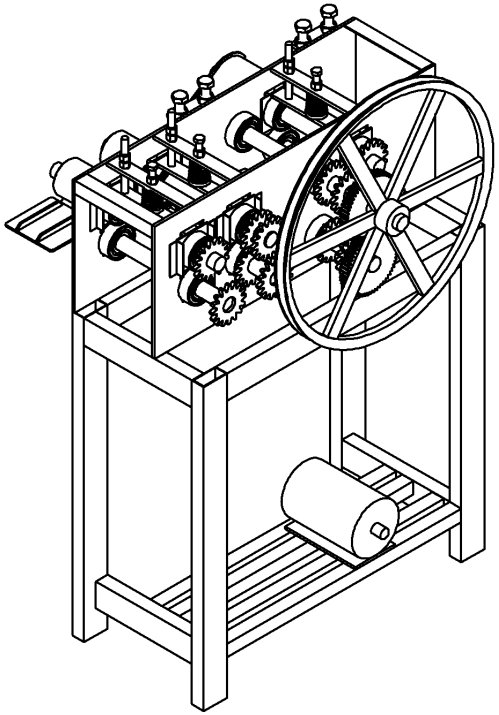
เครื่องจักตอกจากเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ถูกออกแบบให้มีขนาดโดยประมาณ 48 x 65 x 98 เซ็นติเมตร รูปที่ 3.1 แสดงขนาดโดยประมาณของเครื่อง และรูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องจักตอก รายละเอียดของแบบดูได้จากภาคผนวก ก.

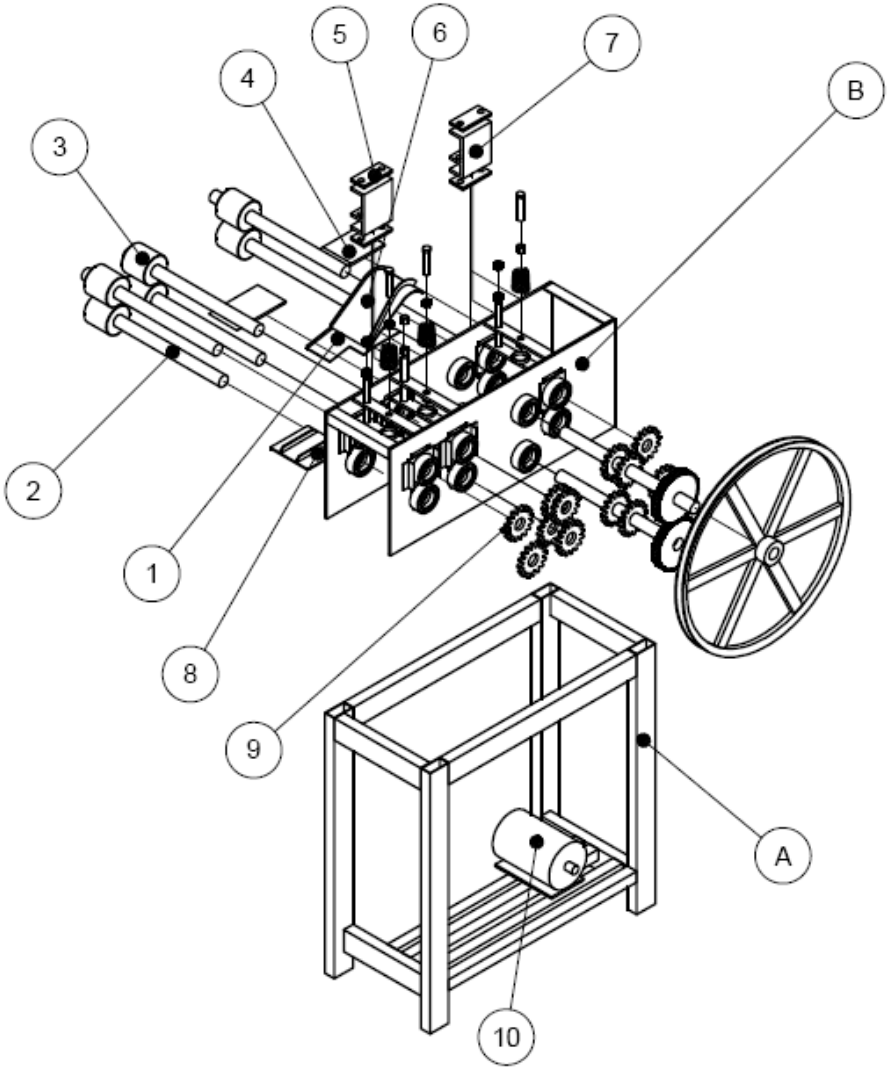


รูปที่ 3.1 แสดงขนาดโดยประมาณของเครื่องจักตอก

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง

A) โครงสร้างเครื่อง
B) ชุดกลไกเครื่องจักตอก
1) รางรองรับและเปลี่ยนระยะ
2) ลูกกลิ้งพาไม้ไผ่สำหรับจักตอก
3) เพลาสำหรับรองรับลูกกลิ้ง
4) ใบมีดจักตอก
5) แผ่นสำหรับปรับระยะใบมีด
6) รางแยกตอกที่ผ่านชุดใบมีดแรก
7) ชุดจับยึดใบมีด
8) รางจ่ายตอก
9) ชุดเฟืองโซ่
10) มอเตอร์ไฟฟ้า





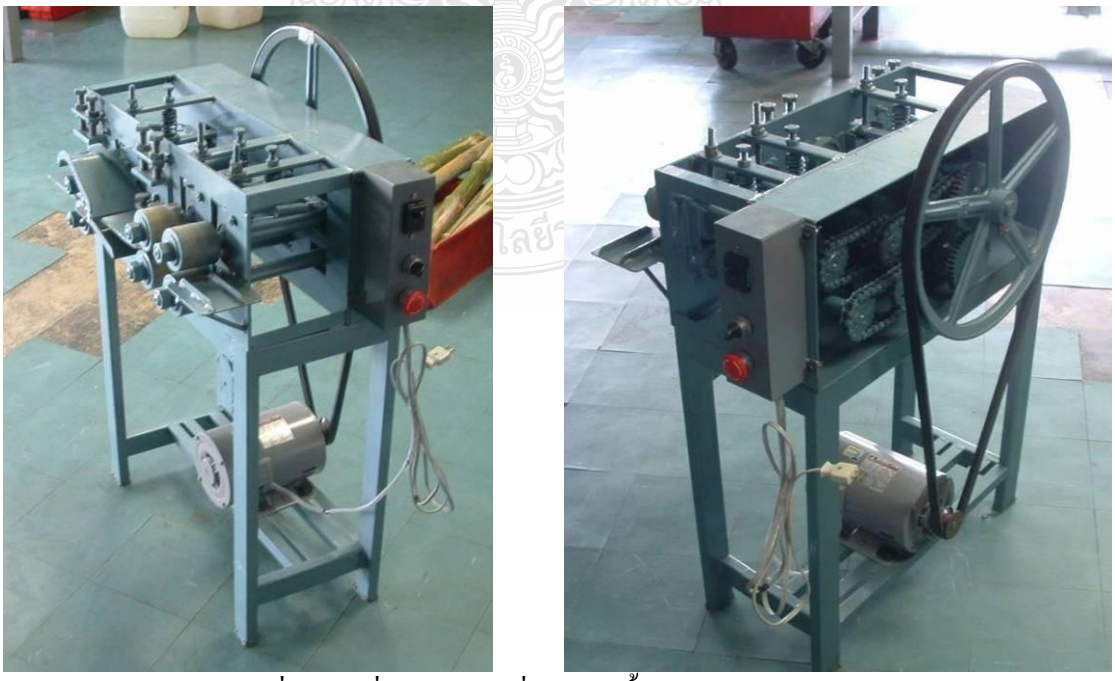
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการออกแบบเครื่องจักตอกไม้ไผ่

เครื่องที่ออกแบบจะมีหลักการทำงานดังนี้

1) เตรียมผ่าไม้ไผ่ที่จะจักตอกให้เป็นซีก
2) ปรับระยะห่าง (Gap) ของใบมีด ให้พอดีกับความหนาที่ต้องการ
3) ทำการตั้งชุดลูกกลิ้งจักให้ได้พอดีกับความหนาของซีกไม้ไผ่ที่จะทำการจักตอก
4) เปิดเบรกเกอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบชุดขับเคลื่อน แล้วจึงเปิดสวิชต์เพื่อเปิดการทำงานของเครื่อง
5) นำซีกไม้ไผ่ที่เตรียมไว้แล้ววางลงบนรางป้อนไม้ไผ่หลังจากนั้นลูกกลิ้งจักจะทำการดึงจักโดยอัตโนมัติ ทำการจักโดยตอกที่มีขนาดตามที่ตั้งระยะใบมีดจะไฟไหลออกทางด้านล่าง ส่วนซีกไม้ไผ่ที่ไหลออกด้านบนจะต้องทำมาจักตอกซ้ำใหม่อีกครั้ง ทำจนกระทั่งเหลือความบางที่ไม่สามารถจักตอกได้

3.3 เครื่องจักรตอกไม้ไผ่

การออกแบบเครื่องจักรตอกได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 3.2 และรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ ในภาคผนวก ก ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนของการดำเนินงานสร้างเครื่อง โดยจะเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงเหมาะสม ดำเนินการประกอบโครงของเครื่องและติดตั้งชิ้นส่วนเครื่องมือกลต่างๆ ตามการออกแบบ รูปที่ 3.3 แสดงรูปเครื่องจักรตอกที่ได้สร้างขึ้นตามการออกแบบ



รูปที่ 3.3 เครื่องจักรตอกที่ได้สร้างขึ้นตามการออกแบบ

การปฏิบัติงานกับเครื่องจักตอก แบ่งการปฏิบัติงานออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมไม้ไผ่ และขั้นตอนการจักตอกด้วยเครื่อง โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมไม้ไผ่

1.1) ตัดไม้ไผ่ จากลำไม้ไผ่ ที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ให้มีความยาวของไม้ไผ่ตามที่ต้องการ ในการทดลองนี้จะใช้ไม้ไผ่ แบบหนึ่งปล้อง และ 2 ปล้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

a) ไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง b) ไม้ไผ่แบบสองปล้อง

รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลามเพื่อใช้สำหรับทดลองจักตอก

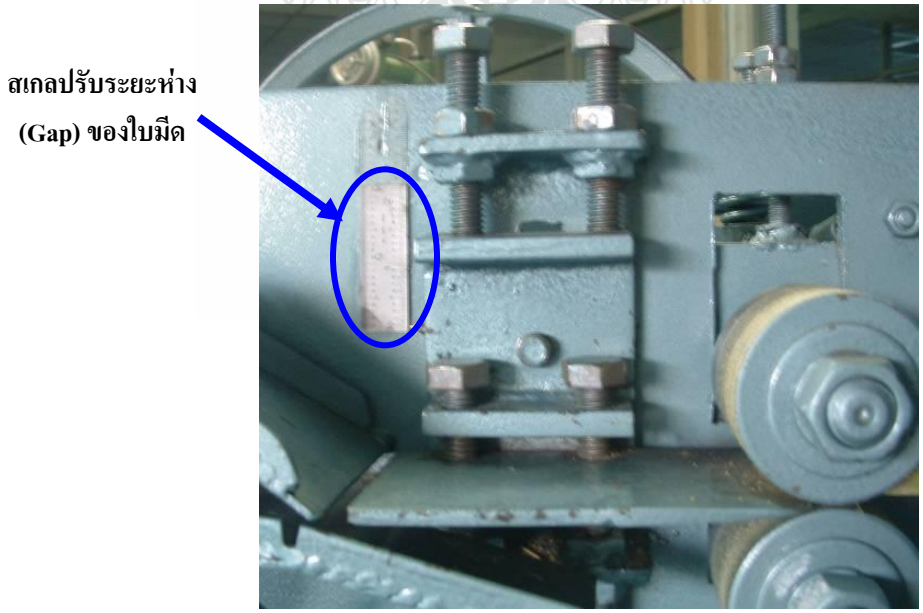
1.2) ผ่าไม้ไผ่ด้วยมีดผ่าที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5a เพื่อให้ได้ซีกของไม้ไผ่ที่มีขนาดเท่าๆ กัน อีกทั้งจะทำให้สะดวกในการปรับตั้งระยะลูกกลิ้งสำหรับขั้นตอนการจักตอกด้วย ในรูปที่ 3.6b แสดงวิธีการผ่าซีกไม้ไผ่ และรูปที่ 3.6c แสดงลักษณะของไม้ไผ่ที่ได้ผ่าเป็นซีก เตรียมพร้อมสำหรับการจักตอก

a) เครื่องมือผ่าซีกไม้ไผ่ b) การผ่าซีกไม้ไผ่ c) ซีกไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว

รูปที่ 3. 5 แสดงขั้นตอนการผ่าซีกไม้ไผ่

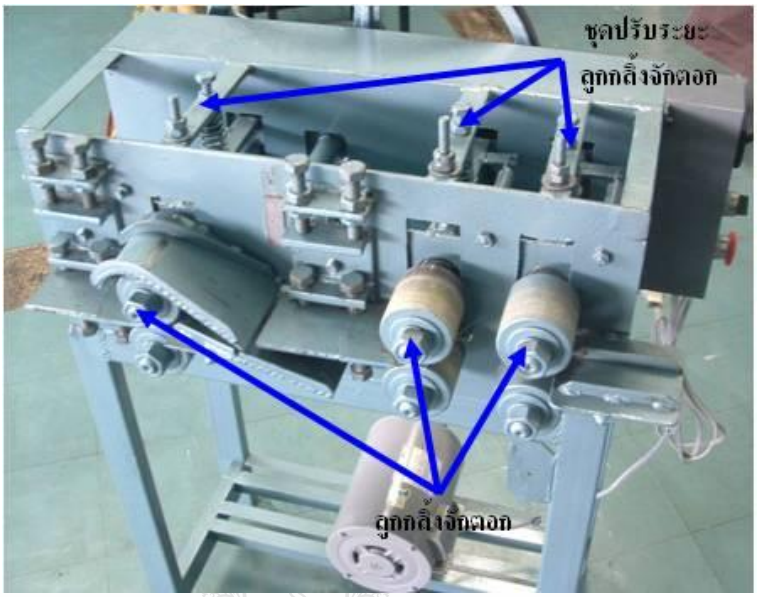
2) ขั้นตอนการจักตอกด้วยเครื่อง

2.1 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องจักตอกทำการปรับระยะห่าง (Gap) ของใบมีดโดยเน้นที่ความหนาของตอกที่ต้องการดังรูปที่ 3.6 แสดงชุดปรับระยะห่างของของใบมีดสำหรับจักตอก



รูปที่ 3.6 แสดงชุดปรับระยะห่าง (Gap) ของใบมีดจักตอก

2.2 ทำการตั้งชุดลูกกลิ้งจักตอกให้ได้ความหนาของไม้ไผ่ที่จะทำการจักโดยความหนาที่เครื่องจะสามารถจักได้อยู่ที่ 5-6 มม. ต่อการจัก 1 ครั้ง ดังแสดงตำแหน่งลูกกลิ้งและชุดปรับระยะของลูกกลิ้งในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งลูกกลิ้งและชุดปรับระยะของลูกกลิ้งในการจักตอก

