

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ได้อาศัยหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ เช่น ชนิด วัฏจักร และการตรวจสอบสมรรถนะทางกลของเครื่องอัดอากาศ วิธีตรวจสอบตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าและการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า หลักการทั่วไปของเครื่องมือวัด เทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัว การสร้างฐานข้อมูล (Database) เพื่อติดต่อกับตัวบริการเว็บ (Web Server) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

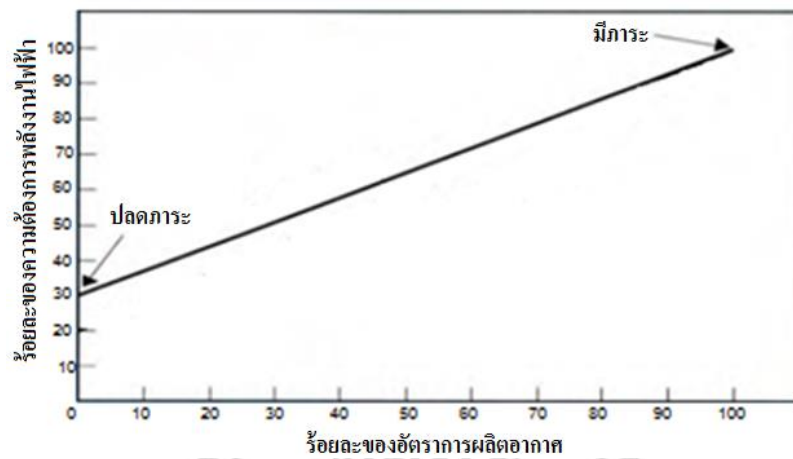
2.1 ชนิด วัฏจักร และการตรวจสอบสมรรถนะทางกลของเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศที่มีขายและใช้งานโดยทั่วไปจะแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงาน [8] โดยแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

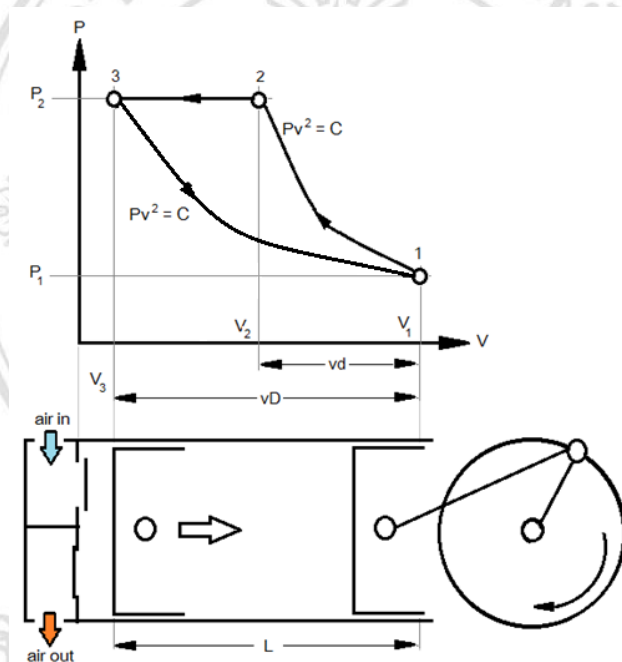
แบบแทนที่อากาศ (Dynamic) โดยให้พลังงานแก่อากาศเพื่อให้ความเร็วเพิ่มขึ้น และอาศัยรูปร่างของโครงสร้างภายในเครื่องอัดอากาศลดความเร็วของอากาศลง ทำให้พลังงานของอากาศในรูปพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นความดัน

แบบอัดอากาศเชิงปริมาตร (Displacement) โดยการดูดอากาศเข้าไปในห้องอัด และลดปริมาตรของอากาศโดยใช้พลังงานจากภายนอก เช่น เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า เมื่ออากาศถูกลดปริมาตรจะมีความดันสูงขึ้น จากนั้นอากาศที่อัดแล้วจะถูกปล่อยออกทางด้านจ่าย เครื่องอัดอากาศชนิดนี้มีทั้งแบบโรตารี (Rotary) และแบบลูกสูบ (Position) นิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม

เครื่องอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ส่วนมากจะเป็นชนิดสกรู[2] ซึ่งนิยมใช้ระบบควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระ (On - Line / Off - Line) กล่าวคือ เมื่อมีความต้องการใช้อากาศอัดหรือในสภาวะโหลด เครื่องจะทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าตามความต้องการอากาศอัดในระบบ แต่เมื่อไรภาระโหลด เครื่องยังคงทำงานอย่างต่อเนื่องแต่จะเป็นแบบปลดภาระซึ่งใช้พลังงานน้อยลง ดังรูปที่ 2.1 เครื่องแบบสกรูมีลักษณะการทำงานแบบอัดอากาศเชิงปริมาตรคล้ายกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ โดยมีกระบวนการ 3 จุดในวัฏจักร [9] ตามกราฟ P-V Diagram ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในสภาวะมีภาระและปลดภาระ



รูปที่ 2.2 วัฏจักรการทำงานของเครื่องแบบอัดอากาศเชิงปริมาตร

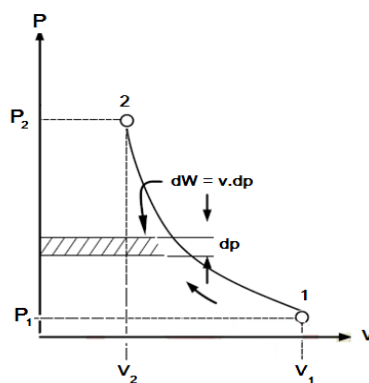
จากกราฟรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณากราฟ P-V Diagram ของวัฏจักรการทำงานแบบอัดอากาศเชิงปริมาตร พบว่ามี 3 กระบวนการ คือ

กระบวนการจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 เป็นการอัดเพื่อให้อากาศไหลออกจากห้องอัด แบบโพลีโทรปิก (Polytropic Process) จะเกิดในขณะที่ถูกสูบเลื่อนขึ้น

กระบวนการจากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 3 เป็นช่วงที่อากาศไหลออกจากห้องอัดอากาศ แบบความดันคงที่ (Constant Pressure, $P_2 = P_3$)

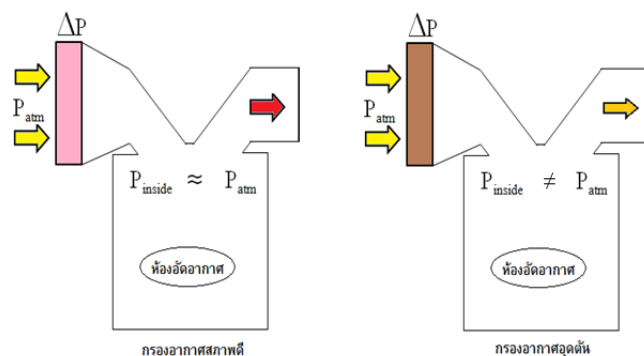
กระบวนการจากจุดที่ 3 ไปจุดที่ 1 เป็นการดูดเพื่อให้อากาศไหลเข้าห้องอัด แบบโพลีโทรปิก (Polytropic Process) จะเกิดในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนลง

กระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด หรือเป็นกระบวนการที่ชีวิตการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ คือกระบวนการจากจุดที่ 1 ไป 2 ซึ่งเป็นกระบวนการที่ความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรมีความเปลี่ยนแปลง ในทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic) จะเรียกกระบวนการนี้ว่า โพลีโทรปิก (Polytropic Process , $Pv^n = c$) เป็นขั้นตอนการเพิ่มความดันจากระดับความดันต่ำ (P_1) เป็นระดับความดันของอากาศอัดที่ใช้ในระบบ (P_2) สามารถหางานจากพื้นที่ใต้กราฟ P-V Diagram ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟ P-V Diagram ของวัฏจักรการทำงานแบบอัดอากาศเชิงปริมาตร

สภาพตัวกรองอากาศจะส่งผลต่อค่าความดันภายในห้องอัดอากาศ เมื่อพิจารณารูปที่ 2.4 จะพบว่า หากตัวกรองอากาศมีสภาพดี อากาศภายนอกจะไหลเข้าห้องอัดอากาศได้สะดวก ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เพื่อดูดอากาศภายนอก อากาศที่ไหลเข้าจะมีปริมาตรใกล้เคียงกับปริมาตรของกระบอกสูบ และค่าความดันภายในกระบอกสูบจะใกล้เคียงกับค่าความดันบรรยากาศ



รูปที่ 2.4 ความแตกต่างของความดันอากาศภายในและภายนอกห้องอัดอากาศกรณีตัวกรองอุดตัน

รูปที่ 2.5 กราฟ P-V Diagram ของวัฏจักรการทำงานเมื่อกรองอากาศอุดตัน

$$PV^n = C$$

(2.1)

V คือ ปริมาตรของอากาศภายในกระบอกสูบ

n คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่พิจารณา (โดยที่ $n \neq 1$)

C คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่พิจารณา

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n} \quad (2.2)$$

P₁ คือ ค่าความดันของอากาศภายในกระบอกสูบก่อนการอัด

V_1 คือ ปริมาตรของอากาศภายในกระบอกสูบก่อนการอัด

P₂ คือ ค่าความดันของอากาศภายในกระบอกสูบหลังการอัด

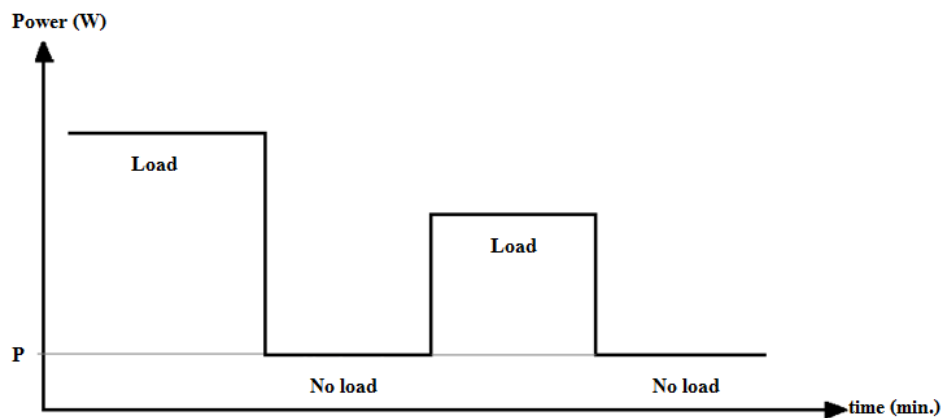
V_2 คือ ปริมาตรของอากาศภายในกระบอกสูบหลังการอัด

n คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่พิจารณา (โดยที่ $n \neq 1$)

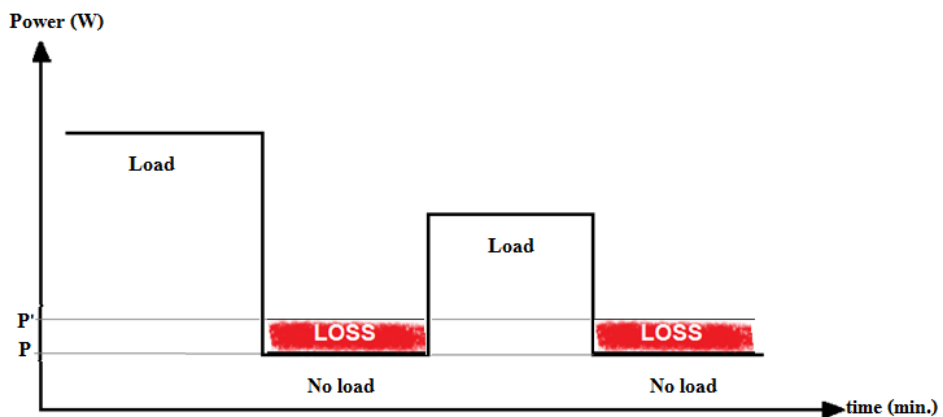
งานในการอัดอากาศมีผลโดยตรงกับการใช้กำลังไฟฟ้า ดังที่ได้กล่าวในตอนต้นว่า เครื่องอัดอากาศแบบสกรูจะมีลักษณะการทำงานเป็นแบบมีโหลด (Load) และไม่มีโหลด (No load) ในช่วงมีโหลดเครื่องจะใช้กำลังไฟฟ้าตามความต้องการอากาศอัดของระบบ ซึ่งมีระยะเวลาและความต้องการไม่แน่นอน ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงมีโหลดจึงไม่สามารถชี้วัดสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศได้

แต่ในช่วงไม่มีโหลดหรือช่วงที่เครื่องไม่มีการจ่ายอากาศอัดให้กับระบบ เครื่องจะเดินเปล่าโดยใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลง ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงไม่มีโหลดจะค่อนข้างคงที่

ในกรณีที่กรองอากาศของเครื่องอยู่ในสภาพดี จะใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในโหลดเต็มพิกัด แต่หากกรองอากาศอุดตันจะทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงไม่มีโหลดเพิ่มขึ้นดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.6



การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องที่กรองอยู่ในสภาวะปกติ



การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องที่กรองอยู่ในสภาวะอุดตัน

รูปที่ 2.6 กราฟกำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลดและไม่มีโหลด เมื่อสภาพกรองอากาศปกติและอุดตัน

นอกจากนี้สภาพของตัวกรองอากาศยังมีผลกับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ค่าการใช้กระแสไฟฟ้า และค่าแรงดันไฟฟ้า ขณะที่มอเตอร์ทำงาน ตามสมการ [10]

$$P_m = \tau \times \omega \quad (2.3)$$

เมื่อ P_m คือ กำลังทางกล
 τ คือ แรงบิดของมอเตอร์
 ω คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

จากสมการที่ 2.3 พบว่า ค่ากำลังทางกลที่ได้จากมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศเป็นผลมาจากค่าแรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างได้ และค่าความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ ตามสมการ

$$\tau = F \times r \quad (2.4)$$

เมื่อ F คือ แรงที่มอเตอร์ส่งให้กลไกของเครื่องอัดอากาศ
 r คือ รัศมีแขนหมุนของกลไกที่ต่อกับมอเตอร์

จากสมการที่ 2.4 ค่าแรงบิดเกิดจากแรงที่มอเตอร์รับภาระกับรัศมีแขนหมุนของกลไกอัดอากาศที่ต่อกับมอเตอร์ ตามลักษณะหากเครื่องอัดอากาศทำงานในช่วงไม่มีโหลด ค่าแรงที่มอเตอร์รับภาระจะคงที่ และรัศมีแขนหมุนของเครื่องอัดอากาศเป็นชิ้นส่วนที่มีค่าคงที่เช่นเดียวกัน ดังนั้นค่ากำลังทางกลจึงขึ้นอยู่กับความเร็วเชิงมุมในสมการที่ 2.5 เท่านั้น

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60} \quad (2.5)$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์
 N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์

จากสมการที่ 2.5 ค่าความเร็วเชิงมุมจะแปรผันตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์กระแสสลับโดยทั่วไปจะมีความเร็วรอบคงที่ ดังนั้น ขณะที่เครื่องอัดอากาศในสถานะไม่มีโหลดเครื่องอัดอากาศจะใช้กำลังไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง แต่เมื่อเครื่องอัดอากาศทำงานในสถานะมีโหลดมอเตอร์จะต้องขับกลไกเพื่อสร้างอากาศอัดทำให้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ต่ำลง ค่ากำลังทางกลที่มอเตอร์สร้างได้จึงลดลง มอเตอร์จะต้องรักษาสภาพทำงานให้อยู่ในช่วงปกติจึงใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น

ค่ากำลังไฟฟ้าเกิดจากผลของค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า จะอธิบายในลำดับต่อไป

2.2 วิธีตรวจสอบตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าและการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยต้องซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เริ่มจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งไฟแรงดันสูงไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยและกระจายสู่ชุมชนก่อนที่จะแปลงเป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำ ระบบไฟฟ้ามีสองชนิดคือ ระบบไฟฟ้า 1 เฟส และระบบไฟฟ้า 3 เฟส ค่าพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้เทียบกับเวลาในหน่วยชั่วโมง กำลังไฟฟ้าของวงจรกระแสสลับมี 3 ชนิด [11] คือ

กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power ; S) มีหน่วยเป็นวีโอ (Va) คือกำลังไฟฟ้าที่ กฟผ.ขายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการ

$$S = V \times I \quad (2.6)$$

เมื่อ S คือ ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ
V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า
I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power ; P) มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า จะมีตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง คำนวณได้จากสมการ

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad (2.7)$$

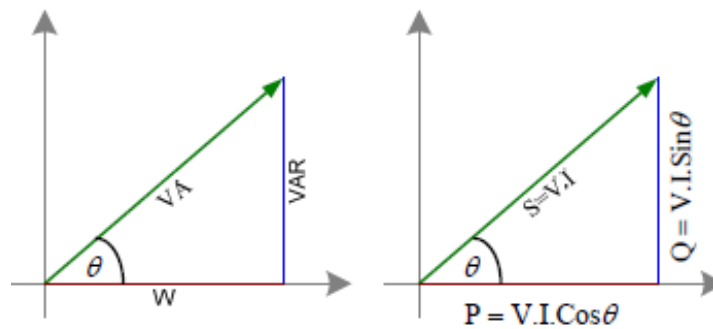
เมื่อ P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย
V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า
I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า
 $\cos\phi$ คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power ; Q) มีหน่วยเป็นวาร์ (Var) คือกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากผลของกำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการ

$$Q = V \times I \times \sin\phi \quad (2.8)$$

เมื่อ Q คือ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า
I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า
 $\sin\phi$ คือ ผลของประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด มีความสัมพันธ์กันตามสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.7 ค่า $\cos\phi$ คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor ; PF) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จากรูปสามเหลี่ยมพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะมีผลโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ

เนื่องจากกำลังไฟฟ้าปรากฏ คือกำลังไฟฟ้าที่ กฟผ. นำไปคิดเทียบกับเวลาเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายเนื่องจากกำลังไฟฟ้าตัวนี้ จากสมการที่ 2.6 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏคือผลคูณระหว่างค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าเท่านั้น แตกต่างจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานซึ่งมีตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประสิทธิภาพดีจะมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียง 1 หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่เป็นค่าใช้จ่าย แต่หากเครื่องใช้ไฟฟ้าเสื่อมประสิทธิภาพตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ หมายถึงผู้ประกอบการจะต้องจ่ายค่าไฟฟ้ามากกว่างานที่เกิดขึ้นจริงหรือจ่ายค่าไฟไม่คุ้มกับงานที่ได้

ในเครื่องอัดอากาศจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ซึ่งมอเตอร์มีคุณสมบัติของตัวต้านทานและขดลวดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ [12] จึงต้องมีการนำตัวเก็บประจุมาต่อขนานกับมอเตอร์เพื่อให้เกิดการหักล้างกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟออก ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ ดังนั้นหากตัวเก็บประจุเสียหายเนื่องจากการอายุการใช้งาน จะส่งผลทำให้เกิดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพิ่มขึ้น

โดยปกติการใช้งานเครื่องอัดอากาศมักจะละเลยการตรวจสอบสภาพของตัวเก็บประจุ หรือไม่มีการวัดค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า ผู้ประกอบการจึงต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น หากมีระบบตรวจสอบตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้การวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องอัดอากาศได้เหมาะสม

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่ใช้มอเตอร์ 3 เฟสเป็นต้นกำลัง การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้จึงต้องนำค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสมารวมกัน สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส ได้จากสมการ [13]

$$S_{\text{total}} = S_{\text{phase1}} + S_{\text{phase2}} + S_{\text{phase3}} \quad (2.9)$$

เมื่อ S_{total} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องอัดอากาศ
 S_{phase1} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของเฟสที่ 1
 S_{phase2} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของเฟสที่ 2
 S_{phase3} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของเฟสที่ 3

การไฟฟ้าจะคิดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยนำกำลังไฟฟ้าปรากฏคำนวณเทียบกับเวลา ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าจึงเท่ากับผลคูณระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์กับเวลาในหน่วยชั่วโมง ดังสมการ

$$E = S_{\text{total}} \times T \quad (2.10)$$

เมื่อ E คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง
 S_{total} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏในหน่วยกิโลวัตต์
 T คือ ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงานในหน่วยชั่วโมง

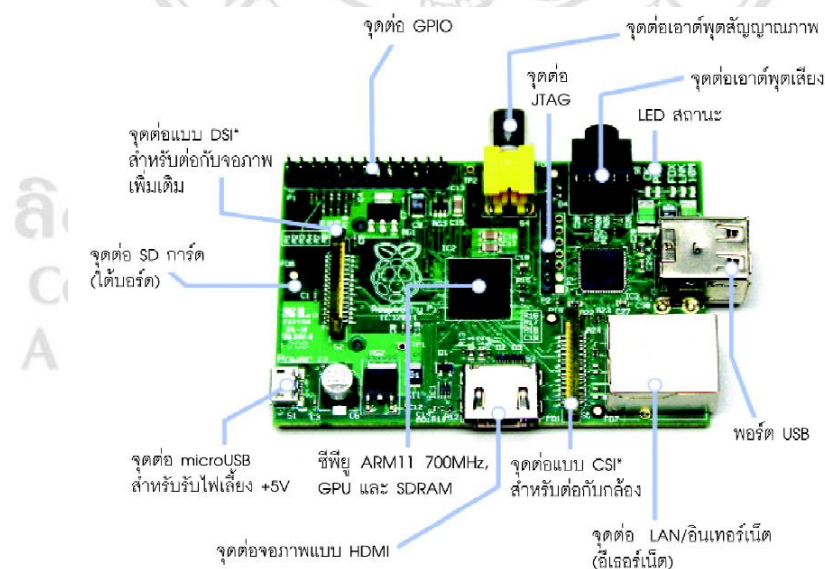
2.3 เทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)

ทุกวันนี้เทคโนโลยีด้านระบบสมองกลฝังตัวได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้นักพัฒนาโปรแกรมให้ความสนใจพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมและตรวจวัดแบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น อุปกรณ์ที่มีการนำมาพัฒนาอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูลต่างๆ เช่น MCS-51 STM32 PIC ARM Arduino ผู้พัฒนาจะเขียนโปรแกรมบันทึกลงในบอร์ดให้ควบคุมอุปกรณ์หรือตรวจวัดค่าตามความต้องการ ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับสูงขึ้นไปจะติดตั้งระบบปฏิบัติการ (Operation System) ได้ เช่น Raspberry-Pi อาจเรียกบอร์ดในระดับนี้ว่า บอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino ทำงานควบคู่กับบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์รุ่น Raspberry-Pi โดยให้บอร์ด Arduino อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของไอซีวัดค่าทางไฟฟ้า และส่งให้กับฐานข้อมูลของบอร์ด Raspberry-Pi ซึ่งมีโปรแกรมอ่านค่าในฐานข้อมูลนำไปแสดงผลผ่านตัวบริการเว็บ

บอร์ด Arduino [14] เป็นของโครงการพัฒนาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ถูกพัฒนาให้สามารถเขียนโปรแกรมใช้งานได้ง่ายและมีราคาประหยัด เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งในแบบที่เป็นการทำงานอิสระหรือเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ชนิดอื่น เนื่องจาก Arduino เป็นการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์ซ (Open Source) จึงมีเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานออกมาเผยแพร่มากมาย และสามารถนำไปพัฒนาได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ในการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์ มีโครงสร้างของภาษาใกล้เคียงกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมผู้พัฒนาสามารถอ้างอิงได้จากภาษาซีมาตรฐานซึ่งเป็นภาษาที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย

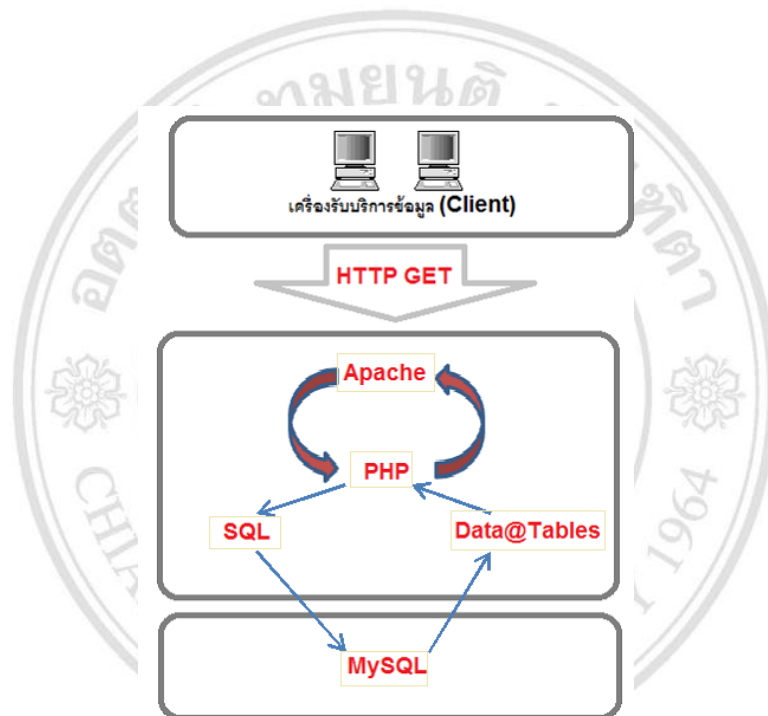
บอร์ด Raspberry-Pi [15] เป็นบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ที่รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) มีจุดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตต่างๆ เช่น USB LAN HDMI GPIO และสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์หรือใช้ร่วมกับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวอื่น เนื่องจากบอร์ด Raspberry-Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ผู้พัฒนาจึงสามารถใช้ทรัพยากรของระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย เช่น การแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิกส์ การใช้งานฐานข้อมูล (Database) การใช้งานตัวบริการเว็บ (Web Sever) และโปรแกรมประยุกต์อื่นๆ ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ได้ใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รองรับหน่วยความจำภายนอกได้สูงถึง 32 กิกะไบต์ ตัวบอร์ดมีขนาดเล็ก ลักษณะดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ของบอร์ด Raspberry-Pi [15]

ในการใช้งานตัวบริการเว็บต้องมีไฟล์หน้าเว็บหรือหน้าต่างเพื่อนำเสนอข้อมูล ซึ่งผู้ให้บริการข้อมูลต้องออกแบบขึ้นเอง มีภาษาทางคอมพิวเตอร์ที่ช่วยสร้างไฟล์หน้าเว็บมากมาย เช่น HTML PHP CGI Python [16] ภาษาที่ช่วยสร้างไฟล์หน้าเว็บและสามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลที่นิยมใช้ตัวหนึ่งคือภาษา PHP ซึ่งจะติดต่อกับฐานข้อมูลผ่านโปรแกรม phpMyAdmin

สำหรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์จะใช้ตัวบริการเว็บชื่อ Apache ซึ่งถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและเป็นตัวบริการเว็บแบบโอเพนซอร์ซ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบให้ทำงานควบคู่กับ PHP และ MySQL ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างการทำงานของฐานข้อมูลกับตัวบริการเว็บ

จากรูปที่ 2.9 หากเครื่องรับบริการ (Client) ต้องการข้อมูลจากตัวให้บริการ (Server) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จะต้องพิมพ์ชื่อเว็บไซต์ในโปรแกรมค้นดูเว็บเพื่อเรียกไปยังตัวบริการเว็บ ด้านฝั่งตัวบริการเว็บหรือ Apache จะติดต่อกับโปรแกรม PHP ซึ่งมีภาษา SQL แทรกอยู่ จากนั้น SQL จะเรียกไปที่ฐานข้อมูลหรือ MySQL โดยจะส่งข้อมูลกลับไปให้ PHP ในรูปแบบตารางตามคำสั่งที่เรียกขามา จากนั้น PHP จะส่งข้อมูลกลับให้ Apache เพื่อส่งข้อมูลต่อไปให้กับเครื่องรับบริการ จากกระบวนการนี้จะพบว่า ข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการแสดงจะถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล MySQL และมีโปรแกรมแสดงผลเป็นไฟล์ PHP ซึ่งเขียนคำสั่งเรียกข้อมูลจาก MySQL ออกมาอีกทีหนึ่ง โดยเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างกระบวนการนี้คือ phpMyAdmin

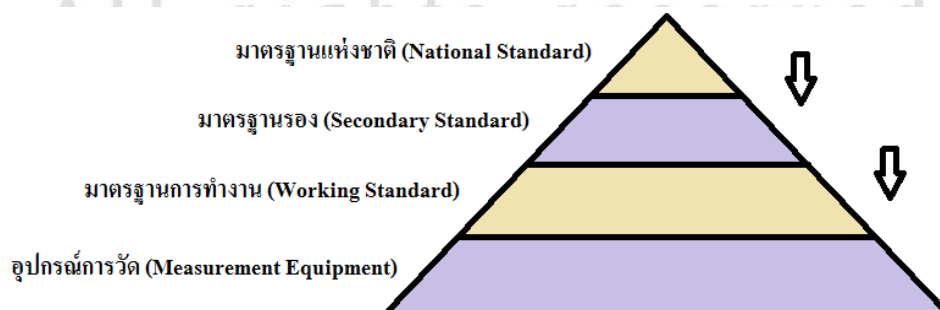
2.4 หลักการทั่วไปของเครื่องมือวัดค่าไฟฟ้ากระแสสลับ

โดยทั่วไปเครื่องมือวัดจะประกอบด้วย 2 ส่วน [7] คือ ส่วนควบคุม (Control Unit) และส่วนการวัด (Measurement Unit) ในส่วนควบคุมมักประกอบด้วยวงจรนับสัญญาณ (Pulse width measuring counter) หน่วยความจำ (Memory) แกนประมวลผล (CPU) หน้าจอแสดงผล (Display) และส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Computer Interface) และในส่วนการวัดมักประกอบด้วย วงจรขยายและแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (ACV Range Amplifier and AC-DC Converter) วงจรกรองสัญญาณ (Filter) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A to D Converter)

ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจำเป็นต้องอาศัยวงจรเพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ในกรณีที่เครื่องมือวัดไม่ต้องการความถูกต้องมากนัก วงจรดังกล่าวจะทำงานอยู่ในช่วง ± 0.2 โวลต์ ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้อยู่ในรูปของไอซี (Integrating circuit) มีข้อดีคือสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟฟ้า จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่สามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำ แต่ความถูกต้องแม่นยำมักแปรผันไปตามระยะเวลาการใช้งานและสภาพแวดล้อม ดังนั้น เมื่อต้องการทราบค่าที่แท้จริงของเครื่องมือวัด จำเป็นจะต้องสอบเทียบเครื่องมือวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐานที่ทราบค่าความไม่แน่นอน เพื่อที่จะสามารถย้อนกลับไปยังมาตรฐานของเครื่องมือวัด ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดถูกต้องแม่นยำ

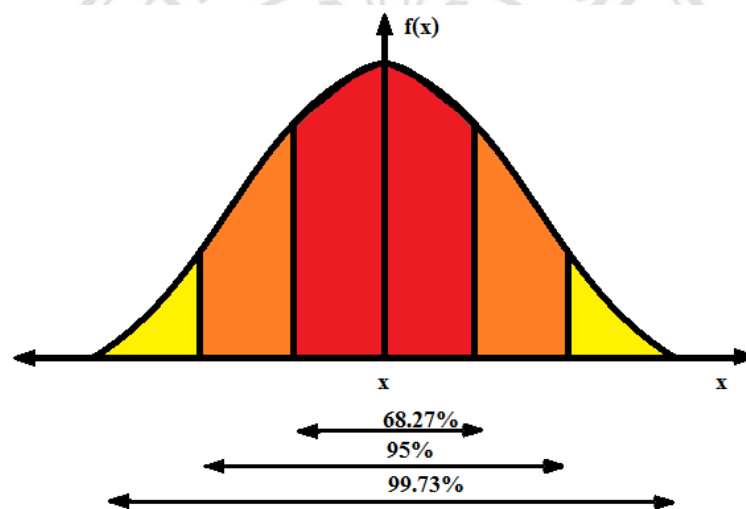
การสร้างเครื่องมือวัดให้มีมาตรฐานจำเป็นต้องนำเครื่องมือที่สร้างสอบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ทราบค่าความไม่แน่นอน [17] โดยระบบสอบย้อนกลับได้ (Traceability system) ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพของ ISO9000 โดยทั่วไปมักนิยมเรียกว่า Forward/Reverse traceability เป็นลักษณะการตรวจสอบย้อนกลับดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความสอบย้อนกลับได้ของเครื่องมือวัด

จากรูปที่ 2.10 หากพิจารณาที่อุปกรณ์การวัด (Measurement Equipment) อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องได้รับการสอบเทียบจากมาตรฐานที่สูงขึ้นไปคือ มาตรฐานการทำงาน (Working Standard) และมาตรฐานการทำงานจะต้องได้รับการสอบเทียบจากมาตรฐานที่สูงขึ้นไปอีกคือ มาตรฐานรอง (Secondary Standard) ซึ่งได้รับการสอบเทียบจากมาตรฐานแห่งชาติ (National Standard) เมื่อเครื่องมือวัดได้รับการสอบเทียบตามขั้นตอนดังกล่าว จึงถือว่าเครื่องมือวัดตัวนั้นสามารถใช้วัดค่าได้ตามมาตรฐาน

ในการสอบเทียบจะต้องทราบรายละเอียดของอุปกรณ์มาตรฐานและอุปกรณ์สอบเทียบ เพื่อใช้วิเคราะห์หาความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด ด้วยการประเมินแบบแจกแจงแบบปกติลักษณะดังกราฟรูปที่ 2.11 โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้



รูปที่ 2.11 กราฟการแจกแจงแบบปกติ

ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณได้จากสมการ

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2.11)$$

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.12)$$

- เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยในการวัด
 x_i คือ ค่าที่ได้จากการวัดครั้งที่ i
 n คือ จำนวนครั้งในการวัด
 SD คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัด

การประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม เป็นการประเมินแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือ การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบ Type A ได้จากสมการ

$$v_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (2.13)$$

เมื่อ v_A คือ การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบ Type A

การประเมินความไม่แน่นอน Type B เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนอื่นๆที่สามารถหาได้ เช่น ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ ที่เป็นการประเมินแจกแจงแบบปกติ คำนวณได้จากสมการ

$$v_{STD} = \frac{v}{k} \quad (2.14)$$

เมื่อ v_{STD} คือ การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบ Type B
 v คือ ค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งที่สามารถหาได้
 k คือ ค่าคงที่ โดย $k=2$ เมื่อระดับความเชื่อมั่น 95%
 และ $k=2.58$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

การประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty) คำนวณได้จากสมการ

$$v_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (2.15)$$

เมื่อ v_c คือ การประเมินความไม่แน่นอนแบบมาตรฐานรวม
 v_i คือ ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิดที่ i

การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty) เป็นการขยายค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม เพื่อให้เป็นไปตามความเชื่อมั่นอื่นๆ ของการแจกแจงแบบปกติ คำนวณได้จากสมการ

$$U = k \times v_c \quad (2.16)$$

เมื่อ U คือ การประเมินความไม่แน่นอนแบบขยาย

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ คือ ค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าความจริงกับค่าที่วัดได้ คำนวณได้จากสมการ

$$e = X_t - X_m \quad (2.17)$$

เมื่อ e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์
 X_t คือ ค่าจริง
 X_m คือ ค่าที่วัดได้

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง คำนวณได้จากสมการ

$$\%Error = \left[\frac{X_t - X_m}{X_t} \right] \times 100\% \quad (2.18)$$

เมื่อ $\%Error$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

ค่าความถูกต้องแม่นยำ คือ ความถูกต้องของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดเปรียบเทียบกับค่าจริง คำนวณได้จากสมการ

$$A = 1 - \%Error \quad (2.19)$$

เมื่อ A คือ ค่าความถูกต้องแม่นยำ

ค่าร้อยละของความถูกต้อง คือ ผลร้อยละของค่าความถูกต้องแม่นยำ ได้จากสมการ

$$\%Acc = A \times 100\% \quad (2.20)$$

$$\%Acc = 100\% - \%Error \quad (2.21)$$

ค่าความเที่ยงตรง (Precision) คือ ค่าความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้จากตัวแปรเดียวกันซ้ำหลายๆ ครั้ง คำนวณได้จากสมการ

$$Precision = \left| \frac{X_i - X_m}{X_m} \right| \quad (2.22)$$

$$\text{โดยที่ } \bar{X}_n = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.23)$$

เมื่อ	X_m	คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด
	X_i	คือ ค่าของการวัดแต่ละครั้ง
	$\sum X_i$	คือ ผลรวมของค่าการวัดทั้งหมด
	n	คือ จำนวนครั้งของการวัด

2.5 เทคนิคการปรับเทียบค่าเครื่องมือวัดด้วยวิธีซีโร่และสเปน (Zero Span)

เป็นวิธีปรับเทียบสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัด [18] ให้เป็นผลลัพธ์ของเครื่องมือวัดที่สื่อความหมาย เช่น โหลดเซลล์สำหรับซึ่งน้ำหนักตัวหนึ่งสามารถจ่ายแรงดันเอาต์พุตขนาด 0 ถึง 0.05 โวลต์ ขณะไม่มีน้ำหนัก โหลดเซลล์จ่ายแรงดันเอาต์พุต 0.003 โวลต์ จะใช้ก้อนเหล็กหนัก 100 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักอ้างอิง เมื่อนำก้อนเหล็กขึ้นซึ่ง โหลดเซลล์จ่ายแรงดันเอาต์พุต 0.025 โวลต์ จากนั้นเมื่อนำก้อนเหล็กอีกชิ้นหนึ่งที่ไม่ทราบน้ำหนักขึ้นซึ่ง ปรากฏว่าโหลดเซลล์จ่ายแรงดันเอาต์พุต 0.015 โวลต์ การหาน้ำหนักของก้อนเหล็กชิ้นที่สอง ควรใช้วิธีปรับเทียบตามสมการ

$$W_{null} = (U_{null} - U_{noload}) \times \left(\frac{W_{ref}}{U_{ref} - U_{noload}} \right) \quad (2.24)$$

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

จากตัวอย่าง เมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้

$$W_{null} = (0.015 - 0.003) \times \left(\frac{100}{0.025 - 0.003} \right)$$

$$W_{null} = 54.545$$

ดังนั้น น้ำหนักของก้อนเหล็กชิ้นที่ 2 คือ 54.545 กิโลกรัม

ผู้วิจัยจะใช้วิธีดังกล่าวสำหรับเทียบข้อมูลแรงดันและกระแสไฟฟ้าของระบบตรวจวัดพลังงาน วิธีการจะนำเสนอในบทที่ 3

ที่กล่าวมานี้คือหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าจากไอซีวัดค่าทางไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่วัดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ จากนั้นจึงส่งค่าการวัดที่ได้ใส่ไว้ในฐานข้อมูลของตัวบริการเว็บเพื่อนำไปแสดงผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และมีส่วนตรวจสอบในกรณีที่เครื่องอัดอากาศใช้พลังงานมากกว่าปกติอันมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสมรรถนะทางกลหรือการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบทางไฟฟ้า ในบทต่อไปจะเป็นขั้นตอนวิธีเป็นการนำหลักการและทฤษฎีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved