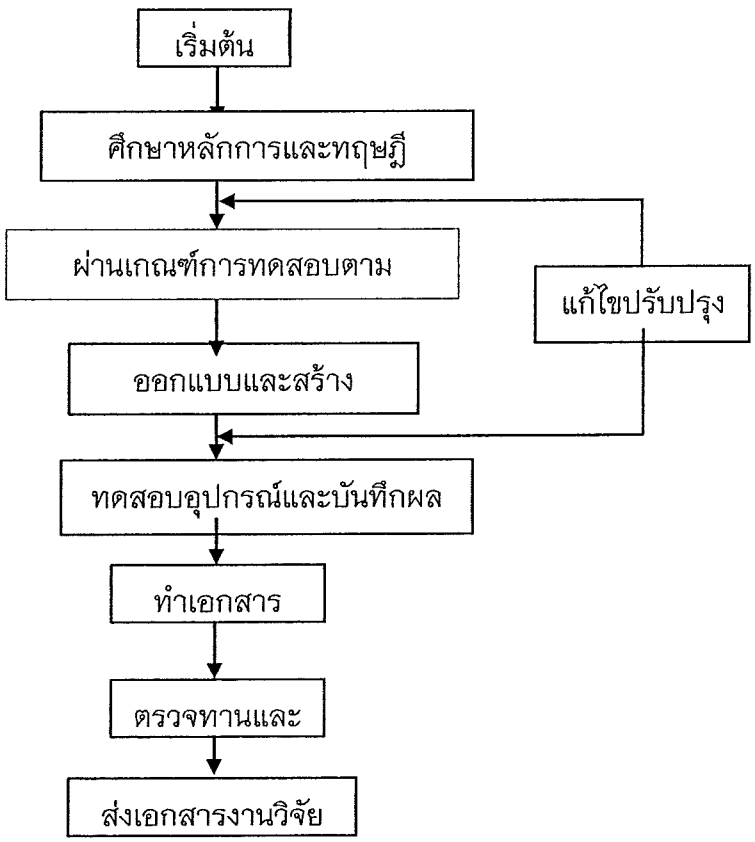
บทที่ ๒

เนื้อเรื่อง

๒.๑ วิธีดำเนินงาน

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีดำเนินการทดสอบ การเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้และได้แสดงรูปภาพอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มีเครื่องมือทดสอบและเครื่องมือวัดเป็นต้น ขั้นตอนการดำเนินโครงงานวิจัยสามารถอธิบายในรายละเอียดได้ ดังต่อไปนี้

๒.๑.๑ ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงานวิจัย

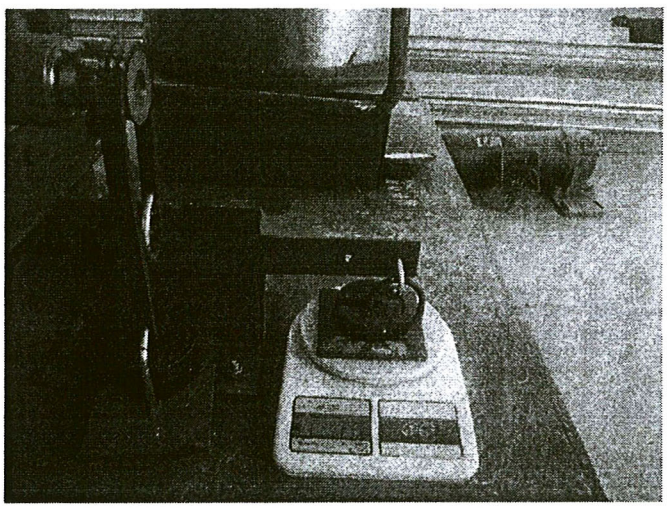


รูปที่ ๒.๑ แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงานวิจัย

๒.๒ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

๒.๒.๑ ชุดทดสอบวัดแรงบิด

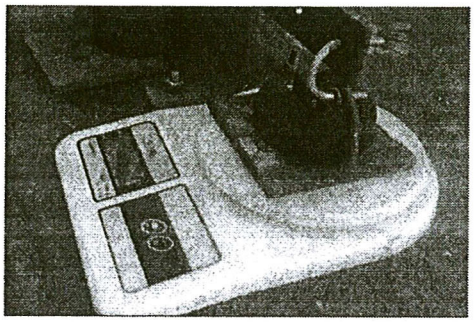
ชุดทดสอบวัดแรงบิดเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับทดสอบแรงบิดของแกนเพลาที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำงานเคลื่อนที่ไหลผ่านใบพัดของ Turbine และที่แกนเพลาคล้องเชือกที่ปลายเชือกต่อไปยังโหลดเซลล์หรือตาชั่งสปริง และปลายเชือกอีกข้างหนึ่งผูกติดกับที่แขวนตุ้มน้ำหนักโดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องทดสอบวัดแรงบิดแบบเชือก (Rope Brake) ผลจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก คูณแรงโน้มถ่วงของโลกและรัศมีของเพลา ค่าดังกล่าวนี้จะเป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นเอง



รูปที่ ๒.๒ ชุดทดสอบแรงบิด Rope Brake

๒.๒.๒ ตราชั่งดิจิตอล

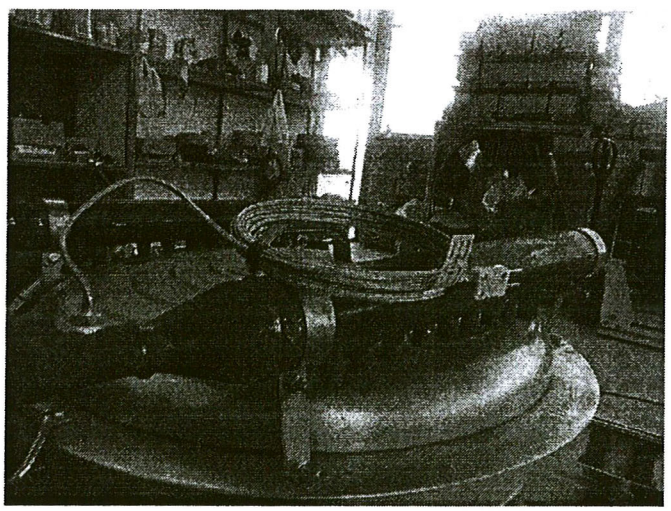
ตราชั่งดิจิตอล ZEPPER SE 1005 ช่วงการทำงาน ๐ ถึง ๑,๐๐๐ กรัม ความละเอียดสเกล ๐.๕ กรัม เป็นส่วนหนึ่งของชุดทดสอบแรงบิด โดยนำมาชั่งน้ำหนักถ่วงด้านปลายของคาน



รูปที่ ๒.๓ ตราชั่งดิจิตอล ZEPPER SE 1005

๒.๒.๓ หัววัดอุณหภูมิจุดต่างๆของระบบ

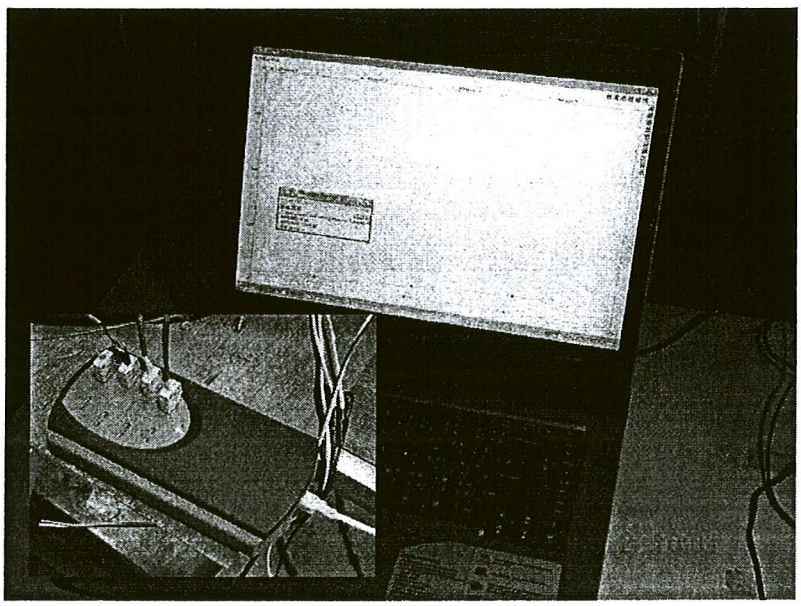
หัววัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ล JBS – 3310 ลักษณะและการใช้งานเป็นแบบสกรูว์ขันยึดติดกับพื้นผิว ชนิดของไส้ Type K (CA), J(IC) เส้นผ่านศูนย์กลาง ๐.๖๕ มิลลิเมตร ขนาดสกรูว์ w ๕/๑๖ นิ้ว BRASS , SUS 304 สายแบบสเตนเลสซีลด์ ชนิดของปลั๊กเสียบ 5P–50M อุณหภูมิใช้งานสูงสุด ๔๐๐ $^{\circ}$C มีลักษณะและตำแหน่งติดตั้ง ดังนี้



รูปที่ ๒.๔ หัววัดและสายเทอร์โมคัปเปิ้ล

๒.๒.๔ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิก๊าซร้อน Data Logger

อุปกรณ์จัดเก็บชุดข้อมูล Pico รุ่น TC-08 (USB) เป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณที่ส่งจากหัววัดอุณหภูมิได้หลายชนิด ได้แก่ Type B, E , J, K, N, R, S, T และ CJC แล้วแสดงผลและบันทึกข้อมูลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้แบบ Real Time ทั้งในรูปแบบค่าตัวเลขในตารางและแบบกราฟเคลื่อนไหวซึ่งทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิลงเป็นไฟล์ข้อมูล สามารถอ่านการวัดค่าอุณหภูมิได้ไม่เกิน ๘ ช่อง มี Resolution ๒๐ bits มีความเร็วในการแปลงข้อมูลต่อช่องสัญญาณ ๑๐๐ ms ความแม่นยำแม้ไม่ได้รับการสอบเทียบ ±๐.๒ ถึง ±๐.๕ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ใช้งานด้วย ส่งผ่านข้อมูลผ่านสายต่อ USB ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานภายนอก เมื่อใช้งานร่วมกับเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ค่าอุณหภูมิที่สามารถวัดได้อยู่ในช่วง -๒๗๐ ถึง ๑,๓๗๐ $^{\circ}$C



รูปที่ ๒.๕ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิก๊าซร้อน Data Logger

๒.๒.๕ เครื่องมือวัดรอบการหมุน

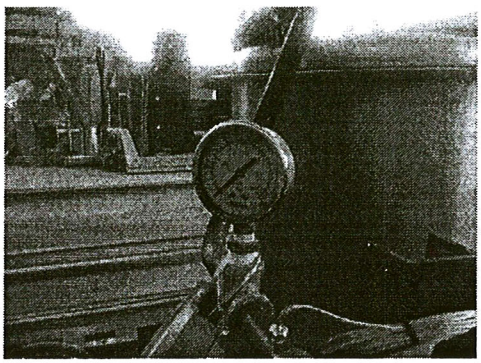
ในการทดลองหาสมรรถนะที่สภาวะต่างๆ ความเร็วการหมุนของโรเตอร์กังหันขับชุดอัดอากาศและกังหันกำลังฯจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาวะการใช้งาน ในการวิเคราะห์หากำลังและประสิทธิภาพของระบบจำเป็นต้องตรวจวัดความเร็วรอบการหมุนเพื่อหาสมรรถนะ ดังกล่าว และควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย ดังนั้นอุปกรณ์ที่สำคัญและขาดเสียมิได้อีกชุดหนึ่งนั่นคือ เครื่องมือวัดรอบการหมุน MONARCH PLT200 สามารถวัดรอบการหมุนได้ในช่วง ๕ ถึง ๒๐๐,๐๐๐ RPM สำหรับการวัดแบบไม่สัมผัส และช่วง ๐.๕ ถึง ๒๐,๐๐๐ RPM สำหรับการวัดแบบสัมผัสโดยใช้อุปกรณ์เสริมในชุด ความละเอียด ±๐.๑ RPM

รูปที่ ๒.๖ อุปกรณ์วัดความเร็วรอบการหมุน

๒.๒.๖ เกจวัดความดัน

เกจวัดความดัน WEGA มีน้ำมันช่วยลดการแกว่งของค่าที่วัดได้ ช่วงการทำงาน ๐ ถึง ๒๕ Bar ความดันสารทำงาน ณ จุดนั้นๆในระบบ เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกหนึ่งตัวแปรที่สามารถนำไปวิเคราะห์ถึงสภาวะของสารทำงานในแต่ละส่วนของระบบ ในการทดลองนี้ได้

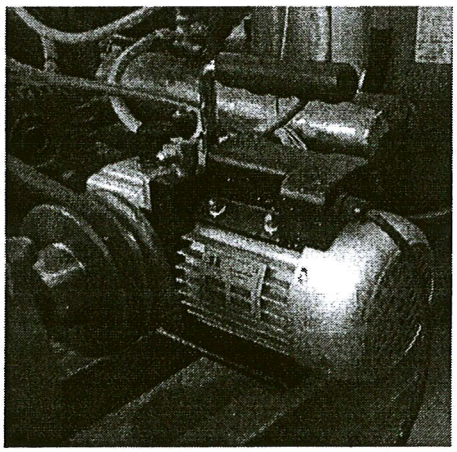
วัดความดันเพื่อนำมาวิเคราะห์อุปกรณ์ด้วยเครื่องมือวัดความดันที่สำคัญ ๒ ชุด ได้แก่ ความดันขาเข้ากังหัน และความดันขาออกกังหัน



รูปที่ ๒.๗ เกจวัดความดัน WEGA

๒.๒.๗ ปั๊มสุญญากาศ

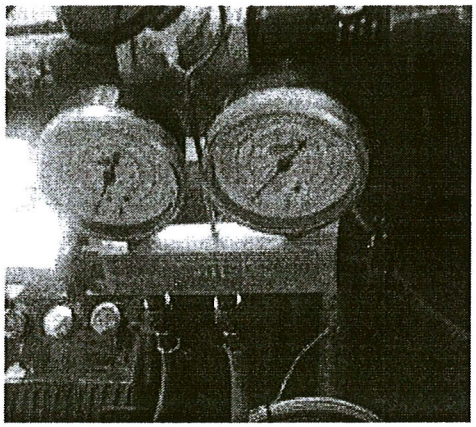
Vacuum Pump Single Stage รุ่น SP-1.5 A Capacity 3 CFM อัตราการดูด ๕๐ ลิตร ต่อ นาที ไฟที่ใช้ ๒๒๐ V ๕๐ Hz ใช้ในการทำสุญญากาศระบบก่อนชาร์จน้ำยา



รูปที่ ๒.๘ ปั๊มสุญญากาศ

๒.๒.๘ เกจแมนิโฟลด์

Gauge Manifold ยี่ห้อ REFCO เกจความดันด้านต่ำและด้านสูง -๑ ถึง ๑๐ บาร์ เครื่องมือใช้สำหรับวัดค่าความดันภายในระบบ จากรูป ๒.๙ สีน้ำเงินคือ เกจความดันต่ำ ส่วนสีแดงคือ เกจความดันสูง



รูปที่ ๒.๙ เกจแมนิโฟลด์

๒.๓ ขั้นตอนการทดสอบ

ในการศึกษาทดสอบ ก่อนขั้นตอนการทดสอบต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ส่วนต่างๆของระบบด้วย ได้แก่ การตรวจสอบหารอยรั่ว ณ จุดต่างๆ การทำสุญญากาศระบบ การชาร์จสารทำงานเข้าระบบ มีอุปกรณ์สำคัญๆได้แก่ ปั๊มสุญญากาศ เกจแมนิโฟลด์และถังบรรจุสารทำงาน R-22 ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญที่ต้องกล่าวถึงเนื่องจากระบบดังกล่าวเป็นระบบปิดและมีความสำคัญต่อผลการทดสอบ

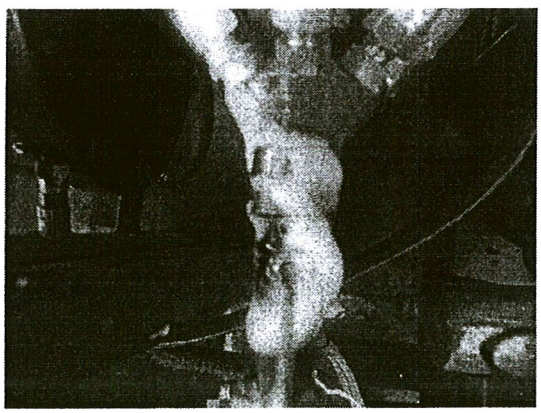
ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กังหันในการวิจัยนี้ แบ่งการทดสอบไว้หลายๆ ส่วนเพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพอันประกอบไปด้วย การทดสอบหากำลังที่ได้จริง การทดสอบหากำลังทางทฤษฎี การทดสอบชุดวัดแรงบิด การวิเคราะห์ความดันและอัตราการไหลของระบบจาก

ปั๊ม นอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลอง คือ โปรแกรมระบุสภาวะของสารทำงาน NIST 12 โดยหาจากอุณหภูมิและความดัน

ในส่วนของการวางแผนเก็บข้อมูลทำโดยการปรับเปลี่ยนรอบการหมุนของปั๊ม (rpm) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดตัวแปรต่างๆของระบบ และเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มระบบจนถึงสภาวะสูงสุดของการทำงาน

๒.๓.๑ การตรวจหารอยรั่วของระบบ

หลังจากติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆของระบบจะต้องตรวจรอยรั่วตามจุดต่อต่างๆเพื่อให้แน่ใจว่าจุดต่อเหล่านั้นไม่รั่ว ก่อนที่จะทำสุญญากาศและชาร์จน้ำยาเข้าในระบบต่อไป วิธีการตรวจรอยรั่วในที่นี้ใช้หลักการฟองสบู่ โดยทำการอัดแก๊สเข้าไปยังระบบ แล้วนำฟองสบู่เข้าไปฟอกตามข้อต่อต่างของทางเดินสารทำงาน หากมีรอยรั่วฟองสบู่จะโป่งออกจนแตก



รูปที่ ๒.๑๐ การตรวจรั่วโดยใช้ฟองสบู่

๒.๓.๒ การทำสุญญากาศระบบ

การทำสุญญากาศระบบหรือที่เรียกว่า "การทำแวคคั่ม" จะกระทำภายหลังจากการตรวจการรั่วของระบบแต่ต้องก่อนที่จะชาร์จน้ำยาเข้าในระบบ การทำสุญญากาศเป็นการดูดเอาอากาศและความชื้นภายในระบบออกให้หมด กระทำตามขั้นตอน ดังนี้

ก. ต่อชุดเกจแมนิโฟลด์เข้ากับวาล์วบริการ (Service Vavle)
ข. เปิดวาล์วทั้งคู่ของเกจแมนิโฟลด์ (ทวนเข็มนาฬิกา)
ค. ต่อสายกลางของเกจแมนิโฟลด์เข้ากับปั๊มสุญญากาศ
ง. เดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ
จ. เข็มความดันของเกจวัดความดันต่ำ เริ่มลดต่ำกว่า ๐ (ส่วนเกจวัดความดันสูง จะไม่สามารถอ่านค่าได้)
ฉ. เมื่อเข็มของเกจวัดความดันต่ำ อ่านค่าถึง -๒๙.๙๒ นิ้วปรอท ให้เดินเครื่องปั๊มสุญญากาศต่อไปอย่างน้อย ๒๐ นาที

๒.๓.๓ การชาร์จสารทำงานเข้าในระบบ

การชาร์จสารทำงานเข้าในระบบ (Chargeing the system) เป็นการปฏิบัติต่อจากการทำสุญญากาศระบบ สายกลางของเกจแมนิโฟลด์ สายกลางของเกจแมนิโฟลด์ที่ปลดออกจากปั๊มสุญญากาศ หลังจากหยุดการทำสุญญากาศระบบแล้ว จะถูกต่อเข้ากับท่อบรรจุสาร โดยในการทดสอบนี้ใช้วิธีการชาร์จน้ำยาในสถานะแก๊สเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ เป็นการชาร์จสารทำงานในสถานะแก๊สเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ โดยเดินมอเตอร์ของปั๊มดูดน้ำยาเข้าในระบบการเติมน้ำยาเข้าในระบบโดยวิธีนี้จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยแต่เป็นวิธีที่ธรรมดา และปลอดภัยในการปฏิบัติ มีขั้นตอน ดังนี้

ก. ถอดปลายสายกลางของเกจแมนิโฟลด์ออกจากเครื่องปั๊มสุญญากาศ แล้วต่อเข้ากับท่อน้ำยา
ข. เปิดวาล์วท่อน้ำยา (สถานะแก๊ส)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ค. ใช้น้ำยาในท่อ ไล่อากาศที่ค้างอยู่ในสายกลางของเกจแมนิโฟลด์ โดยคลายปลายสายด้านติดกับเกจแมนิโฟลด์เล็กน้อย ปล่อยให้น้ำยาจากในท่อไล่อากาศออกทิ้ง ขับปลายสยากลับเข้าให้แน่นตามเดิม

ง. ปิดวาล์วด้านความดันต่ำ ชาร์จน้ำยาเข้าในระบบเล็กน้อยดูที่ความดันเกจประมาณ ๓๐ ปอนด์/ตารางนิ้ว แล้วเปิดวาล์วความดันต่ำอีกครั้งหนึ่ง

จ. เดินมอเตอร์ปั๊มของระบบ

ฉ. ค่อยๆเปิดวาล์วความดันต่ำควบคุมน้ำยาในสถานะแก๊สชาร์จน้ำยาเข้าในระบบ สังเกตดูเข็มของเกจแมนิโฟลด์ทั้งด้านความดันสูงและความดันต่ำ

ช. ปิดวาล์วความดันต่ำ เมื่อความดันในระบบ ทั้งด้านความดันสูงและความดันต่ำได้ตามเกณฑ์พอดีแล้ว

ซ. ทดลองเดินระบบโดยยังติดตั้งแมนิโฟลด์อยู่กับระบบ อย่างน้อย ๓ ชั่วโมง

๒.๓.๔ ขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูลระบบ

ในการหาประสิทธิภาพของกังหัน ในที่นี้ใช้อัตราส่วนของกำลังที่วัดค่าได้จริงกับกำลังที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการหาประสิทธิภาพของกังหัน มีขั้นตอน ดังนี้

ก. บันทึกผลของอุณหภูมิ ความดันและน้ำหนักตราชั่งดิจิตอลก่อนเริ่มระบบ

ข. เริ่มระบบด้วยการเปิดปั๊มอัดสารทำงาน ปั๊มน้ำสำหรับคอนเดนเซอร์ และเปิดเตาแก๊ส เพื่อเป็นแหล่งความความร้อนให้หม้อต้ม (Boiler) โดยปั๊มอัดสารทำงานปรับรอบการทำงานให้ต่ำสุด (๘๐๐ รอบต่อนาที)

ค. บันทึกผลของอุณหภูมิ ความดัน ณ จุดก่อนเข้ากังหันและหลังเข้ากังหันโดยอุณหภูมิเก็บค่าจาก Data Logger และความดันอ่านค่าจากเกจ วัดทุกๆ ๓ นาที

ง. วัดความเร็วรอบของเพลากังหัน วัด 3 ครั้งแล้วหาเฉลี่ย และน้ำหนักที่อ่านค่าได้จากตราชั่งดิจิตอล 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ทุกๆ ๓ นาที (ทำพร้อมกับข้อ ค.)

จ. ทำไปเรื่อยๆจนกว่าอุณหภูมิขาเข้ากังหันจะได้ ๘๐ องศาเซลเซียส แล้วจึงปิดเตาแก๊ส

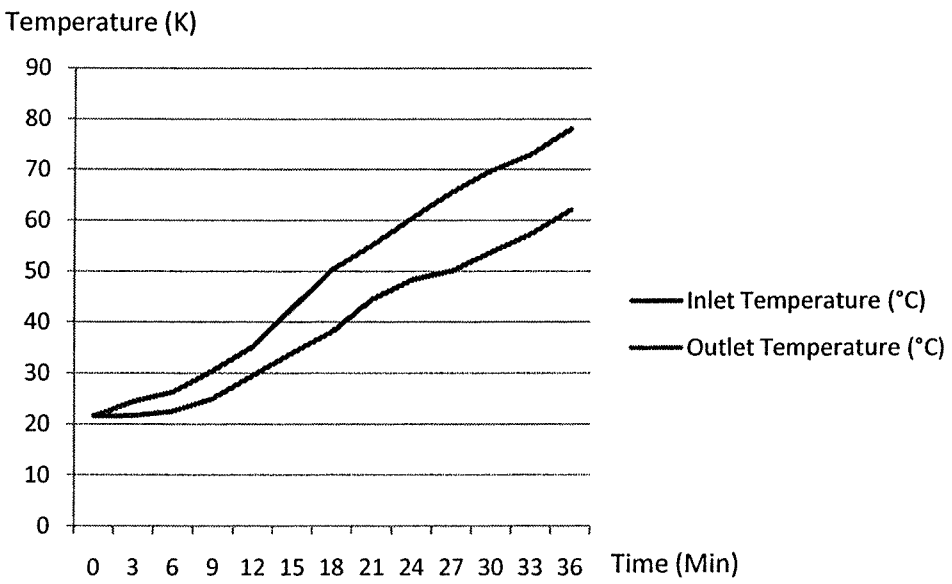
ฉ. ทิ้งระบบให้กลับสู่สภาวะเริ่มต้นดังข้อ ก. แล้วจึงทำขั้นตอนเดิมอีกครั้ง ๓ รอบ

ช. ขั้นตอน ก. ถึง ฉ ทำซ้ำอีกรอบโดนปรับการทำงานของปั๊มให้รอบการทำงานสูงขึ้นเป็น ๑๕, ๑๗, ๑๙ และ ๒๑ รอบต่อนาที

๒.๔ ผลการทดสอบ

๒.๔.๑ ผลของอุณหภูมิก่อนเข้าและหลังเข้ากังหัน

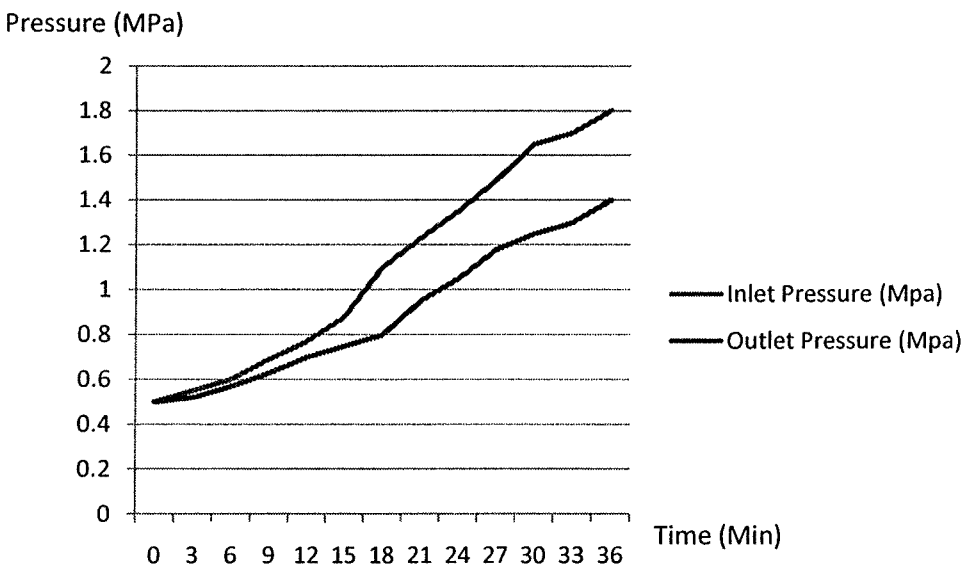
ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกกังหันเป็นตัวแปรบ่งบอกถึงค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในตามกฎทางอุณหพลศาสตร์ค่าสูงสุดในการทดสอบกระทำที่ ๗๘ องศาเซลเซียส เพื่อความปลอดภัยของท่อทองแดงซึ่งเป็นท่อทางเดินของสารทำงาน



รูปที่ ๒.๑๑ อุณหภูมิขาเข้าและขาออกกังหัน

๒.๔.๒ ผลของความดันก่อนเข้าและหลังเข้ากังหัน

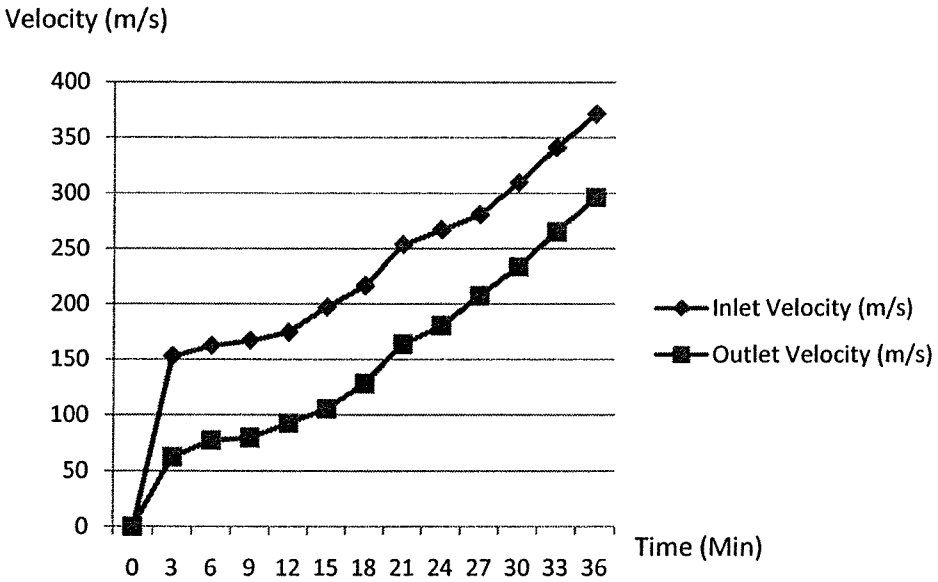
จากวัฏจักรแรงคิน ระบบจะมีความดันคงที่อยู่สองค่าคือความด้านสูง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความดันก่อนเข้ากังหัน สูงสุดที่ ๑.๘ Mpa, ความดันด้านต่ำ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความดันออกจากกังหันสูงสุดที่ ๑.๔ Mpa จากรูปที่ ๒.๑๒ แสดงความดันทั้งสองค่าที่สภาวะเปลี่ยนตามเวลาการให้ความร้อน



รูปที่ ๒.๑๒ ความดันขาเข้าและขาออกกังหัน

๒.๔.๓ ผลของความเร็วการไหลขาเข้าและขาออกกังหัน

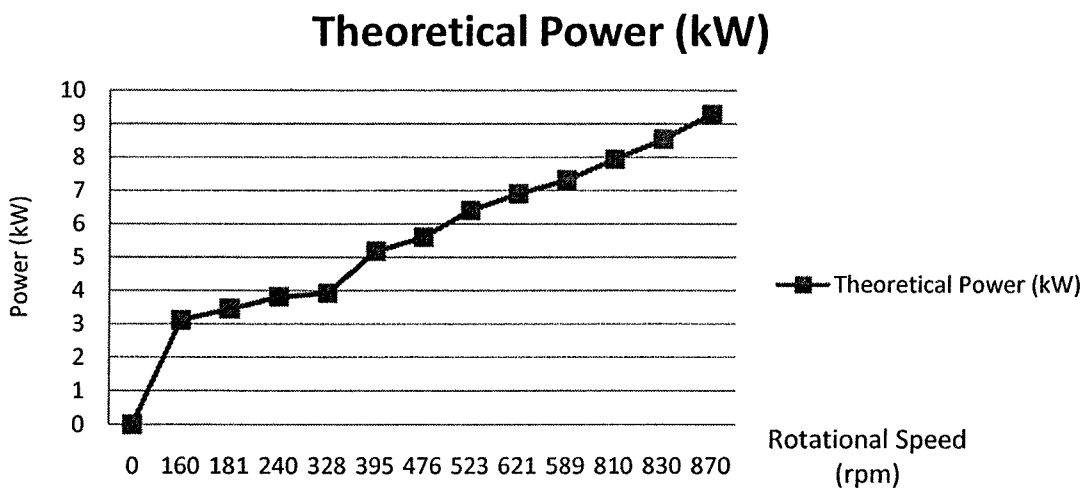
ผลต่างของกำลังสองของความเร็วขาเข้าและขาออก คูณด้วย $\frac{1}{2x1,000}\dot{m}$ จะมีค่าเท่ากับพลังงานจลน์ที่กังหันได้รับ จากรูป ๒.๑๓ พบว่าปริมาณความเร็วมีค่อนข้างสูงและมีค่าลดลงพอสมควร หลังจากผ่านกังหันสูงสุดที่ ๓๓๑ m/s ที่อุณหภูมิ ๓๘ องศาเซลเซียส



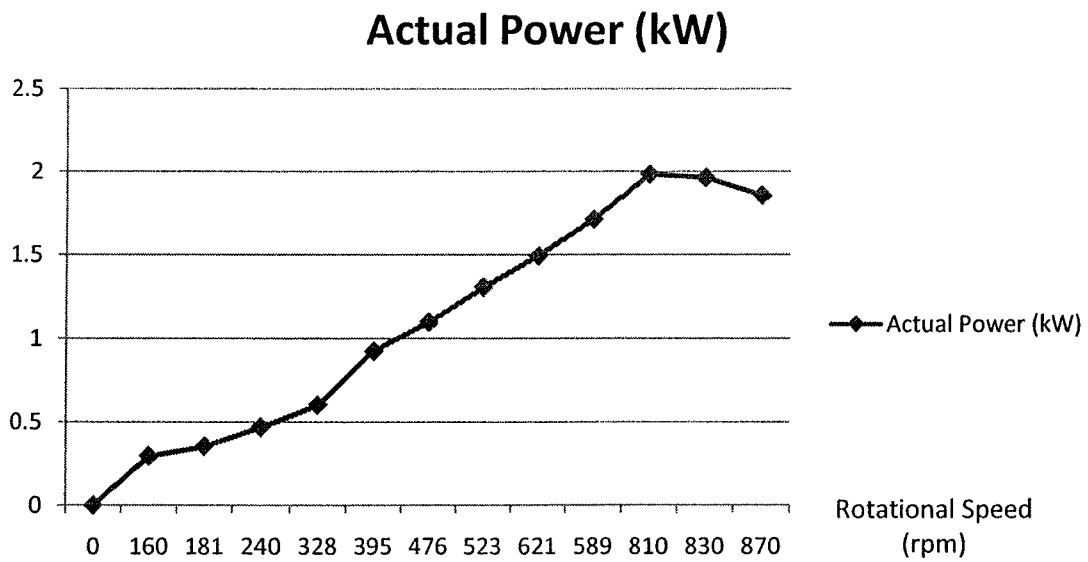
รูปที่ ๒.๑๓ ความเร็วการไหลขาเข้าและขาออกกังหัน

๒.๔.๔ ผลของกำลังทางทฤษฎีและกำลังจากการวัดค่า

ผลของการเปลี่ยนแปลงพลังงานคูณด้วยอัตราการไหล คือกำลังของกังหันในอุดมคติ โดยในที่นี้ได้ตัดผลของการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ซึ่งชุดทดสอบนั้นทดสอบในระดับไม่ต่างกันมากนัก โดยรูปที่ ๒.๑๔ แสดงกำลังทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับรอบการหมุนของเพลา ค่าสูงสุดคำนวณได้ที่ ๙.๒๘ kW ที่ อุณหภูมิ ๗๘ องศาเซลเซียส ส่วนกำลังวัดค่าทำได้โดย การใช้ชุดทดสอบแรงบิด Rope Brake ค่าแรงบิดสูงสุดวัดได้ที่ ๐.๐๒๗๗ N.mที่ความเร็วรอบเพลา ๕๘๙ รอบต่อนาที กำลังสูงสุดวัดได้ ๑.๙๘๔ kW ที่ความเร็วรอบเพลา ๘๑๐ รอบต่อนาที



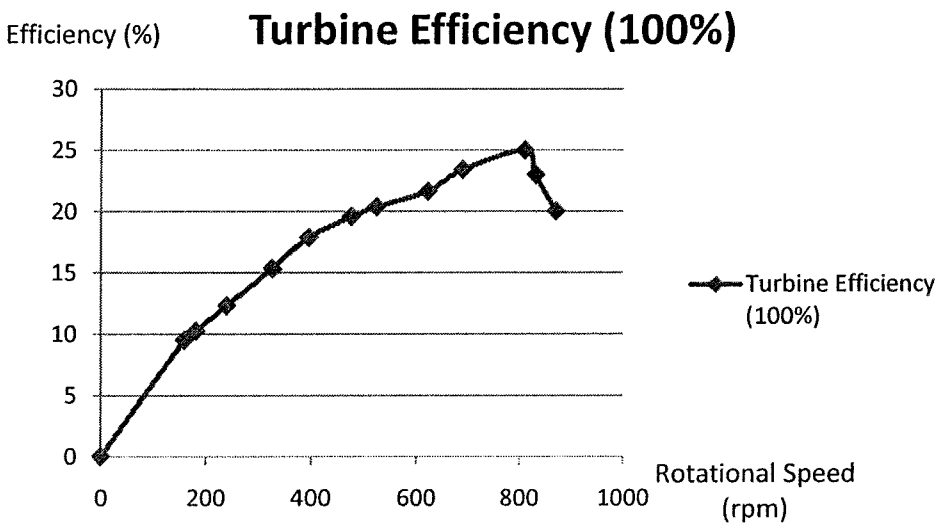
รูปที่ ๒.๑๔ กำลังทางทฤษฎี



รูปที่ ๒.๑๕ กำลังจากการวัดค่า

๒.๔.๕ ผลของการประเมินประสิทธิภาพของกังหัน

ประสิทธิภาพของกังหันพบว่ามีค่าสูงสุดที่ ๒๕ เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิขาเข้า ๖๙.๙ องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก ๕๓.๘ องศาเซลเซียส ความดันขาเข้า ๑.๖๕ Mpaความดันขาออก ๑.๒๕ Mpa ดังรูปที่ ๒.๑๖



รูปที่ ๒.๑๖ ประสิทธิภาพกังหัน