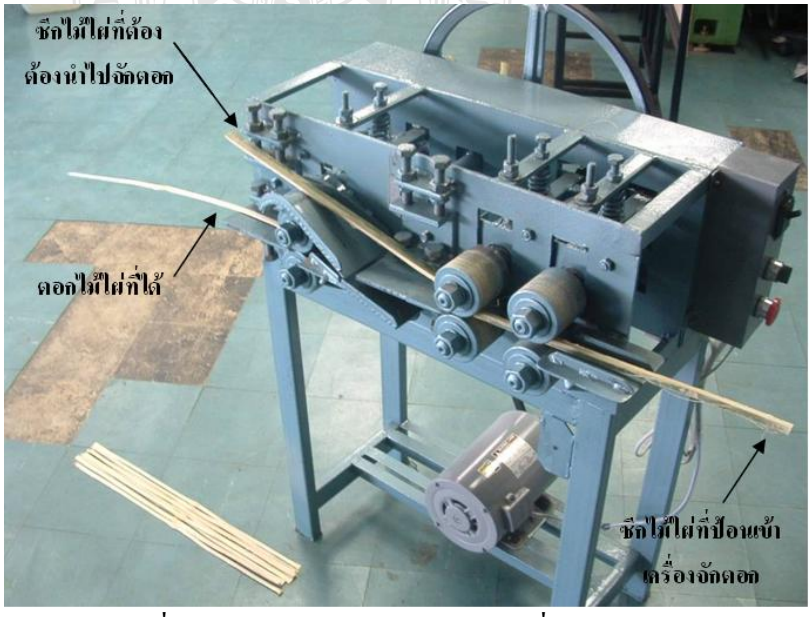
2.3 เมื่อทำการปรับตั้งเครื่องจักตอกและเตรียมไม้ไผ่ที่จะทำการจักเรียบร้อยแล้วจึงทำการเริ่มจักตอกโดยทำการเปิดสวิทซ์หลักของเครื่อง เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบชุดขับเคลื่อน แล้วจึงเปิดสวิชต์เพื่อเปิดเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แสดงสวิทซ์ควบคุมการทำงานของเครื่อง

2.4 วิธีการจักตอก เริ่มโดยการนำซีกไม้ไผ่ที่ผ่าเตรียมไว้แล้ววางลงบนรางป้อนไม้ไผ่ จากนั้นลูกกลิ้งจักจะทำการดึงซีกไม้ไผ่เข้าไปจักตอกโดยอัตโนมัติ ดังแสดงขั้นตอนในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 วิธีการใส่ไม้ไผ่เพื่อทำการจักตอกด้วยเครื่องจักตอก

2.5 ตอกไม้ไผ่เส้นที่ได้ขนาดจะไหลออกทางด้านล่าง และตอกไม้ไผ่ที่ยังมีความหนาจะไหลขึ้นไปด้านบน ซึ่งจะต้องหยิบนำมาป้อนเพื่อทำการจักตอกใหม่อีกหลายๆ รอบ โดยทำซ้ำกันจนได้ตอกไม้ไผ่จนครบความหนาของซีกไม้ไผ่ที่นำมาทำการจักตอก รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของการจักตอกไม้ไผ่ด้วยเครื่องที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการจักตอกของเครื่องจักตอก

3.4 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง

เครื่องจักตอกไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ได้ถูกสร้างขึ้นดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.3 จะถูกนำมาวัดประสิทธิภาพในการจักตอก โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือ และวิธีการทดลองดังนี้

3.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

1) ไม้ไผ่ เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ชนิดแบบมีปล้องและไม่มีปล้อง โดยตัดให้มีขนาดเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11

a) ไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง b) ไม้ไผ่แบบสองปล้องและมีข้อกลาง

รูปที่ 3.11 ลักษณะการเตรียมไม้ไผ่เพื่อใช้สำหรับการทดลอง

2) เครื่องมือผ่าซีกไม้ไผ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5a ใช้สำหรับผ่าไม้ไผ่ให้เป็นซีกที่มีขนาดเท่าๆ กัน

3) เวอร์เนียสำหรับวัดตรวจสอบความหนาของตอกไม้ไผ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

4) เครื่องมือวัดความเร็วรอบ ทำการวัดความเร็วรอบของเครื่องด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ Sinometer model DT5236B (Digital thermometer; Photo contact type) ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 เครื่อง Sino meter model DT5236B (Digital thermometer ; Photo contact type)

3.4.2 วิธีการทดลอง

1) ทดลองวัดความเร็วรอบของลูกกลิ้งพาในการจัดตอกด้วยเครื่องมือวัดความเร็วรอบ
2) นำท่อนไม้ไผ่ที่ตัดให้มีความยาวเท่ากันมาผ่าซีกโดยใช้เครื่องมือผ่า โดยแยกกลุ่มไม้ไผ่พวกที่ไม่มีข้อกลาง (หนึ่งปล้อง) และมีข้อกลาง (สองปล้อง)
3) จักตอกโดยปรับระยะห่างของใบมีดจักตอกโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มดังนี้
   - ระยะหางใบมีดจักตอก 0.50 มิลลิเมตร
   - ระยะหางใบมีดจักตอก 0.75 มิลลิเมตร
   - ระยะหางใบมีดจักตอก 1.00 มิลลิเมตร
   - ระยะหางใบมีดจักตอก 1.25 มิลลิเมตร
   - ระยะหางใบมีดจักตอก 1.50 มิลลิเมตร
4) ทำการจักตอกทั้งสองรูปแบบตามระยะห่างของใบมีดในข้อ 3
5) ในแต่ละกลุ่มการทดลองให้ทำการสุ่มตอกจำนวน 100 เส้น เพื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของดี และของเสียที่เกิดขึ้น

6) สุ่มตัวอย่างตอกไม้ไผ่ในแต่ละกลุ่ม จำนวน 20 เส้น วัดหาความหนาเฉลี่ยของตอกไม้ไผ่ โดยแต่ละเส้นตอกให้ทำการวัดความหนา 3 ตำแหน่ง ได้แก่ตำแหน่ง หัว กลาง และท้ายของเส้นตอก ดังแสดงในรูปที่ 3.14

a) วัดที่ตำแหน่งหัว b) วัดที่ตำแหน่งกลาง c) วัดที่ตำแหน่งท้าย

รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการวัดความหนาของเส้นตอกที่ได้ในแต่ละการกลุ่มการทดลอง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

หลักทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยได้กล่าวถึงในบทที่ 2 การออกแบบเครื่อง รวมถึงการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ เครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม และวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักตอกไม้ไผ่เหลือใช้จากไม้ไผ่เหลือใช้ จะดำเนินการโดยใช้เครื่องที่ได้ดำเนินการสร้างแล้ว ดังที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.2 เครื่องใช้กำลังขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า (0.4 Kw) 50 Hz 4.8A และมีความเร็วรอบ 1,440 รอบต่อนาที ส่งกำลังขับเคลื่อนผ่านชุดพูเล่และสายพานไปยังชุดกลไกของเครื่องจักตอก เมื่อใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบ Sinometer model DT5236B (Digital thermometer; Photo contact type) ทำการวัดตรวจสอบพบว่า เครื่องจักตอกมีความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 183.3 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่แท้จริงของเครื่องจักตอก และเป็นความเร็วรอบของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง

4.1 การทดสอบการจักตอกจากไม้ไผ่หนึ่งปล้อง

ไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง เป็นชนิดของไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ซึ่งได้ทำการตัดแต่ละปล้องมีขนาดเท่ากัน 38 เซ็นติเมตร ทำการผ่าให้เป็นซีกด้วยเครื่องมือผ่า ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.5 ทำการจักตอกไม้ไผ่ ดังที่ได้อธิบายวิธีการทดสอบในหัวข้อ 3.4.2 ผลการทดลองการจักตอกที่ได้จากการทดลองสำหรับไม้ไผ่หนึ่งปล้อง แสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่หนึ่งปล้อง

ลักษณะของเส้นตอกไม้ไผ่ที่ดีและเสีย แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งใช้วิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่า แยกลักษณะของเส้นตอกที่ดีและเสีย ผลการทดลองโดยละเอียดดูได้จากภาคผนวก ข

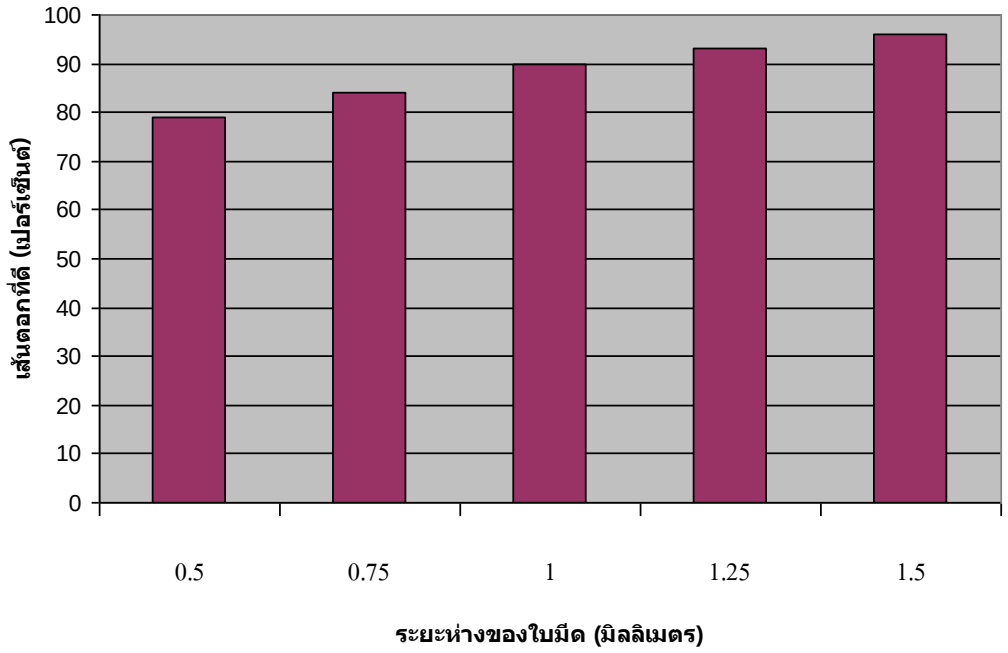
a) เส้นตอกชนิดดี b) เส้นตอกชนิดไม่ดี

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของลักษณะของตอกไม้ไผ่ที่ดี และเสียของเส้นตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนเส้นตอกที่เสียและดี จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่ที่ระยะห่างของใบมีด 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 มิลลิเมตร โดยแต่ละกลุ่มจะใช้จำนวนตัวอย่าง 100 เส้น จากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อทำการจัดตอกที่มีความบาง 0.5 มิลลิเมตร จำนวนเส้นตอกที่เสียจะมีจำนวน 21 เส้นจากตัวอย่างที่สุ่มมา 100 เส้น จากข้อมูลการทดลองในตารางจะพบว่าจำนวนเส้นตอกที่เสียมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างของใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยลักษณะทางกายภาพของไม้ไผ่จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบของลำต้นอยู่ในลักษณะเส้นในแนวนอน เมื่อได้รับแรงเฉือนจากใบมีดและด้วยลักษณะของเส้นตอกที่มีความบางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเส้นตอก ในลักษณะที่มีเนื้อไม้ไผ่หรือเส้นใยไม่เต็มตลอดความยาวเส้นตอก 38 เซ็นติเมตร ดังแสดงลักษณะของเส้นตอกที่เสียในรูปที่ 4.2 ในขณะที่ระยะห่างของใบมีดเพิ่มขึ้นจำนวนเส้นตอกที่เสียจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การจักตอกด้วยเครื่องมีความสม่ำเสมอของเนื้อเยื่อไม้ไผ่เต็มตลอดเส้นตอก ในรูปที่ 4.3 แสดงเส้นกราฟแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเส้นตอกที่ดีเมื่อระยะห่างของใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น รายละเอียดข้อมูลการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้องแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนจำนวนเส้นตอกที่เสีย และดี จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง

ระยะห่างของใบมีด (มิลลิเมตร)	ตอกไม้ไผ่จำนวน 100 เส้น	
	จำนวนเส้นตอกที่ดี (%)	จำนวนเส้นตอกที่เสีย (%)
0.50	79	21
0.75	84	16
1.00	90	10
1.25	93	7
1.50	96	4



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์เส้นตอกที่ดีจากการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง

จากการทดลองจักตอกและวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ของเส้นตอกที่คุณภาพดี ได้ทำการสุ่มตัวอย่างจากเปอร์เซ็นต์ของดีจำนวน 20 เส้น และทำการวัดค่าความหนา 3 จุด ดังที่ได้แสดงรายละเอียดการวัดค่าเฉลี่ยเส้นวัดความหนาเฉลี่ยในหัวข้อ 3.4.2 ผลของค่าความหนาโดยเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นตอกที่วัดได้อยู่ในช่วง $\pm$0.02 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาเฉลี่ยของตอกไม้ไผ่จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง

ระยะห่างของใบมีด (มิลลิเมตร)	ค่าความหนาเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ค่าแตกต่าง
0.50	0.52	0.02
0.75	0.74	0.01
1.00	1.01	0.01
1.25	1.23	0.02
1.50	1.51	0.01

4.2 ผลการทดสอบการจักตอกจากไม้ไผ่สองปล้อง (แบบมีข้อไม้ไผ่)

ไม้ไผ่แบบสองปล้อง เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม และเป็นลำปล้องไม้ไผ่ที่แตก หรือไม่สามารถนำไปผลิตข้าวหลามได้ ซึ่งได้ทำการตัดแต่งให้มีขนาดเท่ากันเท่ากับ 70 เซ็นติเมตร ทำการผ่าให้เป็นซีกด้วยเครื่องมือผ่า ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.5 ทำการจัดตอกไม้ไผ่ ดังที่ได้อธิบายวิธีการทดสอบในหัวข้อ 3.4.2 ผลการทดลองการจักตอกที่ได้จากการทดลองสำหรับไม้ไผ่หนึ่งปล้อง แสดงดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่สองปล้อง

ลักษณะของเส้นตอกไม้ไผ่ที่ดีและเสีย แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งใช้วิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่า แยกลักษณะของเส้นตอกที่ดีและเสีย ผลการทดลองโดยละเอียดดูได้จากภาคผนวก ข

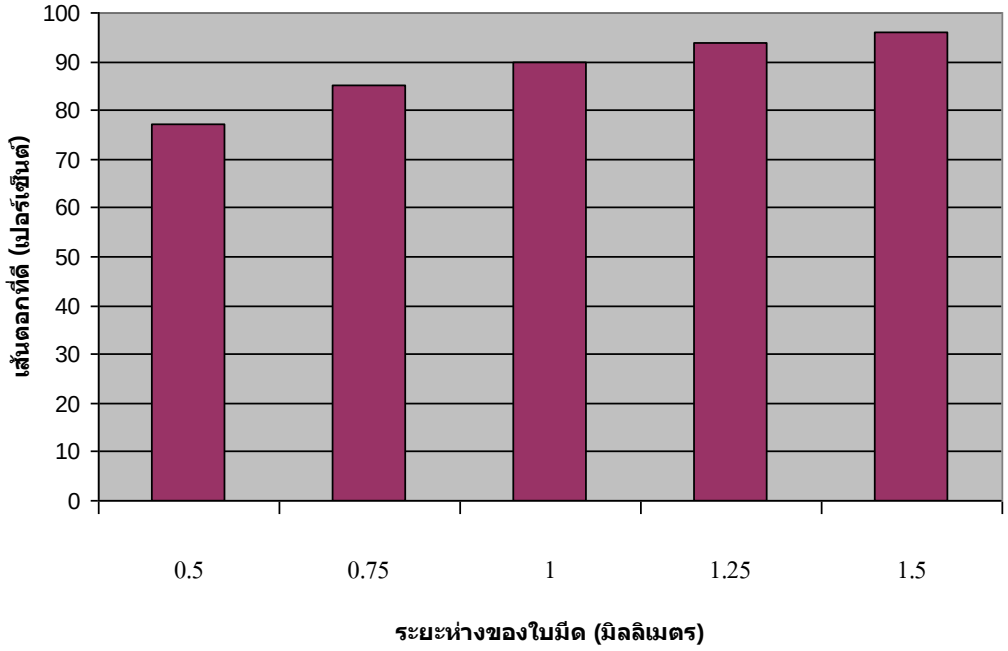
a) เส้นตอกชนิดดี b) เส้นตอกชนิดไม่ดี

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของลักษณะของตอกไม้ไผ่ที่ดี และเสียของเส้นตอกจากไม้ไผ่แบบสองปล้อง

ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนจำนวนเส้นตอกที่เสียและดี จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่ที่ระยะห่างของใบมีด 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 มิลลิเมตร โดยแต่ละกลุ่มจะใช้จำนวนตัวอย่าง 100 เส้น จากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อทำการจักตอกที่มีความบาง 0.5 มิลลิเมตร จำนวนเส้นตอกที่เสียจะมีจำนวน 23 เส้นจากตัวอย่างที่สุ่มมา 100 เส้น จากข้อมูลการทดลองในตารางจะพบว่าจำนวนเส้นตอกที่เสียมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างของใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยลักษณะทางกายภาพของไม้ไผ่จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบของลำต้นอยู่ในลักษณะเส้นในแนวนอน เมื่อได้รับแรงเฉือนจากใบมีด และด้วยลักษณะของเส้นตอกที่มีความบางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเส้นตอกในลักษณะที่มีเนื้อไม้ไผ่หรือเส้นใยไม่เต็มตลอดความยาวเส้นตอก 70 เซ็นติเมตร อีกทั้งในตำแหน่งกลางของไม้ไผ่จะมีส่วนของข้อไม้ไผ่ที่มีความแข็งแตกต่างกับส่วนของเนื้อไม้ไผ่ในตำแหน่งปล้อง ทำให้การตัดเฉือนเกิดการเปลี่ยนทิศทางไปบ้าง ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ของเสียเพิ่มขั้น ดังแสดงลักษณะของเส้นตอกที่เสียในรูปที่ 4.5 ในรูปที่ 4.6 แสดงเส้นกราฟแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเส้นตอกที่ดีเมื่อระยะห่างของใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น รายละเอียดข้อมูลการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่แบบสองปล้องแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์เส้นตอกที่เสีย และดี จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบสองปล้อง

ระยะห่างของใบมีด (มิลลิเมตร)	ตอกไม้ไผ่จำนวน 100 เส้น	
	จำนวนเส้นตอกที่ดี (%)	จำนวนเส้นตอกที่เสีย (%)
0.50	77	23
0.75	85	15
1.00	90	6
1.25	94	10
1.50	96	4



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์เส้นตอกที่ดีจากการทดลองจักตอกจากไม้ไผ่แบบสองปล้อง

จากการทดลองจักตอกและวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ของเส้นตอกที่คุณภาพดี ได้ทำการสุ่มตัวอย่างจากเปอร์เซ็นต์ของดีจำนวน 20 เส้น และทำการวัดค่าความหนา 3 จุด ดังที่ได้แสดงรายละเอียดการวัดค่าเฉลี่ยเส้นวัดความหนาเฉลี่ยในหัวข้อ 3.4.2 ผลของค่าความหนาโดยเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นตอกที่วัดได้อยู่ในช่วง $\pm$0.03 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาเฉลี่ยของตอกไม้ไผ่จากการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง

ระยะห่างของใบมีด (มิลลิเมตร)	ค่าความหนาเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ค่าแตกต่าง
0.50	0.53	0.03
0.75	0.75	0.00
1.00	1.02	0.02
1.25	1.24	0.01
1.50	1.50	0.00

4.3 การคำนวณต้นทุนในการจักตอก

จากการสำรวจข้อมูลในท้องตลาดพบว่ามีการจำหน่ายตอกไม้ไผ่ มีขนาดความหนาเฉลี่ย 0.75-1.00 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 35 เซ็นติเมตร ซึ่งเป็นการจักตอกด้วยมือ โดยจำหน่ายเป็นมัดประกอบด้วยตอกจำนวน 50 เส้น และมีราคากำละ 5 บาท ดังนั้นในการคำนวณต้นทุนการจักตอก จะทำการใช้ผลการทดลองที่ได้จากการจักตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง และมีความหนาเฉลี่ย 1.00 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ความเร็วรอบในการจักตอกด้วยเครื่องที่ประสิทธิภาพ 100% (183.3 รอบต่อนาที)

ความเร็วตัดสามารถหาได้จากค่าความเร็วรอบ จากสูตร $V = \frac{\pi.d.n}{1000}$ เมตร/นาที

โดย V = ค่าความเร็วตัด

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งจักตอก 63 มิลลิเมตร

n = ความเร็วรอบของเครื่องจักตอก 183.3 รอบต่อนาที

ดังนั้น $V = \frac{3.14x63x183.3}{1000}$ เมตร/นาที

$= 36.26$ เมตร/นาที

≈ 36 เมตร/นาที

ในการจักตอกด้วยเครื่อง ผู้ปฏิบัติงานจะต้องหยิบไม้ไผ่มาใส่ในร่องป้อนไม้ไผ่ ดังนั้นความเร็วที่คำนวณได้จะต้องลดลงไปอีก 15% ในที่นี้จะได้ความเร็วในการจักตอกโดยประมาณเท่ากับ 30.6 เมตร/นาที

เส้นตอกที่ได้จากการจักตอกจากไม้ไผ่แบบหนึ่งปล้อง และมีความหนาเฉลี่ย 0.5 มิลลิเมตร มีความยาวของเส้นตอก 38 เซ็นติเมตร

ดังนั้น 1 นาทีจักตอกได้ = 30.6/0.38 เส้น

= 80.53 เส้น; ≈ 80 เส้น

สามารถจักตอกได้ 4,800 เส้นต่อชั่วโมง

ในการจักตอกที่ความหนา 1.00 มิลลิเมตรจะมีเปอร์เซ็นต์ของเสีย 10%

ดังนั้นจำนวนเส้นตอกที่มีคุณภาพดีจะเท่ากับ 4,320 เส้น

ใน 1 วัน (ทำงาน 6 ชั่วโมง) จะสามารถจักตอกได้ 25,920 เส้น/วัน

2) ไม้ไผ่หนึ่งลำมีจำนวนปล้องโดยเฉลี่ย 12 ปล้อง (ความยาวเฉลี่ย 38 เซ็นติเมตร)

ไม้ไผ่หนึ่งปล้องสามารถผ่าได้ 8 ซีก และหนึ่งซีกมีความหนาเฉลี่ย 8 มิลเมตร

หนึ่งซีกจักตอกได้เฉลี่ย 14 เส้น

หนึ่งปล้อง จักตอกได้ 112 เส้น (เปอร์เซ็นต์ของเสีย 10%)

ดังนั้นไม้ไผ่หนึ่งปล้องจะได้เส้นตอกคุณภาพดีโดยเฉลี่ย 100 เส้นต่อปล้อง

หนึ่งลำไม้ไผ่ จักตอกได้ 1,200 เส้น

ดังนั้นในหนึ่งวันต้องใช้ไม้ไผ่ = 25,920/1200 ปล้อง

= 21.6 ลำ; ≈ 22 ลำ

ราคาจำหน่ายไม้ไผ่ 1 ลำ = 20 บาท

ค่าวัตถุดิบไม้ไผ่ 1 วัน = 22 x 20 บาท; = 440 บาท

3) มอเตอร์ 0.4 kW

อัตราค่าใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ (หน่วย) 5 บาท

ค่าใช้ไฟฟ้า 2 บาทต่อชั่วโมง หรือ 12 บาทต่อวัน

4) ค่าแรงงาน 1 วัน = 210 บาท

5) ต้นทุนค่าใช้จ่ายการจักตอกหนึ่งวัน (25,920 เส้น/วัน)

ต้นทุนรวมทั้งหมด = 440 + 12 + 210 บาท

= 662 บาท

ต้นทุนเฉลี่ยต่อการจักตอก 50 เส้น = (662 x 50) / 25,920 บาท

= 1.27 บาท

ในขณะที่ราคาจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ที่ กำละ 5 บาท จะเห็นได้ว่า เครื่องจักตอกสามารถสร้างกำไรให้เกิดขึ้นจากการผลิตตอกเพื่อจำหน่ายได้ แต่เมื่อตอกได้รับการเพิ่มมูลค่า ด้วยการสรรสร้างเป็นงานหัตถกรรมจะเพิ่มมูลค่าให้กับตอกไม้ไผ่ได้อีกหลายเท่า

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างเครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม ได้ดำเนินการมาจนบรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยเครื่องที่สร้างขึ้นสามารถปฏิบัติงานได้ และสามารถจักตอกได้ทั้งชนิดของไม้ไผ่ที่มีรูปแบบปล้องเดี่ยวและแบบสองปล้อง หรือชนิดที่มีข้อไม้ไผ่ประกอบด้วย การทดลองและวิเคราะห์ได้ผลสรุป และข้อเสนอแนะดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) เครื่องจักตอกเศษไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลามที่ออกแบบและสร้างขึ้น มีขนาด 48 x 65 x 98 เซ็นติเมตร ใช้กำลังขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า (0.4 Kw) เครื่องจักตอกมีความสามารถในการจักตอกโดยเฉลี่ย 36 เมตร/นาที โดยมีความเร็วสูงสุดในการจักตอกให้ได้เส้นตอกที่มีคุณภาพดีจะเท่ากับ 4,320 เส้น

2) ผลการทดลองจักตอกด้วยไม้ไผ่แบบปล้องเดียวที่ความหนา 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 มิลลิเมตร ยาว 38 เซ็นติเมตร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของเส้นตอกที่คุณภาพดี อยู่ในช่วง 79-69 เปอร์เซ็นต์ และความคลาดเคลื่อนของความหนาอยู่ในช่วง $\pm$0.02 มิลลิเมตร

3) ผลการทดลองจักตอกด้วยไม้ไผ่แบบสองปล้องเดียวหรือแบบไม้ข้อไม้ไผ่ที่ความหนา 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 มิลลิเมตร ยาว 70 เซ็นติเมตร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของเส้นตอกที่คุณภาพดี อยู่ในช่วง 77-69 เปอร์เซ็นต์ และความคลาดเคลื่อนของความหนาอยู่ในช่วง $\pm$0.03 มิลลิเมตร

4) จำนวนเส้นตอกที่เป็นของเสียมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างของใบมีดมีค่าเพิ่มขึ้น หรือความหนาของเส้นตอกเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยลักษณะทางกายภาพของไม้ไผ่จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบของลำต้นอยู่ในลักษณะเส้นในแนวนอน เมื่อได้รับแรงเฉือนจากใบมีด และด้วยลักษณะของเส้นตอกที่มีความบางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเส้นตอก ในลักษณะที่มีเนื้อไม้ไผ่ไม่เต็มตลอดความยาวของเส้น

5) การจักตอกด้วยเครื่องที่ออกแบบและสร้างขึ้น มีต้นทุนเฉลี่ย 1.27 บาท ต่อการจักตอก 50 เส้น ในขณะที่ราคาจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ที่ กำละ 5 บาท เครื่องจักตอกสามารถสร้างกำไรให้เกิดขึ้นจากการผลิตตอกเพื่อจำหน่ายได้ และเมื่อตอกได้รับการเพิ่มมูลค่าด้วยการใช้ภูมิปัญญาพื้นบ้านสร้างเป็นงานหัตถกรรมจักสานเน้นการออกแบบร่วมสมัย หรือผลิตเป็นเครื่องจักสานที่ใช้สอบในชีวิตประจำวัน สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับตอกไม้ไผ่ได้อีกหลายเท่า รวมทั้งลดปัญหาการเผาไม้ไผ่ที่เหลือใช้ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกช่องทางหนึ่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ไม้ไผ่ที่นำมาจักตอกด้วยเครื่องจะต้องเป็นไม้ไผ่แก่ ถ้าใช้ไม้ไผ่หนุ่มจะทำให้เกิดการลื่น และสไลด์ตัว เนื่องจากมีน้ำเกิดขึ้นจากการกดอัดของลูกกลิ้งในการพาซีกไม้ไผ่เข้าสู่ใบมีดเพื่อทำการจักตอก

2) ไม้ไผ่แห้ง ไม่สามารถนำมาจักตอกด้วยเครื่องได้

3) การปรับตั้งชุดลูกกลิ้งในการพาซีกไม้ไผ่เข้าสู่ใบมีดเพื่อทำการจักตอก จะต้องมีระยะที่สัมพันธ์กัน ถ้าปรับตั้งไม่สัมพันธ์กันจะทำให้เกิดของเสียขึ้นเป็นจำนวนมากในการจักตอก

4) การจักตอกด้วยไม้ไผ่แบบสองปล้อง เมื่อทำการผ่าให้เป็นซีกแล้วจะต้องทำการเลาะตาไม้ไผ่ออกก่อนที่จะทำการจักตอกด้วยเครื่อง

5) หมั่นคอยตรวจสอบชุดส่งกำลังของเครื่อง หยอดน้ำมันหล่อลื่นตามช่วงเวลาของการบำรุงรักษา

6) เมื่อไม่ใช้งาน ให้ปิดสวิทซ์หลักของเครื่อง และเมื่อหยุดการทำงานของเครื่องเป็นระยะเวลานาน ควรปลดสายพานส่งกำลัง ออกจากชุดพลูเล่ห์

บรรณานุกรม

[1] เต็ม สมิตินันทน์,ชุมศรี ชัยอนันท์. 2525.การจำแนกพันธุ์พืชของไม้ไผ่ในประเทศไทย

[2] กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2540 อุตสาหกรรมไม้ไผ่และผลิตภัณฑ์. เอกสารทางวิชาการชุดการค้าอุตสาหกรรมไม้ไผ่และผลิตภัณฑ์,กรุงเทพฯ

[3] อนันต์ อนันตโชติ. 2539. ความหลาหลายทางชีวภาพของไม้ไผ่ในประเทศไทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

[4] เข่งปลาทู, ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก ttp://www.openbase.in.th/taxonomy/term/5490

[5] สิ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก. http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps184_46.pdf

[6] ผลิตภัณฑ์จักสานไม้ไผ่, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก. http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps40_46.pdf

[7] R.L. Timings, 1989, Engineering Materials Volume 1, Longman Scienific&Technical, Malaysia, pp.84-101

[8] M.P. Groover, 2002, Fundamentals of Modern Materials, Processes, and Systems Manufacturing, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1008p

[9] สมยศ จันเกษม และ คิโยคัตสึ ซึงะ, 2527, **การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล**, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัทสำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด, กรุงเทพฯ.

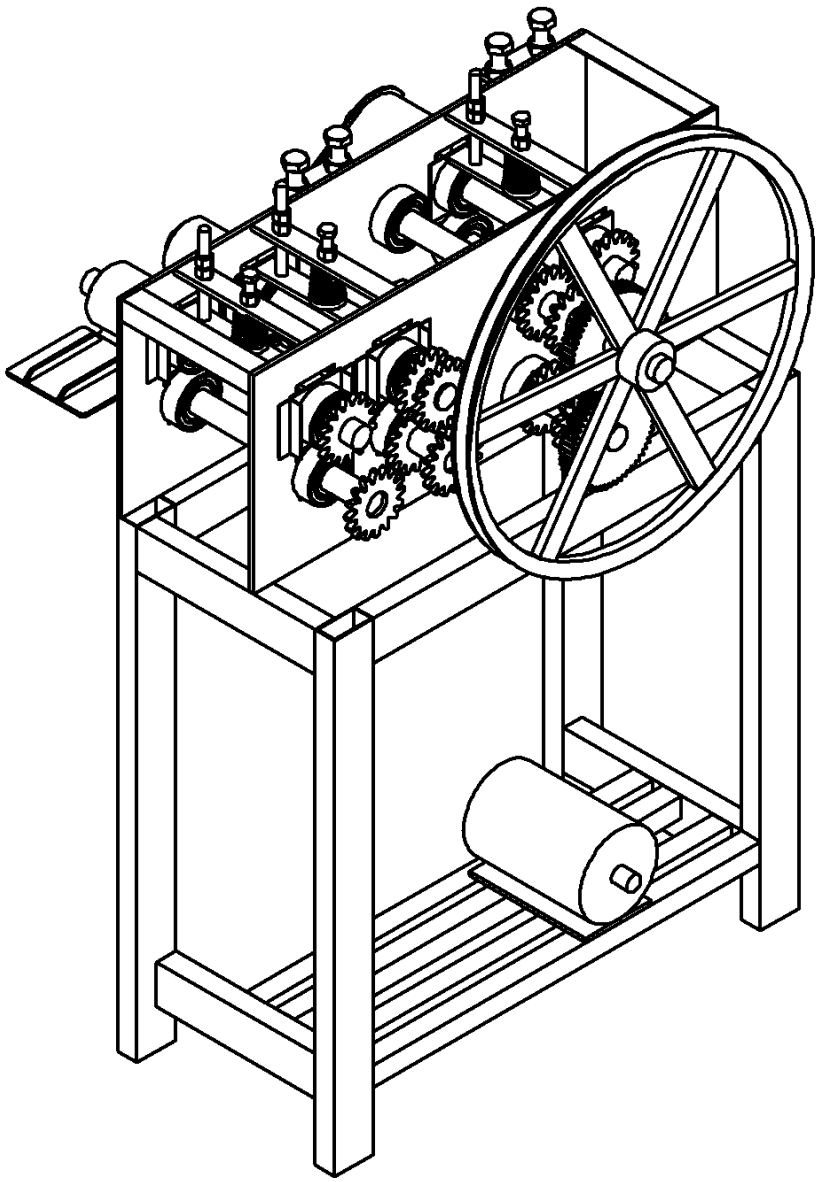
[10] ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต, **การออกแบบเครื่องจักรกล 2 ระบบ SI**, บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ.

[11] จำรูญ ตันติพิศาลกุล,2542, **การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล 2**, บริษัท ว. เพ็ชรสกุล จำกัด, กรุงเทพฯ

[12] Power Engineering Department, 1997, Electrical Machines, Alberta, Southern Alberta Institute of Technology, 38p.

ภาคผนวก

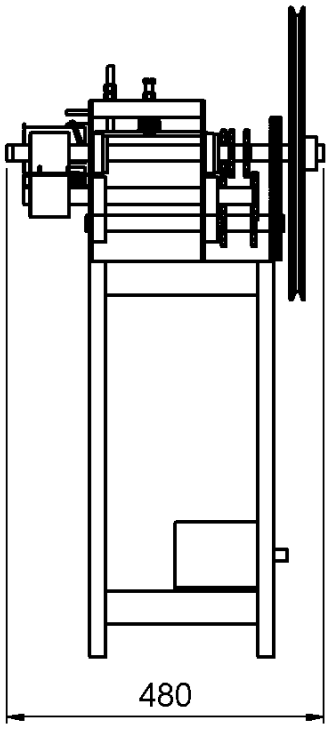
ภาคผนวก ก
แบบเครื่องเครื่องจักตอกไม้ไผ่เหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม

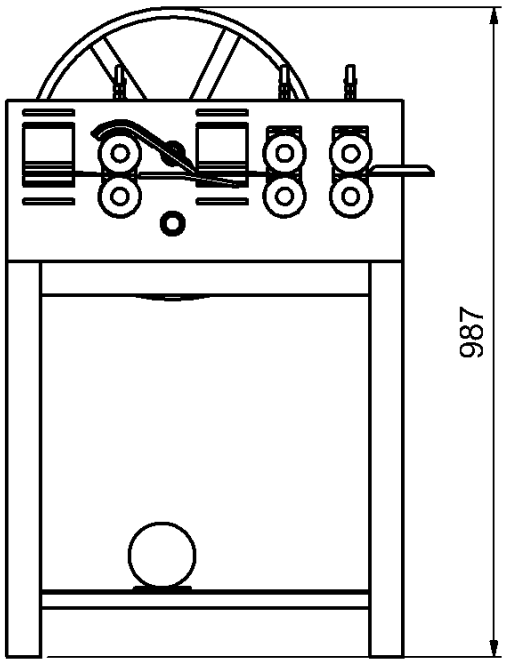


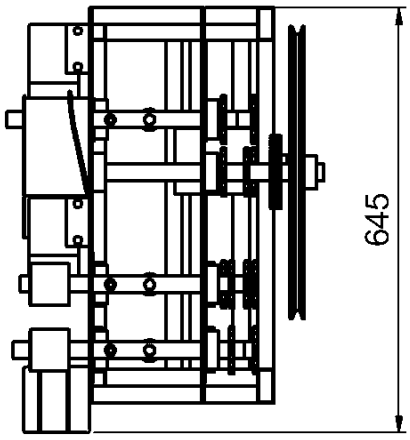
-	เครื่องจักตอก	-	-	-	-
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		

มาตราส่วน 1:6	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-00	

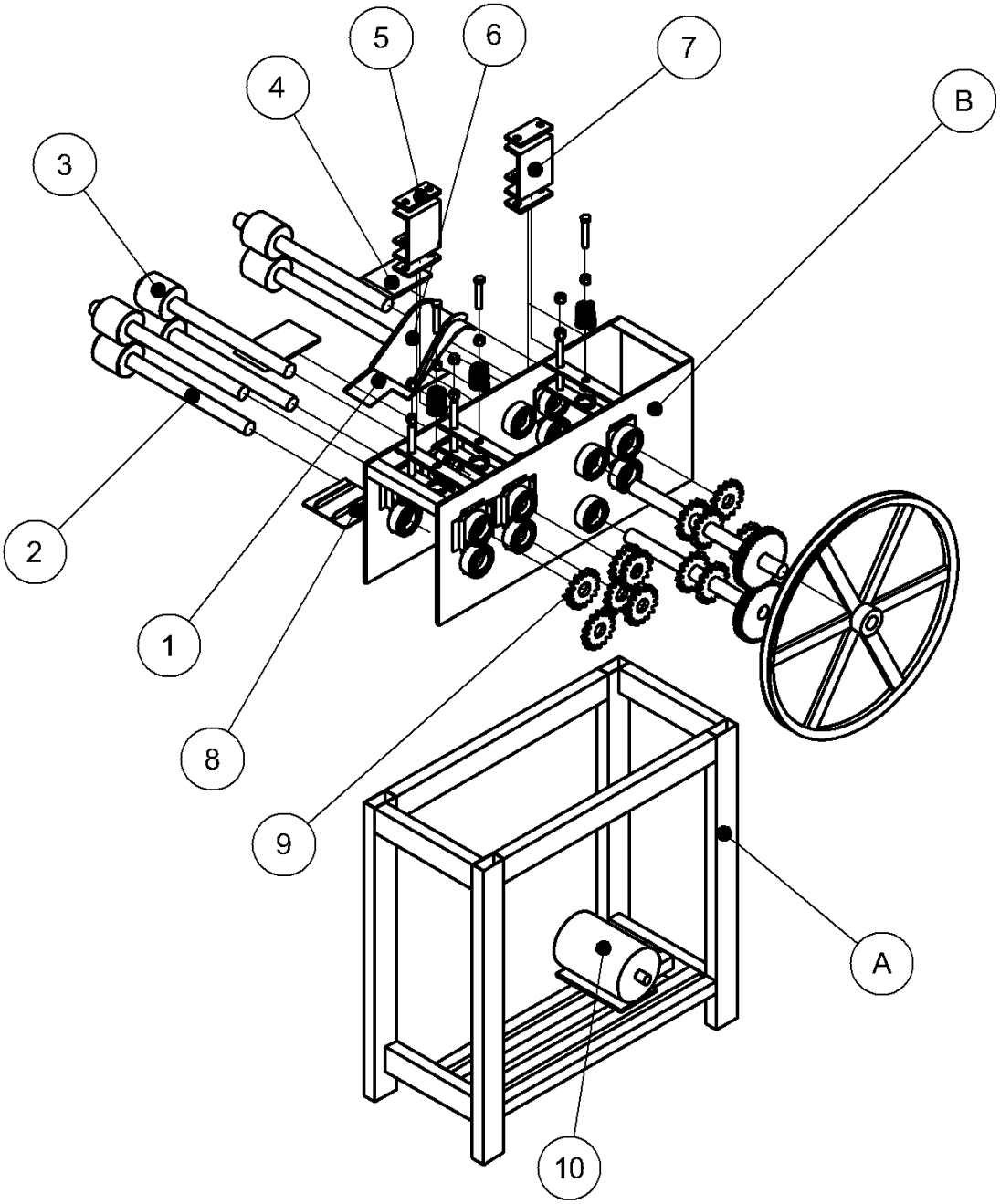






-	ภาพฉายเครื่องจักตอก	486x645x987	DIN 1013-1	-	-
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:10	ชื่อชิ้นงาน: เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-00

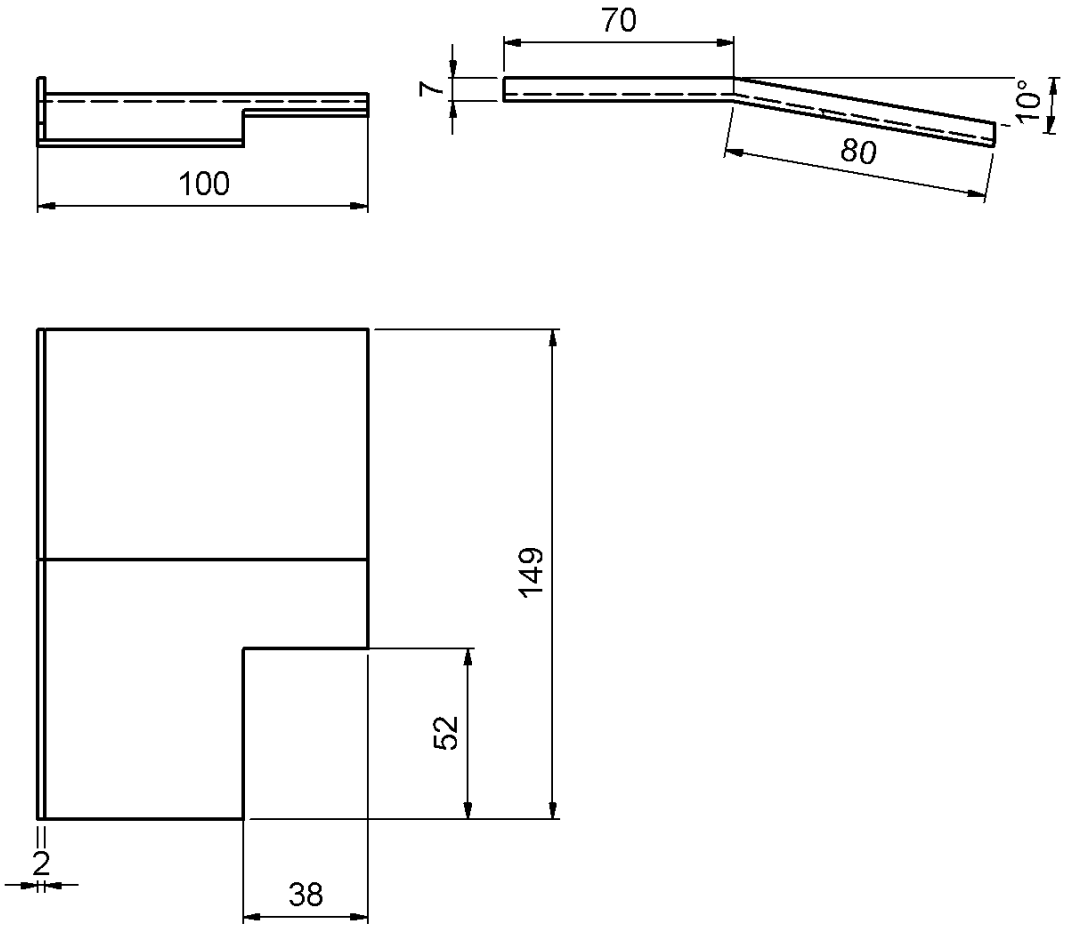


	ภาพระเบิดเครื่องจักตอก				
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมน์ต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:10	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-00

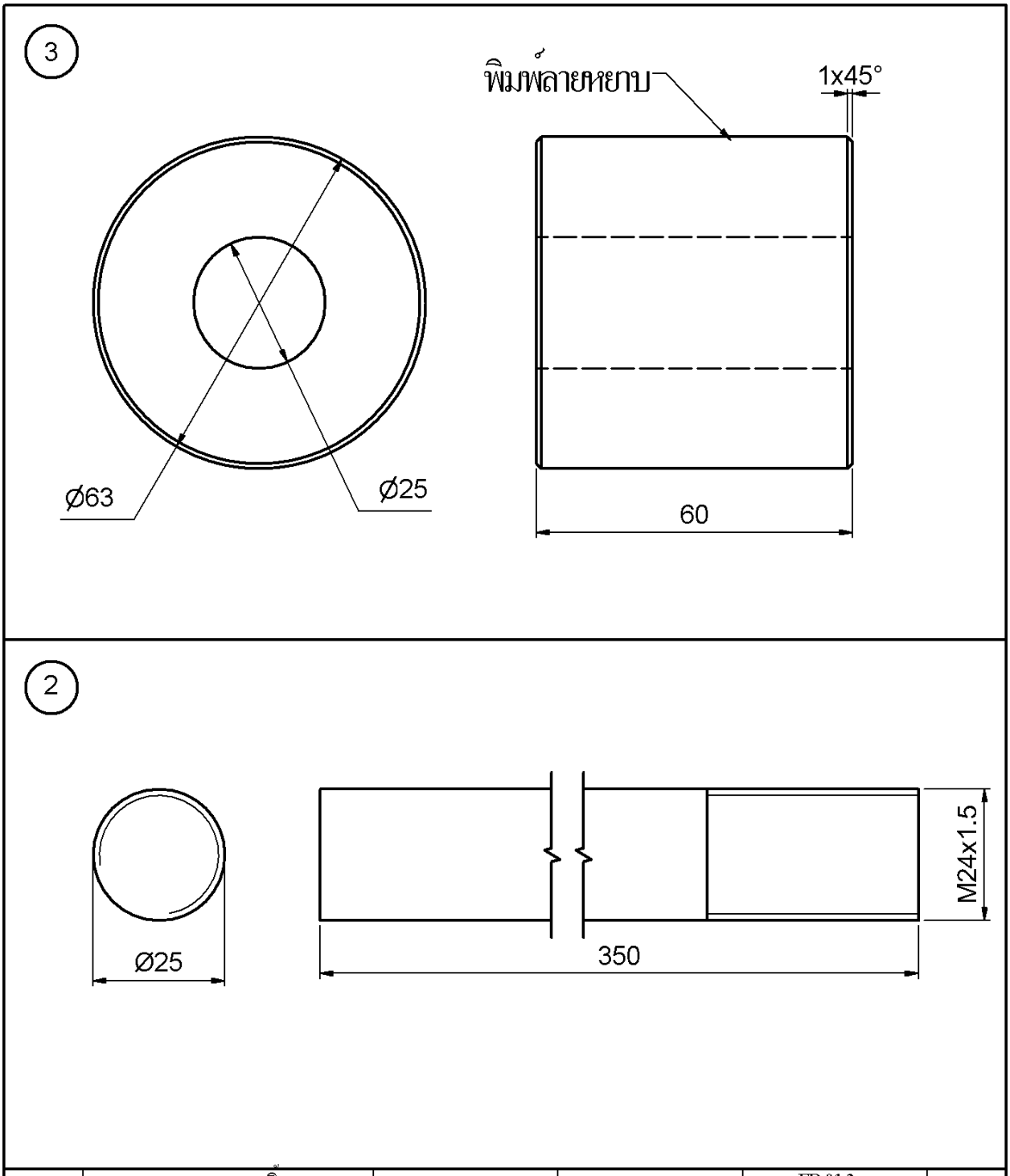
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
10	AC-Motor	Ac-0.5HP	Standard		1
9	Ster	16T	Standard		12
8	รางจ่ายตอก	100x100x13	DIN 1013-1	ED-01-8	1
7	Clampจับใบมีด	95x75x35	DIN 1013-1	ED-01-7	2
6	รางวิ่งตอก	163x100x2	DIN 1013-1	ED-01-6	1
5	Plate กดใบมีด	35x75x6	DIN 1013-1	ED-01-5	4
4	ใบมีดจักตอก	75x130x5	DIN 1013-1	ED-01-4	2
3	เพลาแกนลูกกลิ้ง	Ø25x350	DIN 1013-1	ED-01-3	8
2	ลูกกลิ้ง	Ø63x60	DIN 1013-1	ED-01-2	6
1	รางรองรับตอก	7x100x149	DIN 1013-1	ED-01-1	1
B	ชุดกลไกลเครื่องจักตอก			ED-01-B	1
A	โครงเครื่องจักตอก			ED-01-A	1

