

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดสอบ

5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 สำหรับควบคุมกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม เพื่อให้กังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่เมื่อความเร็วรอบสูงเกินค่าที่ได้กำหนดไว้ในสภาวะการทำงานปกติ จากการออกแบบและดำเนินการสร้างกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมเพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของกลไก จะมีรายละเอียดและส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

5.1.1 อุโมงค์ลม



รูปที่ 5.1 อุโมงค์ลมสำหรับใช้ทดสอบการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม

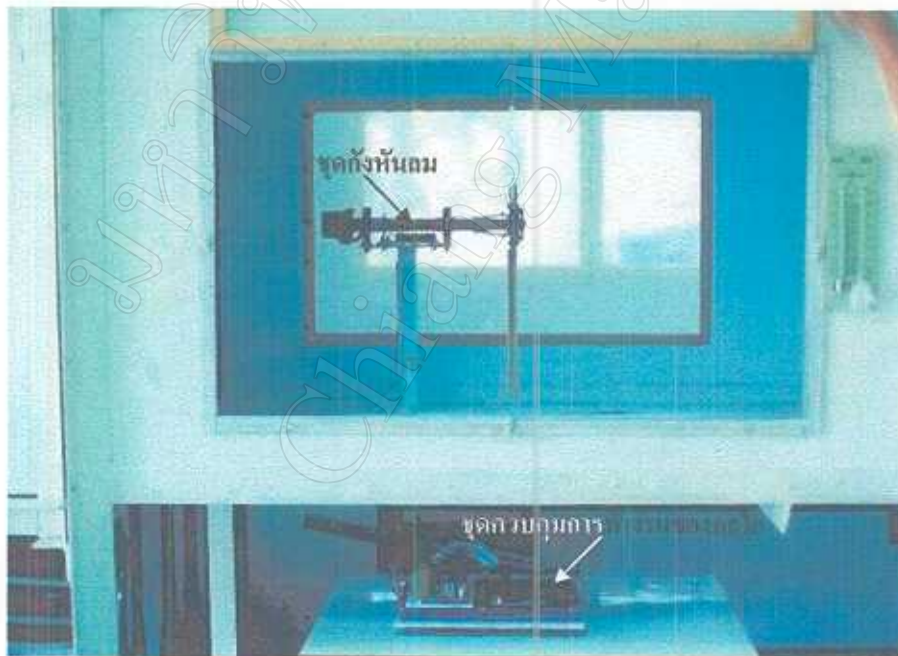
อุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เป็นส่วนที่ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดกังหันลมที่ออกแบบ เป็นอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดชนิดดูด มีขนาดหน้าตัดทำงาน 0.9×1.2 เมตร และมีความยาวตลอดประมาณ 6 เมตร โดยทิศทางตั้งแต่ปากทางเข้าตลอดจนถึงปากทางออกของลม ภายในบุผนังด้วยไม้อัดเคลือบฟอโรเมกาหนา 0.01 เมตร มี

ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ปากทางเข้าแบบปากกระฉิ่งหน้าตัด 1.8×2.1 เมตร มีรังผึ้งพลาสติกโดยมีขนาดของช่องเล็กๆ (พื้นที่หน้าตัด $\times$ ความลึก) $0.1 \times 0.1 \times 0.2$ เมตร ติดตั้งที่ด้านทางเข้า และมีลวดกรงไก่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดประมาณ 0.0016 เมตร ขนาดช่อง 0.025×0.025 เมตร เพื่อใช้สำหรับกันวัสดุหลุดเข้าชุดใบพัดซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร มีจำนวนใบพัดทั้งหมด 6 ใบพัด ใช้มอเตอร์ MITSUBISHI 3.7 กิโลวัตต์ (5 แรงม้า) ชนิด 3 เฟส และชุดควบคุมรอบมอเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ (Inverter) ยี่ห้อ YASKAWA รุ่น 606PC3 ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ ชนิด 3 เฟส

