

บทที่ 3

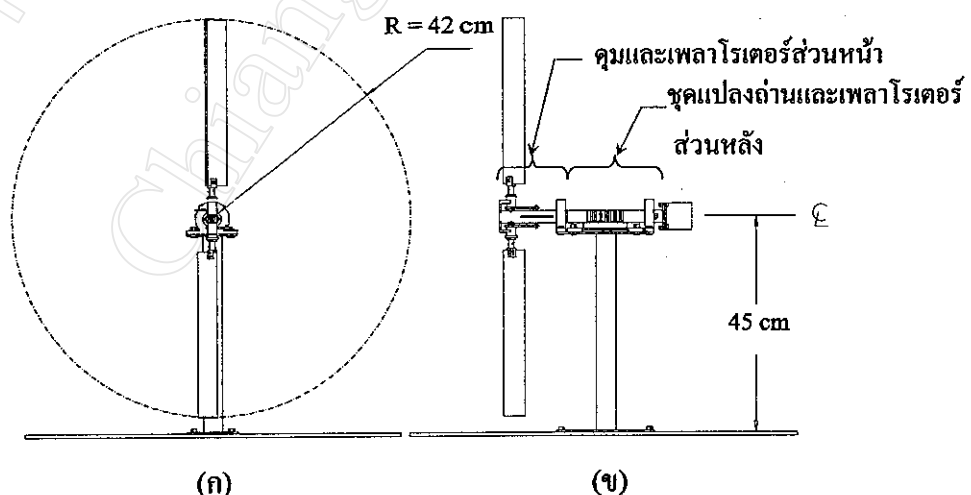
การออกแบบและคำนวณ

การออกแบบและคำนวณกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม เพื่อให้ควบคุมกังหันลมให้หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่เมื่อความเร็วรอบสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะการทำงานปกติ ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณประกอบด้วย การออกแบบกังหันลมและกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของกลไก การคำนวณหาขนาดมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมในสภาวะการทำงานปกติ ซึ่งการออกแบบและคำนวณ มีดังนี้

3.1 การออกแบบและการสร้าง

3.1.1 การออกแบบกังหันลมและกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม

กังหันลมสำหรับใช้ในการทดสอบเป็นชนิดแกนเพลานอน มีจำนวนใบพัด 2 ใบ เนื่องจากขั้นตอนการทดสอบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ จะกระทำภายในอุโมงค์ลมแบบเปิด ความเร็วต่ำชนิดดูด ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดทำงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 90x120 เซนติเมตร ดังนั้น จึงได้ออกแบบให้กังหันลมมีรัศมีการหมุน โดยวัดจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงปลายใบพัด 42 เซนติเมตร และมีความสูงจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงผนังอุโมงค์ลมด้านล่าง 45 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดและรูปร่างโดยทั่วไปของกังหันลมที่ออกแบบ

(ก) ภาพด้านบน

(ข) ภาพด้านข้าง

3.1.1.1 ส่วนประกอบของกังหันลมและกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม

กังหันลมและกลไกปรับมุมพิทช์ที่ออกแบบ มีส่วนประกอบหลักๆ 2 ส่วน ส่วนแรก คือ คุมและเพลารอเตอร์ส่วนหน้า ส่วนที่สอง คือ ชุดแปลงถ่วงและเพลารอเตอร์ส่วนหลัง (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ) ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

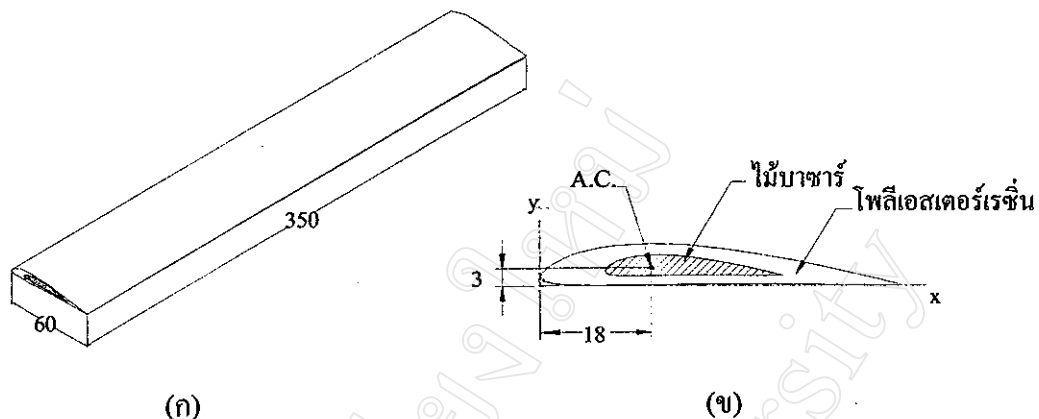
ก. คุมและเพลารอเตอร์ส่วนหน้ามีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.2

กุมและเพลารอเตอร์ส่วนหน้าประกอบด้วย ใบพัด (หมายเลข 1) จำนวน 2 ใบพัด แต่ละใบมีความยาว 35 เซนติเมตร ความยาวคอรัคกิ้งที่ 6 เซนติเมตร หน้าตัดของใบพัดมีลักษณะเป็นแอร์ฟอยล์ชนิด U.S.A.35-B ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในรูปที่ จ-1 ในภาคผนวก จ ใบพัดไม่มีการบิดดัดนั้นภาพแปลนจึงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสร้างด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูปโดยใช้โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester resin) เคลือบไม้บาชาร์ เพื่อให้มีน้ำหนักเบา ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ใบพัดของกังหันลมจะถูกต่อเข้ากับตัวยึดจับ ใบพัด (หมายเลข 2) ซึ่งทำจากเหล็กกล้าผสม (AISI 1020) ที่มีคุณสมบัติเหนียวสามารถดัดขึ้นรูปได้ง่าย นามากถึงให้มีระยะการยึดจับใบพัด 17 มิลลิเมตร และมีความกว้างเท่ากับความหนาของใบพัดตรงตำแหน่งที่ทำการยึดจับ คือ 7 มิลลิเมตร อีกด้านหนึ่งมีลักษณะกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 14 มิลลิเมตร และลึก 19 มิลลิเมตร (ดูรูปที่ 3.4 ประกอบ) ใบพัดถูกยึดจับโดยให้ตำแหน่งแอร์โรไดนามิกส์เซ็นเตอร์ (Aerodynamics Center, A.C.) ของแอร์ฟอยล์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แรงยกและแรงต้านกระทำกับแอร์ฟอยล์ อยู่ตรงกับจุดศูนย์กลางการหมุนของก้านใบพัดในขณะกลไกทำการปรับมุมพิทช์ เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากแรงยกและแรงต้านบนใบพัดกังหันลม จากรูปที่ จ-1 ในภาคผนวก จ จะได้แอร์โรไดนามิกส์เซ็นเตอร์ของใบพัดกังหันลมที่ออกแบบ อยู่ที่ตำแหน่งห่างจากชายหน้า 18 มิลลิเมตร และอยู่สูงจากท้องของใบพัด 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ตัวยึดจับใบพัดจะถูกต่อเข้ากับก้านใบพัด (หมายเลข 3) ซึ่งทำจากเหล็กกล้าผสม (AISI 1020) นามากถึงขึ้นรูปให้มีความยาวทั้งหมด 62 มิลลิเมตร ด้านสำหรับต่อกับตัวยึดจับใบพัดมีรูปร่างเป็นเพลาดัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร จากปลายเพลาดูกถึงเป็นร่องลึก 2 มิลลิเมตร และกว้าง 4 มิลลิเมตร (ดูรูปที่ 3.4 ประกอบ) เพื่อใช้เป็นร่องสำหรับใช้ยึดจับโดยน็อตตัวหนอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว (หมายเลข 5) อีกด้านหนึ่งของก้านใบพัดมีลักษณะเป็นเกลียวซึ่งมีระยะพิทช์ 1 มิลลิเมตร และมีความยาวทั้งหมด 14 มิลลิเมตร ด้านข้างของเกลียวถูกกลึงปากให้เป็นผิวเรียบ 2 ด้านตรงข้ามกัน โดยให้มีระยะห่างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร เพื่อใช้ต่อเข้ากับแครนค์ (Crank) (หมายเลข 9) ซึ่งมีรูปร่างและขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของคัมและเพลทาโรเตอร์ส่วนหน้า



Note : All dimensions are in mm. and not to scale.

รูปที่ 3.3 ขนาด รูปร่างและส่วนประกอบของใบพัดกังหันลม

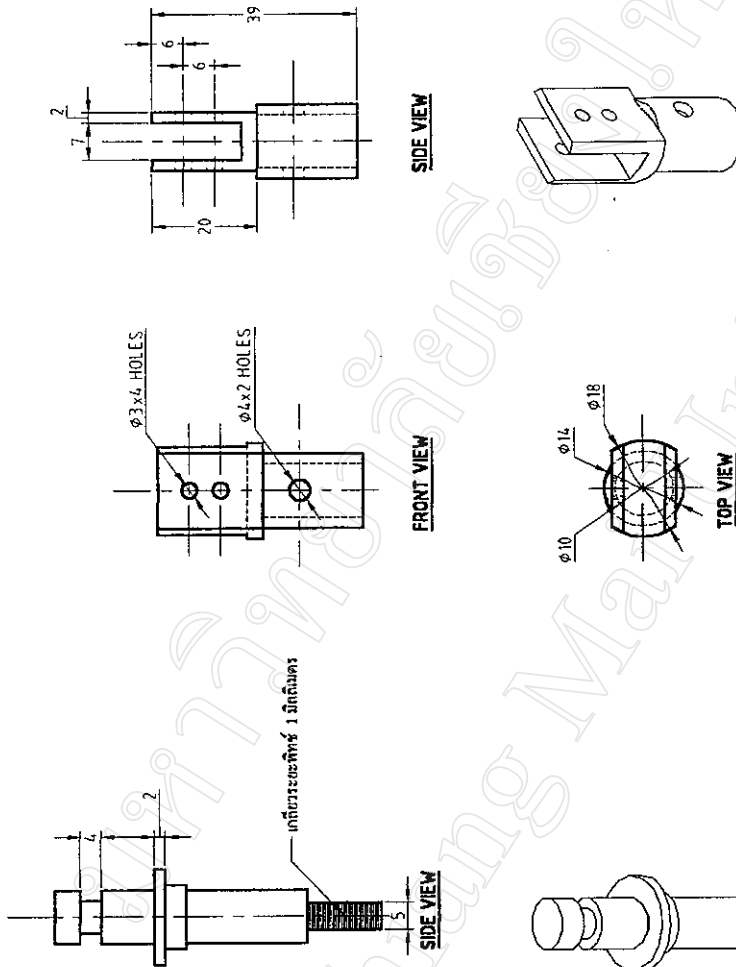
(ก) ขนาดและรูปร่างของใบพัดกังหันลม

(ข) ส่วนประกอบของหน้าตัดใบพัดกังหันลม

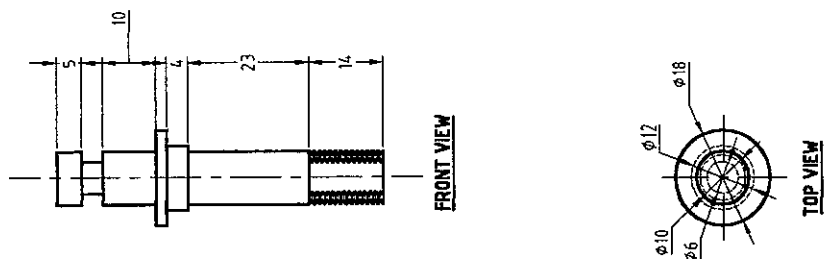
ก้านใบพัดจะถูกต่อเข้ากับเพลาส่วนหน้า (หมายเลข 13) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.6 มายังแรงค์ผ่านทางช่องเสียบก้านใบพัดซึ่งภายในมีดลึงลูกปืนเข็ม ยี่ห้อ THK รุ่น HK1010 (หมายเลข 8) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 14 มิลลิเมตร และยาว 10 มิลลิเมตร ติดตั้งอยู่ด้านละ 2 ตัว ด้านบนและด้านล่างของช่องเสียบก้านใบพัดแต่ละข้างมีลูกปืนเข็ม ยี่ห้อ THK รุ่น HMK1215 พร้อมแหวนรองลูกปืนเข็ม (หมายเลข 6 และ 7 ตามลำดับ) เพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่กลไกกำลังทำการปรับมุมพิทช์ และล็อกก้านใบพัดให้ยึดติดกับเพลาส่วนหน้าให้แน่นโดยใช้น็อตตัวเมีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร (หมายเลข 11) ปลายข้างหนึ่งของแรงค์จะถูกต่อเข้ากับคอนเนคติงรูด (Connecting Rod) (หมายเลข 10) ซึ่งมีรูปร่างและขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.5 ปลายข้างหนึ่งของคอนเนคติงรูดถูกต่อเข้ากับก้านเชื่อมต่อสไลเดอร์ (หมายเลข 15) โดยมีดลึงลูกปืนขนาดเล็ก ยี่ห้อ THK รุ่น S-F730ZZ (หมายเลข 16) ทำหน้าที่ช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ก้านเชื่อมต่อสไลเดอร์จะถูกหมุนยึดเข้ากับสไลเดอร์ (หมายเลข 14) ทิศทางการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ถูกควบคุมโดยเพลาชับสไลเดอร์ (Slider) (หมายเลข 18) ซึ่งความเร็วและทิศทางในการหมุนของเพลาชับสไลเดอร์จะถูกควบคุมโดยสแต็ปป์มอเตอร์ที่ถูกต่อพ่วงเข้ากับปลายด้านหนึ่งของเพลาชับสไลเดอร์ รูปร่างและขนาดของก้านเชื่อมต่อสไลเดอร์ สไลเดอร์และเพลาชับสไลเดอร์ รายละเอียดเพิ่มเติมได้แสดงในรูปที่ 3.7

ที่ตำแหน่งปลายสุดของร่องควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์บนเพลาส่วนหน้า ได้ติดตั้งสวิทช์ (Switch) เปิด / ปิด ขนาดเล็ก (หมายเลข 19) สำหรับส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมเพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นการทำงานของกลไก

No.2

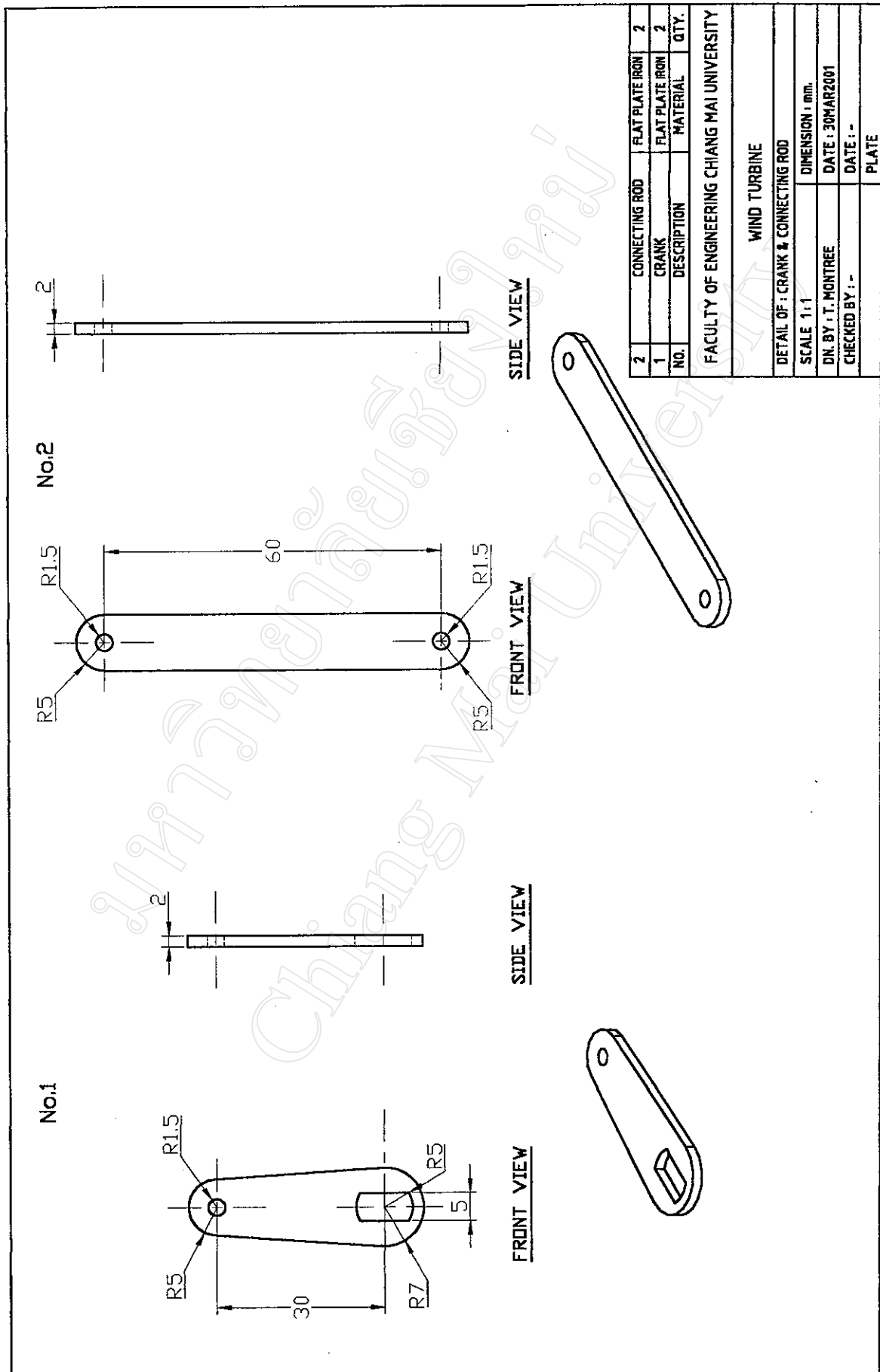


No.1

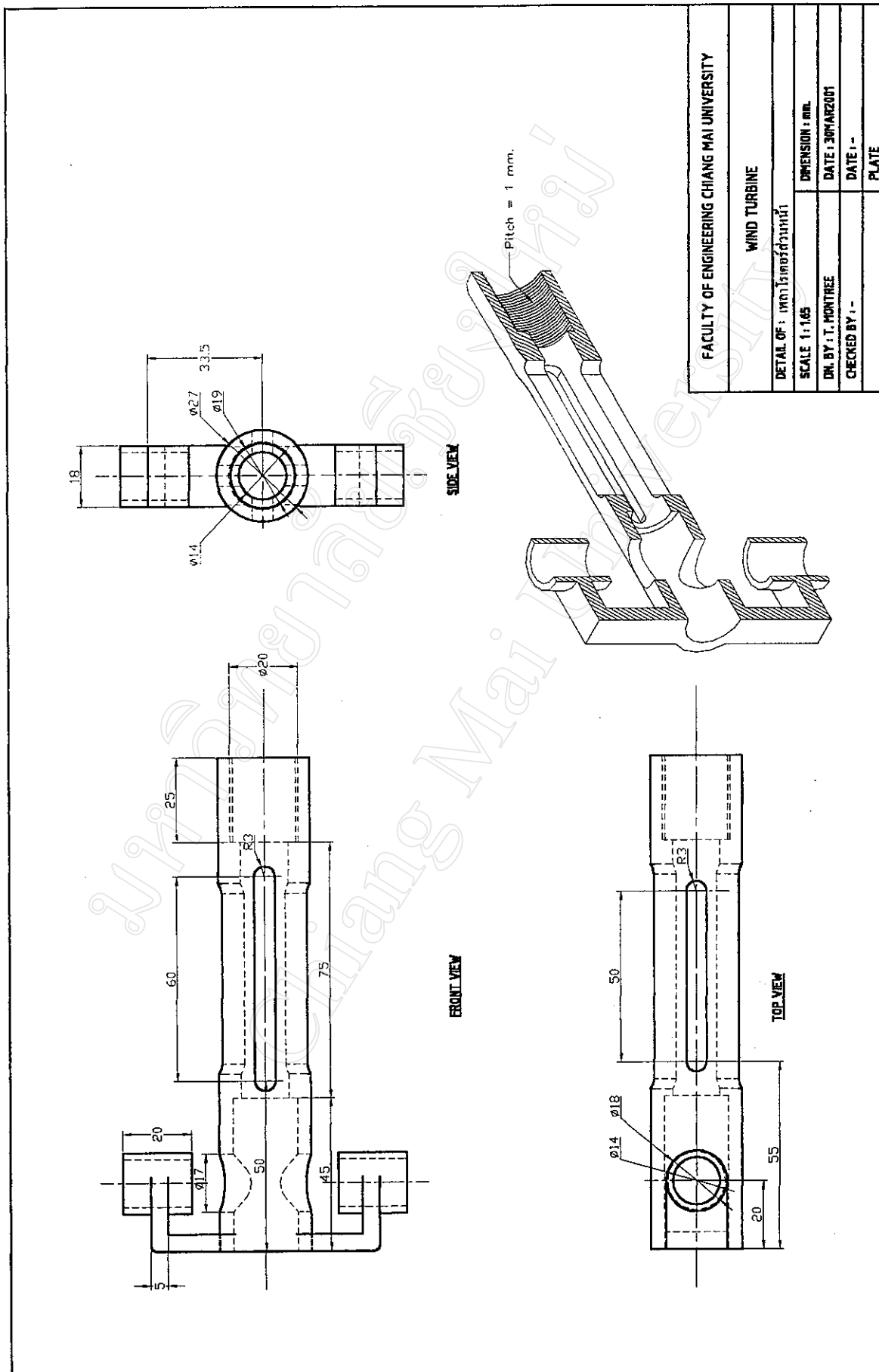


2	ตัวยึดจับใบพัด	2	2
1	ก้านใบพัด	2	2
NO.	DESCRIPTION	MATERIAL	Q.TY.
FACULTY OF ENGINEERING CHIANG MAI UNIVERSITY			
WIND TURBINE			
DETAIL OF : ตัวยึดจับใบพัดและก้านใบพัด			
SCALE 1:1.4			
DIMENSION : mm.			
DN. BY : T. MONTREE			
DATE : 30MAR2001			
CHECKED BY : -			
DATE : -			
PLATE			

รูปที่ 3.4 รูปร่างและขนาดของตัวยึดจับใบพัดและก้านใบพัด



รูปที่ 3.5 รูปร่างและขนาดของแตรงค์และคอนเนคตริง



รูปที่ 3.6 รูปร่างและขนาดของเพลาโรเตอร์ส่วนหน้า

รูปที่ 3.7 รูปร่างและขนาดของสไลเดอร์ การเชื่อมข้อสไลเดอร์และเพลกัปสไลเดอร์

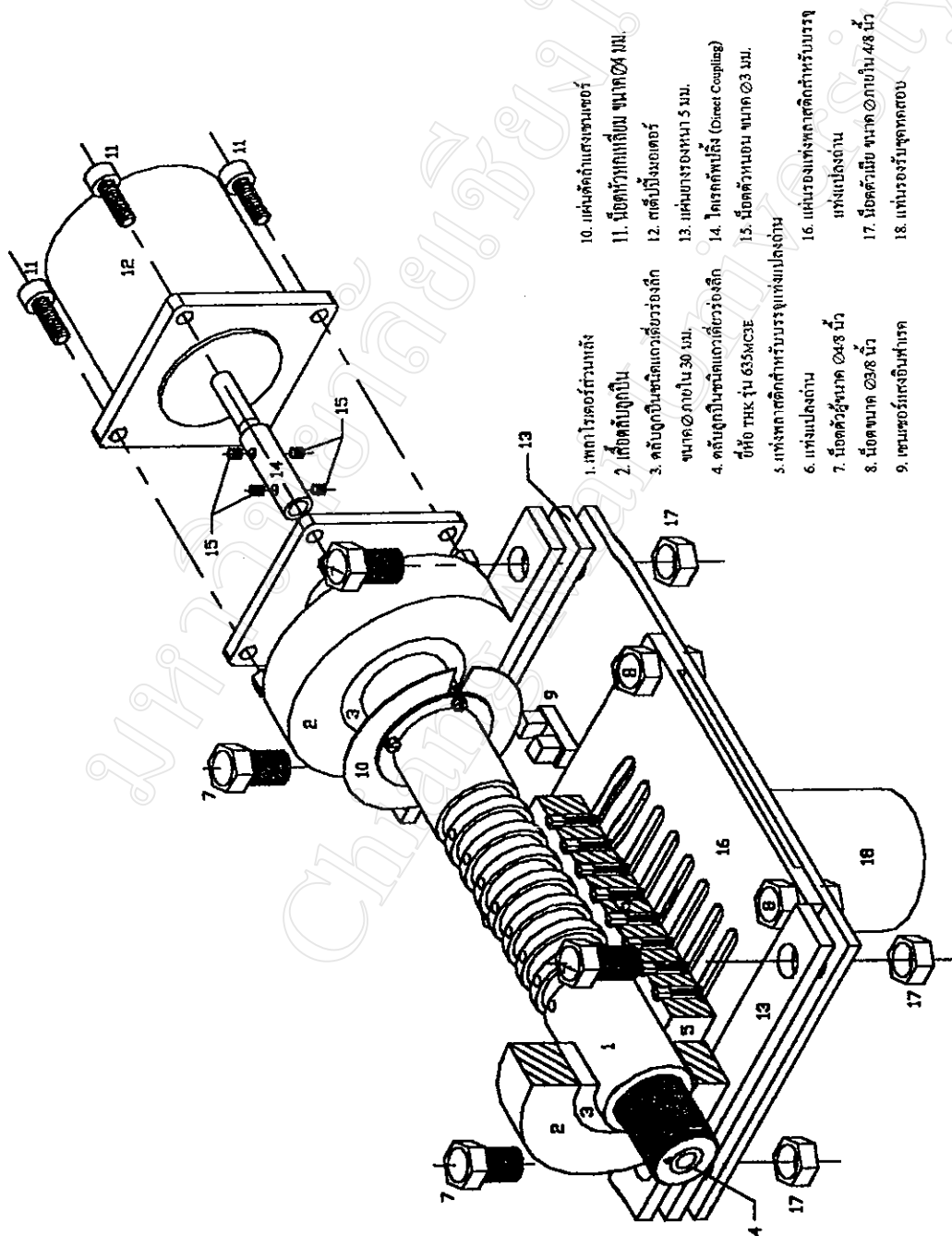
ข. ชุดแปลงถ่านและเพลารอเตอร์ส่วนหลัง มีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.8

ชุดแปลงถ่านและเพลารอเตอร์ส่วนหลังประกอบด้วยเพลารอเตอร์ส่วนหลัง (หมายเลข 1) ซึ่งเป็นเพลากลวง มีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.9 ถูกติดตั้งเข้ากับคลັบลูกปืนชนิดเม็ดกลม แฉกเดี่ยวร่องลึก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตร (หมายเลข 3) ซึ่งบรรจุอยู่ในเสื้อคลັบลูกปืน (หมายเลข 2) ที่มีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.10 ปลายด้านหนึ่งของเพลารอเตอร์ส่วนหลังถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นเกลียวระยะพิทช์ 1 มิลลิเมตร มีความยาวตลอดช่วงเกลียว 25 มิลลิเมตร เพื่อใช้เชื่อมต่อเข้ากับเพลารอเตอร์ส่วนหน้า และได้มีการติดตั้งคลັบลูกปืนชนิดเม็ดกลมแฉกเดี่ยวร่องลึก ยี่ห้อ THK รุ่น 635MC3E (หมายเลข 4) ที่ปลายเพลาด้านในเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะเพลาชัปลอเตอร์ทำงาน ด้านบนของคลັบลูกปืน (หมายเลข 4) ถูกเจาะเป็นรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/8$ นิ้ว สำหรับใช้สอดสายไฟ ซึ่งต่อมาจากสวิตช์เปิด/ปิดขนาดเล็กที่ถูกติดตั้งบนเพลารอเตอร์ส่วนหน้า เพื่อนำมาบัดกรีเชื่อมต่อเข้ากับแผ่นทองแดงภายในร่องแปลงถ่านช่วงกลางเพลารอเตอร์ส่วนหลัง

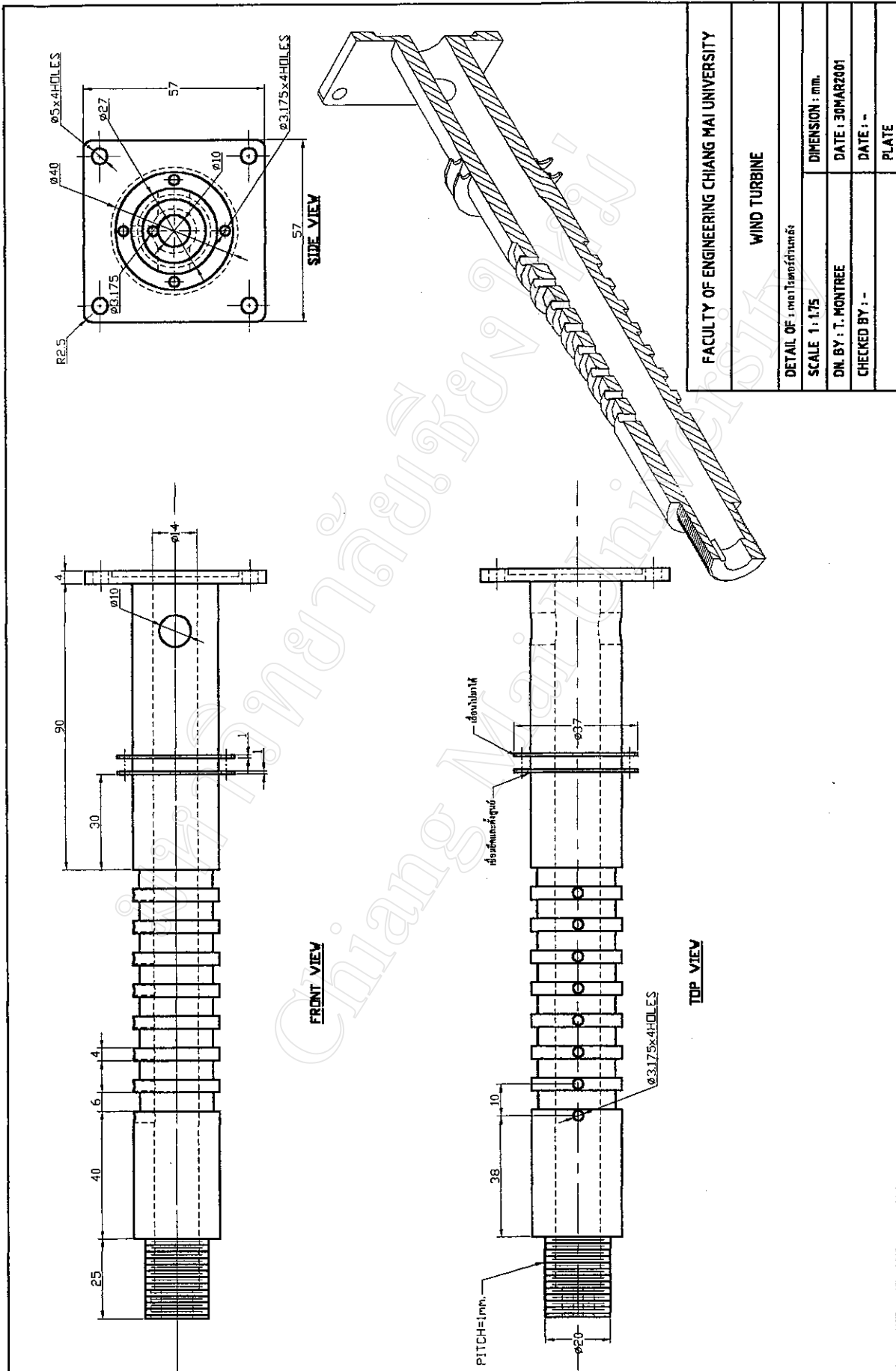
ร่องแปลงถ่านบนเพลารอเตอร์ส่วนหลัง มีจำนวนทั้งหมด 8 ร่อง แต่ละร่องมีความกว้าง 6 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร และห่างกัน 4 มิลลิเมตร ทำหน้าที่รับสัญญาณจากสวิตช์ เปิด/ปิดขนาดเล็กซึ่งถูกติดตั้งบนเพลารอเตอร์ส่วนหน้าและส่งกระแสไฟฟ้าให้กับสเต็ปมอเตอร์ (หมายเลข 12) ของบริษัท MINEBEA CO., LTD., รุ่น 23LM-C005-17 ชนิด 4 เฟส (Phase) หรือ 4 ขั้ว (Poles) มุมในการปรับเท่ากับ 1.8 องศา/สเต็ป กระแส 0.44 แอมแปร์/เฟส ซึ่งติดตั้งอยู่ทางตอนท้ายของเพลารอเตอร์ส่วนหลัง แกนโรเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์จะถูกต่อเข้ากับเพลาชัปลอเตอร์ที่อยู่ภายในเพลารอเตอร์ส่วนหน้า (ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ) โดยโคเรคคัปปลิง (Direct Coupling) (หมายเลข 14) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.10

ภายในร่องแปลงถ่านได้ถูกออกแบบโดยใช้แผ่นทองแดงบัดกรีเชื่อมต่อกับสายไฟ ซึ่งร่องที่ 1 และ 2 ถูกบัดกรีเชื่อมต่อเข้ากับสายไฟที่ต่อมาจากสวิตช์เปิด/ปิด ขนาดเล็กบนเพลารอเตอร์ส่วนหน้า ร่องที่ 3 ถึง 8 ถูกบัดกรีเชื่อมต่อเข้ากับสายไฟซึ่งต่อมาจากสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งขั้นตอนการสร้างร่องแปลงถ่าน มีดังต่อไปนี้

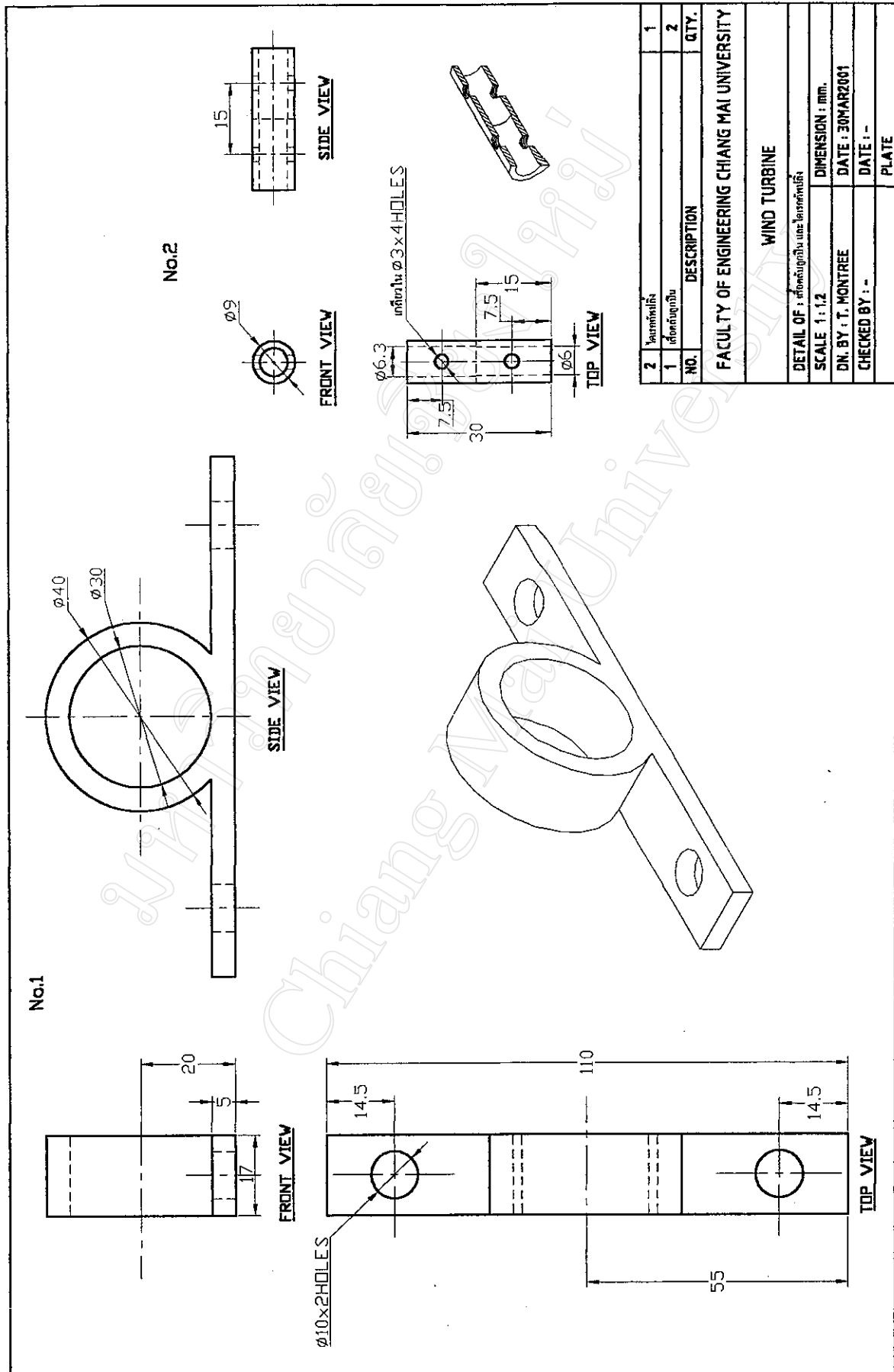
ขั้นที่ 1. กลึงเพลารอเตอร์ส่วนหลัง ให้มีลักษณะเป็นร่องกว้าง 6 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร จำนวน 8 ร่อง แต่ละร่องห่างกัน 4 มิลลิเมตร โดยให้ขอบของร่องที่ 1 อยู่ห่างจากตำแหน่งปลายเพลาด้านเกลียว 65 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11



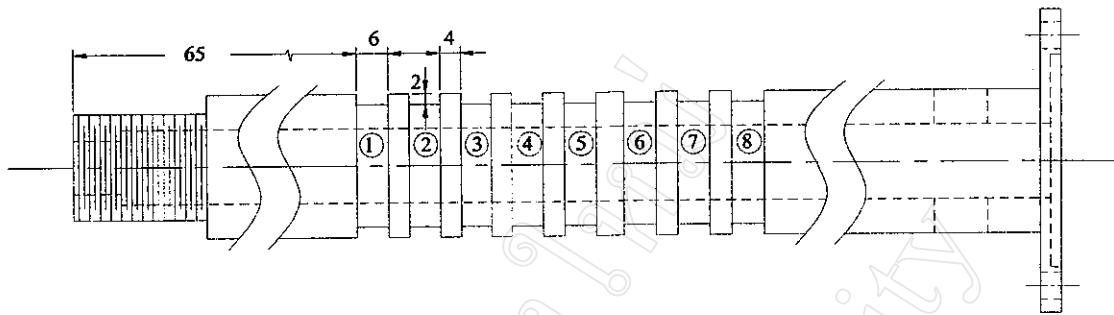
รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของชุดแปลงถ่านและเพลาไรเตอร์ส่วนหลัง



รูปที่ 3.9 รูปร่างและขนาดของเพลาโรเตอร์ส่วนหลัง



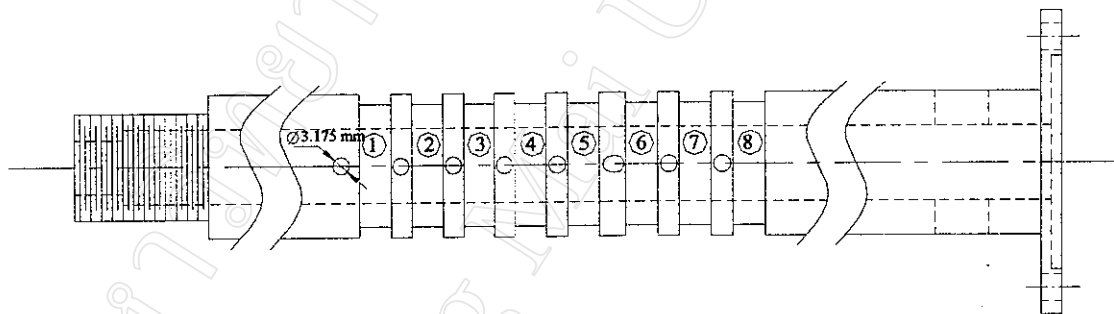
รูปที่ 3.10 รูปร่างและขนาดของเสื้อตัวลูกปืนและใบรอกตัวปลั๊ก



Note : All dimensions are in mm. and not to scale.

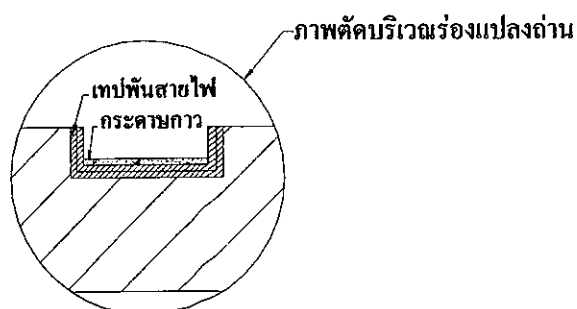
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งและขนาดของร่องแปลงถ่าน

ขั้นที่ 2. เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.175 มิลลิเมตร บริเวณด้านข้างของร่องแปลงถ่านแต่ละร่อง ให้ทะลุเข้าสู่รูกลวงด้านในของเพลารอเตอร์ส่วนหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.12



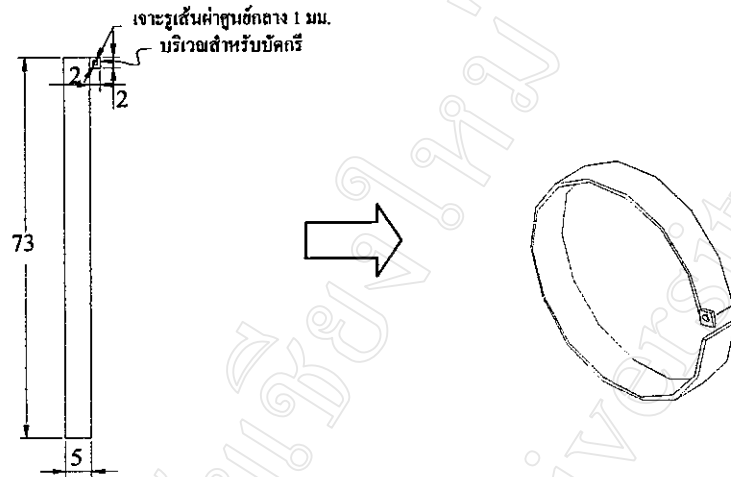
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งและขนาดของรูด้านข้างร่องแปลงถ่าน

ขั้นที่ 3. นำเทปพันสายไฟพันรอบร่องแปลงถ่านแต่ละร่องจำนวน 2 รอบ โดยพันให้ถึงขอบของร่องแปลงถ่าน และนำกระดาษกาวพันทับอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เพื่อใช้เป็นฉนวนป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่เพลารอเตอร์



รูปที่ 3.13 การพันเทปพันสายไฟและกระดาษกาวรอบร่องแปลงถ่าน

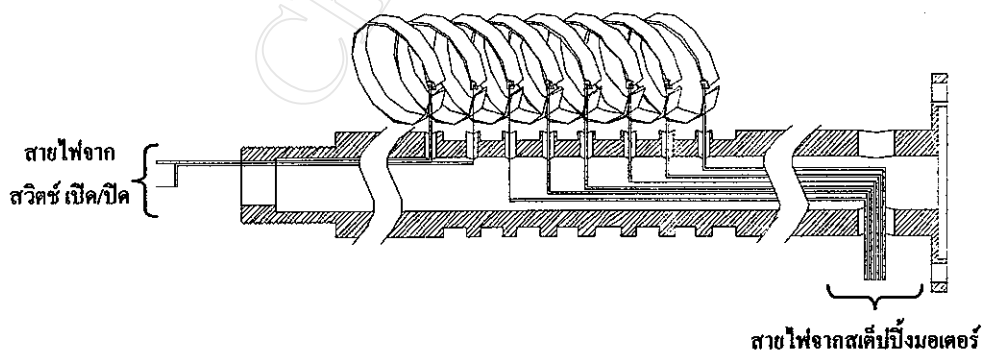
ขั้นที่ 4. ตัดแผ่นทองแดงหนา 0.5 มิลลิเมตร ให้มีรูปร่างและขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.14



Note : All dimensions are in mm. and not to scale.

รูปที่ 3.14 รูปร่างและขนาดของแผ่นทองแดงที่ใช้ทำร่องแปลงถ่าน

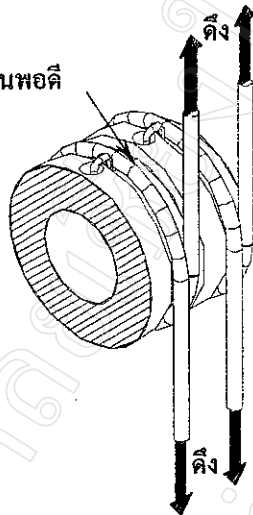
ขั้นที่ 5. นำสายไฟที่ต่อมาจากสวิตช์ เปิด/ปิดขนาดเล็ก ซึ่งติดตั้งบนเพลลาโรเตอร์ส่วนหน้า และสายไฟจากสเต็ปป์มอเตอร์ บัดกรีเชื่อมต่อกับแผ่นทองแดงบริเวณสำหรับบัดกรี ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยสอดสายไฟเข้าทางด้านบนของเพลลาโรเตอร์ส่วนหลังและสอดออกมาภายนอกผ่านทางรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.175 มิลลิเมตร ที่เจาะไว้ทางด้านข้างของร่องแปลงถ่าน แต่ละร่อง ร่องที่ 1 และ 2 จะถูกบัดกรีเข้ากับสายไฟที่ต่อมาจากสวิตช์ เปิด/ปิดขนาดเล็ก ส่วนร่องที่ 3 ถึง 8 บัดกรีเข้ากับสายไฟของสเต็ปป์มอเตอร์ โดยร่องที่ 3 4 5 และ 6 จะถูกบัดกรีเข้ากับสายไฟที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เฟสที่ 1 2 3 และ 4 ของสเต็ปป์มอเตอร์ตามลำดับ ส่วนร่องที่ 7 และ 8 จะถูกบัดกรีเข้ากับสายเซนเตอร์แทปของสเต็ปป์มอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การเดินสายไฟและการบัดกรีสายไฟเข้ากับแผ่นทองแดงที่ใช้ทำร่องแปลงถ่าน

ขั้นที่ 6. ทากาวซูเปอร์กลู (Super Glue) บนกระดาษการซึ่งพันอยู่ในร่องแปลงถ่านให้ทั่ว และนำแผ่นทองแดงที่บัดกรีเชื่อมต่อกับสายไฟเรียบร้อยแล้ว มาติดตั้งลงในร่องแปลงถ่านโดยใช้เชือกดิ่งให้แน่นเพื่อให้แผ่นทองแดงติดแนบแน่นกับร่องแปลงถ่านมากที่สุด และติดให้ด้านปลายของแผ่นทองแดงมาบรรจบกันพอดี ดังแสดงในรูปที่ 3.16

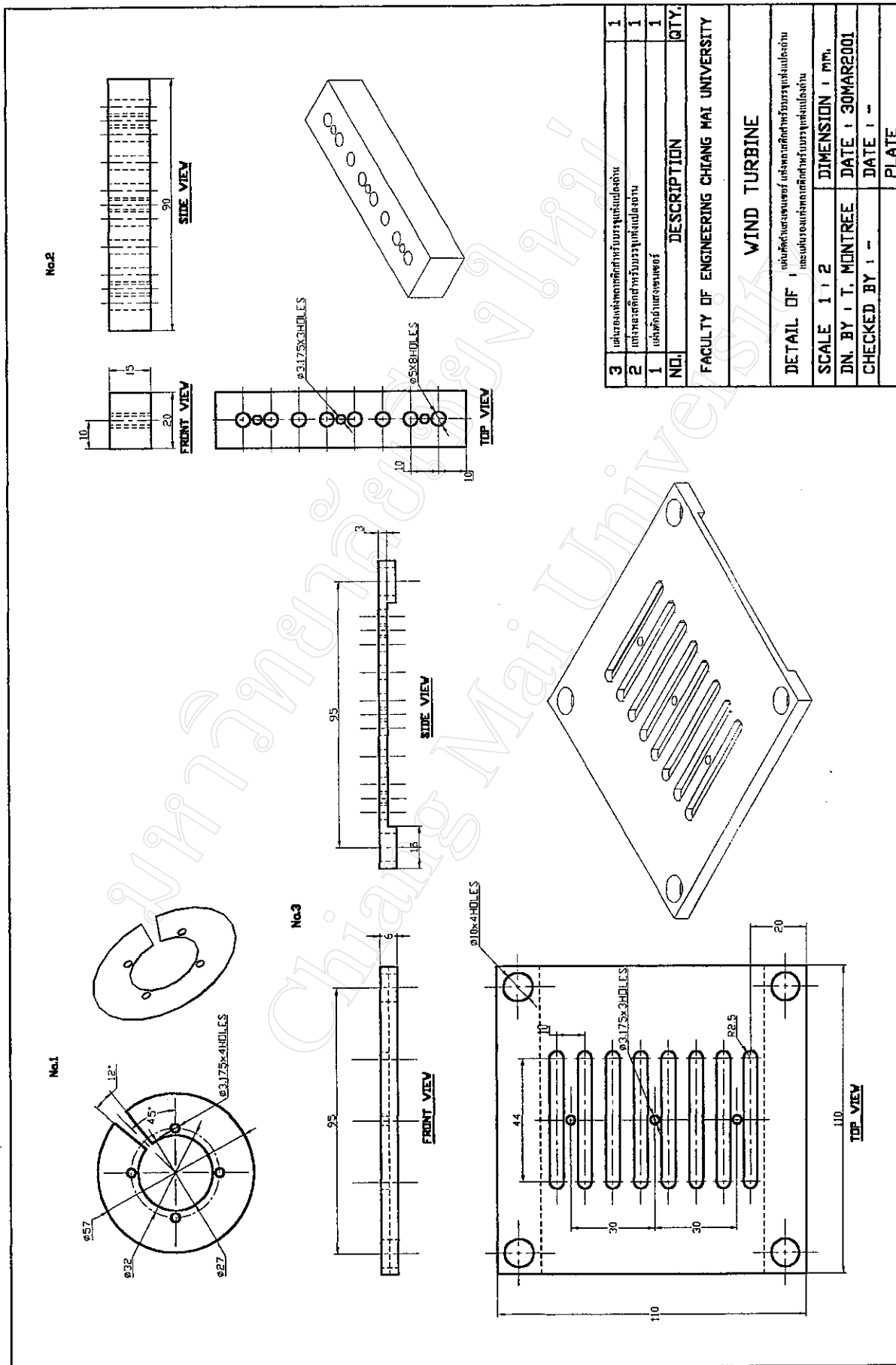
ปลายแผ่นทองแดงบรรจบกันพอดี



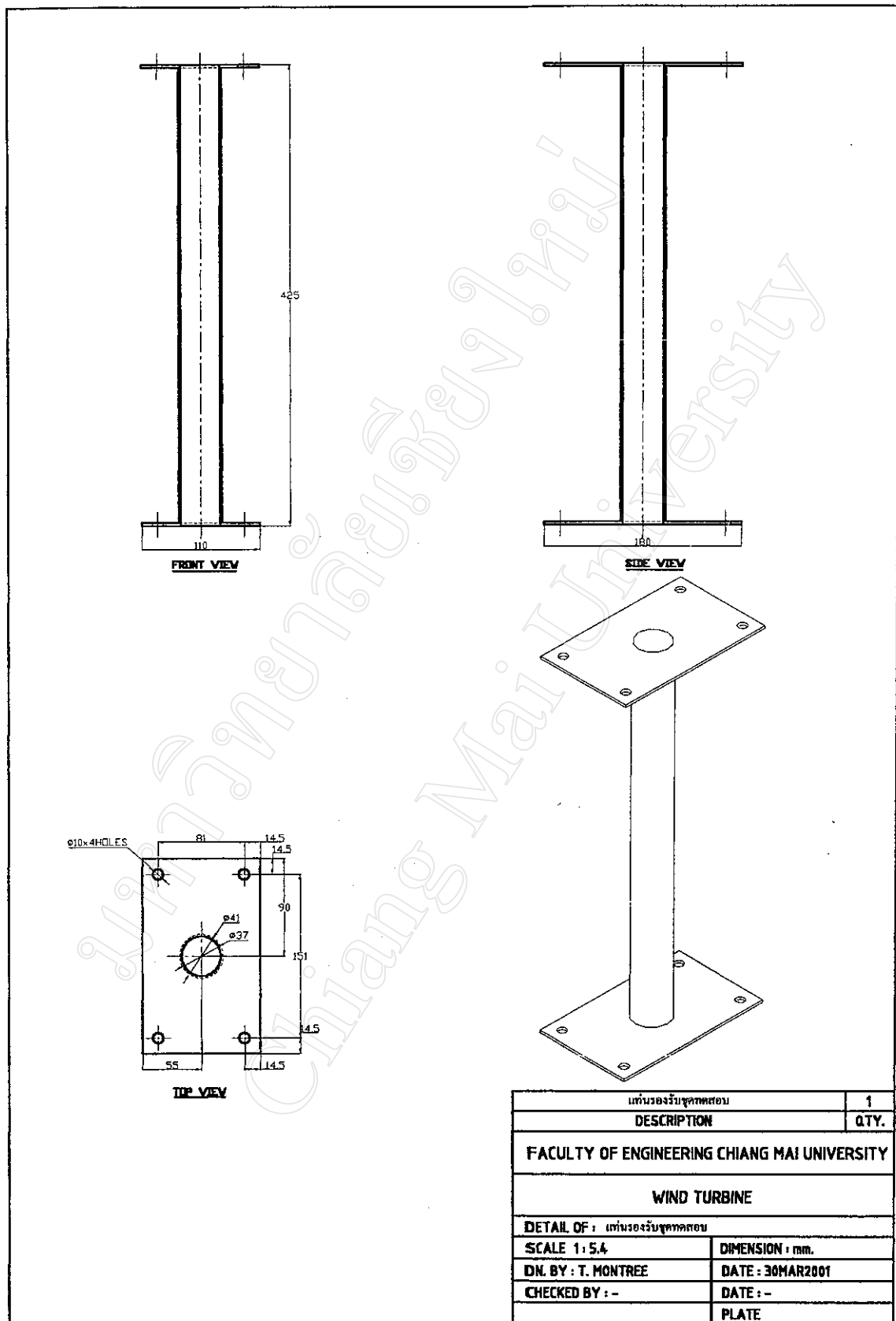
รูปที่ 3.16 การติดตั้งแผ่นทองแดงลงในร่องแปลงถ่าน

ขั้นที่ 7. เมื่อกาวแห้งใช้ตะไบขนาดเล็กตกแต่งบริเวณรอยต่อระหว่างขอบของแผ่นทองแดงให้เรียบ เพื่อป้องกันการสะดุดของแท่งแปลงถ่านในขณะที่เพลาโรเตอร์หมุน

บนเพลาโรเตอร์ส่วนหลังถัดจากร่องแปลงถ่าน ได้ถูกติดตั้งแผ่นตัดลำแสงเซนเซอร์ (หมายเลข 10) ซึ่งทำจากกระดาษแข็งฟันสีดำ หนา 0.5 มิลลิเมตร นำมาตัดให้มีรูปร่างและขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.17 เพื่อใช้สำหรับตัดลำแสงจากเซนเซอร์แสงอินฟราเรด (หมายเลข 9) ยี่ห้อ OMRON รุ่น P3W77 ที่ตำแหน่งด้านล่างของเพลาโรเตอร์ส่วนหลังบริเวณร่องแปลงถ่านได้ถูกติดตั้งแท่งพลาสติกบรรจุแท่งแปลงถ่าน (หมายเลข 5) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.17 เพื่อใช้สำหรับบรรจุแท่งแปลงถ่าน (หมายเลข 6) จำนวน 8 แท่ง สปริงทางด้านล่างของแท่งแปลงถ่านแต่ละแท่งถูกบัดกรีเชื่อมต่อกับสายไฟเพื่อต่อไปยังชุดควบคุม ผ่านทางท่อกลวงด้านในของแท่นรองรับชุดทดสอบ (หมายเลข 18) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 รูปร่างและขนาดของแผ่นยึดกับโครงรับแรงดันและแผ่นรองท่อติดกับโครงรับแรงดัน



รูปที่ 3.18 รูปร่างและขนาดของแท่นรองรับชุดทดสอบ

3.1.2 การสร้างชุดควบคุมการทำงานของกลไก

ชุดควบคุมการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม มีส่วนประกอบหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.19 แสดงส่วนประกอบของชุดควบคุมการทำงานของกลไกที่ออกแบบ

3.1.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัทลาร์เสิร์ช จำกัด รุ่น ANT-32 V3.0 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ก)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์แสงอินฟาเรดซึ่งคอยจับความเร็วรอบของกังหันลม และทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ในการปรับกลไกให้ใบพัดรับลมมากขึ้นหรือน้อยลงตามความเร็วรอบของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อควบคุมความเร็วรอบของกังหันลมให้คงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1.2.2 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ ของบริษัทลาร์เสิร์ช จำกัด รุ่น EX-STEP 4 STEPPER MOTOR DRIVER BOARD (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ก)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับสเต็ปมอเตอร์ผ่านทางชุดแปลงถ่าน (Slip-Rings) เพื่อให้สเต็ปมอเตอร์หมุนในทิศทางและความเร็วที่ต้องการ โดยรับคำสั่งในการทำงานจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

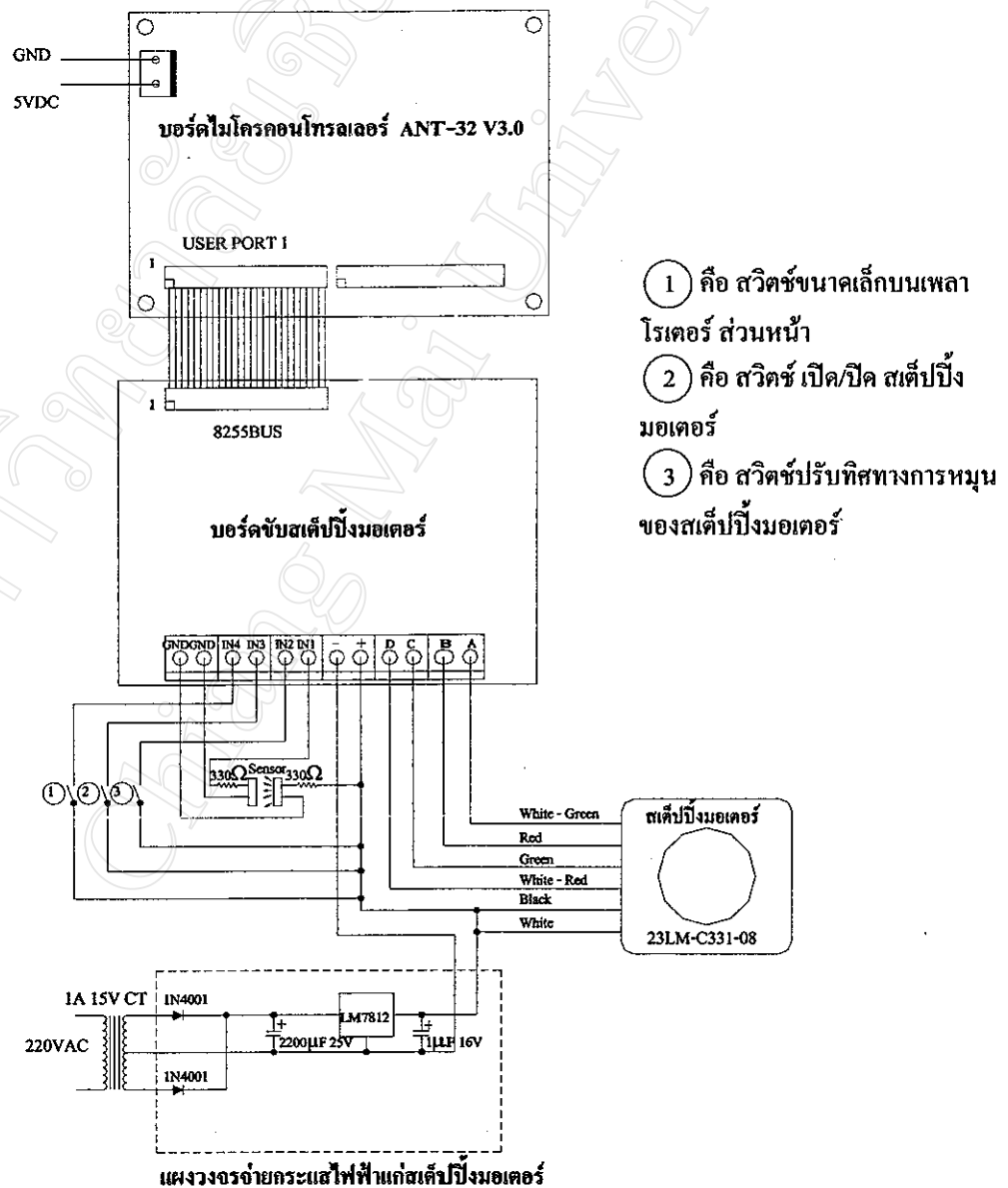
3.1.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า ชนิด 1A 15V CT

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 15 โวลต์ กระแส 1 แอมแปร์ เพื่อใช้ขับสแต็ปปั๊มมอเตอร์

3.1.2.4 แผงวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่สแต็ปปั๊มมอเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับกระแสไฟฟ้าที่มาจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่สแต็ปปั๊มมอเตอร์ ให้มีความราบเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น

รายละเอียดของวงจรชุดควบคุมการทำงานของกลไกแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงวงจรภายในของชุดควบคุมการทำงานของกลไกที่ออกแบบ

3.2 การคำนวณ

3.2.1 การคำนวณความเหมาะสมของขนาดใบพัดกังหันลมที่ออกแบบ

เนื่องจากหน้าตัดใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบเป็นแอร์ฟอยล์ชนิด U.S.A.35-B ดังนั้นจากรูปที่ จ-1 ในภาคผนวก จ พบว่า $C_{L0} = 0.38$ และในช่วงมุมปะทะก่อนถึงจุดร่วงหล่น ($-8^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$) จะได้ $C_L' = 3.98$ ซึ่งข้อกำหนดของกรรอกแบบ มีดังนี้

รัศมีใบพัด, $R = 0.42$ m

จำนวนใบพัด, $B = 2$ ใบพัด

ความยาวคอร์ด, $c = 0.06$ m

คำนวณ λ โดยใช้สมการ (2.8)

$$\frac{8\pi R}{Bc\lambda C_L} = 3 \quad \text{.....(2.8)}$$

หรือ

$$\lambda = \frac{8\pi R}{3BcC_L} \quad \text{.....(2.8.1)}$$

แทนค่าข้อมูลของใบพัดกังหันลมที่ออกแบบ ลงในสมการ (2.8.1) จะได้

$$\lambda = \frac{8\pi \times 0.42}{3 \times 2 \times 0.06 \times 3.98} = 7.37$$

เปรียบเทียบค่า λ ที่คำนวณได้ กับค่าในตาราง 2.1 พบว่าขนาดของใบพัดที่ออกแบบมีความสัมพันธ์กับจำนวนใบพัดของกังหันลมที่เลือกใช้ ดังนั้นขนาดของใบพัดจึงมีความเหมาะสมกับจำนวนใบพัดที่ใช้

3.2.2 การคำนวณขนาดมุมพิทช์ของใบพัดกังหันลม (β) ในสภาวะการทำงานปกติ

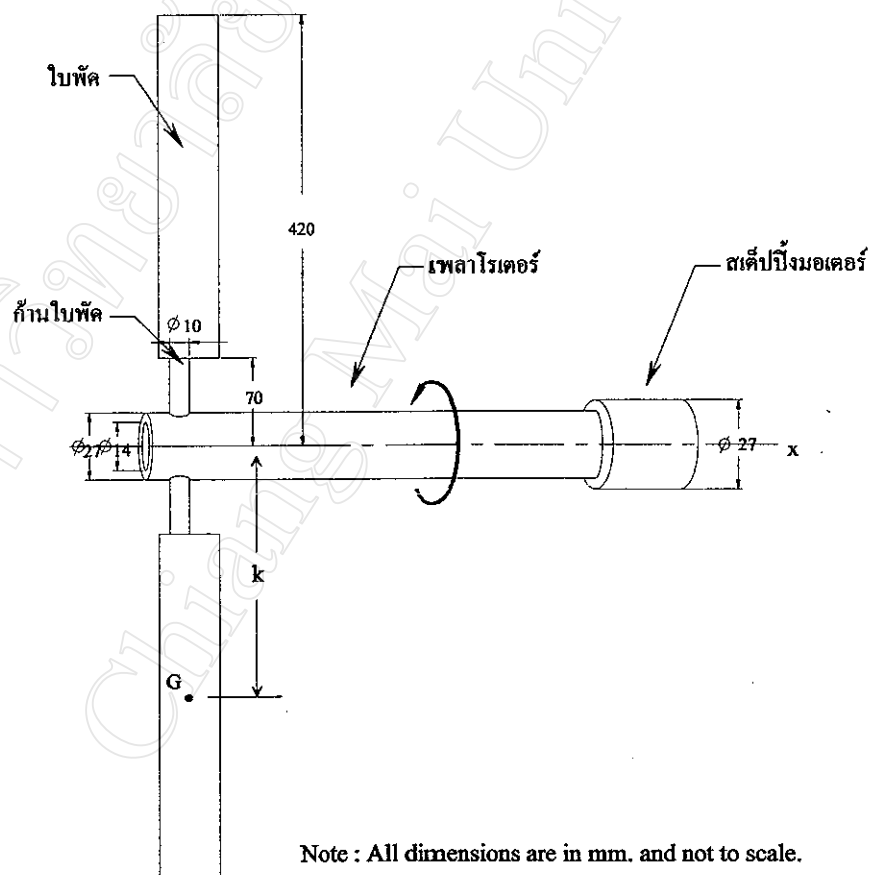
จากสมการ (2.7)

$$\beta = \frac{C_{L0}}{C_L} \quad \text{.....(2.7)}$$

แทนค่า C_{L0} และ C_L' ลงในสมการ (2.7) จะได้ขนาดของมุมพิทธีไบพัตกัณฑ์ใน
สภาวะการทำงานปกติ คือ

$$\beta = \frac{0.38}{3.98} = 0.095 \text{ เรเดียน หรือ } 5.44 \text{ องศา}$$

3.2.3 การคำนวณ โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) ของกัณฑ์ที่ออกแบบ
พิจารณากัณฑ์ที่ออกแบบมีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 รูปร่างและขนาดของกัณฑ์ที่ใช้พิจารณาหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

จากรูปที่ 3.21 มวลของแต่ละชิ้นส่วน มีดังนี้

มวลเพลารอเตอร์, $m_r = 0.72 \text{ kg}$

มวลสตีปิ้งมอเตอร์, $m_s = 0.32 \text{ kg}$

มวลก้านใบพัด (1 ข้าง), $m_{bs} = 0.026 \text{ kg}$

มวลใบพัด (1 ใบพัด), $m_b = 0.082 \text{ kg}$

การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของกังหันลมที่ออกแบบรอบแกน x ดังแสดงใน

รูปที่ 3.21 สามารถแยกพิจารณาออกเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

1. โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลารอเตอร์

พิจารณาเพลารอเตอร์ของกังหันลมเป็นทรงกระบอกกลวง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 27 มิลลิเมตร จากตาราง จ-2 ในภาคผนวก จ จะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของเพลารอเตอร์ คือ

$$(I_{xx})_r = m_r r_r^2 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

โดยที่

$$(I_{xx})_r = \text{โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลารอเตอร์รอบแกน x, kg.mm}^2$$

$$m_r = \text{มวลของเพลารอเตอร์, kg}$$

$$r_r = \text{รัศมีของเพลารอเตอร์, mm}$$

จากรูปที่ 3.21

$$r_r = \frac{14}{2} + \left(\frac{\frac{27}{2} - \frac{14}{2}}{2} \right) = 10.25 \text{ mm}$$

ดังนั้นจากสมการ (3.1) จะได้

$$(I_{xx})_r = 0.72 \text{ kg} \times (10.25 \text{ mm})^2 = 75.65 \text{ kg.mm}^2$$

2. โมเมนต์ความเฉื่อยของสตีปิ้งมอเตอร์

พิจารณาสตีปิ้งมอเตอร์เป็นเพลาดัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร จากตาราง จ-2 ในภาคผนวก จ จะได้ค่าโมเมนต์ค่าความเฉื่อยของสตีปิ้งมอเตอร์ คือ

$$(I_{xx})_s = \frac{1}{2} m_s r_s^2 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

โดยที่

$(I_{xx})_s$ = โมเมนต์ความเฉื่อยของสเต็ปป์มอเตอร์รอบแกน x, kg.mm^2

m_s = มวลของสเต็ปป์มอเตอร์, kg

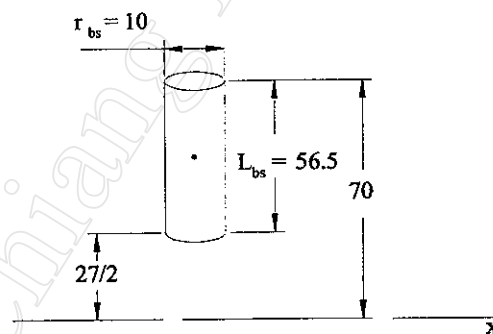
r_s = รัศมีของสเต็ปป์มอเตอร์, mm

ดังนั้นจากสมการ (3.2) จะได้

$$(I_{xx})_s = \frac{1}{2} \times 0.32 \text{ kg} \times \left(\frac{58}{2} \text{ mm} \right)^2 = 134.56 \text{ kg.mm}^2$$

3. โมเมนต์ความเฉื่อยของก้านใบพัดกังหันลม

พิจารณาก้านใบพัดกังหันลมเป็นเพลาค้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 56.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.22 จากตาราง จ-2 ในภาคผนวก จ และหลักการย้ายแกนแบบขนาน จะได้ค่าโมเมนต์ค่าความเฉื่อยของก้านใบพัด คือ



Note : All dimensions are in mm. and not to scale.

รูปที่ 3.22 แสดงรูปร่างของก้านใบพัดกังหันลมสำหรับคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

$$(I_{xx})_{bs} = \left(\frac{1}{4} m_{bs} r_{bs}^2 + \frac{1}{12} m_{bs} L_{bs}^2 \right) + m_{bs} \left(\frac{L_{bs}}{2} + \frac{27}{2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

หรือ

$$(I_{xx})_{bs} = m_{bs} \left[\frac{1}{12} (3r_{bs}^2 + L_{bs}^2) + \left(\frac{L_{bs}}{2} + \frac{27}{2} \right)^2 \right] \quad \dots\dots(3.3.1)$$

โดยที่

$(I_{xx})_{bs}$ = โมเมนต์ความเฉื่อยของก้านใบพัดกึ่งหันลมรอบแกน x, kg.mm^2

m_{bs} = มวลของก้านใบพัด, kg

r_{bs} = รัศมีของก้านใบพัด, mm

L_{bs} = ความยาวของก้านใบพัด, mm

ดังนั้นจากสมการ (3.3.1) จะได้

$$(I_{xx})_{bs} = 0.026 \text{ kg} \left[\frac{1}{12} \left(3 \left(\frac{10}{2} \text{ mm} \right)^2 + (56.5 \text{ mm})^2 \right) + \left(\frac{56.5}{2} + \frac{27}{2} \right)^2 \text{ mm}^2 \right]$$

$$(I_{xx})_{bs} = 52.40 \text{ kg.mm}^2 \times 2 \text{ ข้าง} = 104.80 \text{ kg.mm}^2$$

4. โมเมนต์ความเฉื่อยของใบพัดกึ่งหันลม

เนื่องจากใบพัดกึ่งหันลมไม่เป็นวัตถุเนื้อเดียว ดังนั้นการคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยจึงพิจารณาใบพัดกึ่งหันลมเป็นก้อนวัตถุ ซึ่งมีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่จุดกึ่งกลางของใบพัดและระยะจากจุดศูนย์กลางมวลถึงแกน x ในรูปที่ 3.21 เรียกว่า รัศมีไจเรชั่น (Radius of Gyration) ดังนั้นโมเมนต์ความเฉื่อยของใบพัดกึ่งหันลม คือ

$$(I_{xx})_b = m_b k^2 \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

โดยที่

$(I_{xx})_b$ = โมเมนต์ความเฉื่อยของใบพัดกึ่งหันลมรอบแกน x, kg.mm^2

m_b = มวลของใบพัดกึ่งหันลม, kg

k = รัศมีไจเรชั่น, mm

$$\text{จากรูปที่ 3.21 รัศมีไจเรชั่น, } k = \frac{350}{2} + 70 = 245 \text{ mm}$$

ดังนั้น จากสมการ (3.4) จะได้

$$(I_{xx})_b = 0.082 \text{ kg} \times (245 \text{ mm})^2 \times 2 \text{ ใบพัด} = 9,844.10 \text{ kg.mm}^2$$

เพราะฉะนั้นจะได้โมเมนต์ความเฉื่อยรวมของกังหันลม คือ

$$I_{wt} = (I_{xx})_r + (I_{xx})_s + (I_{xx})_{bs} + (I_{xx})_b \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

โดยที่

$$I_{wt} = \text{โมเมนต์ความเฉื่อยรวมของกังหันลม, kg.mm}^2$$

$$I_{wt} = (75.65 + 134.56 + 104.80 + 9844.10) \text{ kg.mm}^2 = 10,159.11 \text{ kg.mm}^2$$

หรือ

$$I_{wt} \approx 1.02 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$$