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ



1	รางรองรับตอก	7x100x149	DIN 1013-1	ED-01-1	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

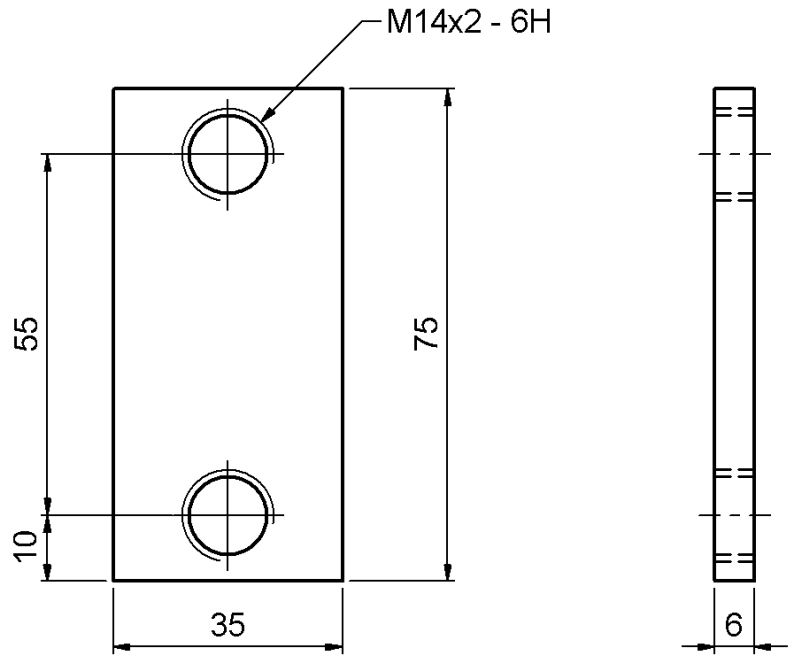
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01



ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
3	เพลาแกนลูกกลิ้ง	Ø25x350	DIN 1013-1	ED-01-3	8
2	ลูกกลิ้ง	Ø63x60	DIN 1013-1	ED-01-2	6

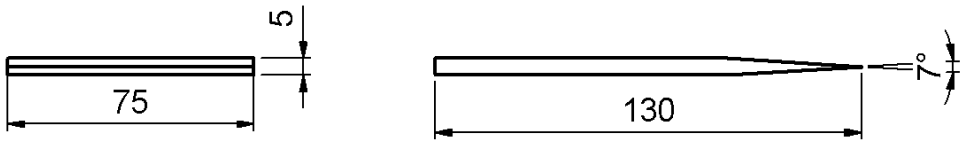
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ วีมินต์		
ผู้ตรวจมอ.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01

5



มาตราส่วน 1:1

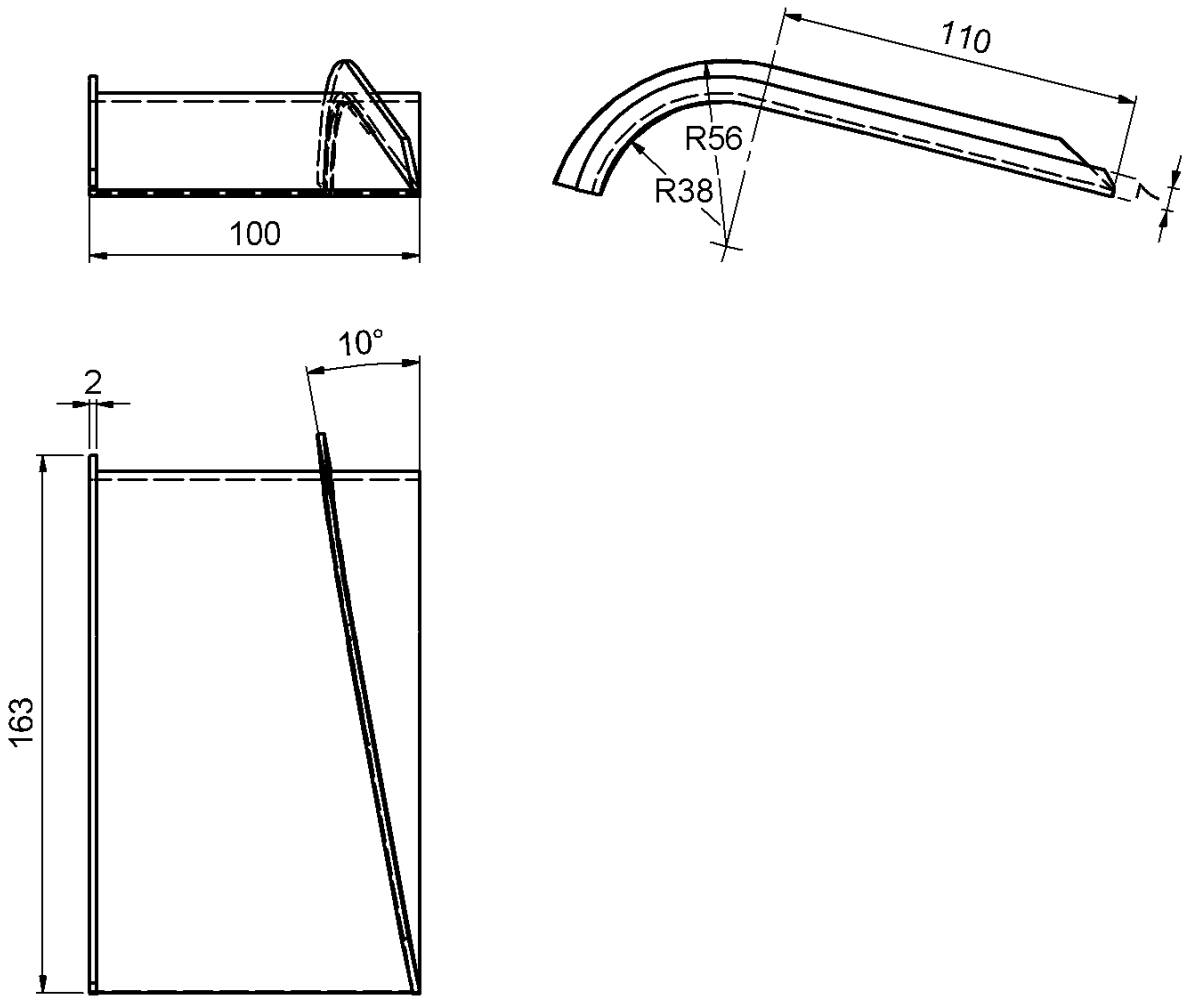
4



มาตราส่วน 1:2

ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
5	Plate กดใบมีด	35x75x6	DIN 1013-1	ED-01-5	4
4	ใบมีดจักตอก	75x130x5	DIN 1013-1	ED-01-4	2

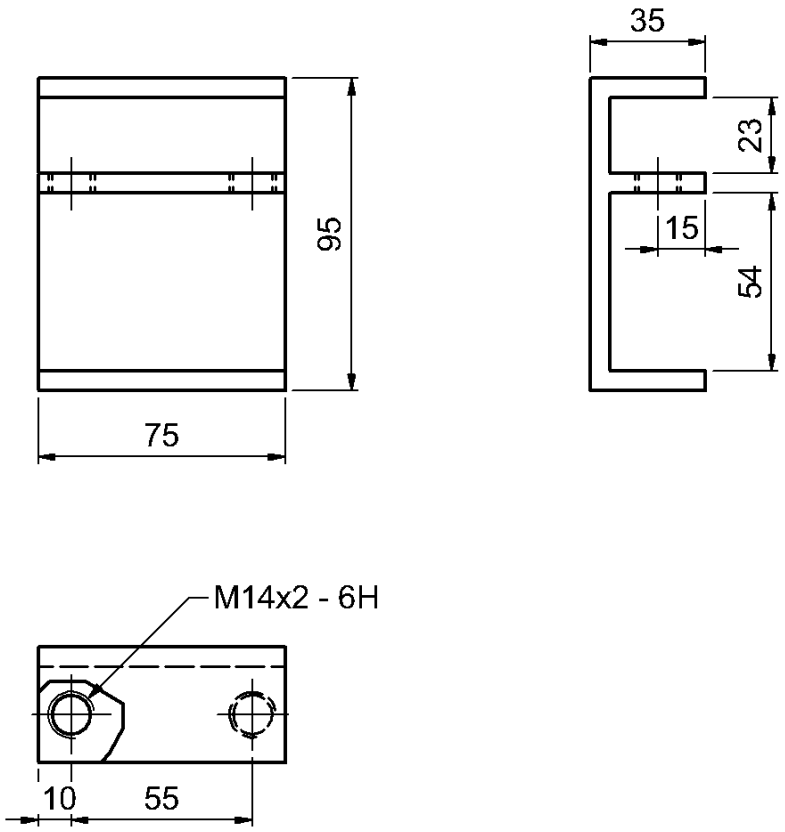
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์			
ผู้ตรวจม.ช.				
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01	



6	รางวิ่งตอก	163x100x2	DIN 1013-1	ED-01-6	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

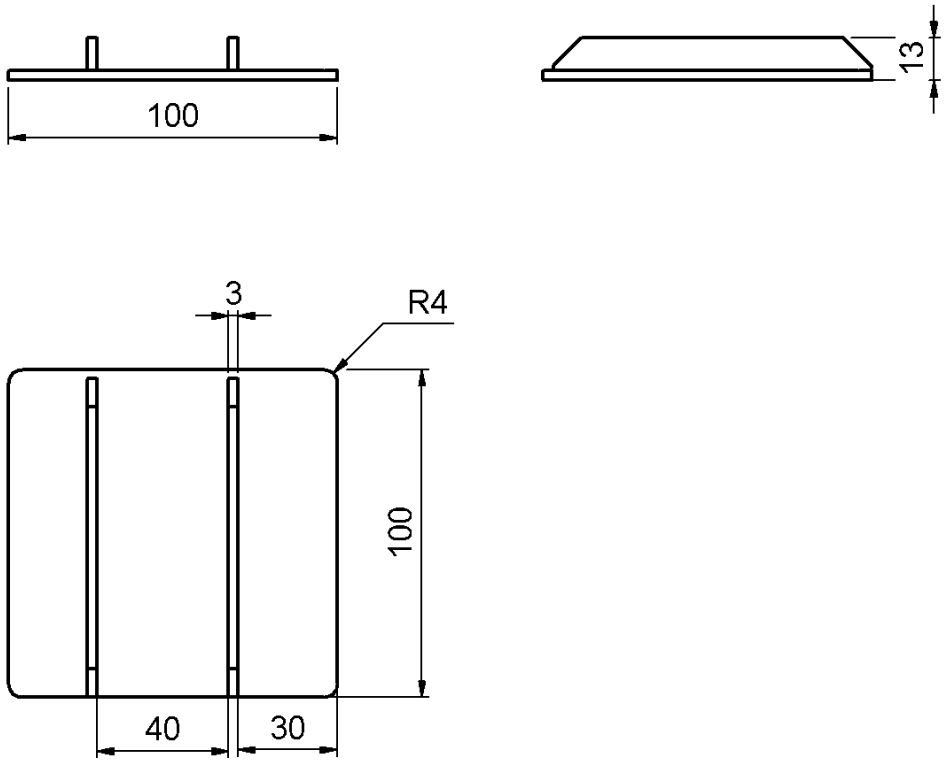
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		

มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01	



7	Clampจับใบมีด	95x75x35	DIN 1013-1	ED-01-7	2
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

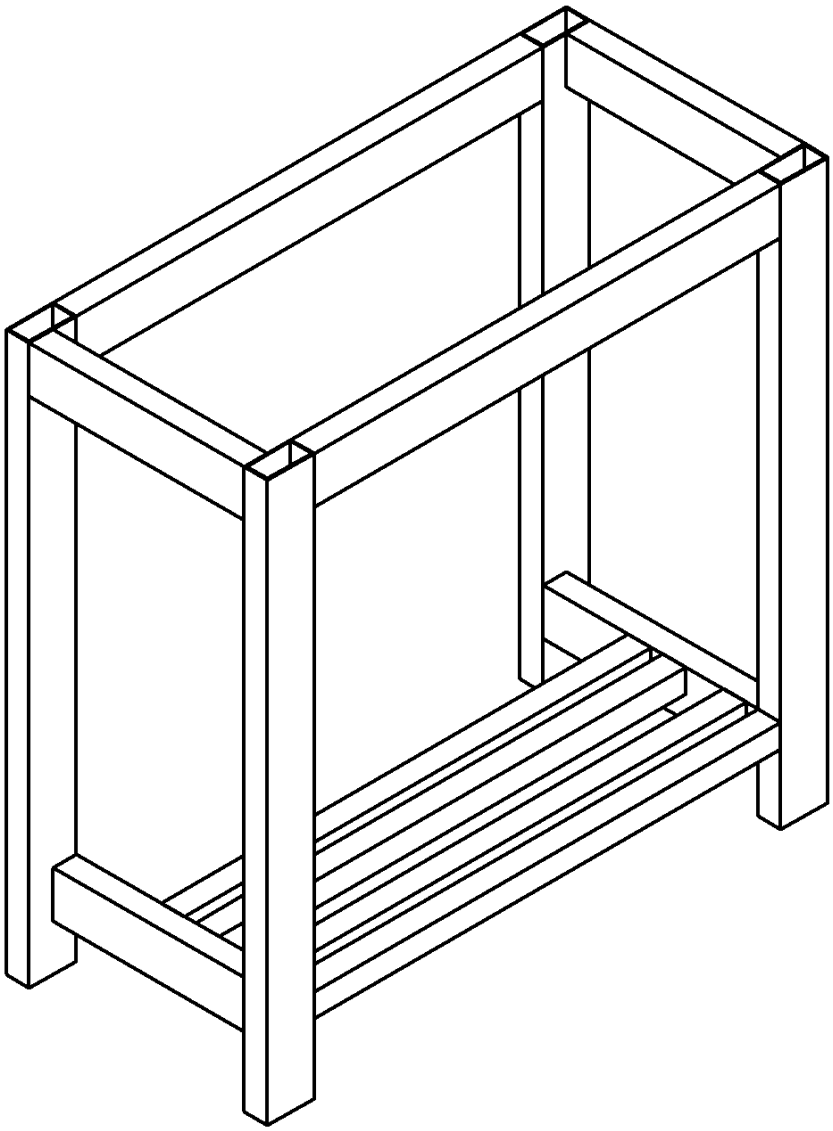
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมบท์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01



8	รางจ่ายตอก	100x100x13	DIN 1013-1	ED-01-8	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ วีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		

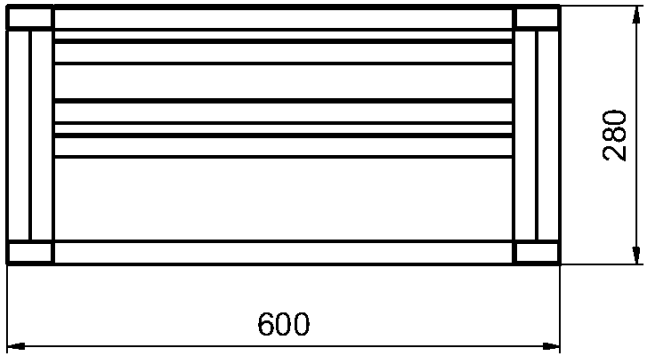
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01	

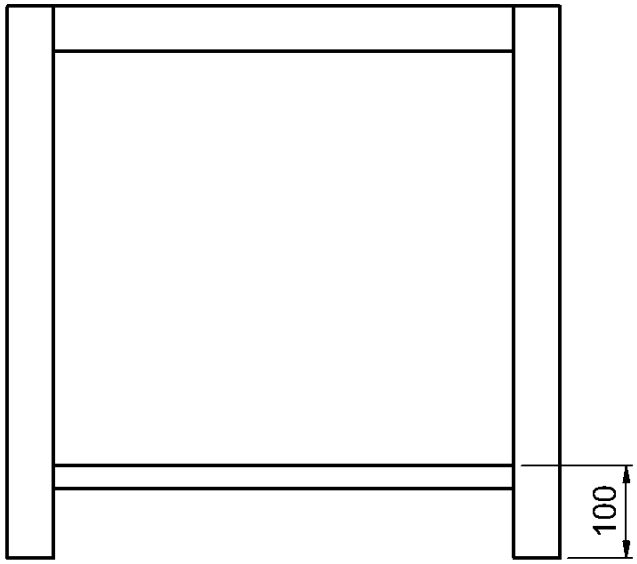


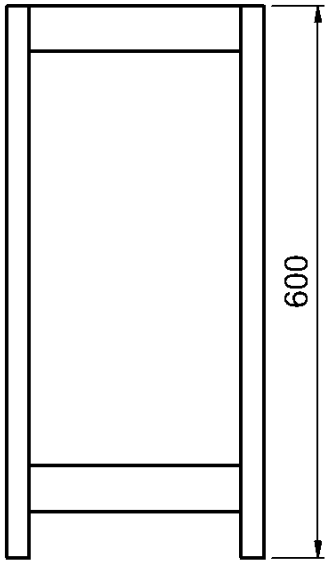
A	โครงเครื่องจักตอก				
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		

มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01	

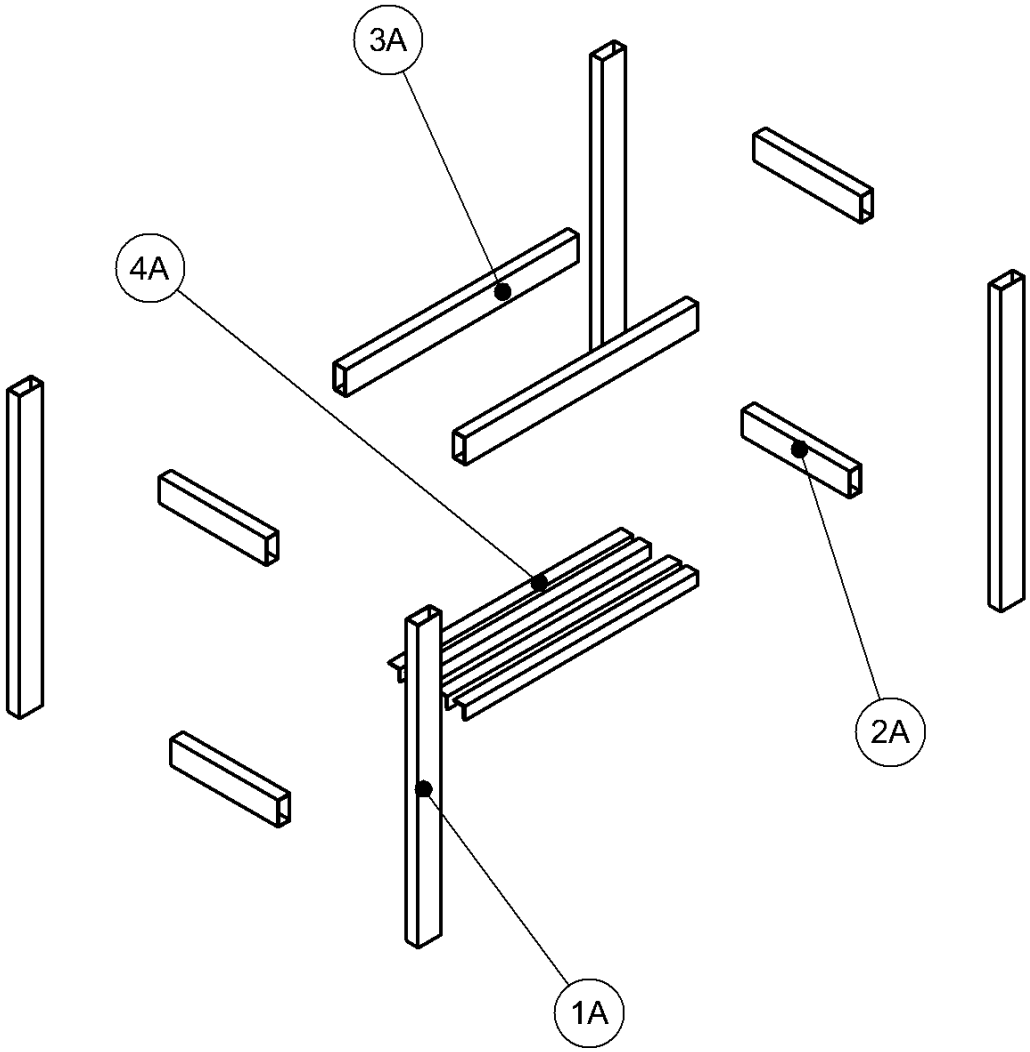






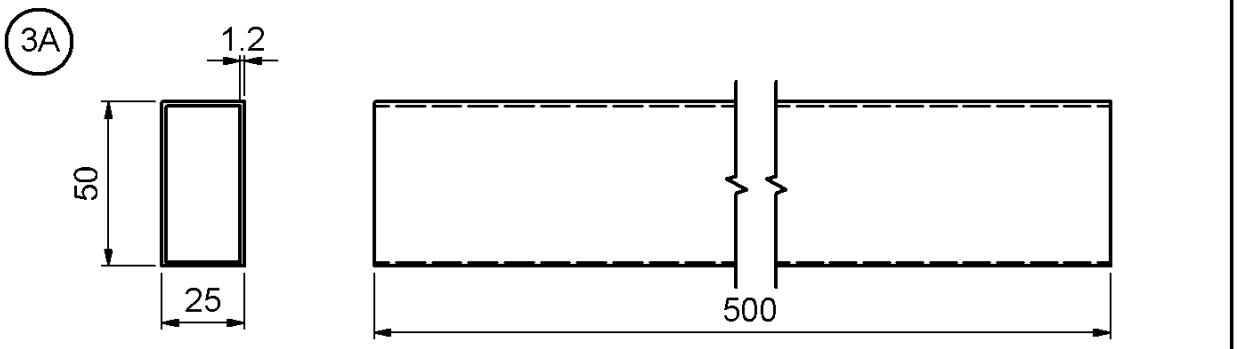
AA	ภาพฉายเครื่องจักตอก	600x280x600		ED-01-AA	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

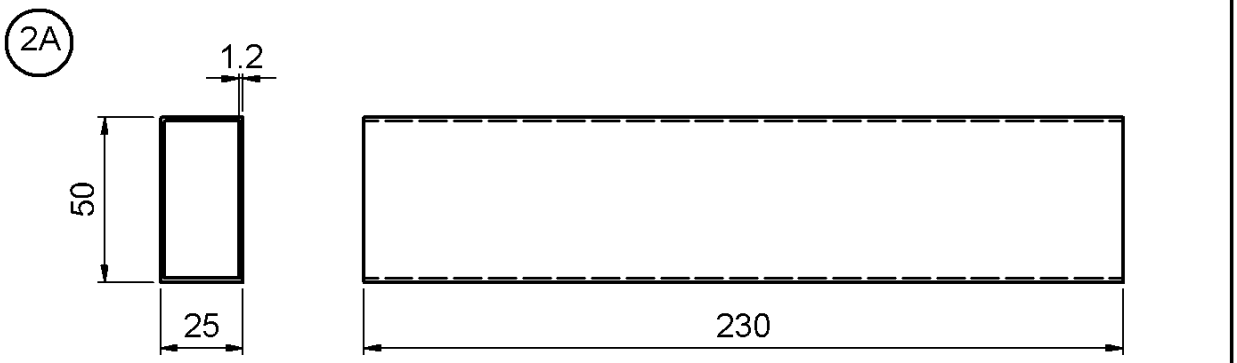
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	**คณะวิศวกรรมศาสตร์**
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:10	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01

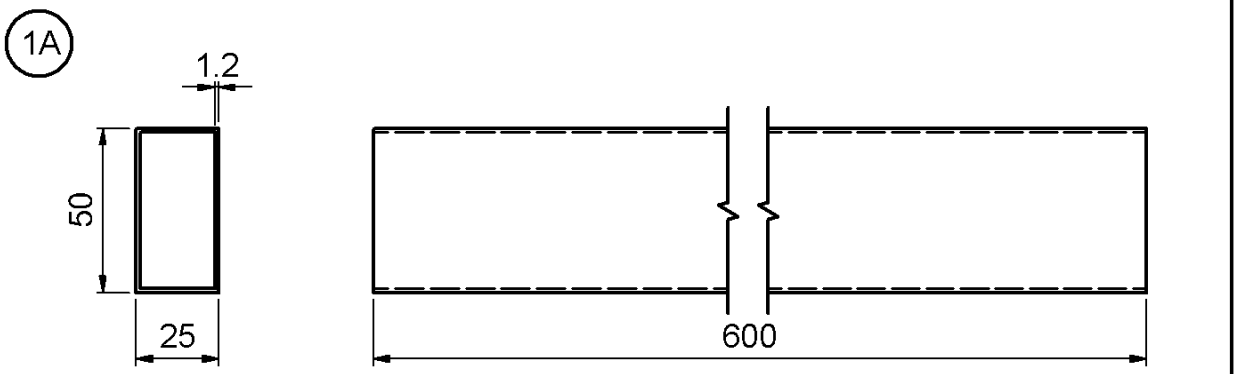


4A	โครงเครื่องจักตอก	25x25x500	DIN 1013-1	ED-01-A4	3
3A	โครงเครื่องจักตอก	25x50x500	DIN 1013-1	ED-01-A3	2
2A	โครงเครื่องจักตอก	25x50x230	DIN 1013-1	ED-01-A2	4
1A	โครงเครื่องจักตอก	25x50x600	DIN 1013-1	ED-01-A1	4
AAA	ภาพระเบิดโครงเครื่องจักตอก		DIN 1013-1	ED-01-AAA	1
AA	ภาพฉายเครื่องจักตอก	600x280x600		ED-01-AA	
A	โครงเครื่องจักตอก	600x280x600		ED-01-A	
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	**คณะวิศวกรรมศาสตร์**
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:10	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01

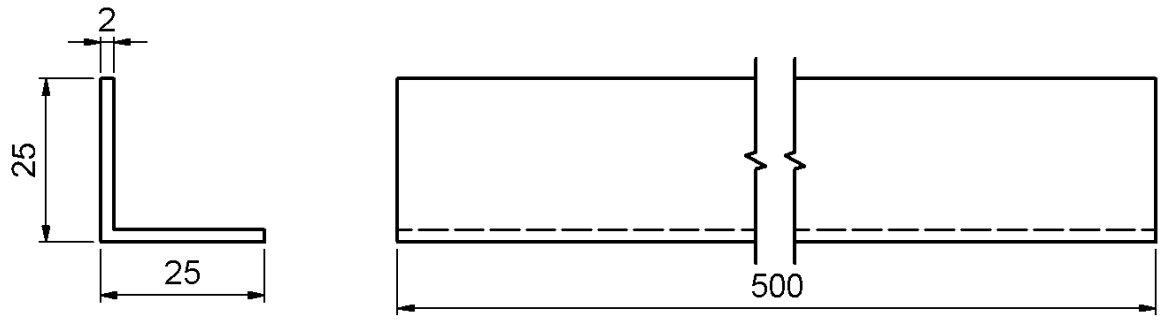






ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
3A	โครงเครื่องจักตอก	25x50x500	DIN 1013-1	ED-01-A3	2
2A	โครงเครื่องจักตอก	25x50x230	DIN 1013-1	ED-01-A2	4
1A	โครงเครื่องจักตอก	25x50x600	DIN 1013-1	ED-01-A1	4

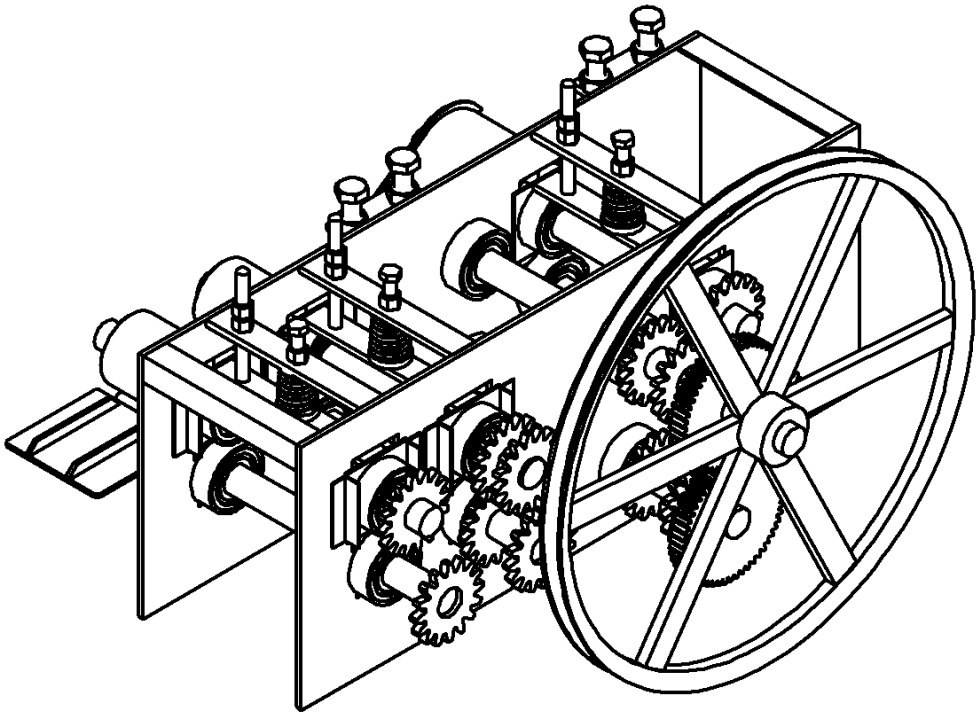
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01-A



4A	โครงเครื่องจักตอก	25x25x500	DIN 1013-1	ED-01-A4	3
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		

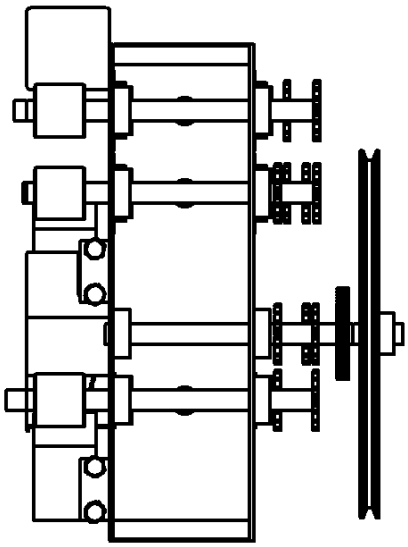
มาตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01-A	

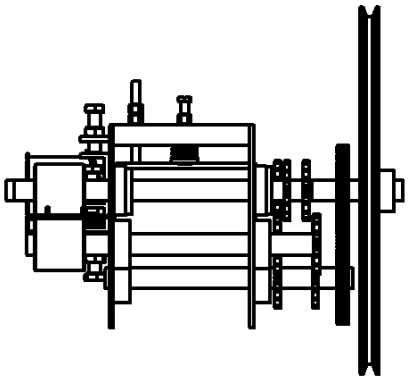


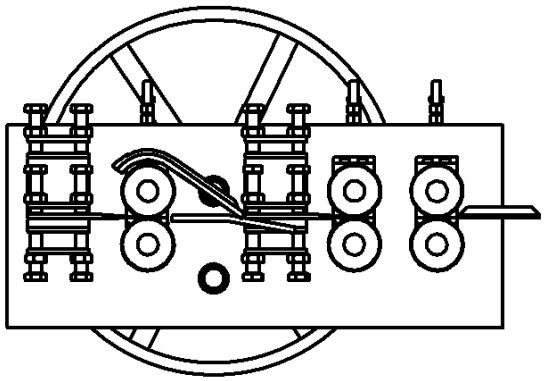
B	ชุดกลไกลเครื่องจักตอก			ED-01-B	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	**คณะวิศวกรรมศาสตร์** **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		

มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01	





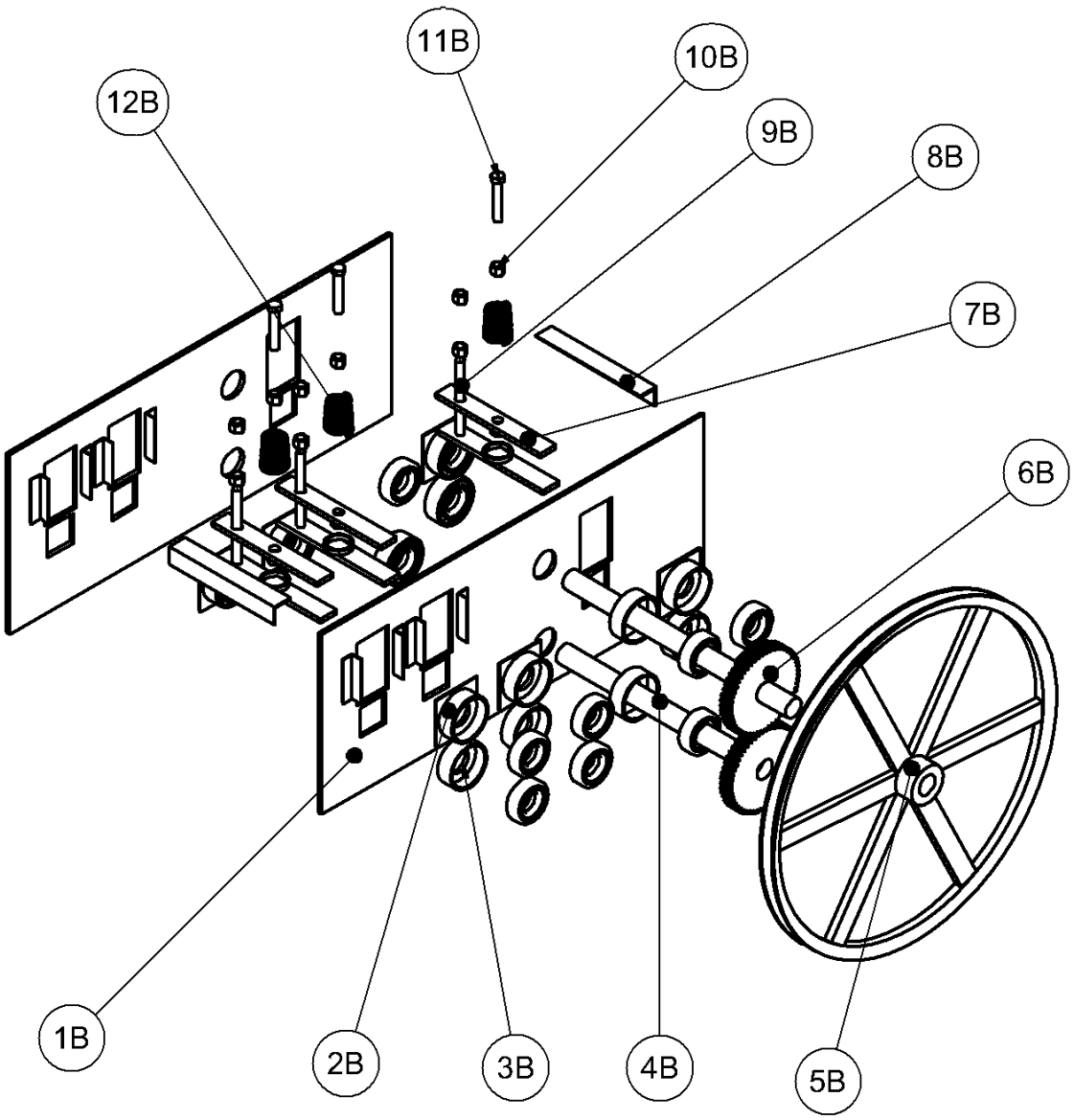


BB	ภาพฉายชุดกลไกล			ED-01-BB	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54
ผู้ตรวจ	อ.อนิน์ท์ มีมนต์	
ผู้ตรวจม.ช.		
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม	

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มาตราส่วน 1:8	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01

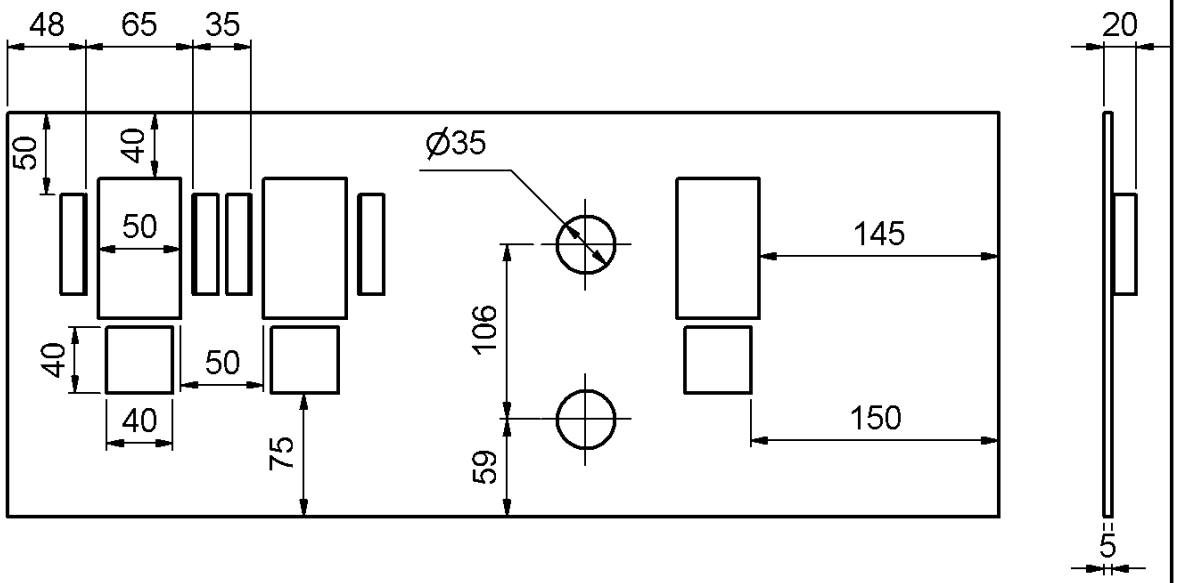


B	ชุดกลไกลเครื่องจักตอก			ED-01-B	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมน์ต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01-B

ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
12B	Spring	Ø28	Standard		3
11B	Nut M10x1.25	Standard	Standard		3
10B	Bolt M10x1.25	Standard	Standard		12
9B	คานปรับระยะลูกกลิ้ง	168x106x6	DIN 1013-1	ED-01-7B	2
8B	คานฝาด้านข้าง	25x25x165	DIN 1013-1	ED-01-6B	2
7B	Plate ปรับระยะลูกกลิ้ง	25x165x6	DIN 1013-1	ED-01-5B	2
6B	ชุดเฟืองขับ	M4x52T	Standard		2
5B	พูเล่ Ø16"	Ø16"	Standard		1
4B	เพลาเฟืองขับ	Ø25x300	DIN 1013-1	ED-01-4B	2
3B	เบ้าใส่ลูกปืน	Ø58x20	DIN 1013-1	ED-01-3B	10
2B	เบ้าใส่ลูกปืน	Ø58x20	DIN 1013-1	ED-01-2B	6
1B	ฝาด้านข้าง	600x245x2	DIN 1013-1	ED-01-B1	2
BB	ภาพกลายชุดกลไกล			ED-01-BB	1
B	ชุดกลไกลเครื่องจักตอก			ED-01-B	1

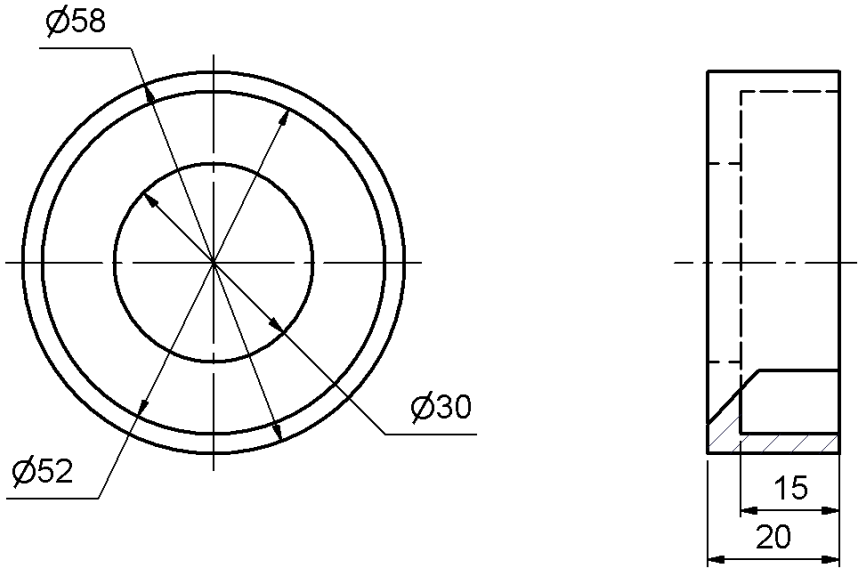
ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	**คณะวิศวกรรมศาสตร์**
ผู้ตรวจ	อ.อนิมท์ มีมนต์		**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01-B



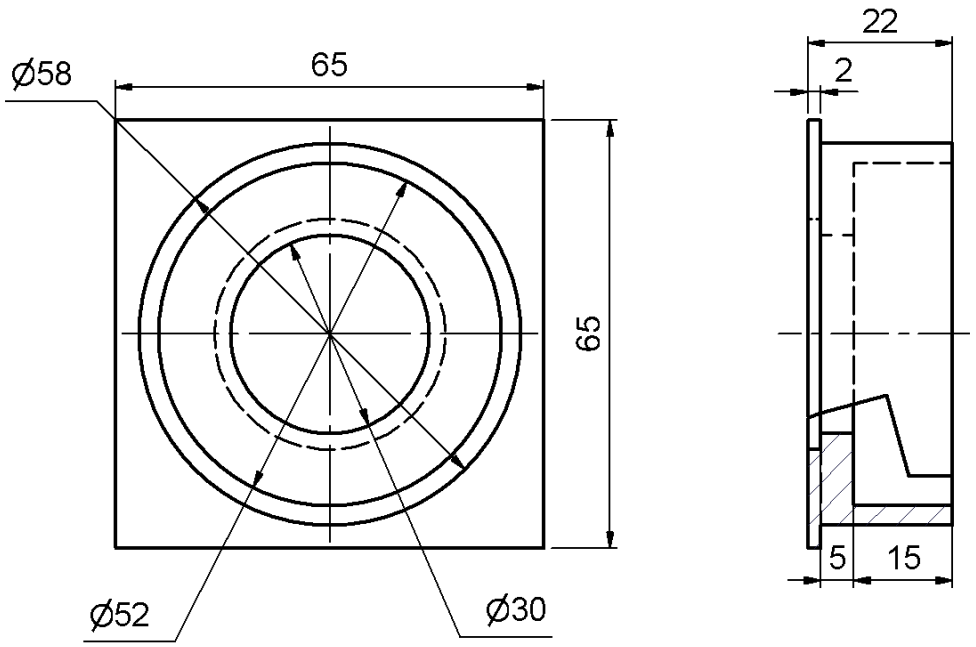
B1	ฝาด้านข้าง	600x245x2	DIN 1013-1	ED-01-B1	2
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:6	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01-B

3B



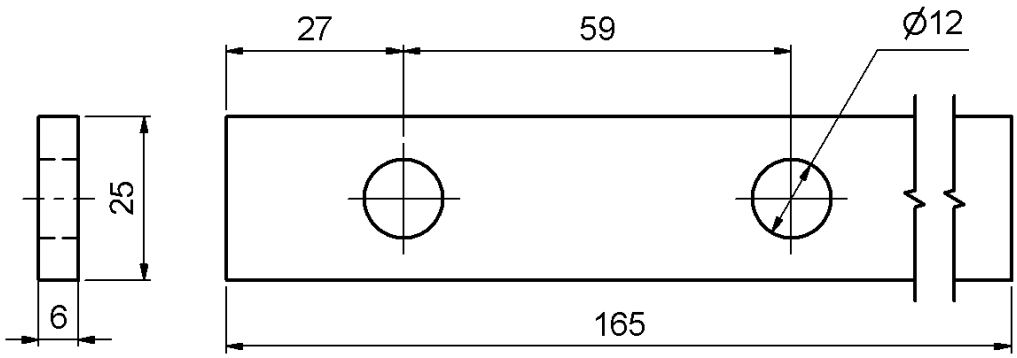
2B



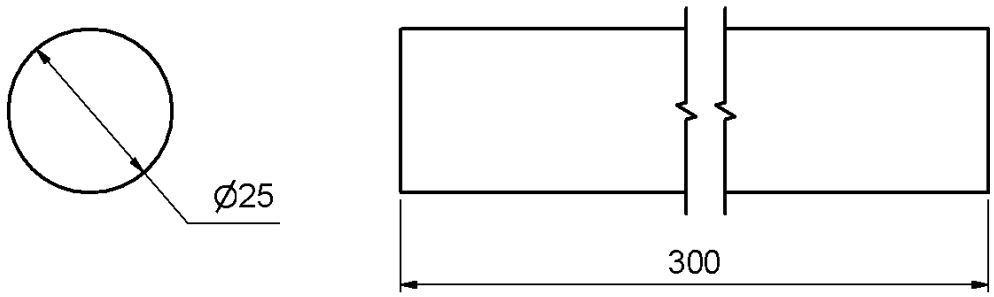
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
3B	เบ้าใส่ลูกปืน	Ø58x20	DIN 1013-1	ED-01-3B	10
2B	เบ้าใส่ลูกปืน	Ø58x20	DIN 1013-1	ED-01-2B	6

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจ ม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01-B	

7B



4B



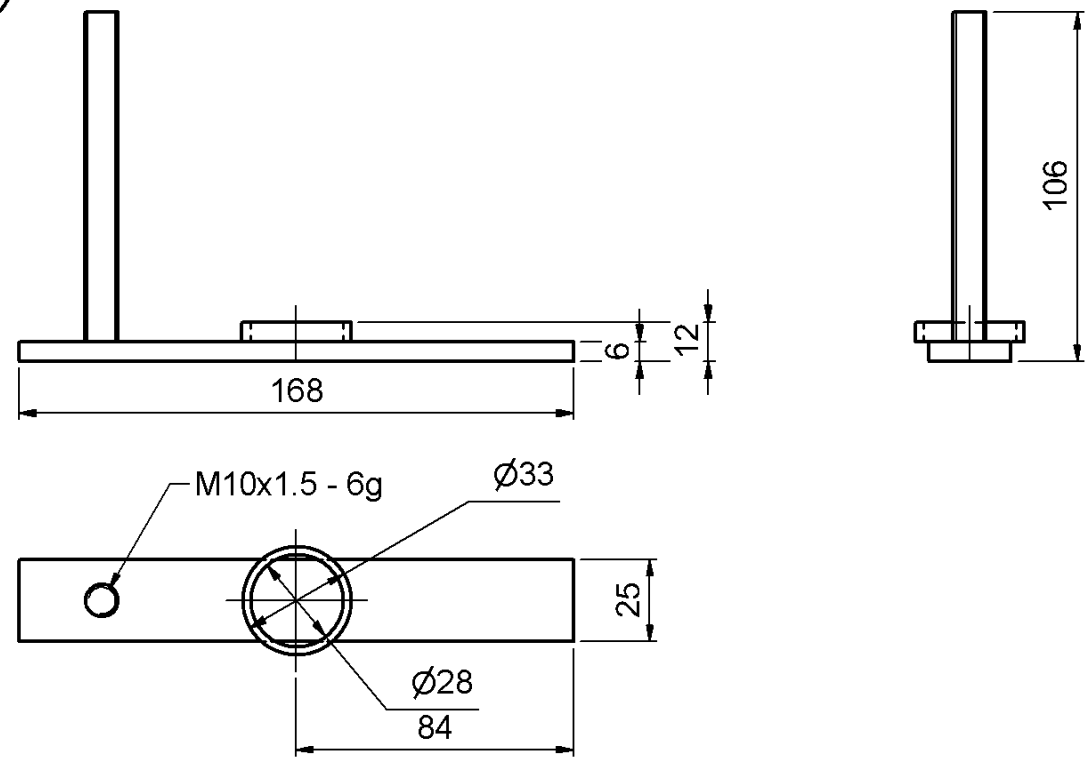
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
7B	Plate ปรับระยะลูกกลิ้ง	25x165x6	DIN 1013-1	ED-01-7B	2
4B	เพลาเฟืองขับ	Ø25x300	DIN 1013-1	ED-01-4B	2

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์	
ผู้ตรวจม.ช.		
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม	

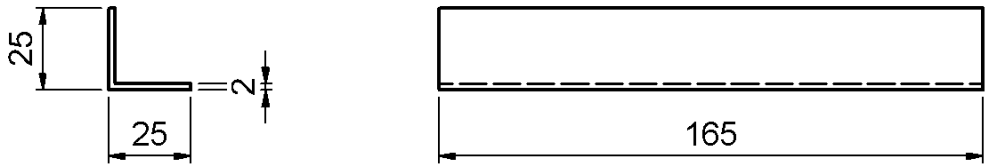
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มาตราส่วน 1:1	ชื่อชิ้นงาน เครื่องจักตอก	หมายเลขแบบ ED-01-B

11B



8B



ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขงาน	จำนวน
9B	คานปรับระยะลูกกลิ้ง	168x106x6	DIN 1013-1	ED-01-9B	2
8B	คานฝาด้านข้าง	25x25x165	DIN 1013-1	ED-01-8B	2

ผู้เขียน	นายมงคล ขำปลื้ม	06/01/54	คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ตรวจ	อ.อนินท์ มีมนต์		
ผู้ตรวจม.ช.			
ผู้ออกแบบ	นายมงคล ขำปลื้ม		
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน: เครื่องจักตอก		หมายเลขแบบ ED-01-B

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ 1.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบมีข้อไม้ไผ่ ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 0.5 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 70 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				77	23

ตารางที่ 1.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะ Gap 0.5 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	0.56	0.55	0.53	0.51	0.56	0.57	0.54	0.60	0.53	0.49	0.50	0.51	0.55	0.53	0.56	0.52	0.48	0.45	0.55	0.52
ด้านกลาง	0.60	0.54	0.52	0.50	0.55	0.54	0.53	0.62	0.60	0.53	0.51	0.51	0.54	0.52	0.50	0.56	0.52	0.56	0.57	0.53
ด้านท้าย	0.45	0.55	0.53	0.51	0.60	0.56	0.55	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.50	0.50	0.53	0.60	0.58	0.52	0.51
ค่าเฉลี่ย	0.53	0.54	0.52	0.50	0.57	0.55	0.54	0.58	0.55	0.52	0.51	0.52	0.54	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.52
ความหนาโดยเฉลี่ย = 0.53 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 2.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบไม่มีข้อไม้ไผ่ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 0.5 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 38 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				79	21

ตารางที่ 2.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะGapของใบมีด 0.5 มม

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	0.55	0.52	0.51	0.53	0.60	0.54	0.47	0.52	0.55	0.56	0.57	0.53	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.52	0.53	0.50
ด้านกลาง	0.53	0.48	0.50	0.55	0.59	0.49	0.53	0.53	0.50	0.55	0.54	0.54	0.54	0.50	0.55	0.50	0.53	0.54	0.55	0.52
ด้านท้าย	0.50	0.48	0.46	0.53	0.57	0.48	0.56	0.56	0.48	0.57	0.51	0.53	0.55	0.50	0.50	0.48	0.52	0.53	0.50	0.53
ค่าเฉลี่ย	0.52	0.49	0.49	0.53	0.58	0.50	0.52	0.53	0.51	0.54	0.54	0.53	0.53	0.51	0.53	0.51	0.53	0.53	0.52	0.51
ความหนาโดยเฉลี่ย = 0.52 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบมีข้อไม้ไผ่ ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 0.75 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 70 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				85	15

ตารางที่ 3.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะGapของใบมีด 0.75 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	0.72	0.72	0.73	0.68	0.70	0.60	0.76	0.68	0.80	0.70	0.68	0.65	0.79	0.86	0.83	0.75	0.76	0.81	0.79	0.76
ด้านกลาง	0.64	0.80	0.76	0.74	0.78	0.75	0.87	0.73	0.76	0.80	0.76	0.78	0.87	0.85	0.80	0.73	0.72	0.76	0.80	0.81
ด้านท้าย	0.73	0.82	0.70	0.72	0.74	0.68	0.80	0.90	0.58	0.78	0.85	0.82	0.69	0.76	0.76	0.70	0.81	0.69	0.74	0.75
ค่าเฉลี่ย	0.70	0.78	0.73	0.71	0.74	0.67	0.81	0.77	0.71	0.76	0.76	0.75	0.78	0.82	0.79	0.72	0.76	0.75	0.77	0.77
ความหนาโดยเฉลี่ย = 0.75 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบไม่มีข้อไม้ไผ่ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 0.75 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 38 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				84	16

ตารางที่ 4.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะGapของใบมีด 0.75 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	0.78	0.80	0.82	0.75	0.78	0.75	0.76	0.75	0.78	0.78	0.68	0.68	0.75	0.76	0.75	0.74	0.78	0.74	0.78	0.74
ด้านกลาง	0.77	0.76	0.72	0.70	0.77	0.72	0.71	0.73	0.76	0.76	0.72	0.71	0.76	0.73	0.74	0.76	0.76	0.76	0.77	0.75
ด้านท้าย	0.76	0.72	0.73	0.74	0.76	0.68	0.74	0.72	0.75	0.74	0.73	0.70	0.71	0.70	0.68	0.78	0.72	0.68	0.76	0.72
ค่าเฉลี่ย	0.77	0.76	0.75	0.73	0.77	0.72	0.73	0.73	0.76	0.76	0.71	0.69	0.74	0.73	0.72	0.76	0.75	0.72	0.77	0.73
ความหนาโดยเฉลี่ย = 0.74 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบมีข้อไม้ไผ่ ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 1.0 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 70 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				94	6

ตารางที่ 5.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะ Gap 1.0 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	1.01	0.98	0.95	1.12	0.99	1.04	0.98	0.97	1.06	1.08	1.02	0.95	1.10	0.96	1.02	1.00	1.01	0.96	1.02	0.98
ด้านกลาง	1.00	1.02	0.98	0.97	1.02	1.12	1.04	1.02	1.03	1.01	1.15	0.97	1.03	0.97	1.00	0.98	1.10	0.99	1.05	1.10
ด้านท้าย	1.02	1.10	1.03	1.01	1.01	1.04	1.05	0.98	1.04	1.05	0.98	0.96	0.97	1.02	1.15	0.98	0.97	1.02	0.97	1.04
ค่าเฉลี่ย	1.01	1.03	0.98	1.03	1.00	1.06	1.02	0.99	1.04	1.04	1.05	0.96	1.03	0.98	1.05	0.98	1.02	0.99	1.01	1.04
ความหนาโดยเฉลี่ย = 1.02 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบไม่มีข้อไม้ไผ่ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 1.0 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 38 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				90	10

ตารางที่ 6.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะGapของใบมีด 1.0 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	0.99	1.02	1.00	1.03	1.06	1.05	1.02	1.07	1.10	1.02	1.05	1.03	1.02	0.90	1.01	1.07	1.00	1.00	1.02	1.00
ด้านกลาง	1.04	1.05	1.02	1.04	1.00	1.00	1.00	0.95	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	0.99	1.04	1.04	0.97	1.03	0.98	1.01
ด้านท้าย	1.04	1.02	1.08	1.04	0.97	0.96	0.96	0.90	1.03	1.04	1.03	1.00	1.05	1.02	0.98	1.02	0.95	0.97	1.05	1.02
ค่าเฉลี่ย	1.02	1.03	1.03	1.03	1.01	1.00	0.99	0.97	1.06	1.03	1.04	1.02	1.03	0.97	1.01	1.04	0.97	1.00	1.01	1.01
ความหนาโดยเฉลี่ย = 1.01 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบมีข้อไม้ไผ่ ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 1.25 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 70 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				94	6

ตารางที่ 7.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะ Gap 1.25 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	1.24	1.16	1.25	1.20	1.25	1.19	1.20	1.23	1.25	1.24	1.20	1.22	1.27	1.24	1.32	1.31	1.27	1.28	1.28	1.24
ด้านกลาง	1.26	1.26	1.30	1.24	1.27	1.22	1.22	1.25	1.25	1.26	1.22	1.27	1.25	1.25	1.26	1.27	1.25	1.27	1.25	1.26
ด้านท้าย	1.23	1.14	1.22	1.25	1.24	1.18	1.19	1.24	1.18	1.21	1.23	1.22	1.18	1.30	1.18	1.23	1.24	1.28	1.20	1.30
ค่าเฉลี่ย	1.24	1.18	1.25	1.23	1.25	1.19	1.20	1.24	1.22	1.23	1.21	1.23	1.23	1.26	1.25	1.27	1.25	1.27	1.24	1.26
ความหนาโดยเฉลี่ย = 1.24 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 8.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบไม่มีข้อไม้ไผ่ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 1.25 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 38 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				93	7

ตารางที่ 8.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะGapของใบมีด 1.25 มม

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	1.17	1.20	1.28	1.22	1.25	1.27	1.21	1.25	1.22	1.25	1.19	1.20	1.25	1.24	1.27	1.18	1.27	1.16	1.31	1.18
ด้านกลาง	1.16	1.19	1.27	1.24	1.30	1.26	1.24	1.24	1.27	1.22	1.22	1.24	1.22	1.27	1.24	1.19	1.20	1.22	1.24	1.22
ด้านท้าย	1.20	1.21	1.27	1.22	1.32	1.24	1.26	1.22	1.30	1.27	1.22	1.26	1.22	1.26	1.22	1.22	1.22	1.25	1.22	1.25
ค่าเฉลี่ย	1.17	1.20	1.27	1.22	1.29	1.25	1.23	1.23	1.26	1.24	1.21	1.23	1.23	1.25	1.24	1.19	1.23	1.21	1.25	1.21
ความหนาโดยเฉลี่ย = 1.23 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 9.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบมีข้อไม้ไผ่ ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 1.5 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 70 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				96	4

ตารางที่ 9.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะ Gap 1.5 มม.

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	1.53	1.49	1.45	1.50	1.53	1.55	1.53	1.48	1.45	1.56	1.54	1.48	1.52	1.48	1.55	1.53	1.46	1.53	1.52	1.47
ด้านกลาง	1.49	1.51	1.48	1.52	1.45	1.50	1.52	1.51	1.48	1.54	1.51	1.50	1.50	1.50	1.50	1.49	1.45	1.51	1.56	1.54
ด้านท้าย	1.52	1.51	1.48	1.53	1.52	1.48	1.47	1.53	1.49	1.55	1.53	1.51	1.48	1.50	1.45	1.45	1.47	1.48	1.52	1.45
ค่าเฉลี่ย	1.51	1.50	1.47	1.51	1.50	1.51	1.50	1.50	1.47	1.55	1.52	1.49	1.50	1.49	1.50	1.49	1.46	1.50	1.53	1.48
ความหนาโดยเฉลี่ย = 1.50 มิลลิเมตร																				

ตารางที่ 10.1 ผลการทดลองจักตอกไม้ไผ่แบบไม่มีข้อไม้ไผ่ความเร็วรอบที่ได้ 183.3 RPM และระยะGapของใบมีด 1.5 มม.

ขนาดไม้ไผ่ยาว 38 ซม.	รูปไม้ไผ่ที่ผ่าแล้ว	รูปตอกที่จักได้ จำนวน 100 เส้น		จำนวน	
		สภาพสมบูรณ์	สภาพไม่สมบรูณ์	สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
				96	4

ตารางที่ 10.2 ตารางความหนาเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ทำการจักแล้วโดยทำการสุ่มมาจำนวน 20 เส้นของระยะGapของใบมีด 1.5 มม

วิธีการวัด			
วัดหัว	วัดกลาง	วัดท้าย	

วิธีการวัด	ลำดับที่																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ด้านหัว	1.51	1.55	1.52	1.51	1.49	1.53	1.52	1.48	1.50	1.55	1.53	1.51	1.56	1.50	1.55	1.50	1.45	1.55	1.46	1.53
ด้านกลาง	1.50	1.55	1.48	1.55	1.50	1.52	1.50	1.48	1.52	1.48	1.50	1.45	1.60	1.40	1.50	1.48	1.55	1.56	1.45	1.50
ด้านท้าย	1.50	1.57	1.51	1.53	1.51	1.56	1.45	1.50	1.52	1.46	1.50	1.44	1.65	1.48	1.50	1.50	1.56	1.55	1.47	1.52
ค่าเฉลี่ย	1.50	1.55	1.50	1.53	1.50	1.53	1.49	1.48	1.51	1.49	1.51	1.46	1.60	1.46	1.51	1.49	1.52	1.55	1.46	1.51
ความหนาโดยเฉลี่ย = 1.51 มิลลิเมตร																				