5.1.2 ชุดทดสอบกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม

ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ชุดกังหันลมและชุดควบคุมการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1.2.1 ชุดกังหันลม เป็นส่วนที่ถูกติดตั้งภายในอุโมงค์ลม กังหันลมเป็นชนิดแกนเพลานอน มีจำนวนใบพัด 2 ใบพัด มีรัศมีการหมุนโดยวัดจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงปลายใบพัดแต่ละข้าง 42 เซนติเมตร มีความสูงจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงผนังอุโมงค์ลมด้านล่าง 45 เซนติเมตร และได้มีการออกแบบติดตั้งกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ใบพัดเข้ากับกังหันลม ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบขณะติดตั้งภายในอุโมงค์ลม

5.1.2.2 ชุดควบคุมการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ เป็นส่วนที่ถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอุโมงค์ลม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม ซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 5.3

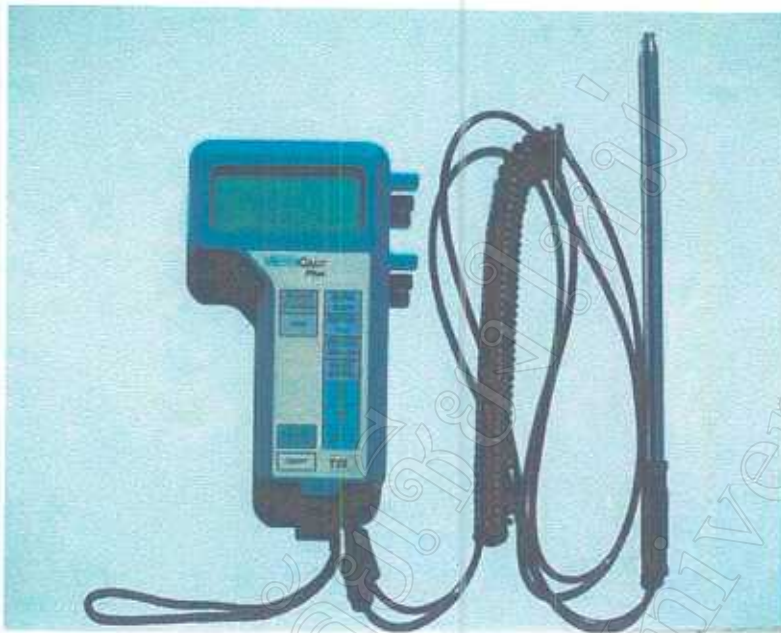


รูปที่ 5.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดควบคุมการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม

5.1.3 ชุดเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลของการประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับควบคุมกลไกปรับมุมใบพัดของกังหันลมจะทำการเก็บข้อมูล 2 แบบ คือ เก็บข้อมูลความเร็วลมที่พัดเข้าปะทะกังหันลม และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม ในการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของกังหันลมให้คงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อความเร็วรอบสูงเกินค่าที่ได้กำหนดไว้ในสภาวะการทำงานปกติ โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลประกอบด้วย

5.1.3.1 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน (Hot Wire) ยี่ห้อ TSI รุ่น 8384-M-GB สามารถแสดงผลของความเร็วได้ถึง 1/100 เมตร/วินาที มีช่วงของการควบคุมอุณหภูมิ 0°C ถึง 60°C มีความแม่นยำในการวัด 3 % หรือ 0.015 เมตร/วินาที สามารถบันทึกค่าความเร็วลมได้ทุกๆ 2 5 10 15 และ 20 วินาที ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความเร็วลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลมภายในอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร่อน

5.1.3.2 เครื่องวัดความเร็วรอบ ยี่ห้อ MONARCH รุ่น TACH-4A ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบการหมุนของกังหันลม มีความสามารถในการวัดรอบได้ตั้งแต่ 5 ถึง 500,000 รอบ/นาที มีความไม่แน่นอนในการวัดใน 3 ช่วงการวัดของการ

ทดสอบ (10 ถึง 99 100 ถึง 999 และ 1,000 ถึง 9,999 รอบ/นาที) เท่ากับ ± 0.001 ± 0.01 และ ± 0.1 รอบ/นาที ตามลำดับ ระยะในการส่งสัญญาณเซนเซอร์ไม่เกิน 0.9144 เมตร และมุมในการวัดไม่เกิน 45 องศา

5.1.3.3 นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ Hanhart ใช้สำหรับจับเวลาเพื่ออ่านค่าความเร็วรอบการหมุนของกังหันลมเมื่อถึงเวลาที่กำหนด มีความละเอียดสูงสุดที่ 1/5 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 นาฬิกาจับเวลา

5.2 วิธีดำเนินการวิจัย ขั้นตอนดำเนินการวิจัย มีดังนี้

5.2.1 ศึกษาทฤษฎีและสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในเรื่องเกี่ยวกับการออกแบบกังหันลม การออกแบบวงจรไฟฟ้า การเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

5.2.2 ศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างกังหันลมพร้อมกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ ใบพัดของกังหันลม เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบและดำเนินการสร้าง คือ การศึกษาข้อมูล และรายละเอียดของอุโมงค์ลมสำหรับทดสอบการทำงานของกลไก เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการออกแบบและคำนวณขนาดของกังหันลม

5.2.3 คำนวณและออกแบบกังหันลม พร้อมกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ใบพัดสำหรับกังหันลม ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณและออกแบบดังนี้

ก. เลือกชนิดของใบพัดกังหันลม ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะใช้ใบพัดกังหันลมเป็นแอร์ฟอยล์ชนิด U.S.A.35-B

ข. กำหนดรายละเอียดต่างๆ ของใบพัดกังหันลม คือ รัศมีใบพัด (R) จำนวนใบพัด (B) และความยาวคอรัศของใบพัด (c) ซึ่งในการออกแบบได้กำหนดไว้ดังนี้

$$R = 42 \text{ เซนติเมตร}$$

$$B = 2 \text{ ใบพัด}$$

$$c = 6 \text{ เซนติเมตร}$$

ค. กำหนดขนาดของมุมพิทช์ในสภาวะการทำงานปกติของกังหันลม ซึ่งได้ผลการคำนวณ คือ 5.44 องศา

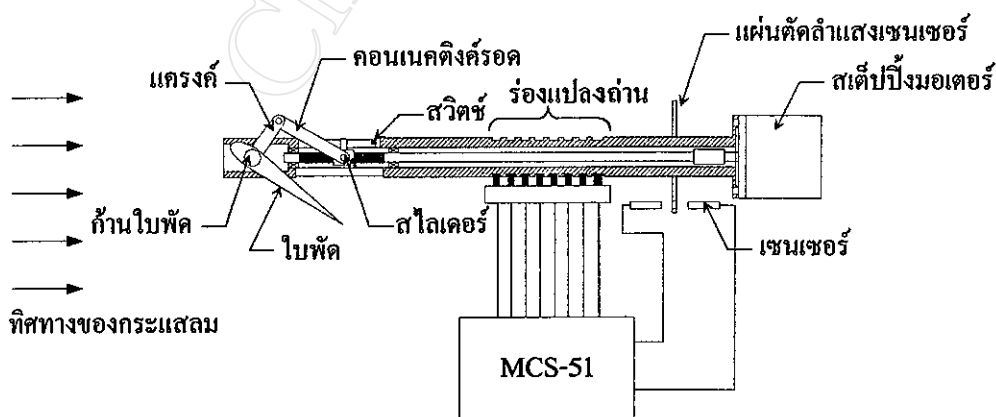
ง. ออกแบบกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม และชุดควบคุมการทำงานของกลไกที่ออกแบบ

จ. ศึกษาการตอบสนองของระบบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ โดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมอัตโนมัติ

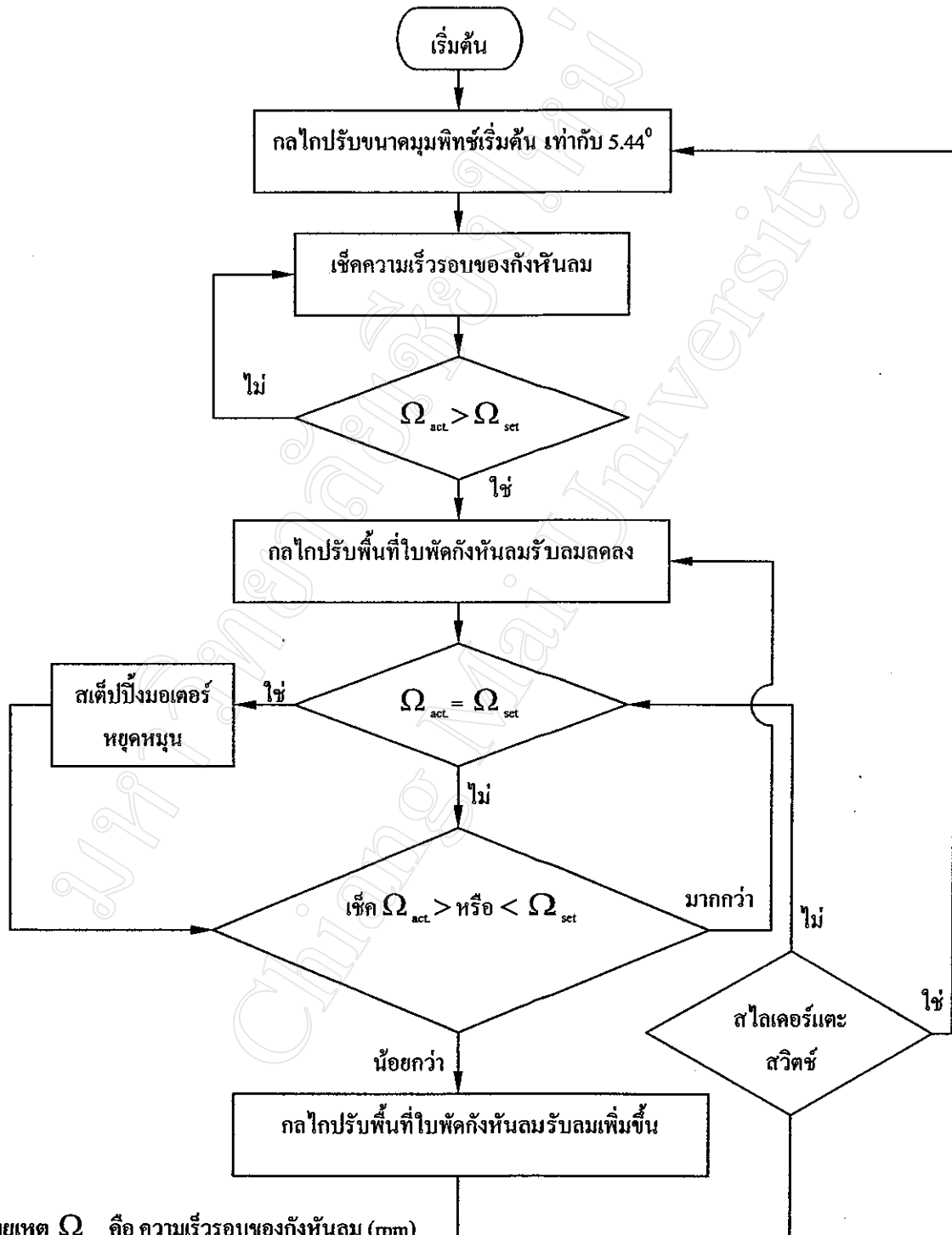
5.2.4 สร้างกังหันลมพร้อมกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ของใบพัดตามที่ได้ออกแบบไว้

5.2.5 ติดตั้งกังหันลมพร้อมกลไกสำหรับปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว เข้ากับชุดควบคุมการทำงานของกลไก

5.2.6 เขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของกลไกที่ออกแบบ ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ได้กำหนดความเร็วรอบของกังหันลมที่ต้องการควบคุมไว้ที่ 100 รอบ/นาที โดยมีรูปแบบการทำงานของกลไกและแผนผังแสดงการทำงานของกลไก ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 รูปแบบการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ

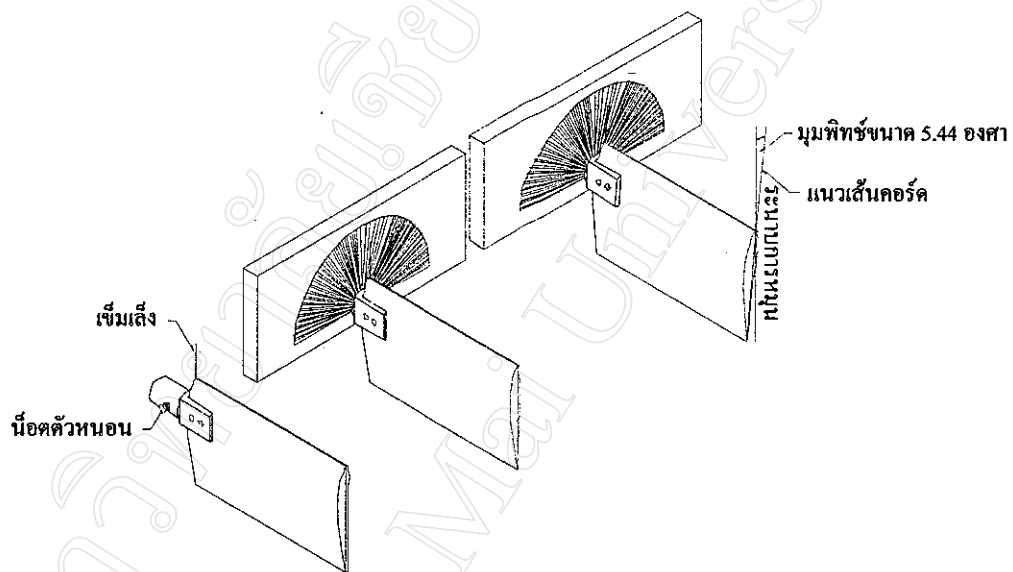


หมายเหตุ Ω_{act} คือ ความเร็วรอบของกังหันลม (rpm)

Ω_{set} คือ ความเร็วรอบที่กำหนด เท่ากับ 100 rpm

รูปที่ 5.8 แสดงอัลกอริทึมของระบบกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ

จากรูปที่ 5.8 เมื่อกลไกเริ่มต้นทำงาน สเต็ปป์มอเตอร์จะหมุนปรับสไลเดอร์ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำให้ใบพัดของกังหันลมรับลมมากขึ้น (ขนาดมุมพิทช์เล็กลง) หรือทิศทางเข้าหาสวิทช์ (ดูรูปที่ 5.7 ประกอบ) เมื่อสไลเดอร์และสวิทช์ สเต็ปป์มอเตอร์จะหมุนกลับไปในทิศทางตรงข้ามจำนวน 2 รอบ หรือ 720° แล้วหยุดหมุน ที่ตำแหน่งนี้มุมพิทช์ของใบพัดกังหันลมจะถูกตั้งให้มีขนาดเท่ากับ 5.44° ซึ่งเป็นขนาดของมุมพิทช์ที่คำนวณได้ในสภาวะการทำงานปกติ และมีวิธีการปรับดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การปรับขนาดมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมในสภาวะเริ่มต้นการทำงานของกลไก

รูปที่ 5.9 เป็นรูปแสดงการปรับขนาดมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมในสภาวะเริ่มต้นการทำงานของกลไก ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ก. ดึงเข็มเล็ง (Pin) ในแนวเส้นคอร์คของหน้าตัดใบพัดกังหันลม
- ข. คลายน็อตตัวหนอนให้หลวม เพื่อปลดล็อก ซึ่งจะทำได้ด้วยคีมจับใบพัดสามารถหมุนได้
- ค. นำตัวช่วยปรับมุมพิทช์ซึ่งสร้างจากไม้บาชาร์เคลือบผิวด้วยพลาสติกพีวีซีขาว ด้านสำหรับวัดมุมทำเป็นสเกลมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม รัศมี 0.05 เมตร สวมเข้ากับก้านใบพัด
- ง. ปรับหมุนตัวยึดจับใบพัด ให้แนวของเข็มเล็งซ้อนทับกับแนวเส้นมุมองศาบนตัวช่วยปรับมุมพิทช์ ทำมุม 5.44 องศา กับระนาบการหมุน (ดูรูปที่ 5.9 ประกอบ)

จ. ชันน็อตตัวหนอนยัดตัวยัดจับใบพัดให้แน่น และเข็มเล็งและตัวช่วยปรับมุมพิทช์ออก เมื่อกังหันลมเริ่มหมุนเนื่องจากมีกระแสลมพัดเข้าปะทะ เซนเซอร์แสงจะทำหน้าที่คอยตรวจจับความเร็วรอบของกังหันลมอยู่ตลอดเวลา เมื่อพบว่าความเร็วรอบของกังหันลมสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ ชุดควบคุมการทำงานของกลไกจะส่งสัญญาณมายังสเต็ปปีงมอเตอร์ให้ทำการหมุนปรับสไลเดอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำให้ใบพัดของกังหันลมรับลมน้อยลง (มุมพิทช์มีขนาดใหญ่ขึ้น) หรือทิศทางออกห่างจากสวิตช์ (ดูรูปที่ 5.7 ประกอบ) และเมื่อพบว่าความเร็วรอบของกังหันลมต่ำกว่าค่าที่กำหนด สเต็ปปีงมอเตอร์จะหมุนปรับสไลเดอร์ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำให้ใบพัดของกังหันลมรับลมมากขึ้น (ขนาดมุมพิทช์เล็กลง) หรือทิศทางเข้าหาสวิตช์ (ดูรูปที่ 5.7 ประกอบ) เพื่อต้องการควบคุมกังหันลมให้หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ จนกระทั่งเมื่อสไลเดอร์เคลื่อนที่กลับมาแตะสวิตช์ เนื่องจากความเร็วรอบของกังหันลมลดต่ำลงเรื่อยๆ จะทำให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนกลับไปในทิศทางตรงข้ามจำนวน 2 รอบ หรือ 720 องศา แล้วหยุดหมุน ทำให้ขนาดของมุมพิทช์กลับเข้าสู่ขนาดเริ่มต้น คือประมาณ 5.44 องศาเดิม เป็นตำแหน่งที่กลไกเตรียมพร้อมทำงานอีกครั้งหนึ่ง

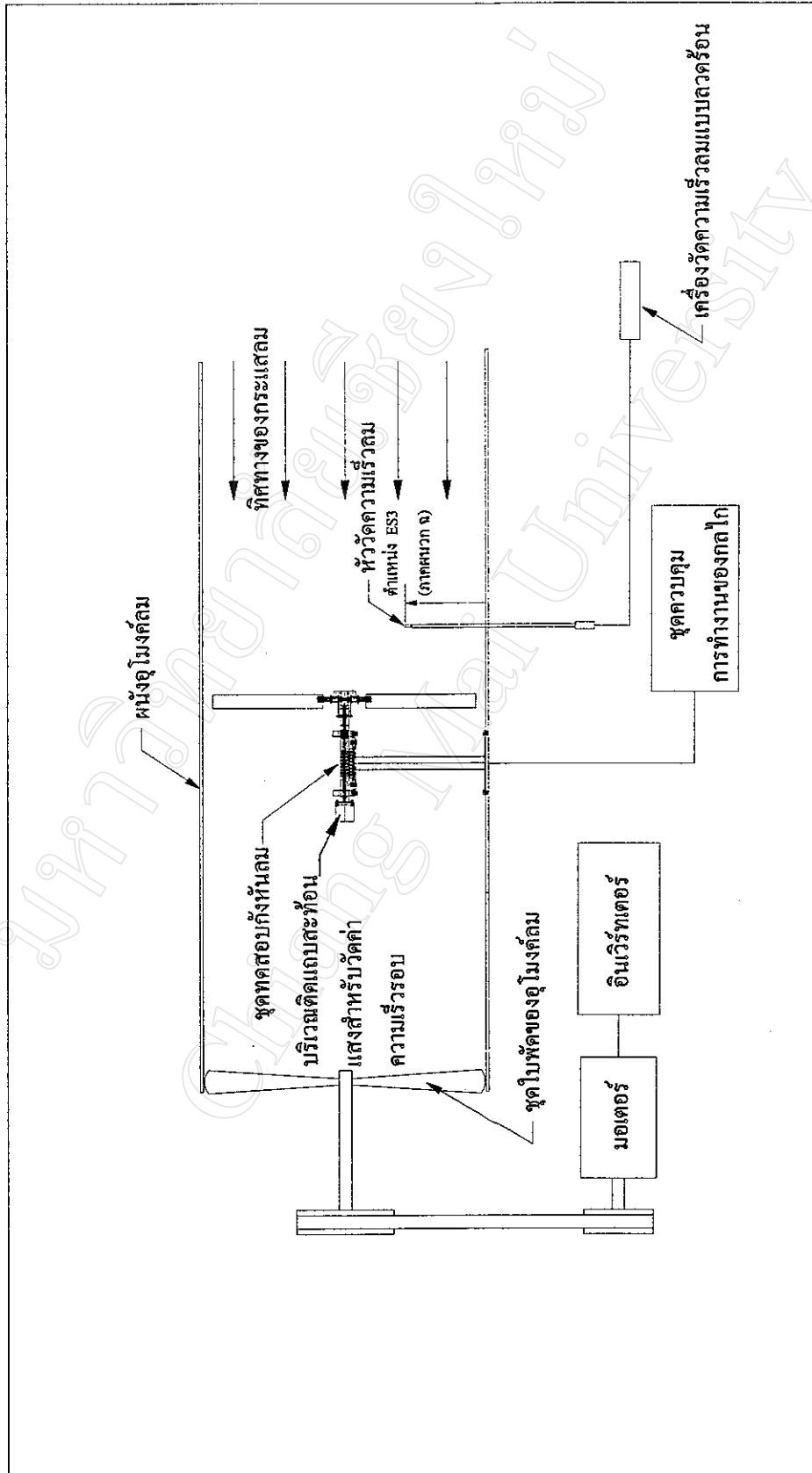
5.2.7 ทดสอบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานและการตอบสนองของระบบในการปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม เพื่อควบคุมให้กังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ตามที่กำหนดไว้ เมื่อความเร็วรอบสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะการทำงานปกติ

5.2.8 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ และเปรียบเทียบผลของการตอบสนองของระบบควบคุมที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.2.9 ทำการวิเคราะห์ สรุปผลการทดสอบ ประเมินผล ข้อเสนอแนะ และจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

5.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ จะทำการทดสอบโดยติดตั้งชุดกังหันลมภายในอุโมงค์ลมและต่อสายไฟมายังชุดควบคุมการทำงานของกลไกทางด้านล่างของอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 5.10 นำแท่งวัดความเร็วลมแบบลวดร้อนสอดเข้าด้านใต้ของอุโมงค์ลม โดยให้ปลายของหัววัดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งในที่นี้คือ ตำแหน่ง ES3 บนภาคตัด A-A ของอุโมงค์ลม (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ฉ)



รูปที่ 5.10 การติดตั้งชุดทดสอบกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมภายในอุโมงค์ลม

การทดสอบประกอบด้วย 4 ตอน ดังต่อไปนี้

5.3.1 ตอนที่ 1 ทดสอบความสามารถของกลไกที่ออกแบบ ในการควบคุมกังหันลมให้หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ เมื่อกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลมมีความเร็วเพิ่มขึ้น มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

5.3.1.1 เดินเครื่องอุโมงค์ลม โดยใช้ความถี่ของอินเวอร์เตอร์เริ่มต้นในการทดสอบ 15 เฮิร์ต (Hz)

5.3.1.2 บันทึกค่าความเร็วของกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลม โดยสามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

5.3.1.3 รอจนกระทั่งความเร็วรอบของกังหันลมเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady-state) คือ ประมาณ 90 วินาที จึงเริ่มทำการบันทึกค่าความเร็วรอบของกังหันลมทุกๆ 10 วินาที โดยใช้เวลาในการบันทึกข้อมูลทั้งหมด 120 วินาที

5.3.1.4 ทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ 4.3.1.1 ถึง 4.3.1.3 ซ้ำอีกครั้ง แต่เปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์สำหรับการทดสอบเป็น 20 25 และ 30 เฮิร์ต ตามลำดับ

5.3.1.5 ทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อ่านได้

หมายเหตุ การเปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ จะทำการเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุดเดินเครื่อง และเริ่มบันทึกค่าความเร็วรอบของกังหันลมเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 90 วินาที ภายหลังจากเปลี่ยนความถี่ในแต่ละค่า

5.3.2 ตอนที่ 2 ทดสอบความสามารถของกลไกที่ออกแบบ ในการควบคุมกังหันลมให้หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ เมื่อกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลมมีความเร็วลดลง มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

5.3.2.1 เดินเครื่องอุโมงค์ลม โดยใช้ความถี่ของอินเวอร์เตอร์เริ่มต้นในการทดสอบ 30 เฮิร์ต

5.3.2.2 บันทึกค่าความเร็วของกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลม โดยสามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

5.3.2.3 รอจนกระทั่งความเร็วรอบของกังหันลมเข้าสู่สภาวะคงที่ คือ ประมาณ 90 วินาที จึงเริ่มทำการบันทึกค่าความเร็วรอบของกังหันลมทุกๆ 10 วินาที โดยใช้เวลาในการบันทึกข้อมูลทั้งหมด 120 วินาที

5.3.2.4 ทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ 5.3.2.1 ถึง 5.3.2.3 ซ้ำอีกครั้ง แต่เปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์สำหรับการทดสอบเป็น 25 20 และ 15 เฮิร์ต ตามลำดับ

5.3.2.5 ทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อ่านได้

หมายเหตุ การเปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ จะทำการเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุดเดินเครื่อง และเริ่มบันทึกค่าความเร็วรอบของกังหันลมเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 90 วินาที ภายหลังจากเปลี่ยนความถี่ในแต่ละค่า

5.3.3 ตอนที่ 3 ทดสอบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ เมื่อมีกระแสลมพัดกรรโชกเข้าปะทะกังหันลมในขณะที่กังหันลมอยู่นิ่ง มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

5.3.3.1 เดินเครื่องอุโมงค์ลม โดยปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เริ่มต้น 30 เฮิร์ต

5.3.3.2 บันทึกค่าความเร็วของกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลม โดยสามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

5.3.3.3 ปลดปล่อยกังหันลมให้เริ่มหมุนจากจุดหยุดนิ่ง และบันทึกค่าความเร็วรอบของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 5 วินาที จนกระทั่งครบ 120 วินาที

5.3.3.4 ทดสอบขั้นตอนที่ 5.4.3.1 ถึง 5.4.3.3 ซ้ำอีกครั้ง แต่เปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้ในการทดสอบเป็น 25 และ 20 เฮิร์ต ตามลำดับ

5.3.3.4 ทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อ่านได้

5.3.4 ตอนที่ 4 ทดสอบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ เมื่อมีกระแสลมพัดกรรโชกเข้าปะทะกังหันลม ในขณะที่กังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

5.3.4.1 เดินเครื่องอุโมงค์ลม โดยปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เริ่มต้น 15 เฮิร์ต

5.3.4.2 บันทึกค่าความเร็วของกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลม โดยสามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน และรอจนกระทั่งกังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่

5.3.4.3 ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เป็น 30 เฮิร์ต ในทันที บันทึกค่าความเร็วของกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลม โดยสามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน และค่าความเร็วรอบของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 5 วินาที จนกระทั่งครบ 120 วินาที

5.3.4.4 ทดสอบขั้นตอนที่ 5.4.4.1 ถึง 5.4.4.3 ซ้ำอีกครั้ง แต่เปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้ในการทดสอบในขั้นตอนที่ 5.4.4.3 เป็น 25 เฮิร์ต และ 20 เฮิร์ต ตามลำดับ

5.3.4.5 ทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อ่านได้

5.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบในงานวิจัย มีดังนี้

5.4.1 วิเคราะห์ความสามารถของกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ ในการควบคุมความเร็วรอบของกังหันลมให้คงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ เมื่อความเร็วของกระแสลมที่ไหลเข้าปะทะกังหันลมเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบตอนที่ 1 และตอนที่ 2

5.4.2 วิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองของระบบกลไกและระยะเวลาการตอบสนองของระบบควบคุมในการปรับความเร็วรอบของกังหันลมให้เข้าสู่ค่าความเร็วรอบที่กำหนด เมื่อมีกระแสลมพัดกรโชกเข้าปะทะกังหันลมในขณะที่กังหันลมอยู่นิ่ง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบตอนที่ 3 และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.4.3 วิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองของระบบกลไกและระยะเวลาการตอบสนองของระบบควบคุมในการปรับความเร็วรอบของกังหันลมให้เข้าสู่ค่าความเร็วรอบที่กำหนด เมื่อมีกระแสลมพัดกรโชกเข้าปะทะกังหันลมในขณะที่กังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบตอนที่ 4

ผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดจะแสดงในลักษณะกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันลมเทียบกับเวลา