

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1. การสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศ 2. การเปรียบเทียบ และสอบเทียบค่าทางไฟฟ้าจากระบบที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดตัวอื่น 3. การจำลองสภาพจุดตันของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า และ 4. การติดตั้งและทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องอัดอากาศ

ในส่วนการสร้างระบบ จะกล่าวถึงขั้นตอนการเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละตัวเพื่อประกอบเป็นระบบตรวจวัดพลังงานผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส การเลือกเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและวงจรแบ่งแรงดันให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องอัดอากาศ รวมถึงการประกอบอุปกรณ์ลงกล่องพลาสติกและสร้างจุดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก จากนั้นจะกล่าวถึงโปรแกรมที่ถูกติดตั้งอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อรับค่าประมวลผล เก็บค่าลงฐานข้อมูล และนำค่าแสดงผลผ่านตัวบริการเว็บ

ในส่วนการเปรียบเทียบ และสอบเทียบค่าทางไฟฟ้าจากระบบที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดตัวอื่น เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบค่ากระแสและแรงดันที่อ่านจากรีจิสเตอร์ของไอซีวัดค่าทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าให้ถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดตัวอื่น

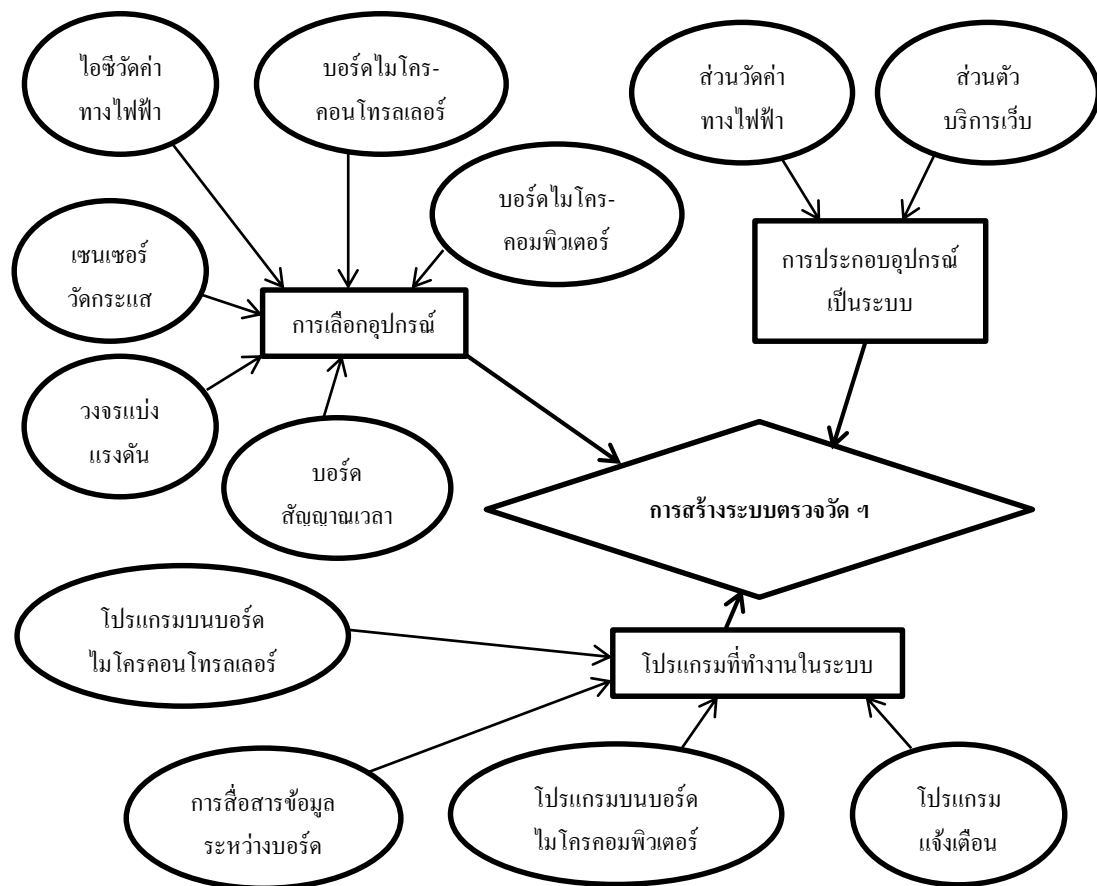
ถัดไปเป็นส่วนการจำลองสภาพจุดตันของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า เพื่อสังเกตค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ เมื่อขนาดของช่องที่ลมไหลเข้ากลไกอัดอากาศลดลง

ในส่วนการติดตั้งและทดสอบระบบกับเครื่องอัดอากาศ จะกล่าวถึงการติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและวงจรแบ่งแรงดันกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่าทางไฟฟ้า และขั้นตอนการทดสอบระบบกับเครื่องอัดอากาศเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพปกติและเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพจุดตัน

ผลการดำเนินงานและผลการทดสอบ จะแสดงและวิเคราะห์ในบทที่ 4

3.1 การสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส

การสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต ประกอบด้วยขั้นตอนการคัดเลือกอุปกรณ์ การประกอบอุปกรณ์เป็นระบบ และโปรแกรมที่ทำงานในระบบ โดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของขั้นตอนการสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

การเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบประกอบด้วย ไอซีวัดค่าทางไฟฟ้า บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า บอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ และบอร์ดสัญญาณเวลา

ไอซีวัดค่าทางไฟฟ้าจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดกระแสและวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อประมวลผลเป็นข้อมูลทางไฟฟ้า และเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ (Register) หรือหน่วยความจำภายในของไอซี เพื่อเตรียมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เรียกข้อมูลนั้นไปใช้ ปัจจุบันมีการผลิตไอซีวัดค่าทางไฟฟ้าหลากหลายชนิด เช่น ไอซีสำหรับไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ต้องการสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส และแสดงข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไอซีที่เลือกใช้จึงต้องมีคุณสมบัติสามารถวัดค่าแรงดัน กระแส รวมถึงวัดตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าสำหรับระบบไฟ 3 เฟส เพื่อนำค่าเหล่านี้ประมวลผล เป็นข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศตามวิธีการที่กล่าวในบทที่ 2 ซึ่งบริษัท อนาล็อก ดีไวส์ (Analog Device) เป็นบริษัทหนึ่งที่ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไอซีวัดค่าทาง ไฟฟ้าที่มีมาตรฐานและได้รับความนิยม ได้ผลิตไอซีสำหรับวัดค่าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ได้แก่ ADE7854 ADE7858 ADE7868 และ ADE7878

การใช้งานไอซีวัดค่าทางไฟฟ้า จำเป็นต้องมีส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยให้ไอซีสามารถทำงานได้ เช่น อุปกรณ์กำเนิดความถี่ (Crystal) ตัวต้านทาน (Resister) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตลอดจนไอซี อื่นที่จำเป็นสำหรับไอซีตัวหลัก เช่น ไอซีกำเนิดค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (Voltage Reference) ไอซี สวิตช์ควบคุมการทำงานด้วยแสง (Opto Isolator) ขั้นตอนการสร้างวงจรที่ซับซ้อนจำเป็นต้องอาศัย ผู้เชี่ยวชาญ และต้องทดสอบวงจรดังกล่าวจนมั่นใจว่าบอร์ดตัวนั้นสามารถใช้งานได้ถูกต้อง หาก ผู้สร้างวงจรออกแบบไม่รัดกุมจะทำให้วงจรนั้นไม่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ เพื่อลด ขั้นตอนและระยะเวลาในการสร้างบอร์ดผู้วิจัยจึงเลือกใช้บอร์ดสำเร็จรูปที่มีวงจรพร้อมใช้สำหรับ ไอซี ADE7878 ติดตั้งอยู่ และบอร์ดที่ถูกออกแบบพร้อมกับทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทผู้ผลิตคือ บอร์ด EVAL-ADE7878 มีลักษณะดังรูปที่ 3.2



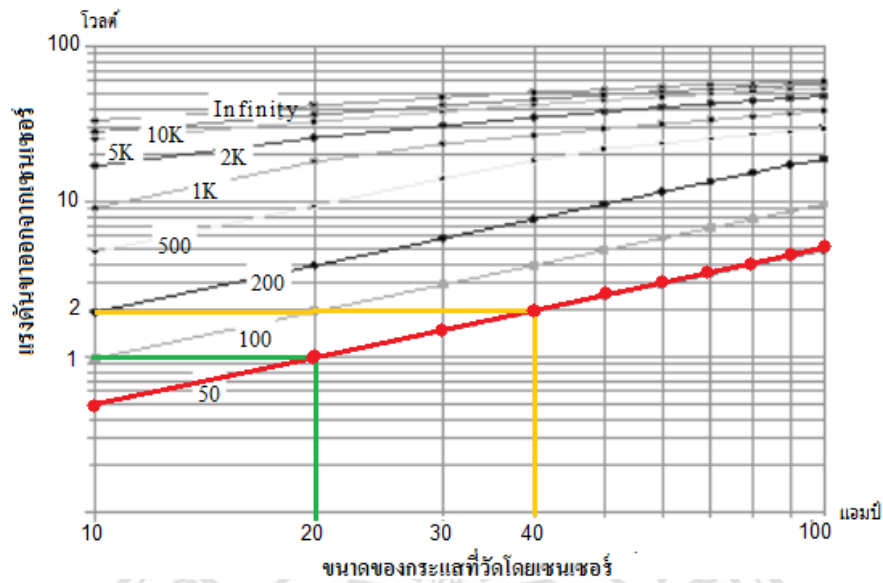
รูปที่ 3.2 ลักษณะของบอร์ด EVAL-ADE7878 [20]

การใช้บอร์ด EVAL-ADE7878 เพื่อวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ต้องการสัญญาณข้อมูลขาเข้า (Input Signal) 2 ชนิด ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟส แต่ตัวไอซี ADE7878 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานในย่านไฟฟ้าแรงดันต่ำ ดังนั้นการป้อนสัญญาณอินพุตให้กับ ADE7878 จึงต้องมีชุดแปลงสัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์เก็บข้อมูลให้อยู่ในย่านที่เหมาะสม

ในส่วนของคุณลักษณะไฟฟ้า จะใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าติดตั้งบริเวณสายไฟที่จ่ายให้กับเครื่องอัดอากาศ ขนาดของเซนเซอร์จะพิจารณาจากอัตราการใช้กระแสของเครื่องอัดอากาศ โดยศึกษาได้จากคู่มือ (Manual) หรือป้ายชื่อ (Name Plate) ของเครื่องที่ต้องการตรวจวัด และต้องเลือกเซนเซอร์ที่ส่งสัญญาณเอาต์พุตอยู่ในย่านแรงดัน - 0.5 ถึง 0.5 โวลต์ ซึ่งเป็นย่านสัญญาณที่ไอซี ADE7878 สามารถรับได้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้ายี่ห้อ TALEMA รุ่น AC1040 ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งสามารถวัดกระแสได้สูงสุด 40 แอมป์ และจากรูปที่ 3.4 เมื่อต่อตัวต้านทานขนาด 50 โอห์มระหว่างขาที่ 1 กับขาที่ 2 ของเซนเซอร์ เพื่อใช้วัดกระแสขนาดไม่เกิน 40 แอมป์ พบว่าเซนเซอร์จะส่งสัญญาณเอาต์พุต ในรูปแบบสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0 ถึง 2 โวลต์ จากคู่มือของบอร์ด EVAL-ADE7878 [19] ระบุว่าหากบอร์ดรับสัญญาณจากเซนเซอร์ที่มีแรงดันมากกว่า 2 โวลต์ ไอซีวัดค่าทางไฟฟ้าจะเสียหาย ผู้วิจัยจึงได้ติดตั้งวงจรแบ่งแรงดันสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์ทำให้เหลือแรงดันสูงสุดที่ส่งให้บอร์ดไม่เกิน 1 โวลต์ อย่างไรก็ตาม ในคู่มือได้ระบุว่าช่วงแรงดันที่เหมาะสมในการรับสัญญาณจากเซนเซอร์ ควรอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.5 โวลต์ ดังนั้นระบบจึงสามารถวัดค่าได้แม่นยำที่สุดเมื่อเครื่องอัดอากาศต้องการกระแสไม่เกิน 20 แอมป์



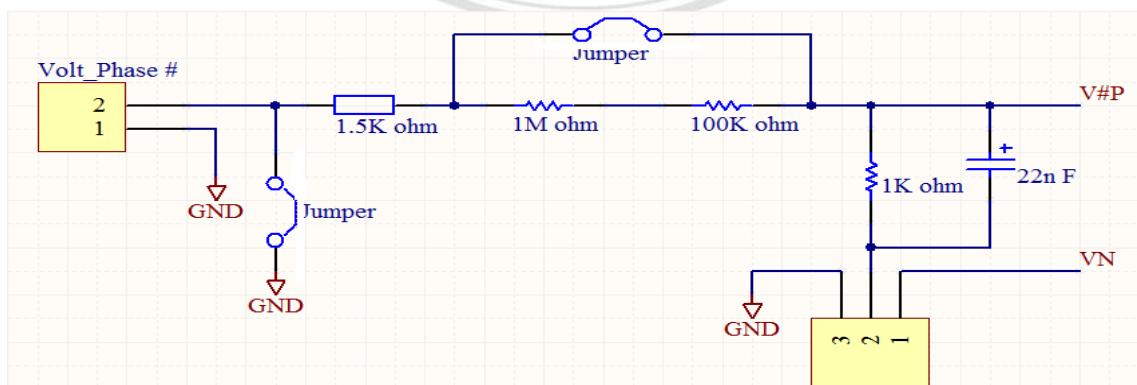
รูปที่ 3.3 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้ายี่ห้อ TALEMA รุ่น AC1040



รูปที่ 3.4 ขนาดกระแสขาเข้าต่อแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์วัดกระแส [22]

สำหรับส่วนข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจะใช้วงจรแบ่งแรงดัน โดยเชื่อมต่อวงจรกับสายไฟแต่ละเฟสที่จ่ายให้กับเครื่องอัดอากาศ เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าไปinyานสัญญาณที่ไอซี ADE7878 สามารถรับได้

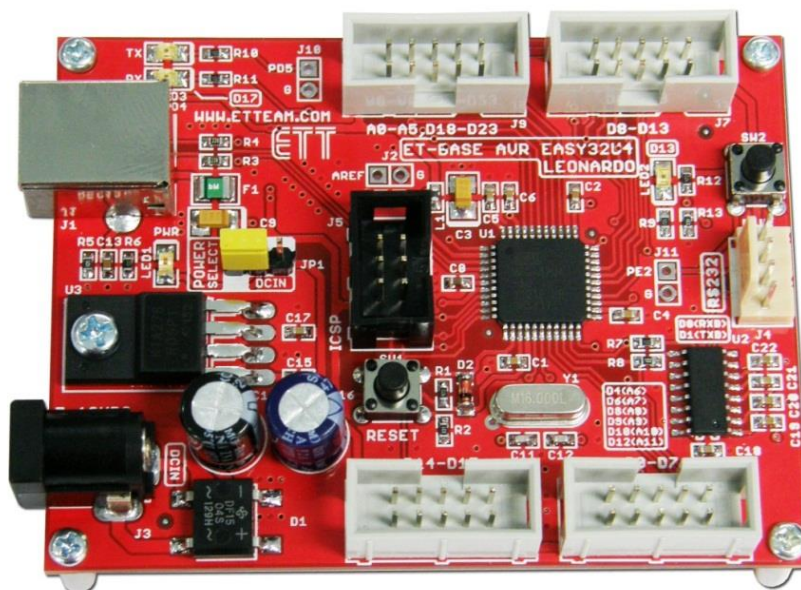
งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บอร์ด EVAL-ADE7878 ซึ่งตัวบอร์ดมีวงจรแบ่งแรงดันและวงจรกรองสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 3.5 ติดตั้งอยู่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงใช้วิธีแยกสายไฟของแต่ละเฟสที่จ่ายให้กับเครื่องอัดอากาศ ต่อเข้ากับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าบนบอร์ด EVAL-ADE7878 ได้ทันที โดยไม่ต้องสร้างวงจรแบ่งแรงดันใหม่ขึ้นมาใช้งาน



รูปที่ 3.5 วงจรแบ่งแรงดันและวงจรกรองสัญญาณบนบอร์ด EVAL-ADE7878 [23]

ในการเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากไอซีวัดค่าทางไฟฟ้ามาประมวลผลเพื่อส่งให้กับตัวบริการเว็บ เมื่อพิจารณาจากคู่มือของไอซี ADE7878 พบว่า ไอซีสามารถสื่อสารกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 ช่องทาง ได้แก่ การสื่อสารแบบไอทูซี (Inter IC Communication; I2C) และการสื่อสารแบบอินเทอร์เฟซอนุกรม (Serial Peripheral Interface; SPI)

จากคู่มือของบอร์ด EVAL-ADE7878 [20] กล่าวว่า EVAL-ADE7878 ได้ติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล NXP เบอร์ LPC2368 เพื่อดึงข้อมูลจาก ADE7878 นำเสนอข้อมูลทางไฟฟ้าแสดงในคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมแลปวิว (LabView) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer; PC) โปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์ที่ถูกป้องกันไม่ให้แก้ไขหรือนำไปกรมไปทำงานบนระบบปฏิบัติการอื่นได้ จึงไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์ที่ต้องการสร้างระบบตรวจวัดพลังงานขนาดเล็กที่ทำงานด้วยอุปกรณ์สมองกลฝังตัว (Embedded System) เหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Arduino ยี่ห้อ ETT รุ่น ET-Base AVR Easy32U4 ที่มีลักษณะดังรูป 3.6 ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ของไอซี ADE7878 แทน NXP เบอร์ LPC2368 ตัวเดิม

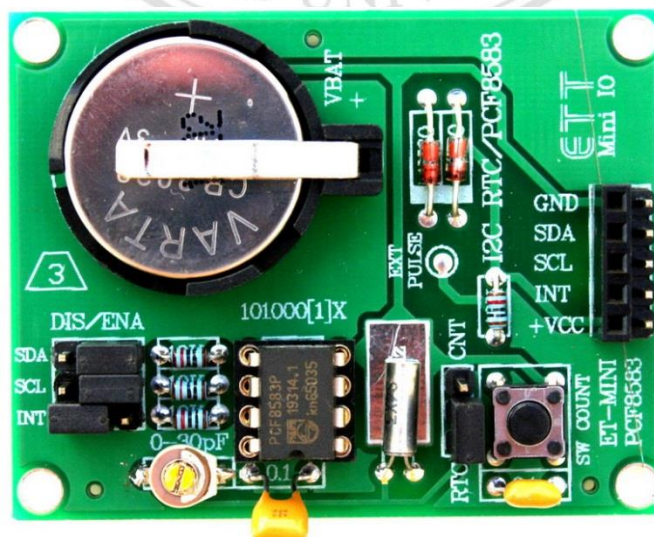


รูปที่ 3.6 ลักษณะของบอร์ด ET-Base AVR Easy32U4 [21]

ในการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส นอกจากจะมีส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าแล้ว ยังมีส่วนตัวบริการเว็บเพื่อนำข้อมูลจากส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า รวบรวมและแสดงผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยทั่วไปความสามารถของตัวบริการเว็บจะพบได้ บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมากกว่าบนไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เพื่อให้สอดคล้องกับ จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์จึงใช้บอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กให้ทำงานทดแทน คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล คือบอร์ด Raspberry Pi

บอร์ด Raspberry Pi ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Raspbian ที่ถูกดัดแปลงมาจากระบบปฏิบัติการ Debian Linux ที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ ทำให้การพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้บน Raspberry Pi กับการ พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้บนคอมพิวเตอร์เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงไม่ต้องมีขั้นตอนแปลงโค้ดข้าม ระบบปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานฐานข้อมูลเอชคิวแอล (SQL) และระบบอะพาเช่ (Apache) บน Raspberry Pi ได้เหมือนกับใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถเขียนหน้าตาเพื่อ แสดงผลข้อมูลได้ด้วยภาษา PHP ซึ่งเป็นภาษาที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย

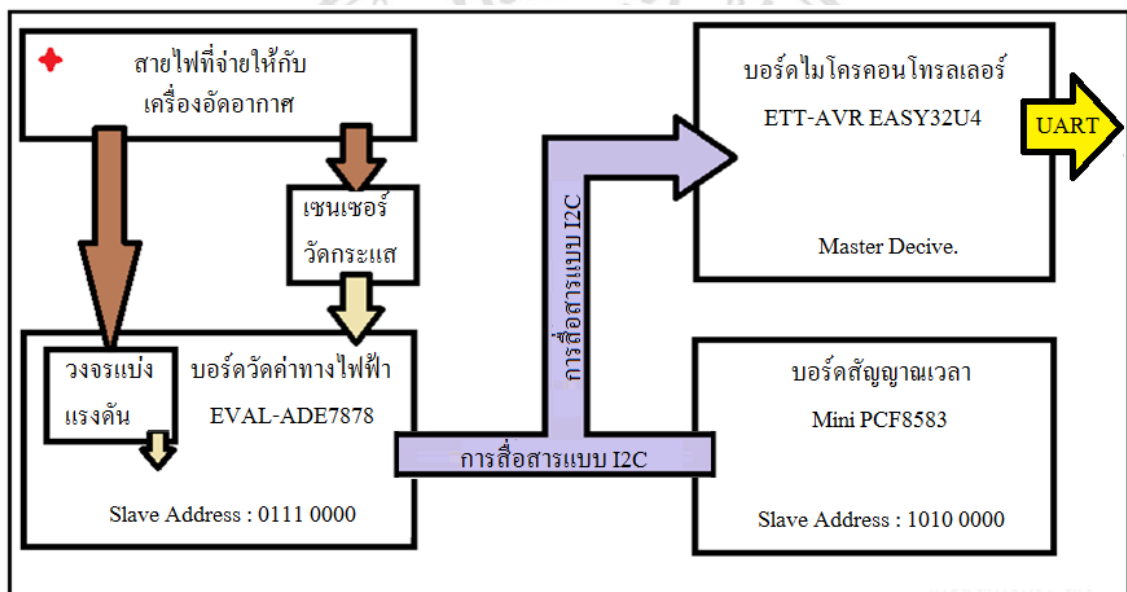
การคำนวณความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศต้องใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกบอร์ด RTC ยี่ห้อ ETT รุ่น MiniPCF8583 ลักษณะดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมีรีจิสเตอร์ของ ข้อมูลชั่วโมง นาที วัน เดือน ปีบันทึกอยู่ และบนบอร์ดได้ติดตั้งแบตเตอรี่สำรองไฟให้กับไอซี ทำ ให้ค่าเวลาของรีจิสเตอร์ตรงกับค่าเวลาจริงอยู่เสมอแม้ไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด ซึ่งการเชื่อมต่อ ข้อมูลระหว่าง MiniPCF8583 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้การสื่อสารแบบไอทูซี [14]



รูปที่ 3.7 ลักษณะของบอร์ด MiniPCF8583

การประกอบอุปกรณ์เพื่อสร้างเป็นระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต หลังจากเลือกอุปกรณ์ที่จำเป็นในการสร้างระบบเรียบร้อยแล้ว จึงนำอุปกรณ์แต่ละชิ้นมาประกอบเป็นระบบแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า และส่วนตัวบริการเว็บ

ส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ บอร์ด EVAL-ADE7878 บอร์ด MiniPCF8583 และบอร์ด ET-BaseAVR Easy32U4 หลักการทำงานจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าทางไฟฟ้าจาก EVAL-ADE7878 และค่าเวลาจาก MiniPCF8583 ผ่านการสื่อสารแบบไอทิวชี จากนั้นจะประมวลผลข้อมูลที่ได้เพื่อเตรียมส่งให้กับตัวบริการเว็บ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของส่วนวัดค่าทางไฟฟ้ามีลักษณะดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า

ส่วนตัวบริการเว็บ มีอุปกรณ์เพียง 1 ตัว คือบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ หรือบอร์ด Raspberry Pi ที่ติดตั้งโปรแกรมสำหรับรับค่า โปรแกรมบันทึกค่าลงฐานข้อมูล รวมถึงโปรแกรมแสดงผลผ่านตัวบริการเว็บ ตัวบอร์ดจะติดต่อกับส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าผ่านการสื่อสารแบบ UART ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าและส่วนตัวบริการเว็บ

จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ทั้งในส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า และส่วนตัวบริการเว็บประกอบเป็นระบบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส โดยอุปกรณ์แต่ละตัวถูกติดตั้งอยู่ในกล่องพลาสติก มีลักษณะดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การประกอบอุปกรณ์ลงในกล่องพลาสติกด้านใน



รูปที่ 3.11 ลักษณะจุดเชื่อมต่อบริเวณด้านนอกกล่องพลาสติก

โปรแกรมที่ทำงานในระบบ ประกอบด้วย โปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะการสื่อสารระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ โปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลและแสดงผล และโปรแกรมแจ้งเตือนเมื่อเครื่องอัดอากาศใช้พลังงานมากกว่าปกติ

โปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นชุดคำสั่งเพื่อกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ อ่านค่าจากรีจิสเตอร์ของบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้า (EVAL-ADE7878) และบอร์ดสัญญาณเวลา (MiniPCF8583) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สื่อความหมาย นำมาประมวลผลและเปรียบเทียบเป็นข้อมูลสำหรับส่วนแสดงผลของระบบ มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละเฟส รวมถึงค่าวันที่และเวลา ณ จุดที่อ่านข้อมูล รายละเอียดและวิธีอ่านค่ารีจิสเตอร์แต่ละตำแหน่งจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก.

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ อ่านข้อมูลจากบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้า และบอร์ดสัญญาณเวลาเรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลพร้อมกับจัดเรียงข้อมูลเพื่อส่งให้กับบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลดังรูปที่ 3.12

[ST]	Time	Date	I1	I2	I3	V1	V2	V3	PF	[SP]
------	------	------	----	----	----	----	----	----	----	------

รูปที่ 3.12 รูปแบบการส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์

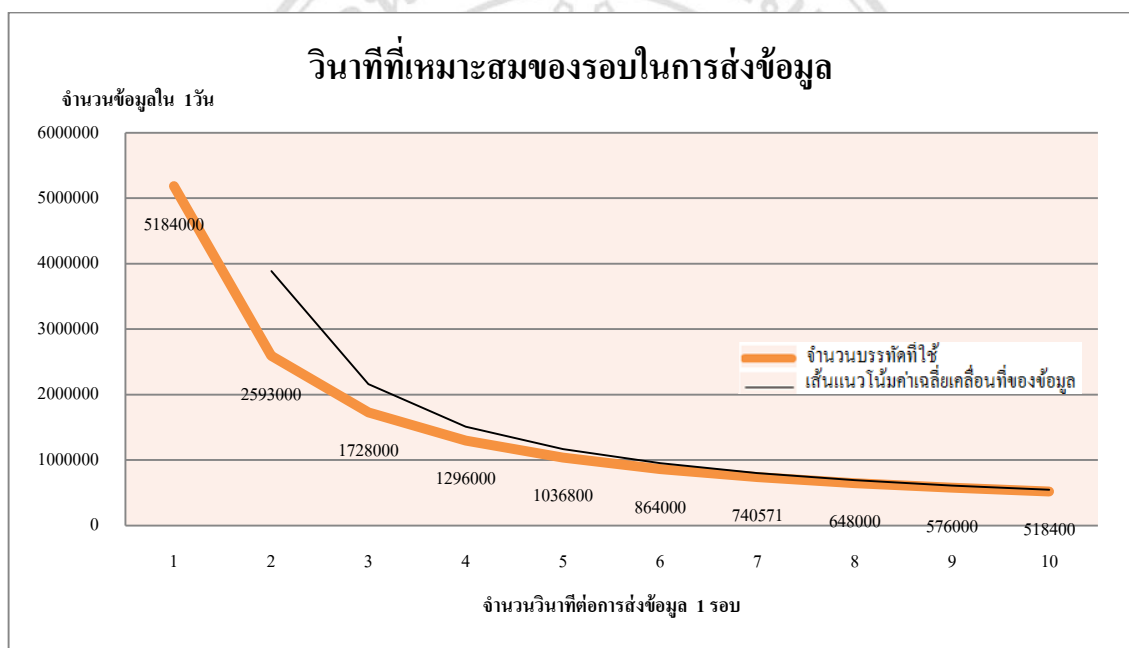
จากรูปที่ 3.12 พบว่า ลักษณะการจัดเรียงข้อมูลจะเริ่มจากคำสั่งเริ่มต้น เวลา วันที่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และคำสั่งหยุด สำหรับค่า Time, Date, I1, I2, I3, V1, V2, และ V3 จะเป็นการแปลงค่าที่อ่านจากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นตัวเลขฐาน 2 เป็นตัวเลขฐาน 10 และเปรียบเทียบ (Calibrate) ให้ค่ากระแสและแรงดันที่เที่ยงตรง ส่วนค่า PF จะเป็นผลการคำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent Power) ในหน่วยโวลต์แอมแปร์ (Va) กับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) ในหน่วยวัตต์ (Watt)

ในการส่งข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ครั้ง ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ตั้งแต่การส่งคำสั่งสำหรับอ่านค่ารีจิสเตอร์ การรับค่าจากรีจิสเตอร์ของไอซีซึ่งเป็นเลขฐาน 2 ที่ส่งมาครั้งละ 8 บิต มาเรียงต่อกันตามตำแหน่ง การแปลงตัวเลขฐาน 2 เป็นฐาน 10 การเปรียบเทียบค่าที่แปลงได้จากรีจิสเตอร์ของไอซีเป็นค่าทางไฟฟ้า การคำนวณเพาเวอร์แฟกเตอร์ จนถึงการจัดเรียงข้อมูลเพื่อเตรียมส่งให้กับบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ โดยทุกการส่งข้อมูล 1 รอบจะมีขนาดประมาณ 80 ไบต์ จากการทดลองพบว่า เมื่อโปรแกรมทำงานต่อ 1 รอบ จะใช้เวลาไม่เกิน 1 วินาที

โดยหากออกแบบให้เก็บค่าลงฐานข้อมูลทุก 1 วินาที จะได้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศในโปรแกรมตรงกับค่าพลังงานที่เครื่องใช้จริงมากที่สุด แต่ต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลมากที่สุดเช่นกัน ผู้วิจัยจึงลดรอบการส่งข้อมูลโดยพิจารณาเปรียบเทียบจำนวนบรรทัดที่ต้องใช้ในการเก็บค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 วินาที คำนวณตามสมการที่ 3.1 และนำผลเขียนลงกราฟดังรูปที่ 3.13

$$X = \frac{24 \times 60 \times 60 \times 24}{S} \quad (3.1)$$

เมื่อ X คือ จำนวนบรรทัดในการเก็บค่าลงฐานข้อมูลใน 1 วัน
S คือ วินาทีของรอบส่งค่าจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.13 กราฟหาวินาทีที่เหมาะสมของรอบในการส่งข้อมูล

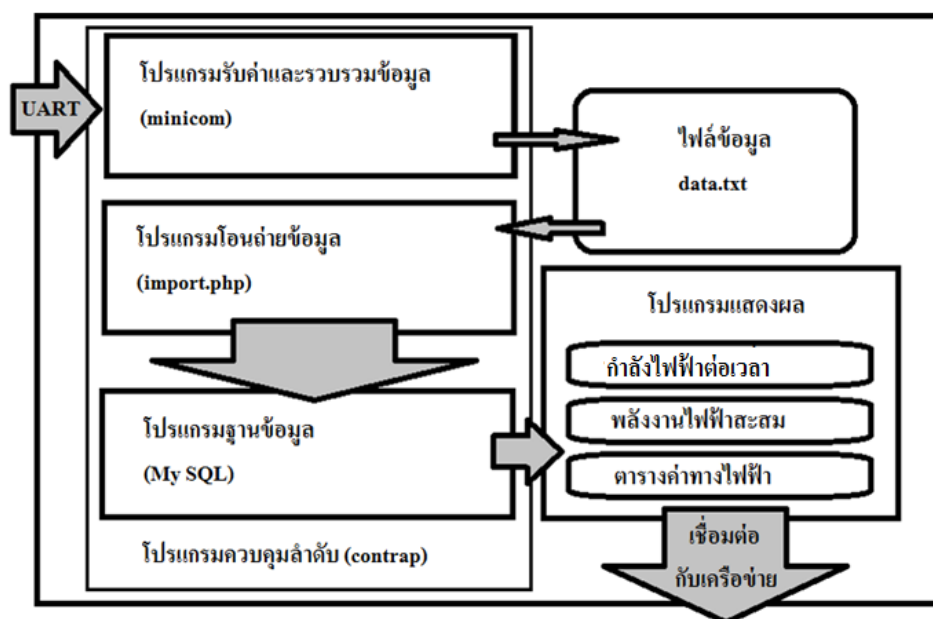
จากรูปที่ 3.13 ที่เส้นสีส้ม หรือเส้นแสดงจำนวนบรรทัดที่ใช้ในฐานข้อมูล หากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่าทุก 1 วินาที จะมีค่าในฐานข้อมูลต่อวันจำนวน 518400 บรรทัด แต่หากส่งค่าทุก 2 วินาที จะมีค่าบันทึกในฐานข้อมูล 259300 บรรทัด และหากส่งค่าทุก 3 วินาที จะมีค่าบันทึกในฐานข้อมูล 172800 บรรทัด จากข้อมูลดังกล่าว เมื่อวินาทีต่อรอบการส่งข้อมูลสูงขึ้น จำนวนบรรทัดที่ใช้จริงจะลดลงไปตามลำดับ แต่จะมีผลน้อยลงหากวินาทีต่อรอบสูงขึ้นมากๆ

ผู้วิจัยเลือกใช้เส้นแนวโน้มน้ำค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ของข้อมูล[24] เป็นเครื่องมือสำหรับหาวินาทีของรอบที่เหมาะสมในการส่งข้อมูล โดยจุดแรกของเส้นแนวโน้มน้ำได้จากค่าเฉลี่ยจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 ของข้อมูลจริง และจุดที่ 2 ของเส้นแนวโน้มน้ำได้จากค่าเฉลี่ยจุดที่ 2 กับจุดที่ 3 ของข้อมูลจริงตามลำดับ หากกราฟข้อมูลจริงมีลักษณะตามเส้นสีส้ม จะมีจุดหนึ่งที่เส้นแนวโน้มน้ำทับกับเส้นกราฟของข้อมูลจริง หรือกล่าวได้ว่าค่าข้อมูลจริงที่จุดนั้นใกล้เคียงกับแนวโน้มน้ำค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

เมื่อขีดเส้นแนวโน้มน้ำเฉลี่ยของข้อมูลจำนวนบรรทัดที่ใช้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 วินาที ตามเส้นสีดำ จะพบว่าจุดแรกที่เส้นกราฟทั้งสองทับกันคือที่จุด 7 วินาทีต่อรอบ ดังนั้นจึงเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลทุก 7 วินาที ซึ่งจะมีข้อมูล 740571 บรรทัดใน 1 วัน

โปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลและแสดงผล จะทำงานอยู่บนอุปกรณ์ชิ้นเดียวคือบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์หรือบอร์ด Raspberry-Pi เป็นส่วนรับข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศจากส่วนวัดค่าทางไฟฟ้า มีโปรแกรมเพื่อแสดงผลการใช้พลังงานพร้อมกับวัดสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ โดยทำงานผ่านตัวบริการเว็บเพื่อแจ้งข้อมูลให้กับผู้ใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

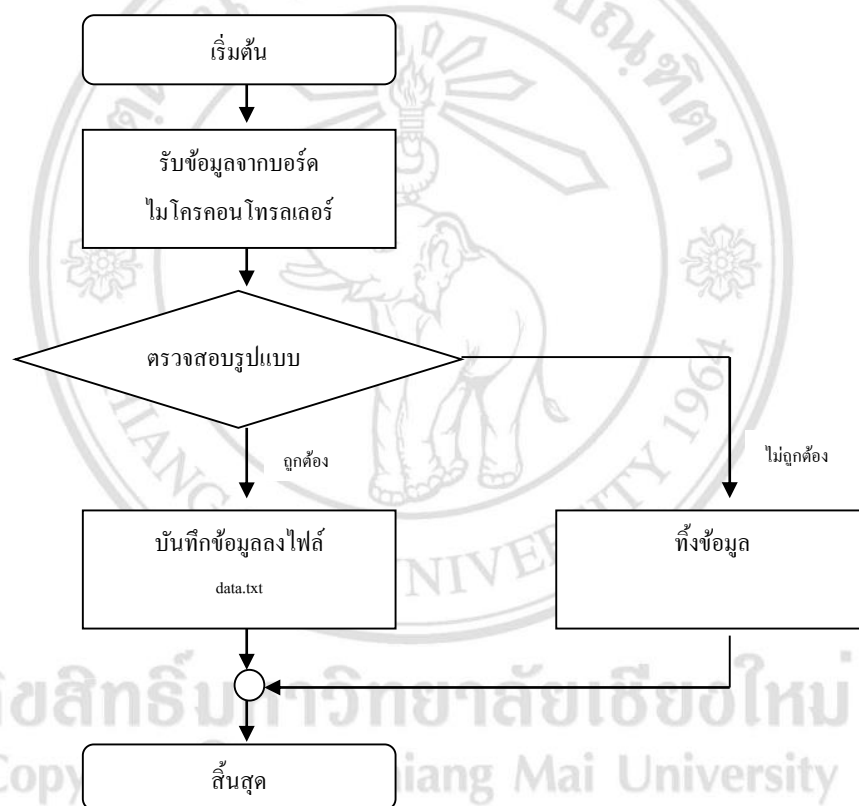
บอร์ด Raspberry-Pi ติดตั้งโปรแกรมหลายตัวทำงานพร้อมกัน ได้แก่ โปรแกรมรับค่าและรวบรวมข้อมูล โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูล โปรแกรมฐานข้อมูล และโปรแกรมแสดงผล โดยมีโปรแกรมอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้การส่งต่อข้อมูลระหว่างโปรแกรมเป็นลำดับแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ลำดับการทำงานแต่ละโปรแกรมของส่วนตัวบริการเว็บ

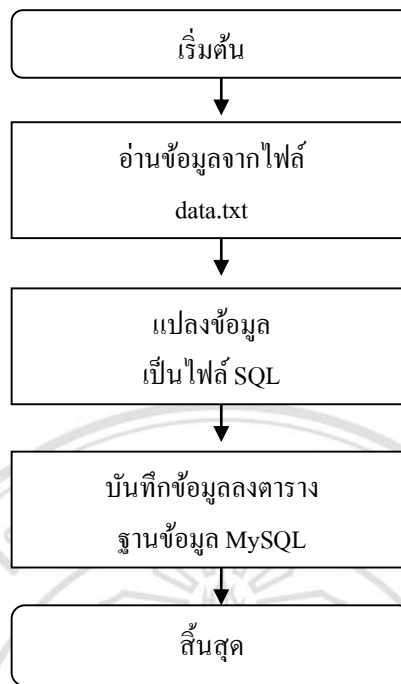
จากรูปที่ 3.14 เมื่อมีข้อมูลจากส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าเข้ามาที่ส่วนตัวบริการเว็บ จะมีโปรแกรมหลายตัวทำงานร่วมกันเป็นลำดับ ตั้งแต่รับค่าและรวบรวมข้อมูลเก็บไว้เป็นไฟล์ อ่านข้อมูลจากไฟล์เพื่อนำไปเขียนลงในฐานข้อมูล และแสดงผล โปรแกรมแต่ละตัวมีลักษณะการทำงานดังนี้

โปรแกรมรับค่าและรวบรวมข้อมูล หรือโปรแกรม minicom มีการทำงานดังรูปที่ 3.15 ทำหน้าที่รับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ของส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าที่ส่งข้อมูลมาทุก 7 วินาที จากนั้นโปรแกรมจะตรวจสอบรูปแบบว่าส่งมาถูกต้องตามรูปที่ 3.12 หรือไม่ หากถูกต้องจะบันทึกข้อมูลไว้ในไฟล์ชื่อ data.txt ซึ่งจะมีข้อมูลทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 7 วินาทีเช่นกัน แต่หากข้อมูลที่ส่งมามีรูปแบบไม่ถูกต้อง โปรแกรมจะไม่บันทึกค่าและรอตรวจสอบข้อมูลในรอบถัดไป



รูปที่ 3.15 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม minicom

โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูล หรือโปรแกรม import.php มีลักษณะการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 3.16 ตัวโปรแกรมทำหน้าที่อ่านข้อมูลทางไฟฟ้าจากไฟล์ data.txt เพื่อแปลงเป็นภาษา SQL สำหรับใส่ในฐานข้อมูล MySQL ซึ่งจะแยกข้อมูลเวลา วันที่ แรงดันและกระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จากไฟล์รูปแบบเท็กซ์ (text) นำไปบันทึกลงในตารางของฐานข้อมูล โดยโปรแกรมจะถูกควบคุมให้ทำงานทุก 1 นาที



รูปที่ 3.16 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม import.php

โปรแกรมฐานข้อมูล หรือโปรแกรม MySQL ทำหน้าที่เก็บข้อมูลทางไฟฟ้าจากโปรแกรม import.php เพื่อให้โปรแกรมแสดงผลถึงข้อมูลไปใช้ ซึ่งการสื่อสารกับโปรแกรมฐานข้อมูลต้องทำตามขั้นตอนในเนื้อหาบทที่ 2

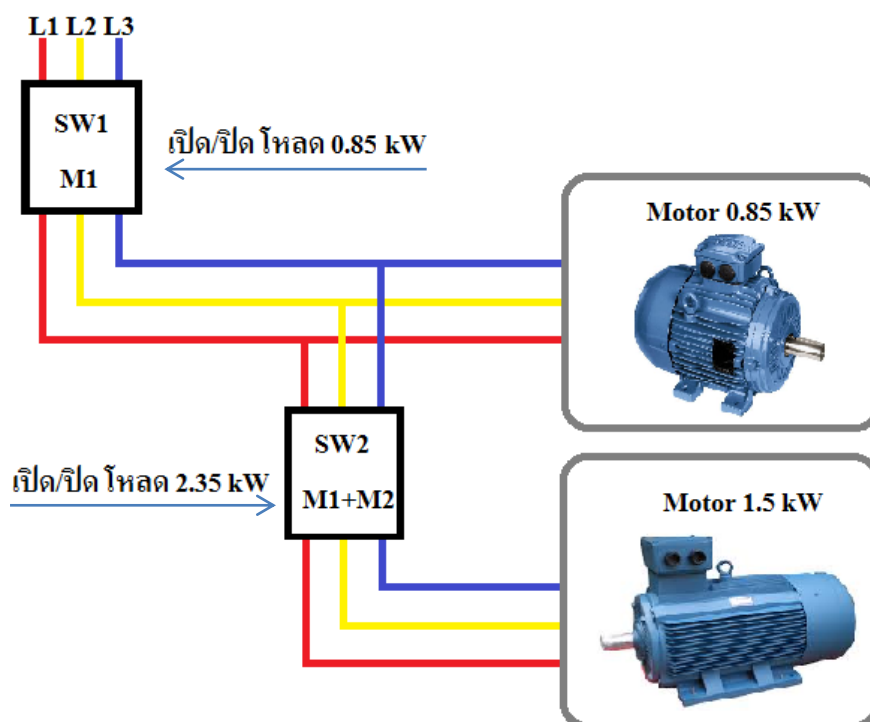
โปรแกรมควบคุมขั้นตอน หรือโปรแกรม crontap ทำหน้าที่ควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม minicom import.php และ MySQL มีลักษณะการทำงานคือ เมื่อเริ่มเปิดตัวบริการเว็บจะลบไฟล์ data.txt ที่เก็บข้อมูลเก่าออก จากนั้นจะสั่งให้โปรแกรม minicom เริ่มเก็บข้อมูลใหม่ รวมถึงเป็นตัวควบคุมให้โปรแกรม import.php ทำงานทุก 1 นาที

โปรแกรมแสดงผล ทำหน้าที่ดึงค่าที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูลออกมาแสดงผ่านโปรแกรมคันดูเว็บที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ประกอบด้วยหน้าต่างแสดงผล 3 ตัวคือ หน้าต่างแสดงการใช้กำลังไฟฟ้า (view.php) หน้าต่างแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าสะสม (viewap.php) และ หน้าต่างตารางแสดงค่าทางไฟฟ้า (table.php) ค่าที่แสดงจะปรับข้อมูล (Update) ทุก 1 นาที

การแจ้งเตือนเมื่อเครื่องอัดอากาศใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าปกติ ใช้วิธีตรวจจับความผิดปกติในช่วงที่เครื่องทำงานในโหมดไม่มีโหลด ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้ต้องป้อนค่าช่วงการตรวจจับกำลังที่ผิดปกติให้กับโปรแกรมในหน้าต่างการตั้งค่า เมื่อโปรแกรมตรวจพบว่าเครื่องอัดอากาศที่กำลังตรวจวัด มีความต้องการกำลังไฟฟ้าอยู่ระหว่างช่วงความผิดปกติที่ตั้งค่าไว้ติดต่อกันเกิน 3 จุด ระบบจะทำการแจ้งเตือนโดยมีข้อความให้ผู้ใช้งานตรวจสอบเครื่องอัดอากาศ

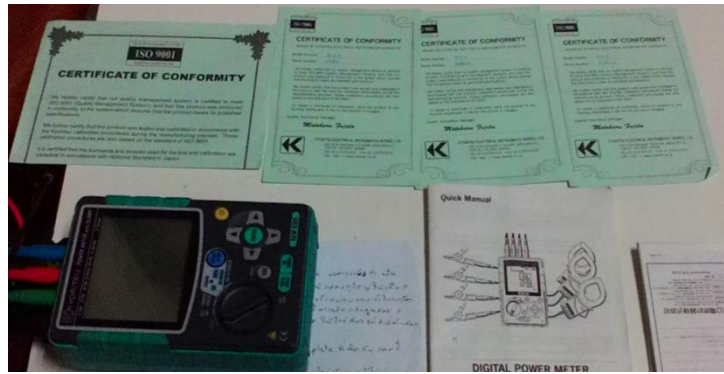
3.2 การเปรียบเทียบ และสอบเทียบค่าทางไฟฟ้าจากระบบที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดตัวอื่น

ในขั้นตอนนี้ใช้ชุดทดสอบเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ ต่อขนานกับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ โดยติดตั้งสวิตช์สำหรับเลือกเปิดมอเตอร์เพียง 1 ตัว หรือเลือกเปิดมอเตอร์พร้อมกันทั้ง 2 ตัว ลักษณะตามรูปที่ 3.17 ทำให้ชุดทดสอบมีโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0.85 กิโลวัตต์ และ 2.35 กิโลวัตต์ ตามลำดับ

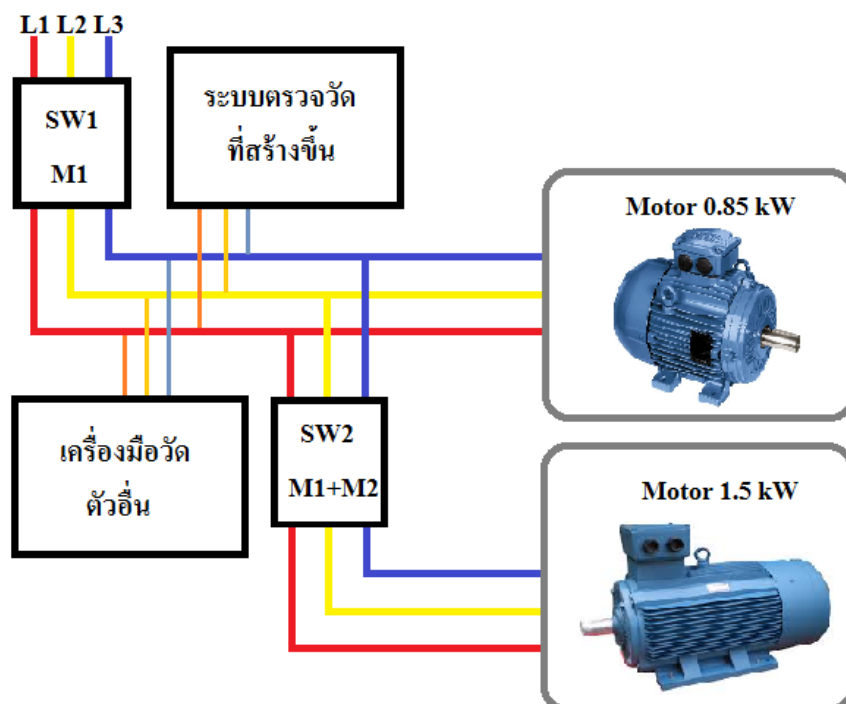


รูปที่ 3.17 ชุดทดสอบในการปรับค่าเทียบค่าทางไฟฟ้าของระบบ

บริเวณสวิตช์ต้นทางของสายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว ได้ติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสและสายสัญญาณของวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อเก็บค่าการใช้กระแสและแรงดันของชุดทดสอบให้กับระบบตรวจวัดที่สร้างขึ้น พร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าทางไฟฟ้าตัวอื่นที่มีความแม่นยำสามารถเชื่อถือผลการวัดได้เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Data Logger) ยี่ห้อ Kyoritsu รุ่น KEW6305 ดังรูปที่ 3.18 เป็นอุปกรณ์มาตรฐานและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บค่าในจุดเดียวกับระบบวัดพลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นลักษณะดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 เครื่องมือวัดตัวอื่นที่ใช้เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าของระบบ



รูปที่ 3.19 การติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดตัวอื่น

การเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าของระบบตรวจวัดพลังงานที่สร้างขึ้น จะดำเนินการด้วยวิธีเปรียบเทียบด้วยวิธีซีโรสแปน (Zero Span) ตามเนื้อหาในหัวข้อที่ 2.5 แบ่งส่วนการเปรียบเทียบเป็น 2 ส่วนคือ การเปรียบเทียบส่วนกระแสไฟฟ้า และการเปรียบเทียบส่วนแรงดันไฟฟ้า วิธีการเปรียบเทียบอย่างละเอียดแสดงอยู่ภาคผนวก ข.

การเปรียบเทียบส่วนกระแสไฟฟ้า เป็นส่วนที่สำคัญเนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ตรวจวัด ในการเปรียบเทียบใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 2.35 กิโลวัตต์ เป็นโหลดอ้างอิง และใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ เป็นขนาดของโหลดไม่ทราบค่าเปรียบเทียบโดยหาค่าตัวแปรแต่ละตัวแทนในสมการที่ 2.14

$$W_{null} = (U_{null} - U_{noload}) \times \left(\frac{W_{ref}}{U_{ref} - U_{noload}} \right) \quad (2.14)$$

- เมื่อ W_{null} คือ ขนาดของโหลดที่ไม่ทราบค่า
 U_{null} คือ สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะวัดโหลดที่ไม่ทราบค่า
 U_{noload} คือ สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะไม่มีโหลด
 W_{ref} คือ ขนาดของโหลดอ้างอิง
 U_{ref} คือ สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะวัดโหลดอ้างอิง

การหาค่าตัวแปรแต่ละตัวเพื่อเปรียบเทียบกระแส มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่าตัวแปร U_{noload} โดยปิดมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว จากนั้นอ่านค่ารีจิสเตอร์ของกระแสแต่ละเฟสจากไอซี
2. หาค่าตัวแปร W_{ref} โดยเปิดมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อสร้างโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ จากนั้นอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจาก Data logger
3. หาค่าตัวแปร U_{ref} โดยอ่านค่าจากรีจิสเตอร์ของกระแสแต่ละเฟสจากไอซี ในขณะที่เปิดมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว
4. หาค่าตัวแปร U_{null} โดยเปิดมอเตอร์เพียง 1 ตัว เพื่อสร้างโหลดขนาด 0.85 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้เป็นขนาดของโหลดไม่ทราบค่า จากนั้นอ่านค่าจากรีจิสเตอร์กระแสอีกครั้ง
5. หาค่าตัวแปร W_{null} โดยแทนค่าตัวแปรจากขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 ลงในสมการที่ 2.14 ได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่ากระแสทั้ง 3 เฟส จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน
เมื่อโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และ โหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์

Phase	Zero Span	Data Logger	Error	%Error	%Accuracy
เฟสที่ 1	1.551 A	1.5632 A	0.0122 A	0.78 %	99.22%
เฟสที่ 2	1.698 A	1.6820 A	-0.016 A	0.95%	99.05%
เฟสที่ 3	1.821 A	1.8506 A	0.0296 A	1.96%	98.04%

จากนั้นทดลองแทนค่ากลับ โดยให้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ เป็นโหลดอ้างอิง และให้โหลดมอเตอร์ขนาด 2.35 กิโลวัตต์ เป็นโหลดไม่ทราบค่า เมื่อทดลองเปรียบเทียบและแทนค่าตัวแปรลงในสมการที่ 2.14 ได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่ากระแสทั้ง 3 เฟส จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน
เมื่อโหลดอ้างอิงขนาด 0.85 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 2.35 กิโลวัตต์

Phase	Zero Span	Data Logger	Error	%Error	%Accuracy
เฟสที่ 1	2.726 A	2.706 A	-0.02 A	0.73 %	99.27%
เฟสที่ 2	2.933 A	2.962 A	0.029 A	0.97%	99.03%
เฟสที่ 3	3.228 A	3.178 A	-0.05 A	1.57%	99.95%

จากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 พบว่า ค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จาก Data Logger โดยมีค่าร้อยละของความแม่นยำสูง

หลังจากเปรียบเทียบส่วนกระแสเรียบร้อยแล้ว จึงเปรียบเทียบส่วนแรงดันเป็นขั้นตอนต่อไป มีจุดสังเกตคือ ค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบจะค่อนข้างคงที่ แตกต่างจากส่วนกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามความต้องการพลังงานของโหลด เมื่อผู้วิจัยกำหนดโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์ เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า พบว่าได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าแรงดันทั้ง 3 เฟส จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน
เมื่อกำหนดโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์

Phase	Zero Span	Data Logger	Error	%Error	%Accuracy
เฟสที่ 1	231.91 V	231.56 V	-0.35 V	0.15 %	99.85%
เฟสที่ 2	234.72 V	234.84 V	0.12 V	0.05%	99.95%
เฟสที่ 3	233.52 V	234.48 V	0.96 V	0.41%	99.59%

จากตารางที่ 3.3 พบว่า ค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จาก Data logger โดยมีร้อยละของความแม่นยำสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดวิธีเทียบค่าด้วยเทคนิค ซีโรและสเปนนี้ ลงในโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับเทียบค่ากระแสและแรงดันที่อ่านได้จากกริฟิเตอร์ของไอซี ADE7878 เปลี่ยนเป็นค่าทางไฟฟ้าที่สื่อความหมาย

เมื่อเปรียบเทียบค่าเรียบร้อยแล้ว จึงสอบเทียบด้วยวิธีการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty) รวมถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบขยาย (Expanded uncertainty) โดยใช้สมการที่ 2.11 ถึงสมการที่ 2.16 ซึ่งจะทำให้ทราบค่าเฉลี่ยในการวัด ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความไม่แน่นอนแบบ TypeA และ TypeB ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม และความไม่แน่นอนแบบขยาย คำนวณโดยใช้โหลดเป็นมอเตอร์ขนาด 0.85 และ 2.35 กิโลวัตต์ และใช้ Data Logger ยี่ห้อ Kyoritsu รุ่น KEW6305 เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน ได้ผลคำนวณดังตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.4 ผลการสอบเทียบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่สร้างกับอุปกรณ์มาตรฐาน

			ค่าเฉลี่ยในการวัด	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความไม่แน่นอนแบบ Type A	ความไม่แน่นอนแบบ Type B	ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม	ความไม่แน่นอนแบบขยาย
ส่วนวัดค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	โหลดอ้างอิง ขนาด 0.85 kW	เฟส 1	1.551	0.150	0.067	0.027	0.072	±0.2
		เฟส 2	1.698	0.078	0.035	0.027	0.044	±0.2
		เฟส 3	1.821	0.082	0.036	0.027	0.045	±0.2
	โหลดอ้างอิง ขนาด 2.35 kW	เฟส 1	2.726	0.168	0.075	0.027	0.079	±0.2
		เฟส 2	2.933	0.207	0.093	0.027	0.097	±0.2
		เฟส 3	2.288	0.093	0.042	0.027	0.059	±0.2
ส่วนวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	โหลดอ้างอิง ขนาด 0.85 kW	เฟส 1	231.92	0.439	0.156	0.008	0.157	±0.3
		เฟส 2	234.72	0.656	0.293	0.008	0.294	±0.6
		เฟส 3	233.48	0.754	0.337	0.008	0.337	±0.7
	โหลดอ้างอิง ขนาด 2.35 kW	เฟส 1	232.93	0.433	0.194	0.008	0.194	±0.4
		เฟส 2	236.31	0.394	0.176	0.008	0.177	±0.4
		เฟส 3	235.97	0.884	0.395	0.008	0.396	±0.8

จากตารางที่ 3.4 พบว่า ส่วนวัดค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าความไม่แน่นอนแต่ละเฟส ±0.2 A อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนส่วนกระแส ต้องรวมกับค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วย และในส่วนวัดแรงดันไฟฟ้า มีค่าความไม่แน่นอน ±0.3 V ถึง ±0.8 V ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากตัวต้านทานในวงจรแบ่งแรงดัน แต่ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.3 การจำลองสภาพอุณหภูมิของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้า

การทดลองนี้เป็นขั้นตอนเพื่อพิสูจน์เนื้อหาในหัวข้อที่ 2.1 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างสภาพของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า ในการจำลองสถานการณ์จะทดลองกับมอเตอร์แบบ 1 เฟสขนาด 1500 วัตต์ที่ติดตั้งกลไกอัดอากาศ มีสมการที่เกี่ยวข้องได้แก่

จากสมการที่ 2.1

$$PV^n = C$$

เมื่อ	P	คือ ค่าความดันของอากาศภายในกระบอกสูบ
	V	คือ ปริมาตรของอากาศภายในกระบอกสูบ
	n	คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่พิจารณา (โดยที่ $n \neq 1$)
	C	คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่พิจารณา

และจากสมการที่ 2.2
$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n}$$

เมื่อ	W	คือ งานที่เกิดขึ้นในกระบวนการอัดอากาศแบบโพลีโทรปิก
	P_1	คือ ค่าความดันของอากาศภายในกระบอกสูบก่อนการอัด
	V_1	คือ ปริมาตรของอากาศภายในกระบอกสูบก่อนการอัด
	P_2	คือ ค่าความดันของอากาศภายในกระบอกสูบหลังการอัด
	V_2	คือ ปริมาตรของอากาศภายในกระบอกสูบหลังการอัด
	n	คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่พิจารณา (โดยที่ $n \neq 1$)

เครื่องอัดอากาศเครื่องหนึ่ง ปริมาตรของอากาศก่อนและหลังอัดเท่ากับ 0.2 และ 0.01 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยสามารถสร้างอากาศอัดได้ที่ความดัน 7.521 บาร์ หากกรองอัดอากาศอัดตันจนส่งผลให้ปริมาตรอากาศก่อนกระบวนการอัดลดลงไป 0.02 ลูกบาศก์เมตร เมื่อกำหนดให้ $n=1.4$ จะสามารถคำนวณหางานของกระบวนการอัดอากาศแบบโพลีโทรปิกที่ลดลงได้ดังนี้

หากกรณีที่ตัวกรองอยู่ในสภาพปกติ ปริมาตรของอากาศก่อนการอัดเท่ากับ 0.2 m^3

แทนค่าลงในสมการที่ 2.2 จะได้

$$W = \frac{[(7.521 \times 100) \times 0.01] - [(1.013 \times 100) \times 0.2]}{1 - 1.4}$$

$$W = \frac{7.521 - 20.26}{-0.4}$$

$$W = 31.84$$

หากกรณีที่ตัวกรองอยู่ในสภาพอุดตัน ปริมาตรของอากาศก่อนการอัดเท่ากับ 0.18 m^3

แทนค่าลงในสมการที่ 2.2 จะได้

$$W = \frac{[(7.521 \times 100) \times 0.01] - [(1.013 \times 100) \times 0.18]}{1 - 1.4}$$

$$W = \frac{7.521 - 18.23}{-0.4}$$

$$W = 26.77$$

ดังนั้น เมื่อตัวกรองอากาศอยู่ในสภาพปกติ จะได้งานที่เกิดขึ้นเท่ากับ 31.84 กิโลวัตต์
 เมื่อตัวกรองอากาศอยู่ในสภาพอุดตัน จะได้งานที่เกิดขึ้นเท่ากับ 26.77 กิโลวัตต์

จากผลการคำนวณพบว่า งานที่เกิดขึ้นขณะตัวกรองอากาศอยู่ในสภาพปกติ จะสูงกว่างานที่เกิดขึ้น
 ขณะตัวกรองอากาศมีสภาพอุดตัน 5.07 กิโลวัตต์ จึงสรุปว่า สภาพตัวกรองอากาศมีผลโดยตรงกับ
 อัตราการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ

และหากพิจารณาจากค่ากำลังทางกลจากมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า
 จะมีสมการที่เกี่ยวข้องได้แก่

จากสมการที่ 2.3

$$P_m = \tau \times \omega$$

เมื่อ P_m คือ กำลังทางกล
 τ คือ แรงบิดของมอเตอร์
 ω คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

จากสมการที่ 2.4

$$\tau = F \times r$$

เมื่อ τ คือ แรงบิดของมอเตอร์
 F คือ แรงที่มอเตอร์ส่งให้กลไกของเครื่องอัดอากาศ
 r คือ รัศมีแขนหมุนของกลไกที่ต่อกับมอเตอร์

และจากสมการที่ 2.5

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60}$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์
 N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์

หากเครื่องอัดอากาศแบบสกรูเครื่องหนึ่งที่กำลังทำงานในโหมดไม่มีโหลด มีค่าแรงบิดของมอเตอร์
 ต่ำกำลังเท่ากับ 165 นิวตันเมตร หรือมีค่าตัวแปร $\tau = 165$ และกำหนดให้

กรณีที่ตัวกรองอยู่ในสภาพปกติ วัดค่าความเร็วรอบมอเตอร์เท่ากับ 1450 รอบต่อนาที

แทนค่าลงในสมการที่ 2.5 จะได้

$$\omega = \frac{2\pi 1450}{60}$$

$$\omega = 151.844$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.3 จะได้

$$P_m = 165 \times 151.844$$

$$P_m = 25054.26$$

กรณีที่ตัวกรองอยู่ในสภาพอุดตัน วัดค่าความเร็วรอบมอเตอร์เท่ากับ 1230 รอบต่อนาที

แทนค่าลงในสมการที่ 2.5 จะได้

$$\omega = \frac{2\pi 1230}{60}$$

$$\omega = 128.806$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.3 จะได้

$$P_m = 165 \times 128.806$$

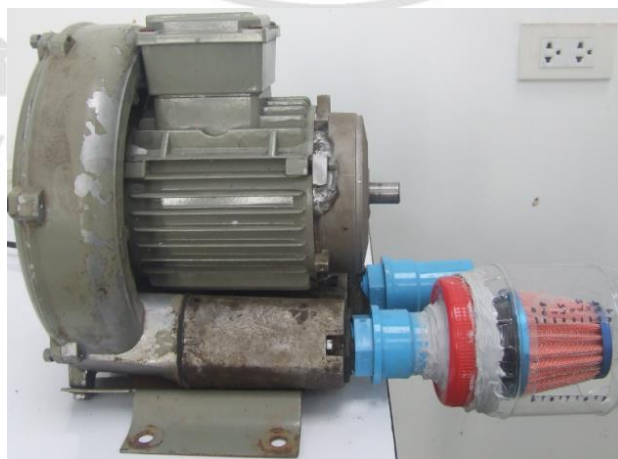
$$P_m = 21252.92$$

ดังนั้น เมื่อกรองอากาศอยู่ในสภาพปกติ มีค่ากำลังทางกลเท่ากับ 25054.26 วัตต์

เมื่อกรองอากาศอยู่ในสภาพอุดตัน มีค่ากำลังทางกลเท่ากับ 21252.92 วัตต์

จะพบว่า ค่ากำลังทางกลของมอเตอร์เมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพปกติ มีค่ามากกว่าค่ากำลังทางกลเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพอุดตัน หากมอเตอร์ที่อยู่ในสภาพปกติใช้กำลังไฟฟ้า 1500 วัตต์ เพื่อสร้างกำลังกล 25054.26 วัตต์ เมื่อตัวกรองอากาศอุดตันทำให้กำลังทางกลลดลง มอเตอร์จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาสภาพการทำงานของมอเตอร์ให้อยู่ในช่วงปกติ

ในการทดลองจะมีชุดกรองอากาศจำลองที่ถูกออกแบบให้ทางเข้าของลมสามารถเปิดและปิดได้ตามสัดส่วนที่ต้องการติดตั้งอยู่ที่บริเวณช่องลมด้านดูดของโบลเวอร์เพื่อปรับค่าความดันทางด้านดูด ตามลักษณะดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลักษณะของชุดกรองอากาศเมื่อประกอบกับมอเตอร์โบลเวอร์

ในขั้นตอนการทดลอง ผู้วิจัยจะเก็บค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ค่าการใช้กระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าขณะที่มอเตอร์ทำงาน จากนั้นปิดทางเข้าของลมเป็นลำดับเพื่อสร้างสถานการณ์จำลองกรณีตัวกรองอากาศอุดตันเพื่อนำข้อมูลที่ได้ออกไปวิเคราะห์ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้เก็บค่าระหว่างการทดลองได้แก่ เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ดังรูปที่ 3.21 มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้างดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์



รูปที่ 3.22 มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า

ก่อนทำการทดลอง จะติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าทางไฟฟ้าบริเวณสายไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับพัดลมอัดอากาศของโบลเวอร์โดยต่อขั้วของมิเตอร์วัดแรงดันขนานกับสายไฟทั้ง 2 เส้น และคล้องมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่สายไลน์ 1 เส้น พร้อมกันนี้ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบจับค่าบริเวณแกนหมุนของมอเตอร์จากนั้นจึงจ่ายไฟให้มอเตอร์เริ่มทำงาน ที่ตำแหน่งชุดกรองอากาศจะมีช่องลมขนาดกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ในขั้นตอนนี้จะใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความกว้างครึ่งละ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.23 และวัดค่าการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปตามระยะปิดช่องลมแต่ละตำแหน่ง สำหรับผลและการวิเคราะห์การทดลองจะนำเสนอในบทที่ 4



รูปที่ 3.23 การทดลองสภาพอุณหภูมิของตัวกรองอากาศที่มีผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า

3.4 การติดตั้งและทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตกับเครื่องอัดอากาศ

หลังจากสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส เรียบร้อยแล้ว จึงนำระบบติดตั้งและทดสอบกับเครื่องอัดอากาศ ในวิทยานิพนธ์นี้จะทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานกับเครื่องอัดอากาศชนิดสกรูยี่ห้อ Ingersoll Rand รุ่น U18-8 มีลักษณะดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 เครื่องอัดอากาศชนิดสกรูยี่ห้อ Ingersoll Rand รุ่น U18-8

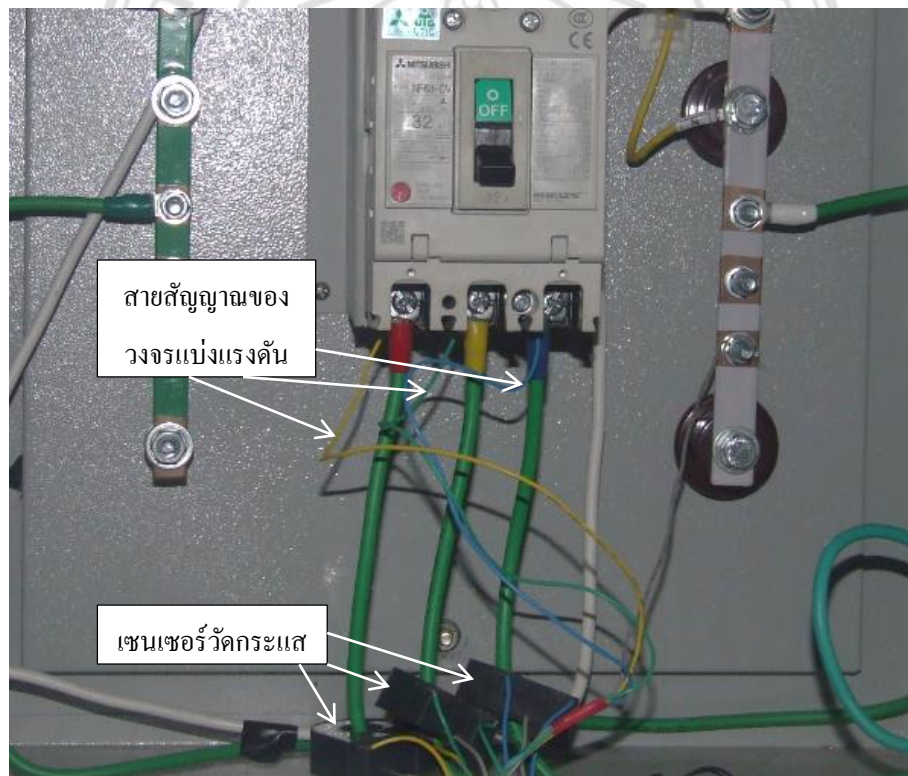
เครื่องอัดอากาศใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์แบบ 3 เฟส ขนาด 18.5 กิโลวัตต์ มีความต้องการกระแสอยู่ในช่วงไม่เกิน 35 แอมป์ กำหนดขั้นตอนการติดตั้งและการทดสอบ 2 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสและวงจรแบ่งแรงดันของระบบ กับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า และการทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องอัดอากาศในสถานการณ์ต่าง ๆ

การติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสและวงจรแบ่งแรงดันกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่าพลังงาน เนื่องจากระบบตรวจวัดที่สร้างขึ้นออกแบบมาสำหรับตรวจวัดค่าพลังงานจากระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบ 4 สาย ได้แก่ สาย L1, สาย L2, สาย L3 และสาย N จึงต้องใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและวงจรแบ่งแรงดัน 4 ชุด

สำหรับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ติดตั้งโดยร้อยสายไฟแต่ละเฟสที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ ที่ต้องการวัดค่าพลังงานเข้ากับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า และต่อสายสัญญาณจากเซนเซอร์กับจุดเชื่อมต่อของระบบตามตำแหน่ง

ในส่วนวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้า สามารถแยกสายไฟที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่า ไปที่จุดเชื่อมต่อของระบบตามตำแหน่งได้ทันที

ลักษณะของการติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสและวงจรแบ่งแรงดันมีลักษณะดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและสายรับสัญญาณของวงจรแบ่งแรงดัน

จากนั้นจึงเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตให้กับระบบตรวจวัด เพื่อให้ผู้ต้องการทราบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ และสามารถเรียกดูข้อมูลจากตัวบริการเว็บของระบบผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตทางหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ลักษณะการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตให้กับระบบตรวจวัดพลังงาน

ในขั้นตอนทดสอบระบบตรวจวัดกับเครื่องอัดอากาศในสถานการณ์ต่าง ๆ เป็นการทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดพลังงานที่สร้างขึ้นกับเครื่องอัดอากาศในสภาพจริง เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เน้นความสำคัญไปที่ลักษณะของตัวกรองอากาศที่ส่งผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้า จึงแบ่งการทดสอบเป็น 3 เหตุการณ์ได้แก่ ทดสอบเพื่อหาค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเมื่อปิดช่องลมบนกล่องครอบตัวกรอง, ทดสอบระบบตรวจวัดกับเครื่องอัดอากาศเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพปกติ และทดสอบระบบตรวจวัดกับเครื่องอัดอากาศเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพอุดตัน

การทดสอบเพื่อหาค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเมื่อปิดช่องลมบนกล่องครอบตัวกรอง เป็นการทดสอบเพื่อหาจุดสำหรับตรวจจับในกรณีที่เครื่องอัดอากาศใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อปิดช่องลมของกล่องได้กรองตามสัดส่วนต่างๆ คล้ายกับการทดลองในหัวข้อ 3.2

การทดสอบระบบตรวจวัดกับเครื่องอัดอากาศเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพปกติ เป็นขั้นตอนเพื่อสังเกตลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องขณะที่ตัวกรองอากาศอยู่ในสภาพดี ได้แก่ ค่าการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อเครื่องทำงานในโหมดไม่มีโหลดและในโหมดมีโหลด รวมถึงการเก็บค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ

การทดสอบระบบตรวจวัดกับเครื่องอัดอากาศเมื่อตัวกรองอยู่ในสภาพอุดตัน เป็นขั้นตอนเพื่อทดสอบการแจ้งเตือนของระบบตรวจวัดเมื่อเครื่องอัดอากาศใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าปกติ โดยทั่วไปการทดสอบขั้นตอนนี้ควรติดตั้งระบบตรวจวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องอัดอากาศตั้งแต่เริ่มเปลี่ยนกรองอากาศตัวใหม่ และทำการเก็บค่าทางไฟฟ้าเป็นเวลานานจนกว่าตัวกรองอากาศจะอุดตันตามสภาพการ

ใช้งาน จึงนำผลมาวิเคราะห์ว่าระบบสามารถตรวจจับความผิดปกติและสามารถแจ้งเตือนได้ถูกต้องหรือไม่ แต่ระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์มีไม่เพียงพอที่จะทำการทดสอบด้วยวิธีการดังกล่าว ผู้วิจัยจึงต้องจำลองลักษณะการอุดตันของตัวกรองอากาศโดยอาศัยผลจากการทดสอบขั้นที่ 1 เป็นสมมติฐาน

สำหรับผลและบทวิเคราะห์การทดลองของเนื้อหาที่ได้กล่าวมานี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอในบทที่ 4 เรื่องผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved