การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

นายนพดล มั่นอก

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

นายนพดล มั่นอก

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองดุษฎีนิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

โดย นายนพดล มั่นอก

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ จันทร์วิพัฒน์)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย หอวิมานพร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หุตะมาน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรพงศ์ ทานอก)

ชื่อ : นายนพดล มั่นอก
ชื่อดุษฎีนิพนธ์ : การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย หอวิมานพร
อาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว
ปีการศึกษา : 2567

พจนานุกรมภาษาไทย

บทคัดย่อ

เทคโนโลยี 4.0 ในอุตสาหกรรมมุ่งเน้นการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีความต้องการฝึกอบรมพนักงานในอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในระบบอัดอากาศ ซึ่งเป็นระบบอากาศที่ถูกอัดด้วยความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ถือเป็นสื่อสำคัญในการถ่ายโอนพลังงานในกระบวนการทางอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีระบบการจัดการพลังงานที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพยังไม่ได้แพร่หลาย เนื่องจากสื่อการเรียนรู้สำหรับการฝึกอบรมมีราคาแพง และไม่สามารถจำลองการทำงานของระบบได้อย่างครอบคลุม พนักงานจึงขาดความเข้าใจในภาพรวม ทำให้เกิดปัญหาในการเรียนรู้และขาดทักษะเชิงปฏิบัติ โดยเฉพาะพนักงานใหม่ที่อาจขาดความรู้และประสบการณ์ เกิดข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงานหรือการแก้ปัญหา ในการศึกษานี้ เราได้เสนอรูปแบบการฝึกอบรมที่ประกอบด้วยชุดฝึกอบรมระบบอัดอากาศ โดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์แห่งสรรพสิ่ง (AIoT) และมีสถานการณ์ประหยัดพลังงาน ได้แก่ การควบคุมความดันของอากาศที่ถูกอัดเข้าสู่กระบอกสูบในขณะที่มีการรับน้ำหนักขนาดต่าง ๆ การฝึกอบรมที่ขับเคลื่อนโดยผลลัพธ์ (outcome-based approach) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการฝึกอบรมสามารถจำลองกระบวนการของระบบจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศ สามารถนำไปใช้ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติสำหรับพนักงานหรือวิศวกรในอนาคตได้

(มีจำนวนทั้งสิ้น xx หน้า)

คำสำคัญ : ระบบจัดการพลังงาน ชุดฝึกอบรม AIoT การศึกษาด้านวิศวกรรม

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์หลัก

Name : Mr. Noppadon Monok
Dissertation Title : Development of a Training Model on Energy Management of Compressed Air System with Artificial Intelligence of Things in Industry Major Field
Major Field : Mechanical Engineering Education
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dissertation Advisor : Associate Professor Dr. Suppachai Howimanporn
Co-Advisor : Associate Professor Dr. Sasithorn Chookaew
Academic Year : 2024

ABSTRACT

Technology 4.0 in the industry focuses on effective energy saving. There is an increase in the need for industrial worker training, especially in compressed air systems, air kept under more significant pressure than atmospheric pressure. It is an important medium for the transfer of energy in industrial processes. However, the new technology of energy management systems to enhance performance has yet to be widespread. Owing to the learning material for training is expensive. we proposed a training model consisting of a compressed air systems training kit based on the Artificial Intelligence of Things (AIoT), and the energy-saving In addition, we use an outcome-based approach to drive training activities. The results show that the training model can simulate the process of energy management systems of compressed air systems and show it on the dashboard. It can be implemented in employee or engineer practical training in the future.

(Total xx Pages)

Keywords: energy management systems, training kit, AIoT, engineering education

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย หอวิมานพร รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบข้อบกพร่องในงานวิจัยนี้เพื่อสามารถพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่างๆ ในด้านการเรียนรู้เรื่องของการบริหารจัดการพลังงานลมอัดในวงการอุตสาหกรรมไทยได้เป็นอย่างดี และกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาคครุศาสตร์เครื่องกล อาจารย์ผู้สอนสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทุกท่านที่ให้ความรู้และทักษะต่างๆจากวิชาเรียนรวมถึงถ่ายทอดประสบการณ์อันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย จนประสบผลความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึง ภรรยา และลูกๆ ที่ให้การสนับสนุน ส่งเสริมและให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา และเป็นแรงผลักดันในการเรียนจบการศึกษาระดับปริญญาเอก

นพดล มั่นอก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ก

บทที่ 1 บทนำ 13

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 13

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 14

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 15

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย 15

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 16

1.6 กรอบแนวคิดงานวิจัย 16

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

2.1 ระบบลมอัด 18

2.2 การบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสหกรรม 22

2.3 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการพลังงาน 24

2.4 อุปกรณ์ใช้ในการพัฒนาชุดฝึกอบรม 27

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

บทที่ 3 ขั้นตอนและการดำเนินงาน 35

3.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย 35

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 36

3.3 การสร้างชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานลมอัด 45

ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4. ผลการวิจัย	64
4.1 ผลการวิจัยด้านวิศวกรรม	65
4.2 ผลการวิจัยด้านการศึกษา	71
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	77
5.1 สรุปผลการวิจัย	77
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	78
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก ก	84
ภาคผนวก ข	84
ภาคผนวก ค	86
ภาคผนวก ง	92
ประวัติผู้เขียน	92

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2-1 ขั้นตอนการสอนรูปแบบปัญหาเป็นฐานมี 6 ขั้นตอน	6
ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
ตารางที่ 3-1 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์แอนะล็อกของพีแอลซีออมรอน	44
ตารางที่ 3-2 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	44
ตารางที่ 3-3 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์โหลดเซลล์ (Sensor Load Cell)	44
ตารางที่ 3-4 การทดสอบเซนเซอร์โหลดเซลล์จำนวน 5 ครั้ง	45
ตารางที่ 3-5 การทดสอบเซนเซอร์โหลดเซลล์หาค่าความผิดพลาด	45
ตารางที่ 3-6 การทดสอบเซนเซอร์วัดระยะทางจำนวน 5 ครั้ง	46
ตารางที่ 3-7 การทดสอบเซนเซอร์วัดระยะทางหาค่าความผิดพลาด	46
ตารางที่ 3-8 ตารางข้อมูลสำหรับให้อัลกอริทึมประมวลผล	48
ตารางที่ 3-9 ช่วงของอินพุตความเร็ว	50
ตารางที่ 3-10 ช่วงของอินพุตน้ำหนัก	51
ตารางที่ 3-11 ช่วงของอินพุตระยะห่างจากวัตถุ	51
ตารางที่ 3-12 ช่วงของเอาต์พุตของแรงดันลม	51
ตารางที่ 3-13 หาสมการเส้นตรงของอินพุต 1 ทั้งหมด 3 ช่วง 4 เส้น	52
ตารางที่ 3-14 หาสมการเส้นตรงของอินพุต 2 ทั้งหมด 3 ช่วง 4 เส้น	52
ตารางที่ 3-15 หาสมการเส้นตรงของอินพุต 3 ทั้งหมด 3 ช่วง 4 เส้น	52
ตารางที่ 3-16 ตารางการให้คะแนนประเมินผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะของโครงงาน	58
ตารางที่ 3-17 ตารางประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะของโครงงาน	58
ตารางที่ 3-18 ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนการสอน วันที่ 1	61
ตารางที่ 3-19 ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนการสอน วันที่ 2	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4-1 สรุปค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่ได้ทดลองนิวโรฟัซซี 20 การทดลอง	66
ตารางที่ 4-2 สรุปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ทดลองนิวโรฟัซซี 20 การทดลอง	67
ตารางที่ 4-3 แสดงเชิญผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมืองานวิจัยทั้งหมด 8 ท่าน	70
ตารางที่ 4-4 สรุปผลคะแนนค่าเฉลี่ยจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ได้ดังนี้	70
ตารางที่ 4-5 แสดงข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้ารับการอบรม	72
ตารางที่ 4-6 ผลลัพธ์ของคะแนนเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบ ที แบบคู่	73
ตารางที่ 4-7 สรุปคะแนนการประเมินการรับรู้ของผู้เข้าร่วมอบรม	74
ตารางที่ 4-8 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เข้าอบรม	75

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย	4
ภาพที่ 2-1 พีระมิดแห่งการเรียนรู้	7
ภาพที่ 2-2 มาตรวัดเจตคติ 5 ระดับ	15
ภาพที่ 2-3 มาตรวัดเจตคติ 5 ระดับ	16
ภาพที่ 2-4 อุปกรณ์ของระบบนิวแมติกส์	17
ภาพที่ 2-5 ตารางการหาค่าอัตราความสิ้นเปลืองลม	18
ภาพที่ 2-6 พีแอลซีชนิดบล็อก	19
ภาพที่ 3-1 แผนภาพขั้นตอนการทำโครงงาน	22
ภาพที่ 3-2 แผนภาพศึกษาและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน	24
ภาพที่ 3-3 แผนภาพนำเสนอหัวข้อปริญญานิพนธ์	27
ภาพที่ 3-4 แผนภาพการสร้างชุดฝึกอบรม	28
ภาพที่ 3-5 กระบอกสูบนิวแมติกส์	31
ภาพที่ 3-6 กราฟมาตรฐานการหาขนาดกระบอกสูบ	31
ภาพที่ 3-7 การออกแบบและสร้างชิ้นส่วนทางกลของชุดฝึกอบรม	32
ภาพที่ 3-8 ภาพรวมของชุดฝึกอบรม	33
ภาพที่ 3-9 ส่วนประกอบของชุดฝึกอบ	33
ภาพที่ 3-10 ชุดฝึกพีแอลซี	34

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 3-11 ข้อมูลสายของโหลดเซลล์เซนเซอร์ (LCS-D1)	34
ภาพที่ 3-12 เซ็นเซอร์วัดระยะทาง (US-016)	34
ภาพที่ 3-13 แผนภาพการติดตั้งและทดสอบระบบนิวแมติกส์	35
ภาพที่ 3-14 แผนภาพการต่อโหลดเซลล์เซนเซอร์ไปพีแอลซี	41
ภาพที่ 3-15 เงื่อนไขอินพุตที่ 1 ความเร็ว	41
ภาพที่ 3-16 เงื่อนไขอินพุตที่ 2 น้ำหนัก	42
ภาพที่ 3-17 เงื่อนไขอินพุตที่ 3 ระยะห่างจากวัตถุ	43
ภาพที่ 3-18 ผลจำลองโปรแกรมแมทแลปอินพุต	43
ภาพที่ 3-19 ผลการจำลองในโปรแกรม พีแอลซี	43
ภาพที่ 3-20 แผนภาพการนำข้อมูลแสดงบนอินเตอร์เน็ต	44
ภาพที่ 3-21 ภาพกิจกรรมการอบรมวันที่ 1	46
ภาพที่ 3-22 ภาพกิจกรรมการอบรมวันที่ 2	46
ภาพที่ 4-1 ภาพรวมของชุดฝึกพีแอลซี	47
ภาพที่ 4-2 ระบบแสดงผลเปรียบเทียบของค่าบนอุปกรณ์และชุดฝึกอบรม	51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ความสำคัญของการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในด้านการจัดการขยะและการลดการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็น กำลังได้รับการยอมรับอย่างมาก การจัดการพลังงานเป็นกุญแจสำคัญในการประหยัดพลังงาน ซึ่งเป็นกระบวนการในการตรวจสอบ ควบคุมและอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเป็นเรื่องยาก เนื่องจากระบบพลังงานในอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศ (Compressed Air System: CAS) สามารถคิดเป็น 10% ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม การเดินทางไปสู่ประสิทธิภาพด้านพลังงานยังมีความท้าทาย อุปสรรคสำคัญประการหนึ่งคือการขาดการส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานและที่สำคัญกว่านั้นคือการฝึกอบรมพนักงานด้านการจัดการพลังงาน หนึ่งในเหตุผลหลักของอุปสรรคในการฝึกอบรมพนักงานด้านการจัดการพลังงาน คือการขาดความตระหนักและความเข้าใจในแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้อง สิ่งนี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการดำเนินการและการมีส่วนร่วมจากทุกระดับขององค์กร การใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมส่วนหนึ่งมาจากระบบอัดอากาศ การประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิต การกระจาย และการแปลงลมอัด จำเป็นต้องมีการจัดการข้อมูลพลังงานที่เหมาะสม ระบบอัดอากาศหมายถึงอากาศที่ถูกเก็บไว้ภายใต้แรงดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการถ่ายโอนพลังงานในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

ระบบอัดอากาศถือได้ว่าเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานหลักในภาคอุตสาหกรรม โดยคิดเป็นประมาณ 10% ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในสหภาพยุโรปและจีน ในทางตรงกันข้าม สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย และแอฟริกาใต้มีสัดส่วนการใช้พลังงานประมาณ 9% ของการใช้พลังงานทั้งหมด ทำให้มีการศึกษาเป็นจำนวนมากที่พยายามเสนอวิธีการพัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศ (Eras et al., 2019; Benedetti et al., 2019; Bonfá et al., 2019)

Thabet et al. (2020) ได้เสนอการตรวจวัดแบบเรียลไทม์และการเรียนรู้ของเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบอัดอากาศ โดยใช้อัลกอริธึมที่ทำให้การตรวจจับข้อบกพร่องด้านพลังงานเป็นไปโดยอัตโนมัติและตัดสินใจในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม

Sanders et al. (2019) ได้เสนอเทคนิคอัจฉริยะสมัยใหม่ เพื่อประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศ ด้วยการตรวจวัดสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ผ่านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และการจัดการความรู้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานสูงโดยอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยและอุตสาหกรรมหลายแห่งได้ร่วมมือกันเพื่อให้นักศึกษาได้รับโอกาสในการมีส่วนร่วมกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการปฏิบัติในภาคอุตสาหกรรมและเรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับทักษะและความสามารถในการพัฒนาวิชาชีพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในห้องเรียน

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการแข่งขันอย่างยั่งยืน ดังนั้น การจัดการพลังงานจึงมีความสำคัญต่อนักศึกษาวิศวกรรม (Trianni et al., 2019) เนื่องจากผู้เรียนควรได้เรียนรู้วิธีการใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบพลังงาน ลดการใช้พลังงาน และเข้าใจระบบเศรษฐกิจเพื่อจัดการงบประมาณและลดต้นทุนการดำเนินงาน การจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมและการเชื่อมโยงความรู้สู่การปฏิบัตินอกจากนี้การจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมด้วยเทคโนโลยีใหม่สามารถช่วยให้นักศึกษาวิศวกรรมเชื่อมโยงความรู้กับการปฏิบัติในชีวิตจริงได้ ช่วยลดและป้องกันการหมดไฟในการเรียนรู้ที่เป็นนามธรรม โดยการเรียนรู้วิธีการจัดการระดับพลังงานของตนเอง นักศึกษาสามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาโดยใช้เทคโนโลยี ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออาชีพด้านวิศวกรรมในอนาคต (Pantzos et al., 2023; Valiente et al., 2022)

งานวิจัยนี้มี มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนานวัตกรรมชุดการเรียนรู้การบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ระยะที่ 1 ด้านวิศวกรรม

1.2.1.1 เพื่อพัฒนานวัตกรรมชุดการเรียนรู้การบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานลมอัดด้วยนวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.2.2 ระยะที่ 2 ด้านการศึกษา

1.2.2.1 เพื่อพัฒนารูปแบบหลักสูตรฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดที่ใช้นวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.2.2.2 เพื่อประเมินความเข้าใจของวิศกรที่เข้าร่วมอบรมการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น

1.2.2.3 เพื่อศึกษาการรับรู้ของวิศวกรที่มีต่อการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ระยะที่ 1 ด้านวิศวกรรม

1.3.1.1 ออกแบบและพัฒนาชุดฝึกอบรมการควบคุมพลังงานลมอัดโดยใช้ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี (Neuro Fuzzy) ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ที่สามารถแสดงผลบนแดชบอร์ด (Dashboard) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้

1.3.1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของระบบควบคุมลมอัดในสถานะที่แตกต่างกัน ได้แก่ สถานะที่ 1 การควบคุมลมอัดที่ป้อนให้กระบอกลมในขณะที่ต้องรับโหลดที่มีขนาดต่าง ๆ สถานะที่ 2 การควบคุมลมอัดที่ป้อนให้กระบอกลมในขณะที่การทำงานของกระบอกลมปราศจากโหลด และสถานะที่ 3 การควบคุมลมอัดที่ป้อนให้กับเครื่องจักรขณะมีการหยุดการทำงาน

1.3.2 ระยะที่ 2 ด้านการศึกษา

1.3.2.1 พัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3.2.2 ประเมินความเข้าใจของวิศวกร (Engineers' understanding) ที่เรียนรู้ด้วยนวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่ง

1.3.2.3 ประเมินการรับรู้ของวิศวกร (Engineers' perception) ที่มีต่อนวัตกรรมการเรียนรู้การประหยัดพลังงานลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้น

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นรูปแบบการวิจัยแบบกึ่งทดลอง

(Quasi-experimental Research) มีการออกแบบการทดลองแบบศึกษากลุ่มเดียว วัดก่อนและหลังการทดลอง (One Group Pretest-Posttest Design)

1.4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.4.1.1 ประชากร คือ กลุ่มวิศวกรที่เกี่ยวข้องในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความสนใจที่จะศึกษาด้านการการประหยัดพลังงานสำหรับระบบลมอัด

1.4.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มวิศวกรในสถานประกอบการประเภทผลิตรถยนต์และผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่พัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) จำนวน 34 คน เป็นเพศชาย จำนวน 27 คน และเพศหญิงจำนวน 7 คน มีอายุระหว่าง 20 - 50 ปี ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนมีการวุฒิการศึกษาในกรับปริญญาตรีด้านวิศวกรรมศาสตร์ และมีประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องในภาคอุตสาหกรรม

1.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1.1 แบบทดสอบความเข้าใจของวิศวกร เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบ (Multiple -Choice Question) มี 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ

1.4.1.2 แบบประเมินการรับรู้ เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ มีจำนวน 15 ข้อ

1.4.3 ขอบเขตเนื้อหา

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดเนื้อหาการเรียนรู้สำหรับวิศวกร จำนวน 4 เรื่อง ได้แก่ ทฤษฎีของนิวแมติกส์พื้นฐานและระบบลมอัดในอุตสาหกรรม การปรับปรุงการประหยัดพลังงานระบบลมอัดในอุตสาหกรรม หลักการประหยัดพลังงานและการคำนวณข้อมูล และการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการช่วยตัดสินใจในการประหยัดพลังงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้นวัตกรรมในรูปแบบหลักสูตรฝึกอบรมการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.5.2 ได้องค์ความรู้ด้านวิชาการที่เกี่ยวข้องกับนวัตกรรมการบริหารจัดการพลังงานลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการ

1.6 กรอบแนวคิดงานวิจัย

ในการดำเนินงานครั้งนี้ ได้มีกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 1-1 ได้แก่

1.6.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ หลักสูตรฝึกอบรมการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.6.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ความเข้าใจและการรับรู้ของวิศวกร

ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 การบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management) หมายถึง กระบวนการในการวางแผน ควบคุม และจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานในระดับที่เหมาะสม และลดการสูญเสียพลังงานให้น้อยที่สุด มุ่งเน้นในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในองค์กรหรือหน่วยงาน

1.7.2 ระบบลมอัด (Compressed Air System) หมายถึง ระบบที่ใช้ลมที่มีการอัดหรือบีบให้มีแรงดันสูงขึ้นจากการใช้งานทั่วไปเพื่อใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนอุปกรณ์เครื่องมือหรือกระบวนการในอุตสาหกรรม

1.7.3 อนุมานนิวโรฟัซซี (Neuro Fuzzy) หมายถึง เทคนิคที่ผสมผสานระหว่างเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) และระบบฟัซซี (Fuzzy Systems) เพื่อสร้างระบบที่สามารถเรียนรู้จากข้อมูลและปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ไม่ชัดเจนหรือซับซ้อน โดยมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาโมเดลที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่ไม่ชัดเจนหรือข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7.4 การรับรู้ของวิศวกร (Engineers’ perception) หมายถึง การรับรู้ของวิศวกรที่มีต่อการใช้นวัตกรรม ร่วมถึงความเข้าใจและทัศนคติที่มีต่อการใช้หรือการนำเอานวัตกรรมใหม่มาใช้ในชีวิตประจำวันหรือในองค์กร

1.7.5 ความเข้าใจของวิศวกร (Engineers’ understanding) หมายถึง ความรู้ความเข้าใจในการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการและบริหารพลังงาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Literature Review and Related Research)

ในบทนี้จะนำเสนอการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัย โดยจะทำการสรุปและวิเคราะห์งานวิจัยที่เคยศึกษาในด้านที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างความเข้าใจและความชัดเจนในปัญหาการวิจัย รวมถึงการแสดงให้เห็นถึงช่องว่างหรือปัญหาที่ยังไม่เคยได้รับการศึกษาอย่างเพียงพอ การทบทวนเอกสารจะครอบคลุมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องงานวิจัยก่อนหน้า เพื่อให้เห็นภาพรวมของสภาพปัจจุบันและแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาวิธีการวิจัย โดยมีหัวข้อศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 ระบบลมอัด

2.2 การบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

2.3 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการพลังงาน

2.4 อุปกรณ์ใช้ในการพัฒนาชุดฝึกอบรม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบลมอัด

ระบบลมอัดหรือระบบอากาศอัด (Compressed Air System) ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการส่งพลังงานจากอากาศที่มีการอัดให้มีความดันสูงไปยังเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งอากาศอัดหรือลมที่ถูกอัดนั้นมักจะถูกนำไปใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องมือและอุปกรณ์การทำงานของระบบควบคุม การบรรจุหีบห่อ การทำความสะอาดหรือแม้กระทั่งในกระบวนการผลิตบางประเภทที่ต้องการความสะอาดสูง เช่น กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร ยารักษาโรค เครื่องสำอาง เป็นต้น

2.1.1 ส่วนประกอบหลักของระบบลมอัด

ระบบลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังแสดงตัวอย่างในภาพ 2.1 ได้แก่

2.1.1.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำการอัดอากาศจากความดันบรรยากาศให้มีความดันสูงขึ้น โดยทั่วไปจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายประเภท เช่น คอมเพรสเซอร์ลูกสูบ (Piston Compressor) สกรูคอมเพรสเซอร์ (Screw Compressor) หรือโรตารีคอมเพรสเซอร์ (Rotary Compressor) ขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของการใช้งาน

2.1.1.2 ระบบเก็บอากาศ (Air Receiver)

เป็นถังที่ใช้เก็บอากาศที่มีความดันสูงจากคอมเพรสเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่สำรองอากาศไว้เพื่อให้มีการจ่ายอากาศอย่างต่อเนื่องและคงที่เมื่อเครื่องจักรต้องการ

2.1.1.3 ตัวกรอง (Filters)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองฝุ่น น้ำ และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่อาจปนเปื้อนในอากาศ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์

2.1.1.4 เครื่องทำความเย็น (Aftercooler)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำให้อากาศที่ถูกอัดจะมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นเครื่องทำความเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิของอากาศให้เหมาะสมก่อนที่จ่ายไปยังระบบท่อและเครื่องมือ

2.1.1.5 ตัวควบคุมความดัน (Pressure Regulator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและรักษาความดันของอากาศในระบบให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในแต่ละเครื่องมือหรือเครื่องจักร

2.1.1.6 ท่ออากาศ (Air Piping)

เป็นการวางระบบท่อที่ใช้ในการส่งอากาศที่มีความดันสูงจากแหล่งอัดอากาศไปยังจุดที่ต้องการใช้งาน โดยมีการวางท่อในลักษณะที่เหมาะสมเพื่อให้การจ่ายอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพที่ 2-1 การจำลองระบบบอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม

2.1.2 หลักการทำงานของระบบลมอัด

ระบบลมอัดจะใช้หลักการอัดอากาศให้มีความดันสูงขึ้นจากสภาพปกติของบรรยากาศ ซึ่งอากาศที่มีความดันสูงนี้สามารถนำไปใช้งานในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การขับเคลื่อนเครื่องจักร การทำความสะอาด การบรรจุหีบห่อ หรือการทำงานของระบบควบคุมต่าง ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม หลักการทำงานของระบบอากาศอัดมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการดูด การอัด การเก็บ การกรอง และการจ่ายอากาศที่มีความดันสูงไปยังจุดใช้งาน การทำงานที่มีประสิทธิภาพและมีการบำรุงรักษาระบบที่ดีจะช่วยให้การใช้อากาศอัดเป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพและประหยัดในการขับเคลื่อนเครื่องจักรต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีหลักการทำงานของระบบอากาศอัดประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่

2.1.2.1 การดูดอากาศ (Intake)

โดยมีคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของระบบจะทำหน้าที่ดูดอากาศจากบรรยากาศภายนอกเข้าสู่เครื่อง โดยอากาศจะผ่านตัวกรองเพื่อขจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการอัด

2.1.2.2 การอัดอากาศ (Compression)

อากาศที่ถูกดูดเข้ามาจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นภายในคอมเพรสเซอร์ โดยการลดปริมาตรของอากาศทำให้โมเลกุลของอากาศบีบอัดกันจนความดันสูงขึ้น ซึ่งการอัดอากาศนี้อาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้งาน เช่น คอมเพรสเซอร์ลูกสูบ (Piston Compressor) การ

ทำงานเหมือนเครื่องยนต์ลูกสูบโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบจะบีบอากาศในห้องสูบจนมีความดันสูง ส่วนคอมเพรสเซอร์สกรู (Screw Compressor) ใช้การหมุนของสกรูเพื่อบีบอากาศและทำให้เกิดความดัน

2.1.2.3 การทำความเย็น (Cooling)

หลังจากอากาศถูกอัดจนมีความดันสูงแล้ว อากาศเหล่านั้นจะมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากพลังงานที่เกิดจากการอัด คอมเพรสเซอร์บางรุ่นจะมีเครื่องทำความเย็น (Aftercooler) เพื่อทำให้ลดอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ก่อนที่จะส่งต่อไปยังขั้นตอนถัดไป

2.1.2.4 การเก็บอากาศ (Storage)

อากาศที่ผ่านการอัดและทำความเย็นแล้วจะถูกเก็บไว้ใน ถังเก็บอากาศ (Air Receiver) ซึ่งทำหน้าที่เก็บอากาศที่มีความดันสูงและช่วยรักษาความเสถียรของการจ่ายอากาศให้กับระบบ โดยถังเก็บนี้จะทำให้ระบบสามารถจ่ายอากาศได้อย่างต่อเนื่องแม้ในช่วงที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานหรือในขณะที่มีการใช้อากาศในปริมาณมาก

2.1.2.5 การกรองและบำบัดอากาศ (Filtration and Treatment)

อากาศที่ถูกเก็บไว้ในถังจะต้องผ่านการกรองเพื่อขจัดฝุ่น น้ำ และสิ่งสกปรกที่อาจปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ตัวกรองและอุปกรณ์บำบัดต่าง ๆ จะช่วยให้การส่งอากาศที่สะอาดและไม่มีสิ่งเจือปนไปยังระบบได้ ซึ่งอากาศที่สะอาดมีความสำคัญมากในระบบที่ต้องการความแม่นยำหรือไม่ต้องการการปนเปื้อน

2.1.2.6 การจ่ายอากาศ (Distribution)

เมื่ออากาศถูกเก็บไว้ในถังเก็บและผ่านการกรองแล้ว อากาศจะถูกส่งผ่านท่ออากาศ (Air Piping) ไปยังจุดที่ต้องการใช้งาน เช่น เครื่องมือที่ใช้แรงดันอากาศหรือเครื่องจักรต่าง ๆ โดยในกระบวนการนี้จะมีการติดตั้ง ตัวควบคุมความดัน (Pressure Regulator) เพื่อรักษาระดับความดันที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอุปกรณ์หรือการใช้งาน

2.1.2.7 การใช้งานอากาศอัด (Usage)

ในขั้นตอนสุดท้าย อากาศที่มีความดันสูงจะถูกใช้งานในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การขับเคลื่อนเครื่องมือโดยมีอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันอากาศ เช่น ประแจลม หรือเครื่องขัด นอกจากนี้ การทำความ

สะอาดโดยการใช้ลมเพื่อเป่าเศษวัสดุหรือฝุ่นออกจากเครื่องจักร การควบคุมระบบโดยการใช้แรงดันอากาศในการควบคุมวาล์วหรือเซ็นเซอร์ในระบบอัตโนมัติ

2.1.3 ข้อดีของการใช้ระบบอากาศอัดในโรงงานอุตสาหกรรม

การใช้ระบบอากาศอัดในโรงงานอุตสาหกรรมมีข้อดีหลายประการ ซึ่งทำให้ระบบอากาศอัดกลายเป็นทางเลือกที่นิยมในหลาย ๆ กระบวนการผลิตและการดำเนินงานภายในโรงงาน ต่อไปนี้คือข้อดีที่สำคัญของการใช้ระบบอากาศอัด ได้แก่

2.1.3.1 ความยืดหยุ่นในการใช้งาน (Flexibility)

ระบบอากาศอัดมีความยืดหยุ่นสูงในการนำไปใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น การขับเคลื่อนเครื่องมือและเครื่องจักร การทำความสะอาด การทำงานของระบบควบคุม หรือแม้กระทั่งในกระบวนการผลิตต่างๆ อากาศอัดสามารถใช้งานได้กับเครื่องมือหลากหลายประเภทในหลายลักษณะของการทำงาน โดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานที่แตกต่างกันมาก

2.1.3.2 การควบคุมและการจ่ายพลังงานที่คงที่ (Stable Power Supply)

ระบบอากาศอัดสามารถจ่ายอากาศที่มีความดันสูงไปยังอุปกรณ์หรือเครื่องจักรได้อย่างต่อเนื่องและคงที่ ช่วยให้กระบวนการผลิตทำงานได้อย่างราบรื่นและไม่หยุดชะงัก โดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องจักรหรือเครื่องมือหลายตัวพร้อมกัน

2.1.3.3 ความสะอาดและปลอดภัย (Clean and Safe)

ระบบอากาศอัดช่วยให้การใช้พลังงานสะอาดและปลอดภัยกว่าการใช้แหล่งพลังงานประเภทอื่น เช่น ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง ระบบอากาศอัดช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดไฟไหม้หรืออุบัติเหตุจากการใช้งานพลังงานที่มีความเสี่ยง ในกรณีที่ต้องการการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิดหรือการติดไฟ เช่น อุตสาหกรรมเคมีหรืออุตสาหกรรมอาหาร

2.1.3.4 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency)

ระบบอากาศอัดที่ได้รับการออกแบบและบำรุงรักษาอย่างดีจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต โดยใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพและตัวควบคุมความดันที่แม่นยำ นอกจากนี้การใช้ระบบอากาศอัดสามารถลดการใช้งานพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ ที่อาจจะมีต้นทุนสูงกว่า

2.1.3.5 การบำรุงรักษาต่ำ (Low Maintenance)

ระบบอากาศอัดมักจะมีความทนทานและสามารถใช้งานได้ยาวนาน การบำรุงรักษาระบบอากาศอัดไม่ซับซ้อนมากนัก เมื่อเทียบกับเครื่องจักรที่ใช้พลังงานจากแหล่งอื่น เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องจักรที่ใช้น้ำมันหรือเชื้อเพลิง ซึ่งต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องและมีค่าใช้จ่ายสูง

2.1.3.6 การขับเคลื่อนเครื่องมือและเครื่องจักรได้หลายประเภท (Powering Multiple Tools and Machines) ระบบอากาศอัดสามารถใช้ขับเคลื่อนเครื่องมือที่หลากหลายได้ เช่น เครื่องมือที่ใช้แรงดันอากาศ เช่น ประแจลม เครื่องขัด หรือเครื่องตัด อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบเครื่องจักรที่ต้องการการควบคุมที่แม่นยำหรือใช้พลังงานในรูปแบบที่สะอาดและปลอดภัย

2.1.3.7 ลดความซับซ้อนในกระบวนการผลิต (Simplification of Processes)

การใช้ระบบอากาศอัดสามารถช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการผลิต โดยการใช้แหล่งพลังงานเดียวในการขับเคลื่อนหลายเครื่องจักรและเครื่องมือ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานหลายประเภทซึ่งอาจจะต้องการการควบคุมที่ซับซ้อนและเพิ่มค่าใช้จ่าย

2.1.3.8 การควบคุมแรงดันที่แม่นยำ (Precise Pressure Control)

ระบบอากาศอัดมีตัวควบคุมความดันที่สามารถปรับและรักษาระดับความดันให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละกระบวนการได้ ทำให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิตที่ต้องการความแม่นยำสูง

2.1.3.9 ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน (Safety Improvement)

การใช้อากาศอัดในโรงงานช่วยลดความเสี่ยงจากการใช้เครื่องมือไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุจากการช็อตไฟฟ้าหรือการระเบิดในสภาพแวดล้อมที่มีสารระเหยหรือสารเคมี การใช้ระบบอากาศอัดสามารถลดความเสี่ยงดังกล่าวได้

2.1.3.10 การสนับสนุนกระบวนการผลิตที่หลากหลาย (Supports Diverse Manufacturing Processes)

ระบบอากาศอัดมีความสามารถในการรองรับการใช้งานในหลายประเภทของอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมการแพทย์ และอื่น ๆ ซึ่งแต่ละอุตสาหกรรมจะมีการใช้ระบบอากาศอัดในการขับเคลื่อนเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

2.2 การบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสหกรรม

การบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นกระบวนการที่สำคัญในการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้เหมาะสมและคุ้มค่ามากที่สุด เพื่อให้โรงงานสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยั่งยืน นอกจากนี้ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นและช่วยปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

หลักการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมมุ่งเน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิตผ่านการวิเคราะห์และการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่างๆ โดยการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย การฝึกอบรมพนักงาน การบำรุงรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอ และการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งทั้งหมดนี้จะช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และช่วยโรงงานอุตสาหกรรมบรรลุเป้าหมายในการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยทั่วไปแล้วหลักการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายขั้นตอนและกระบวนการที่สำคัญ ได้แก่

2.2.1 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

การตรวจสอบการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมหรือที่เรียกว่า "Energy Audit" เป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญในการบริหารจัดการพลังงาน โดยการทำ Energy Audit จะช่วยระบุแหล่งที่ใช้พลังงานมากที่สุดภายในโรงงานและวิเคราะห์รูปแบบการใช้งาน เพื่อหาจุดที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าในเครื่องจักร ระบบอากาศอัด การให้ความร้อนหรือความเย็น เป็นต้น

2.2.2 การตั้งเป้าหมายการใช้พลังงาน

การกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานจะช่วยให้โรงงานสามารถมีแนวทางในการลดการใช้พลังงานได้อย่างชัดเจน โดยเป้าหมายอาจเกี่ยวข้องกับการลดการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Energy Consumption per Unit of Production) หรือการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emission) เป้าหมายเหล่านี้จะต้องวัดได้และมีเวลาที่ชัดเจนเพื่อให้สามารถติดตามผลและปรับปรุงได้ต่อเนื่อง

2.2.3. การใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน

การเลือกใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงาน เช่น คอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพ มอเตอร์ประหยัดพลังงานไฟ LED ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automation Systems) ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น การใช้ตัวควบคุมการจ่ายไฟฟ้า (Variable Frequency Drives) เพื่อปรับรอบมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง หรือการติดตั้งเครื่องทำความเย็นที่ใช้พลังงานน้อย

2.2.4 การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบพลังงาน

การตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องและการบำรุงรักษาระบบพลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการบริหารจัดการพลังงานเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การติดตั้งระบบตรวจสอบการใช้พลังงาน (Energy Management System) จะช่วยให้โรงงานสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานได้แบบเรียลไทม์ และมีข้อมูลที่สามารถใช้ในการตัดสินใจในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน การบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ เช่น การทำความสะอาดและหล่อลื่นมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด หลีกเลี่ยงการทำงานที่สูญเสียพลังงานหรือการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์

2.2.5 การฝึกอบรมและสร้างความตระหนักรู้

การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิต เป็นสิ่งที่สำคัญในการสร้างวัฒนธรรมการประหยัดพลังงานในองค์กร ตัวอย่างเช่น การลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่ไม่จำเป็น การปิดเครื่องจักรที่ไม่ใช้งาน และการปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม

2.2.6 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและลดการสูญเสียพลังงานเป็นสิ่งที่สำคัญ ทำให้การปรับปรุงในขั้นตอนการผลิตสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้ เช่น การใช้ระบบการจัดการความร้อนในกระบวนการที่มีการใช้ความร้อนมาก หรือการออกแบบกระบวนการผลิตที่ช่วยลดความจำเป็นในการใช้พลังงานในขั้นตอนที่ไม่จำเป็น

2.2.7 การใช้พลังงานทดแทน

การใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานจากชีวมวล จะช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งฟอสซิลและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในหลายโรงงานที่มีพื้นที่เพียงพอหรือมีต้นทุนการติดตั้งที่คุ้มค่า พลังงานทดแทนอาจเป็นตัวเลือกที่ดีในการเสริมสร้างความยั่งยืนในด้านการจัดการพลังงาน

2.2.8 การสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

การบริหารจัดการพลังงานที่ดีในโรงงานอุตสาหกรรมต้องการความร่วมมือจากหลายฝ่าย เช่น การทำงานร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ ผู้จัดหาพลังงาน หรือผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในด้านการใช้พลังงานและการรักษาสิ่งแวดล้อม

2.3 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการพลังงาน

การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการจัดการพลังงานมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดค่าใช้จ่าย และสนับสนุนการใช้พลังงานที่ยั่งยืน ดังนั้น การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการจัดการพลังงานสามารถช่วยให้การผลิตและการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียพลังงาน และสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนที่ยั่งยืน การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในระบบพลังงานจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเดินหน้าสู่โลกที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.3.1 ประโยชน์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

2.3.1.1 การทำนายและวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน

ปัญญาประดิษฐ์สามารถใช้ในการทำนายความต้องการพลังงานในอนาคต โดยใช้ข้อมูลจากประวัติการใช้พลังงานในอดีต รวมถึงปัจจัยภายนอก เช่น สภาพอากาศ เวลาในวันหรือฤดูกาล ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถคำนวณการใช้พลังงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

2.3.1.2 การปรับสมดุลของการจ่ายพลังงาน

ปัญญาประดิษฐ์ใช้ในการจัดการระบบกริดไฟฟ้า (Power Grid) เพื่อให้สามารถกระจายพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละพื้นที่และปรับการจ่าย

พลังงานให้เหมาะสม เช่น การกระจายพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม โดยอัตโนมัติ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2.3.1.3 การจัดการพลังงานในบ้านและอาคาร

ปัญญาประดิษฐ์สามารถใช้ในการควบคุมและปรับการใช้พลังงานในบ้านหรืออาคารโดยอัตโนมัติ เช่น การควบคุมแสงสว่าง ระบบทำความร้อนหรือการทำความเย็น เพื่อให้มีการใช้พลังงานในระดับที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและลดการสูญเสียพลังงาน

2.3.1.4 การพัฒนาเครือข่ายการผลิตพลังงานที่ยั่งยืน

ปัญญาประดิษฐ์สามาถนำมาช่วยในการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถคำนวณการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ เช่น การรวมพลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความเสถียรในการผลิตพลังงานมากขึ้น

2.3.1.5 การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบพลังงาน

ปัญญาประดิษฐ์ใช้ในการตรวจสอบสถานะของเครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตและจ่ายพลังงาน เช่น การตรวจสอบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ หรือกังหันลม เพื่อตรวจพบปัญหาก่อนที่จะเกิดความเสียหายหรือการหยุดทำงาน ซึ่งช่วยให้การซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพและลดระยะเวลาที่ระบบไม่ได้ทำงาน

2.3.1.6 การจัดการพลังงานในอุตสาหกรรม

สำหรับในภาคอุตสาหกรรมแล้วสามารถนำปัญญาประดิษฐ์ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนและแนะนำการปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

2.3.1.7 การเสริมสร้างระบบพลังงานอัจฉริยะ

ปัญญาประดิษฐ์สามารถช่วยในการพัฒนาและปรับปรุงระบบ สมาร์ทกริช ซึ่งสามารถตรวจสอบและควบคุมการจ่ายพลังงานได้แบบเรียลไทม์ โดยการใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครือข่ายไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้การจัดการพลังงานให้มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3.2 ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี (Neuro Fuzzy)

ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี (Neuro Fuzzy) คือ การผสมผสานระหว่างเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) และ ตรรกะคลุมเคลือ (Fuzzy Logic) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในหลาย ๆ ด้าน รวมถึงการ บริหารจัดการพลังงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ โดยการใช้ประโยชน์จากความสามารถของทั้งสองเทคโนโลยีในการจัดการข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนและซับซ้อน

2.3.2.1 ตรรกะคลุมเคลือ (Fuzzy Logic)

ตรรกะคลุมเคลือหรือฟัซซีลอจิก เป็นแนวทางในการจัดการกับข้อมูลที่ไม่ชัดเจน หรือมีความไม่แน่นอน โดยไม่ต้องการการตัดสินใจที่เป็นไปตามตรรกะเชิงพาณิชย์แบบดั้งเดิม (Yes/No หรือ True/False) แต่ใช้แนวคิดของความเป็นไปได้ที่มีความคลุมเครือ เช่น "ร้อน" "เย็น" "อุ่น" ซึ่งอาจมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

ในการบริหารจัดการพลังงานนิวโรฟัซซีจะถูกใช้ในการตัดสินใจในสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอน เช่น การควบคุมอุณหภูมิในระบบปรับอากาศ การจัดสรรการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้า

2.3.2.2 เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks)

เป็นโมเดลคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์เพื่อทำการเรียนรู้จากข้อมูลและคาดการณ์ผลในอนาคต โดยเครือข่ายประสาทจะมีการปรับเปลี่ยนตามข้อมูลที่ได้รับ เพื่อสร้างการตัดสินใจที่แม่นยำ ในการบริหารจัดการพลังงาน เครือข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ในการคาดการณ์ความต้องการพลังงานในอนาคต วิเคราะห์การใช้พลังงานจากข้อมูลที่ได้รับ และปรับแผนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ

2.3.2.3 การรวมกันของระบบอนุมานนิวโรฟัซซี (Neuro Fuzzy Systems)

เป็นการใช้ความสามารถของทั้งสองเทคโนโลยีในระบบเดียว โดยการใช้ฟัซซีลอจิกในการตัดสินใจในสภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอน หรือในสถานการณ์ที่ต้องการการควบคุมที่ยืดหยุ่น และใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รับเพื่อให้การตัดสินใจมีความแม่นยำมากขึ้น การนำนิวโรฟัซซีมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหลาย ๆ ด้าน เช่น การควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร ระบบสามารถใช้นิวโรฟัซซีในการควบคุมอุณหภูมิในอาคาร โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิภายนอก จำนวนผู้คนในห้อง

และความต้องการความเย็นหรือความร้อน โดยใช้ฟัซซีลอจิกเพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม ในขณะที่เครือข่ายประสาทเทียมจะช่วยในการเรียนรู้พฤติกรรมการใช้พลังงานและปรับกลยุทธ์ตามความต้องการ ในการผลิตสินค้าและกระบวนการอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานอย่างมาก ระบบนิวโรฟัซซีสามารถใช้ในการคาดการณ์ความต้องการพลังงานและปรับระบบการผลิตให้เหมาะสมตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้น โดยลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ไม่จำเป็น ระบบอนุมานนิวโรฟัซซีสามารถใช้ในการจัดการการใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานลม โดยการประมวลผลข้อมูลจากแหล่งพลังงานเหล่านี้และทำการปรับการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับความสามารถในการผลิตพลังงานในแต่ละช่วงเวลา การคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต เครือข่ายประสาทเทียมสามารถช่วยในการคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคตจากข้อมูลที่มีอยู่ โดยการเรียนรู้รูปแบบการใช้พลังงานจากอดีต ขณะที่ ฟัซซีลอจิกจะช่วยให้การตัดสินใจนั้นมีความยืดหยุ่นและปรับตัวได้ดีในสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอน การใช้ระบบอนุมานนิวโรฟัซซีในการบริหารจัดการพลังงานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานโดยการผสมผสานข้อดีของฟัซซีลอจิก และเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ในสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอน และปรับปรุงกระบวนการการใช้พลังงานให้เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมและความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างยั่งยืน

2.4 อุปกรณ์ใช้ในการพัฒนาชุดฝึกอบรม

2.4.1 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller :PLC) หรือที่ว่าพีแอลซีเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมหรือการทำงานของเครื่องจักรในโรงงาน โดยมีความสามารถในการอ่านสัญญาณจากเซนเซอร์หรืออุปกรณ์อินพุตต่าง ๆ และทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ตั้งค่าไว้ จากนั้นจะส่งสัญญาณออกไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต เช่น มอเตอร์ ปั๊ม หรือระบบไฟฟ้า เพื่อควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ หลักการทำงานของพีแอลซีจะเริ่มต้นจากการรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต เช่น เซ็นเซอร์ที่ตรวจจับตำแหน่ง ความดัน หรืออุณหภูมิ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลหลัก (Central Processing Unit: CPU) ที่จะทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ตั้งค่าไว้ในหน่วยความจำของพีแอลซี โปรแกรมนี้จะมีชุดคำสั่งที่กำหนดให้ระบบทำงานตามลำดับที่ต้องการ เช่น เมื่อสัญญาณอินพุตมาจากเซ็นเซอร์ความดันที่ตรวจพบการเพิ่มขึ้นของความดัน ระบบอาจจะต้องเปิดหรือปิดวาล์วหรือมอเตอร์เพื่อลดความดัน เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลและคำสั่งจากโปรแกรมเสร็จสิ้นจะส่งคำสั่งที่เหมาะสมไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต เช่น เปิด-ปิดมอเตอร์ หรือเปลี่ยนสถานะของวาล์ว ซึ่งทำให้ระบบ

สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ผลลัพธ์จากการประมวลผลอาจจะถูกส่งกลับไปที่ระบบอินพุตเพื่อให้มีการตรวจสอบอีกครั้ง และกระบวนการนี้จะทำซ้ำตลอดเวลา โดยพีแอลซีจะทำการประมวลผลข้อมูลในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งทำให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยปกติแล้วพีแอลซีจะมีหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น สถานะของอินพุตและเอาต์พุต รวมถึงการเก็บโปรแกรมที่เขียนไว้ในตัวพีแอลซี ซึ่งอาจจะเป็นโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาคอมพิวเตอร์เฉพาะ เช่น Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD) หรือ Structured Text (ST) ซึ่งสามารถใช้ในการควบคุมระบบที่มีความซับซ้อนได้ การทำงานของพีแอลซี จะมีความยืดหยุ่นสูง เพราะสามารถโปรแกรมให้ทำงานตามความต้องการของระบบที่ต้องการควบคุม โดยที่ไม่ต้องใช้วงจรไฟฟ้าจำนวนมากหรือการเดินสายไฟใหม่เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบ นอกจากนี้ พีแอลซียังสามารถเชื่อมต่อกับระบบอื่น ๆ เช่น สการ์ดา หรือ ดีซีเอส เพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบกระบวนการจากระยะไกลได้อีกด้วย

ดังนั้น ในภาพรวมแล้วพีแอลซี เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการผลิตและการทำงานของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะพีแอลซีมีความสามารถในการควบคุมที่รวดเร็ว มีความแม่นยำและสามารถปรับโปรแกรมได้ตามต้องการ ซึ่งทำให้มันมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรในการทำงานของระบบอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 2-2

ภาพที่ 2-2 พีแอลซีมาตรฐานไออีซีรองรับไอโอทีรุ่น Omron NX1P2 V1.50-NX1W-MAB221

2.4.2 โหลดเซลล์ (Load Cell)

เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดน้ำหนักหรือแรงกด โดยสามารถเปลี่ยนแรงที่กระทำบนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดและแสดงผลได้ โดยทั่วไปแล้วโหลดเซลล์จะถูกใช้ในระบบที่เกี่ยวข้องกับ

การวัดน้ำหนัก เช่น เครื่องชั่งน้ำหนัก การควบคุมกระบวนการผลิตที่ต้องการการวัดแรง และในระบบควบคุมอัตโนมัติต่าง ๆ โหลดเซลล์ทำงานโดยการใช้เซนเซอร์เกจวัดการยืด (Strain gauge) ที่ติดตั้งบนโครงสร้างของเซลล์ การกระทำของแรง เช่น น้ำหนักหรือการกด จะทำให้โครงสร้างของโหลดเซลล์ยืดหรือยุบ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าความต้านทานของเกจวัดการยืด ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานนี้มีสัดส่วนตรงกับแรงที่ถูกกระทำบนโหลดเซลล์ และจากนั้นจะถูกแปลงเป็นสัญญาณที่สามารถคำนวณเป็นค่าของน้ำหนักหรือแรงที่ถูกวัด

ดังนั้น โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการวัดน้ำหนักหรือแรงที่ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยทำงานด้วยการแปลงแรงที่กระทำเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถประมวลผลได้ มีความแม่นยำสูงและสามารถใช้งานได้ในหลายประเภทของการวัดแรงหรือการวัดน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 2-3

ภาพที่ 2-3 โหลดเซลล์เซนเซอร์รุ่น Mavin NA6 1KG

ดังนั้น สามารถนำโหลดเซลล์ไปประยุกต์ทำเครื่องชั่งตวงในอุตสาหกรรมได้โดย วัดแรงกด (Compression) หรือใช้ทดสอบวัสดุวัดแรงดึง (Tensile) ได้อีกด้วย การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการ เข้ารูปชิ้นงาน (Press fit) ใช้สำหรับงานทางด้านวัสดุ โลหะ ทดสอบโลหะชิ้นส่วนรถยนต์ วิศวกรรม โยธา ทดสอบคอนกรีต เป็นต้น จุดที่สเตรนเกจ (Strain Gauge) ได้รับแรงกด (Compression) ทำสเตรนเกจหดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึง (Tension) ทำให้สเตรนเกจถูกยืดออก ทำให้ค่าความต้านทานในตัวโหลดเซลล์ตัวสเตรนเกจเปลี่ยนแปลงไปสเตรนเกจทั้ง 4 ตัวที่อยู่บนโหลดเซลล์โหลดเซลล์แบบ Straight Bar ถูกต่ออยู่ด้วยกันในลักษณะของวงจร วีสโตนบริดจ์

2.4.3 เซนเซอร์วัดระยะทาง (Distance Sensor)

เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างหรือระยะทางของวัตถุที่อยู่ในทิศทางที่เซ็นเซอร์ตรวจจับ โดยใช้เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ (Ultrasonic) เพื่อส่งคลื่นเสียงความถี่สูงไปยังวัตถุและวัดระยะทางจากเวลาที่คลื่นเสียงนั้นสะท้อนกลับมา เทคโนโลยีนี้มีความแม่นยำในการวัดระยะทางและสามารถใช้ในการวัดระยะห่างระหว่างวัตถุ หลักการทำงานของเซนเซอร์ US-016 จะส่งคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ ซึ่งคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าที่หูมนุษย์ได้ยิน จากตัวส่งไปยังวัตถุที่อยู่ในระยะทางที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้ เมื่อคลื่นเสียงไปถึงวัตถุและสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ เซนเซอร์จะวัดเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นเสียงจากการส่งออกไปและการกลับมาของมัน ดังแสดงในภาพที่ 2-4

ภาพที่ 2-4 เซนเซอร์วัดระยะทาง US-016

2.4.4 ตัวปรับแรงดันลม (Pressure Regulator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและปรับลดแรงดันของลมที่ไหลผ่านระบบลมอัดหรือระบบพลังงานลม เพื่อให้แรงดันที่ออกจากตัวปรับนั้นคงที่และอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่ออยู่ เช่น เครื่องมือลม วาล์ว หรือระบบการขับเคลื่อนที่ใช้ลมเป็นแหล่งพลังงาน หลักการทำงานของตัวปรับแรงดันลมคือการลดแรงดันของลมที่มาจากแหล่งจ่ายลม ซึ่งอาจจะมีแรงดันสูงเกินไปสำหรับการใช้งานบางประเภท ตัวปรับแรงดันจะทำหน้าที่ควบคุมให้แรงดันลมที่ออกมาจากอุปกรณ์อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามความต้องการใช้งาน โดยการปรับแรงดันนี้ทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ลมเป็นแหล่งพลังงาน ภายในตัวปรับแรงดันลมจะมีสปริงที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของลม โดยสปริงจะถูกปรับตามระดับแรงดันที่ต้องการ เมื่อแรงดันลมจากแหล่งจ่ายมีค่ามากเกินไป ลมจะไหลเข้าสู่ตัวปรับแรงดันและผ่านกลไกภายในซึ่งจะทำการลดแรงดันลงไปจนถึงค่าที่เหมาะสม จากนั้นลมที่ออกจากตัวปรับแรงดันจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งาน

ตัวปรับแรงดันมักจะมีการตั้งค่าความดันลมได้ตามความต้องการใช้งาน และบางรุ่นอาจมีเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและปรับตั้งแรงดันได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ ตัวปรับแรงดันบางรุ่นยังสามารถปรับแรงดันในลักษณะที่ละเอียดและคงที่ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลหรือสภาพแวดล้อมภายนอก

การใช้งานตัวปรับแรงดันลมมีความสำคัญในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในโรงงานที่ใช้เครื่องมือลมในการผลิต ตัวปรับแรงดันจะช่วยให้เครื่องมือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดความเสียหายจากแรงดันที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังช่วยให้ระบบลมมีความปลอดภัยสูงขึ้น เพราะสามารถป้องกันการเกิดปัญหาจากการใช้แรงดันลมที่สูงเกินไปได้ โดยรวมแล้ว ตัวปรับแรงดันลมเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบลมอัดที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยช่วยควบคุมและปรับแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานร่วมกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-5

ภาพที่ 2-5 ตัวปรับแรงดันลม (ITV2050-01F3L)

2.4.5 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage Amplifier)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าน้อยให้มีค่าสูงขึ้นตามที่ต้องการ โดยการทำงานของอุปกรณ์นี้จะช่วยเพิ่มความแรงของสัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบต่างๆ เช่น ในการขยายสัญญาณจากเซ็นเซอร์ การขยายสัญญาณในวงจรควบคุมหรือในระบบสื่อสารไฟฟ้ากระแสตรง มีหลักการทำงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคือนำสัญญาณที่มีแรงดันต่ำหรือสัญญาณอินพุตที่ไม่สามารถขับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้โดยตรงมาผ่านการขยายโดยใช้ส่วนประกอบภายใน เช่น ทรานซิสเตอร์ (Transistor) หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์

อื่น ๆ ที่สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้ ตัวขยายสัญญาณนี้จะทำงานโดยการเพิ่มค่าของสัญญาณไฟฟ้าในลักษณะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรูปคลื่น (Waveform) หรือการทำให้สัญญาณเสียหาย การขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมักจะทำในลักษณะของการขยายเชิงเส้น ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะรักษาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตให้เป็นเชิงเส้นหรือสัดส่วนกัน กล่าวคือ หากอินพุตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เอาต์พุตก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนกันไป โดยอุปกรณ์เหล่านี้สามารถขยายสัญญาณให้มีแรงดันที่สูงขึ้น โดยไม่ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนหรือเกิดความผิดปกติ ในทางปฏิบัติ อุปกรณ์ขยายสัญญาณมักจะมีการตั้งค่าให้สามารถปรับขนาดการขยายสัญญาณได้ตามความต้องการ ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกขยายสัญญาณได้ในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งาน ตัวขยายสัญญาณประเภทนี้สามารถใช้ในหลากหลายแอปพลิเคชัน เช่น การขยายสัญญาณที่มาจากเซ็นเซอร์ที่มีสัญญาณแรงดันต่ำให้สูงพอที่จะนำไปประมวลผลในวงจรการควบคุมหรือวงจรตรวจจับต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในระบบแอมพลิฟายเออร์เพื่อขยายสัญญาณในวงจรที่ต้องการพลังงานหรือแรงดันสูง เช่น ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะออกแบบให้มีความเสถียรในการทำงานและการขยายสัญญาณที่แม่นยำ เพื่อป้องกันการเกิดการผิดเพี้ยนหรือการสูญเสียของสัญญาณที่ขยายขึ้นไป อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการกรองสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการขยายเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้น อุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่มีแรงดันต่ำให้สูงขึ้นในระบบไฟฟ้าแบบกระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีที่ช่วยให้สัญญาณยังคงความถูกต้องและแม่นยำ พร้อมทั้งรองรับการปรับขยายตามความต้องการใช้งานที่หลากหลาย ดังแสดงในภาพที่ 2-6

ภาพที่ 2-6 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยข้อง

เรื่อง	บทความ
AIoT	Zhao, J., Xu, M., & Wang, X. (2024). A novel dataset based on indoor teacher-student interactive mode using AIoT. Internet of Things, 25, 101044.
Education	Pantzos, P., Gumaelius, L., Buckley, J., & Pears, A., Pears, Engineering students' perceptions of the role of work industry-related activities on their motivation for studying and learning in higher education, European Journal of Engineering Education, 48, 1, 91–109, (2023).
AIoT Education	Bonfá, F., Benedetti, M., Ubertini, S., Introna, V., & Santolamazza, A., New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use, Energy Procedia, 158, 4198-4203, (2019).
Pneumatic	Eras, J. J. C., Gutiérrez, A. S., Santos, V. S., & Ulloa, M. J. C., Energy management of compressed air systems.Assessing the production and use of compressed air in industry, Energy, 213, 118662, (2020).
CAPs	Thabet, M., Sanders, D., Becerra, V., Tewkesbury, G., Haddad, M., & Barker, T., Intelligent energy management of compressed air systems, Proc. IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS), 153-158, (2020).
Energy Management	Mischos, S., Dalagdi, E., & Vrakas, D., Intelligent energy management systems: a review, Artificial Intelligence Review, 56, 11635–11674, (2023).

ANFIS	Cantú-Ortiz, F. J., Galeano Sánchez, N., Garrido, L., Terashima-Marin, H., & Brena, R. F., An artificial intelligence educational strategy for the digital transformation, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 14, 1195–1209, (2020).
Node-RED	(Mohd Shaari Azyze et al., 2021), (Cgseong et al., 2020), (Effendi et al., 2020), (Tedla et al., 2019), (Huang et al., 2019), (Ferrari et al., 2018), (Torres et al., 2020)

2.5.1 สรุปงานวิจัยทั้ง 8 เรื่อง

2.5.1.1 Mohd Shaari Azyze et al. (2021) งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพและความท้าทายของการเรียนออนไลน์ในช่วงการระบาดของโควิด 19 โดยพบว่า นักเรียนสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ แต่ประสบปัญหาด้านแรงจูงใจและการทำงานร่วมกันในรูปแบบออนไลน์ ผลการศึกษานี้เน้นถึงความสำคัญของการเรียนการสอนแบบพบหน้าและการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานทางการศึกษาออนไลน์

2.5.1.2 Cgseong et al. (2020) งานวิจัยนี้ศึกษาระบบการจัดการพลังงานที่ชาญฉลาด (IEMS) ในภาคอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นการใช้เทคนิค AI และการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงาน อันจะช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานและส่งเสริมความยั่งยืน

2.5.1.3. Effendi et al. (2020) งานวิจัยนี้สำรวจการบูรณาการแหล่งพลังงานทดแทนกับกริดไฟฟ้าปกติ โดยเน้นการใช้ระบบเก็บพลังงานที่ทันสมัย เช่น แบตเตอรี่และแบบจำลองไฮบริด เพื่อจัดการปัญหาความเสถียรของแหล่งพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.5.1 4. Tedla et al. (2019) การศึกษานี้วิเคราะห์ผลกระทบของเทคโนโลยีประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมการผลิต โดยเฉพาะในระบบอัดอากาศ เน้นการใช้ระบบควบคุมที่ชาญฉลาดเพื่อปรับลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

2.5.1.5 Huang et al. (2019) งานวิจัยนี้พูดถึงการใช้ AI ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยเฉพาะการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยคาดการณ์การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน

2.5.1.6 Ferrari et al. (2018) งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้ AI เพื่อปรับปรุงการจัดการห่วงโซ่อุปทาน โดยมุ่งเน้นการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการคาดการณ์ความต้องการ ปรับปรุงการจัดการสินค้าคงคลัง และลดต้นทุนการดำเนินงาน

2.5.1.7 Torres et al. (2020) การศึกษานี้สำรวจการใช้ AI ในระบบพลังงานของเมืองอัจฉริยะ โดยมุ่งเน้นการจัดการพลังงานในเมืองในเวลาจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มความยั่งยืนในสภาพแวดล้อมเมือง

2.5.1.8 Cantú-Ortiz et al. (2020) บทความนี้เสนอแนวทางการศึกษาที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อช่วยเตรียมความพร้อมนักเรียนสำหรับการเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัล โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมที่กำลังปรับตัวเข้าสู่ Industry 4.0

งานวิจัยเหล่านี้ทุกเรื่องเน้นการใช้ ปัญญาประดิษฐ์ การจัดการพลังงาน และกลยุทธ์การศึกษาที่มุ่งพัฒนาประสิทธิภาพและความยั่งยืนในหลากหลายภาคส่วน.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย (Research Methodology)

ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ในบทนำของวิทยานิพนธ์ โดยการเลือกวิธีการดำเนินวิจัยที่สอดคล้องกับลักษณะของปัญหาการวิจัย รวมถึงความเหมาะสมของเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล บทนี้จะประกอบไปด้วยการอธิบาย กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา ขั้นตอนการดำเนินงาน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยครั้งนี้เป็นกลุ่มวิศวกรในสถานประกอบการประเภทผลิตรถยนต์และผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่พัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) จำนวน 34 คน เป็นเพศชาย จำนวน 27 คน และเพศหญิงจำนวน 7 คน มีอายุระหว่าง 20-50 ปี ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนมีการวุฒิการศึกษาในการรับปริญญาตรีด้านวิศวกรรมศาสตร์ และมีประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องในภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงข้อมูลพื้นฐานในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

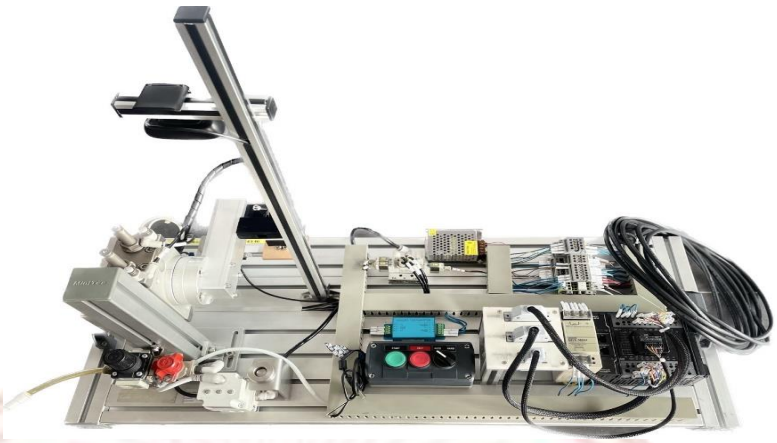
รายการ	รายละเอียด	จำนวน/คน
เพศ	ชาย	27
	หญิง	7
อายุ	20-30 ปี	26
	31-40 ปี	6
	41-50 ปี	11
	>50 ปี	7

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

รายการ	รายละเอียด	จำนวน/คน
ตำแหน่ง	วิศวกร	17
	วิศวกรอาวุโส	2
	หัวหน้างาน	10
	ผู้จัดการ	2
	เจ้าของกิจการ	3
ประสบการณ์การทำงาน	< 1 ปี	4
	1-5 ปี	7
	6-10 ปี	10
	>10 ปี	12
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี	34

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ศึกษาการพัฒนานวัตกรรมชุดการเรียนรู้การบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้ทำการออกแบบชุดฝึกที่ใช้ในการฝึกอบรม ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3-1 ได้แก่ พีแอลซีมาตรฐานไออีซีรองรับไอโอทีรุ่น (Omron NX1P2 V1.50) โหลดเซลล์เซนเซอร์รุ่น (Mavin NA6 1KG) เซนเซอร์วัดระยะ (Distance US-016) ตัวปรับแรงดันลม (ITV2050-01F3L) โดยในชุดฝึกอบรมได้ทำการใส่หัวชุดเชื่อมต่อผ่านหัว DB ช่องอินพุต ช่องเอาต์พุต และช่องแรงดัน

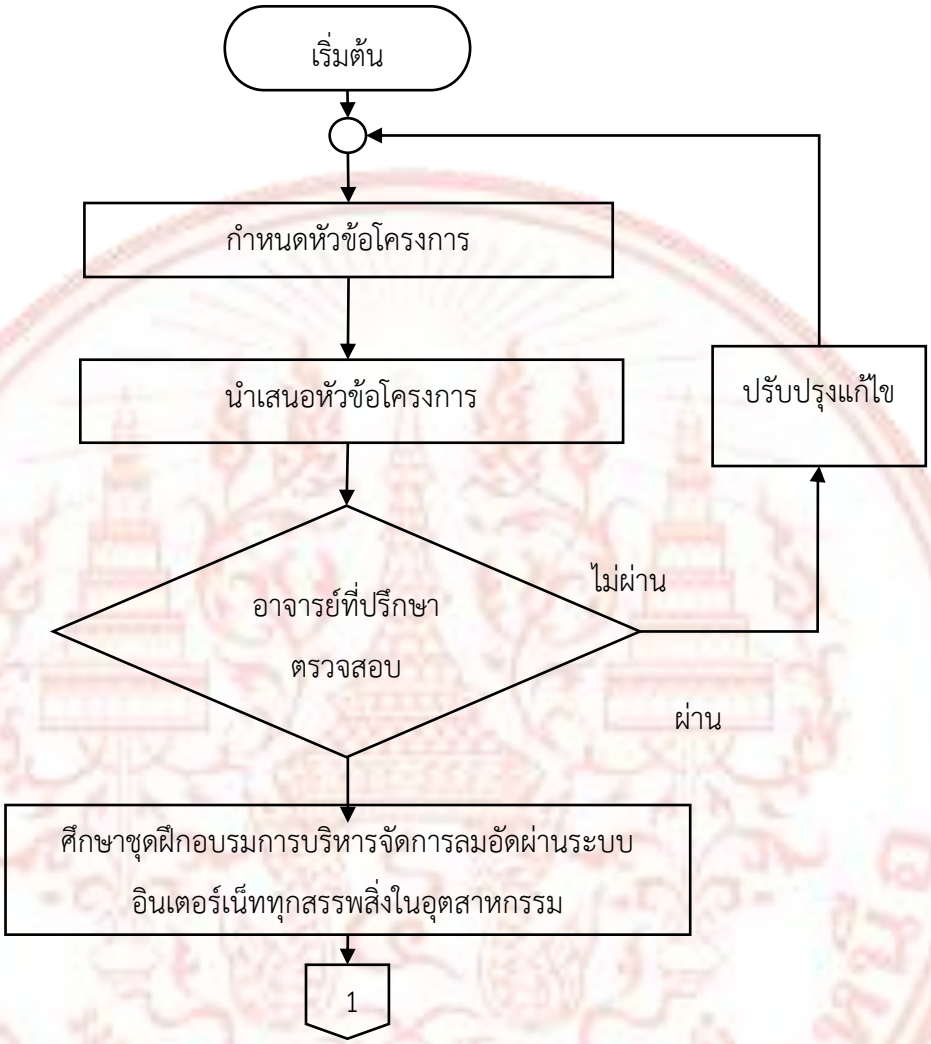


ภาพที่ 3.1 ชุดฝึกการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่ง

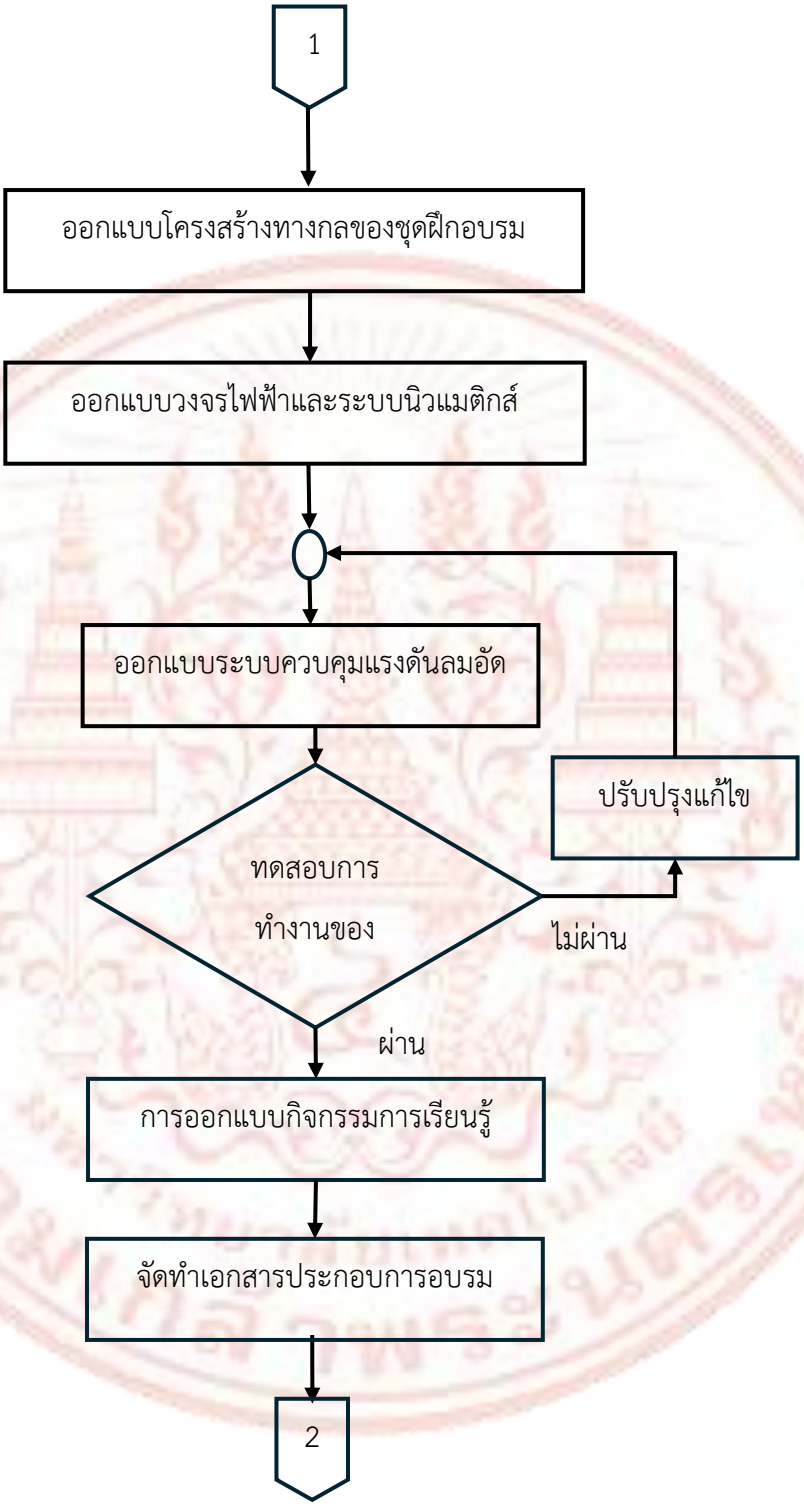
ผู้จัดทำมีแนวคิดในการสร้างชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม โดยมีกระบวนการทำงานได้จริงในอุตสาหกรรม เป็นระบบที่อาศัยการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อเพิ่มความฉลาดในส่วนการพัฒนาชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมมีขั้นตอนดังภาพที่ 3-1

3.2.1 ขั้นตอนการทำโครงงาน

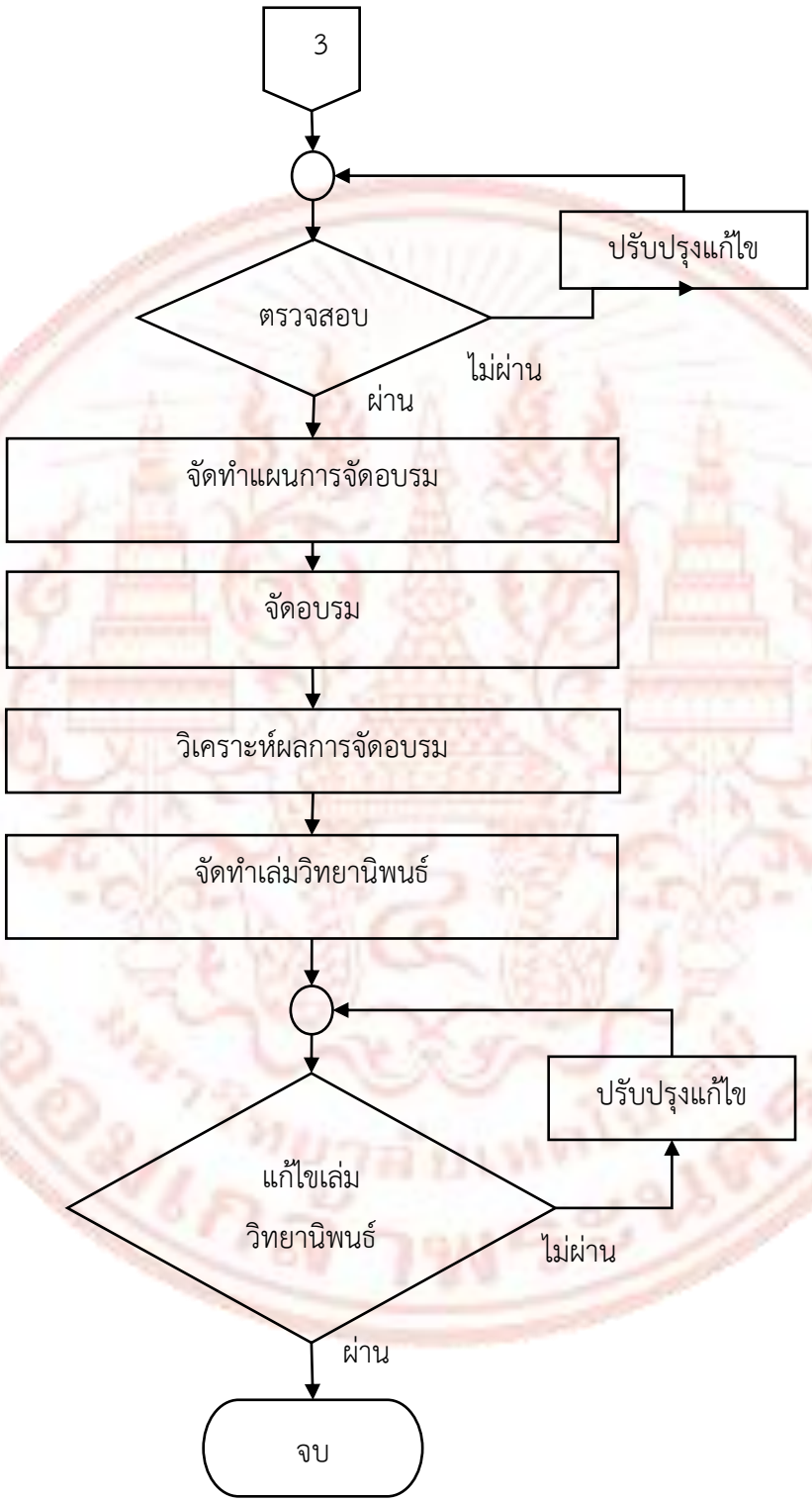
ผู้จัดทำมีแนวคิดในการสร้างชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งใน อุตสาหกรรม โดยมีกระบวนการทำงานได้จริงในอุตสาหกรรม เป็นระบบที่อาศัยการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อเพิ่มความฉลาดในส่วนการพัฒนาชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังลมอัดในโรงงานอุตสาหกรรมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมมีขั้นตอนดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แผนภาพขั้นตอนการทำโครงงาน

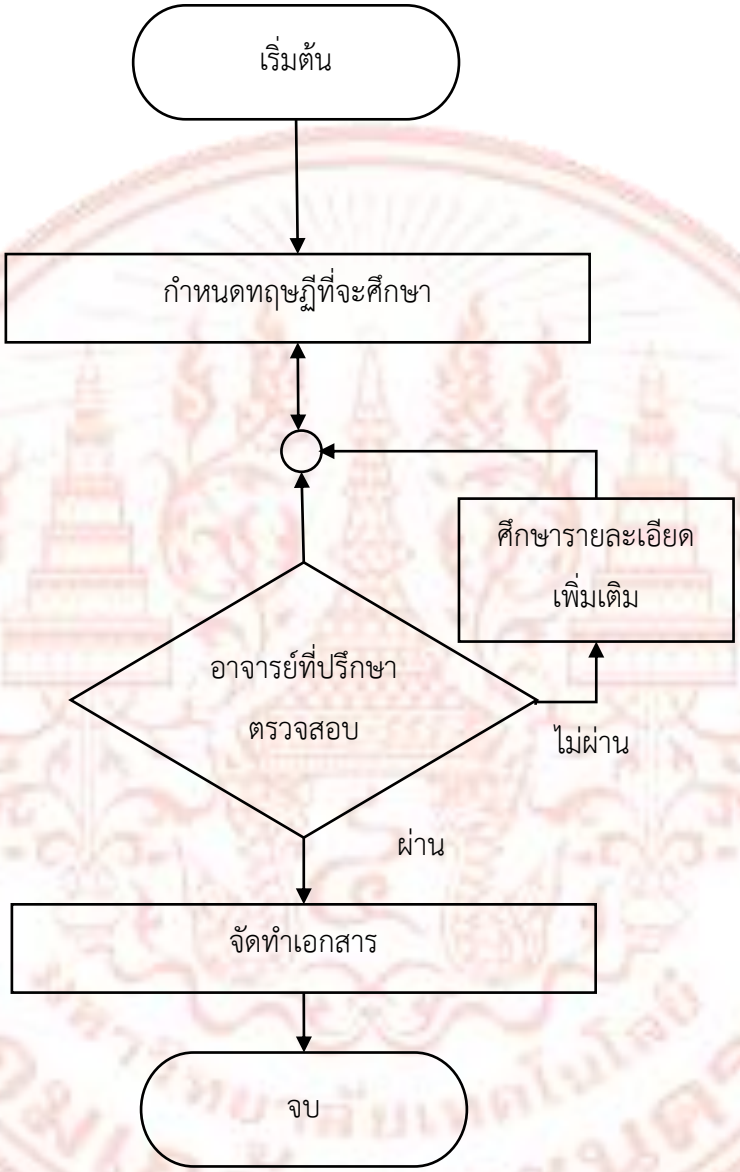

1
ออกแบบโครงสร้างทางกลของชุดฝึกอบรม
ออกแบบวงจรไฟฟ้าและระบบนิวแมติกส์
ออกแบบระบบควบคุมแรงดันลมอัด
ทดสอบการ
ทำงานของ
ปรับปรุงแก้ไข
ไม่ผ่าน
ผ่าน
การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้
จัดทำเอกสารประกอบการอบรม
2

ภาพที่ 3-1 (ต่อ)


3
ปรับปรุงแก้ไข
ตรวจสอบ
ไม่ผ่าน
ผ่าน
จัดทำแผนการจัดอบรม
จัดอบรม
วิเคราะห์ผลการจัดอบรม
จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์
ปรับปรุงแก้ไข
แก้ไขเล่ม
วิทยานิพนธ์
ไม่ผ่าน
ผ่าน
จบ

ภาพที่ 3-1 (ต่อ)

3.2.2 ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

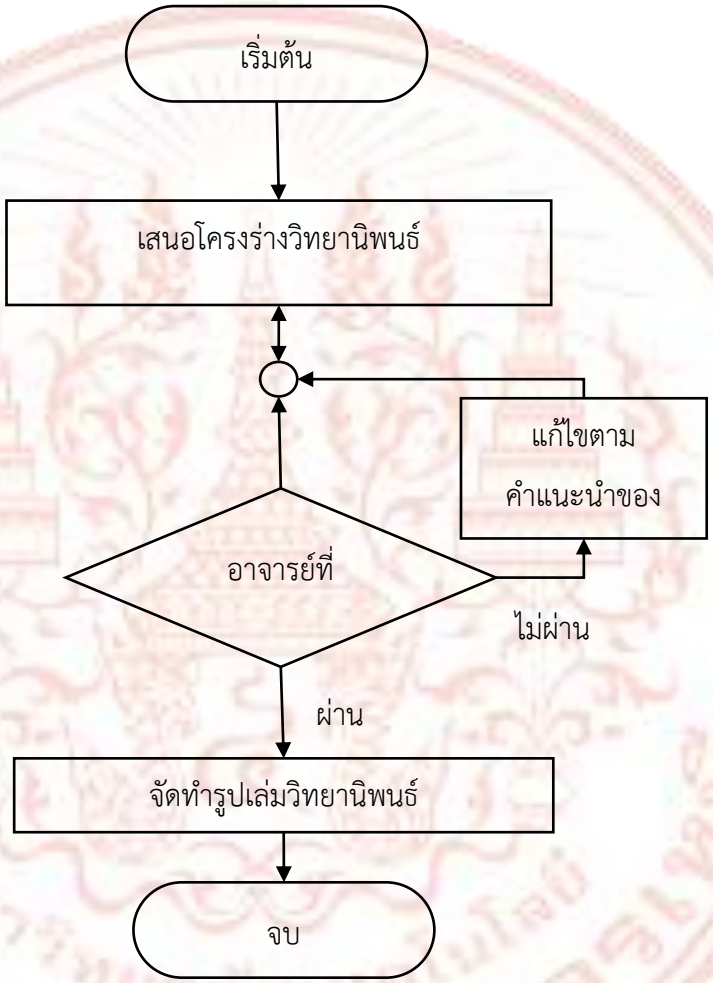


ภาพที่ 3-2 เป็นแผนภาพอธิบายศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

ภาพที่ 3-2 เป็นแผนภาพอธิบายศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน เริ่มต้นจากผู้จัดทำกำหนดทฤษฎีที่จะศึกษา ศึกษารายละเอียดและเก็บรวบรวมข้อมูลของโครงงาน แล้วให้อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานตรวจสอบข้อมูลนั้นเป็นขั้นตอนสุดท้าย หากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานเห็นว่าข้อมูลที่หามายังไม่ครบถ้วน ให้ทำการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมของข้อมูลและเก็บ

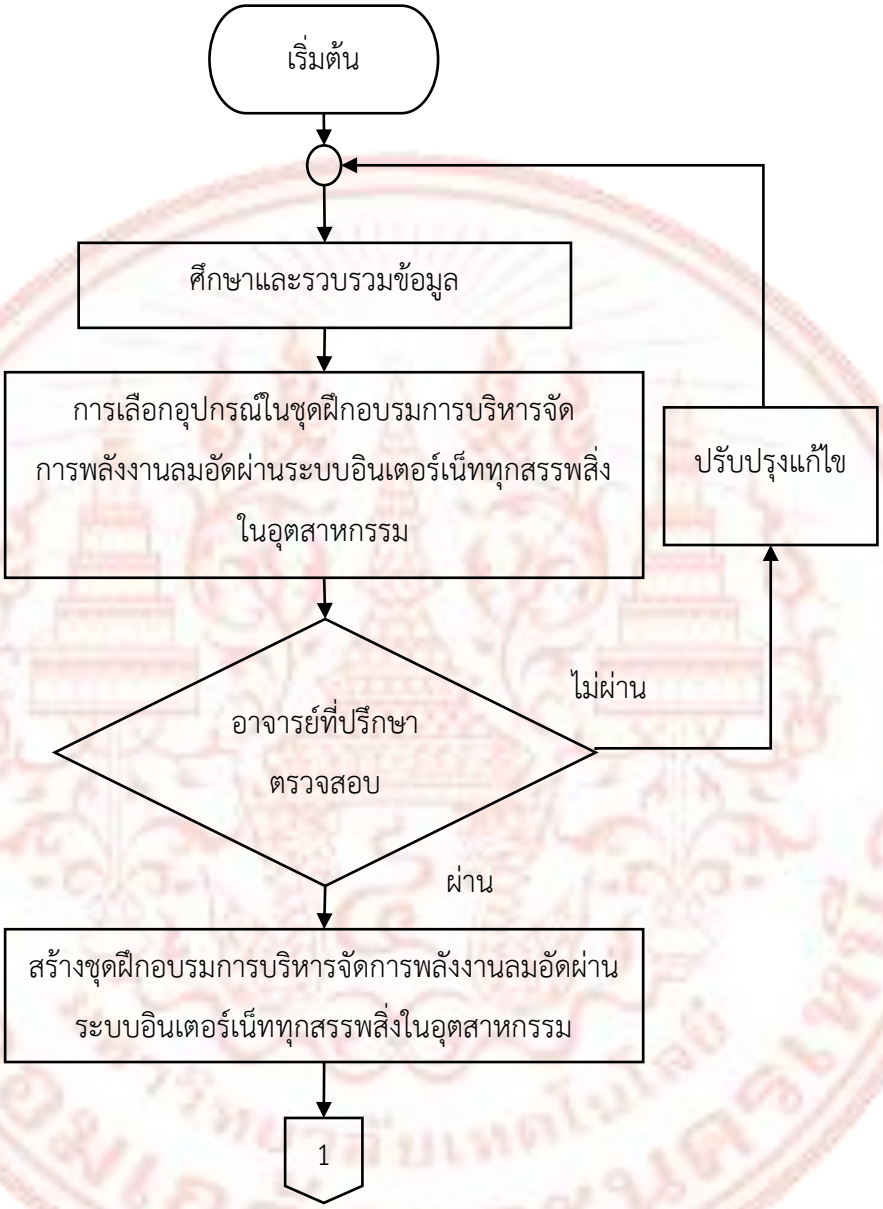
รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม จากนั้นให้อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานตรวจสอบข้อมูลอีกครั้งเป็นขั้นตอนสุดท้ายจนกว่าอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานเห็นว่าข้อมูลนั้นมีความเพียงพอแล้วที่จะทำการอนุมัติให้ผ่าน

3.2.3 นำเสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์

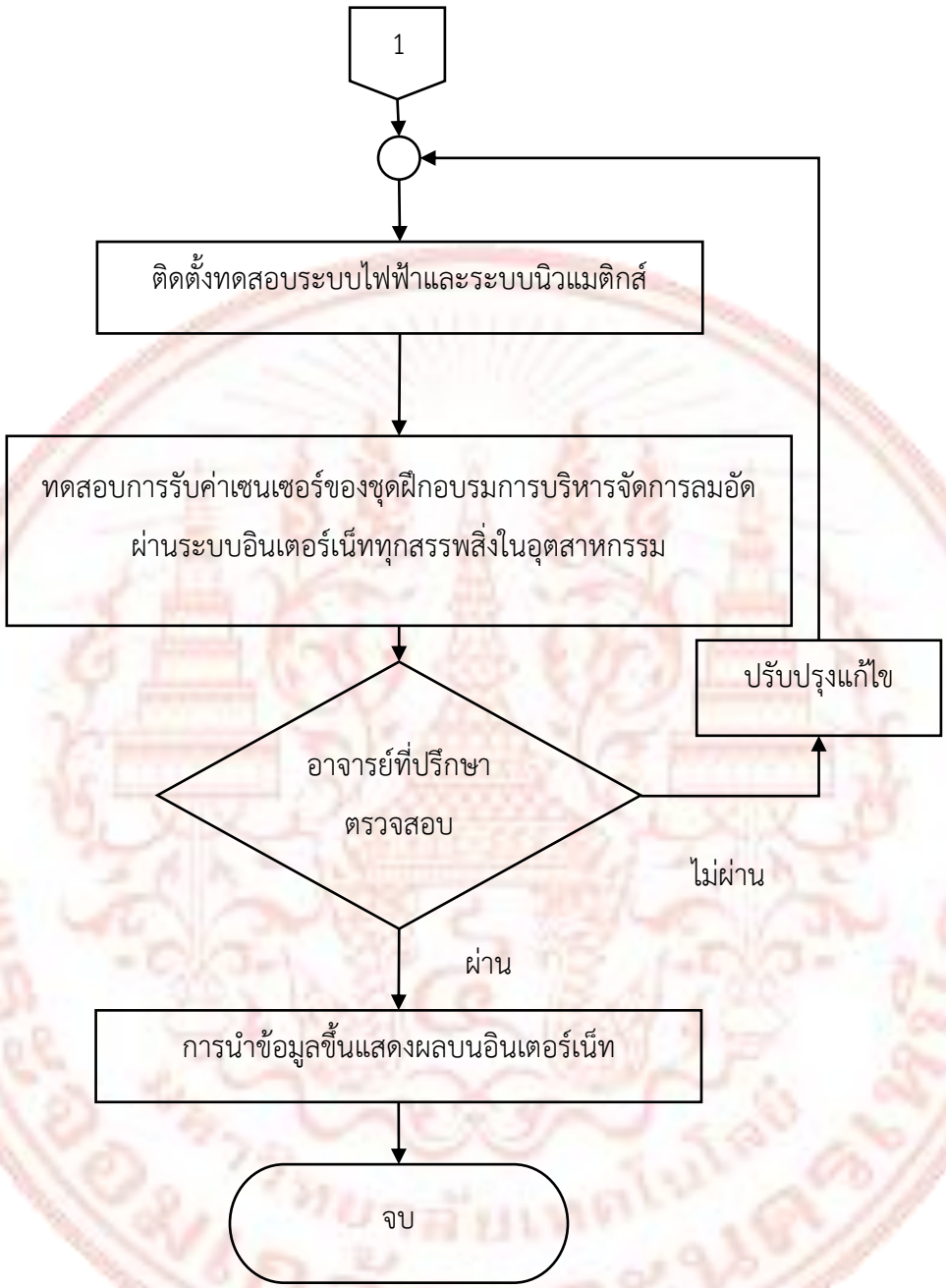


ภาพที่ 3-3 เป็นแผนภาพอธิบายการเสนอหัวข้อปริญญานิพนธ์

ภาพที่ 3-3 เป็นแผนภาพอธิบายการเสนอหัวข้อปริญญานิพนธ์ เริ่มต้นจากผู้จัดทำกำหนดหัวข้อปริญญานิพนธ์ที่ต้องการทำ ทำการจัดเตรียมข้อมูล ในส่วนการสอบหัวข้อปริญญานิพนธ์ โดยมีเอกสารนำเสนอ เล่มโครงงาน จากนั้นหลังทำการสอบ หัวข้อแล้วหลังจากนั้นจึงจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ แก้ไขตามคำแนะนำของคณะกรรมการเพื่อที่จะทำ การสอบใหม่ สุดท้ายจนกว่าคณะกรรมการจะให้ผ่านถึงจะสามารถทำหัวข้อปริญญานิพนธ์นั้นได้



ภาพที่ 3-4 แผนภาพการสร้างชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานลมอัดผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม



ภาพที่ 3-4 เป็นแผนภาพอธิบายการสร้างชุดฝึกอบรมการคัดแยกวัตถุผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุสาหกรรม

มีการเลือกใช้อุปกรณ์ ออกแบบชุดฝึกอบรม สร้างชิ้นส่วนทางกล ติดตั้ง ทดสอบระบบไฟ รับค่าเซนเซอร์ในชุดฝึกอบรมและการนำข้อมูลขึ้นบนอิเทอร์เน็ต โดยการทำ โครงงานนี้ได้ทำการให้อาจาร์ยที่ปรึกษาช่วยดูทุกอย่างก่อน ถึงจะสามารถไปขั้นตอนต่อไปได้

3.3 การสร้างชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานลมอัดผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม

3.3.1 การเลือกใช้อุปกรณ์ในชุดฝึกอบรม การเลือกกระบอกสูบนิวแมติกส์

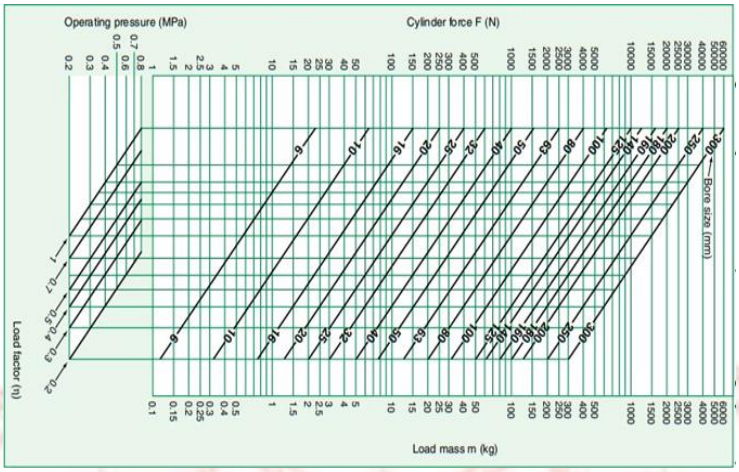
การเลือกขนาดของกระบอกสูบ ได้จากสมการที่ (3-1)

$$\boldsymbol{P = \frac{F}{A}} \qquad (3\text{-}1)$$

ภาพที่ 3-5 กระบอกสูบนิวแมติกส์ รุ่น (CDM2B25-200)

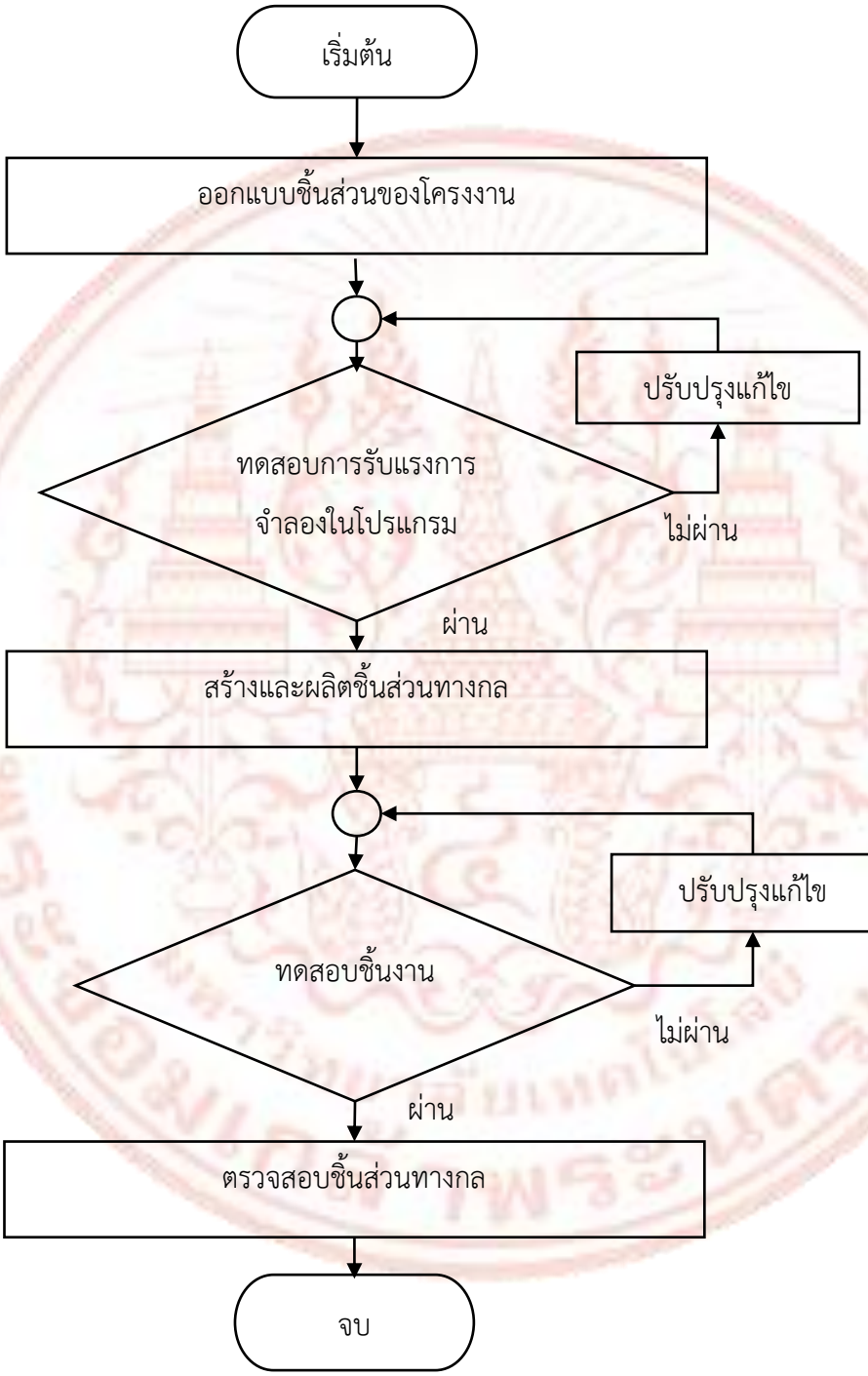
จากภาพที่ 3-5 ผู้จัดโครงงานได้ทำการเลือกกระบอกสูบขนาด 25.00 มิลลิเมตร ตามที่

ได้คำนวณจากสมการกระบอกสูบลมที่ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 25.00 มิลลิเมตรการคำนวณหาพื้นที่ และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบลมนั้นเป็นการหาแบบคร่าว ๆ หรือ (Cross Check) แต่การใช้ งานจริงต้องหาขนาดที่ได้มาตรฐานโดยอ้างอิงจากตารางการเปรียบเทียบเพื่อหากระบอกสูบ จากที่ได้ คำนวณหาพื้นที่และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบจะได้เส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 25.00 มิลลิเมตร ถ้าเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคำนวนเทียบกับตารางในส่วนของช่องขนาดความโตของ กระบอกสูบ (Bore Size) หน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยที่คำนวณจะต้องใช้เส้นขนาด 25.00 เส้นนี้จะ รองรับแรงตั้งแต่ 0.3-50 นิวตัน และด้านล่างจะแสดงโหลดที่รับไหว จากการคำนวณและเปรียบเทียบ ตารางมาตรฐานสรุปได้ว่าใช้เส้นขนาด 25.00 สามารถดันชิ้นงานได้โดยอ้างอิงมาตรฐานตารางการเปรียบเทียบจากภาพที่ 3-6



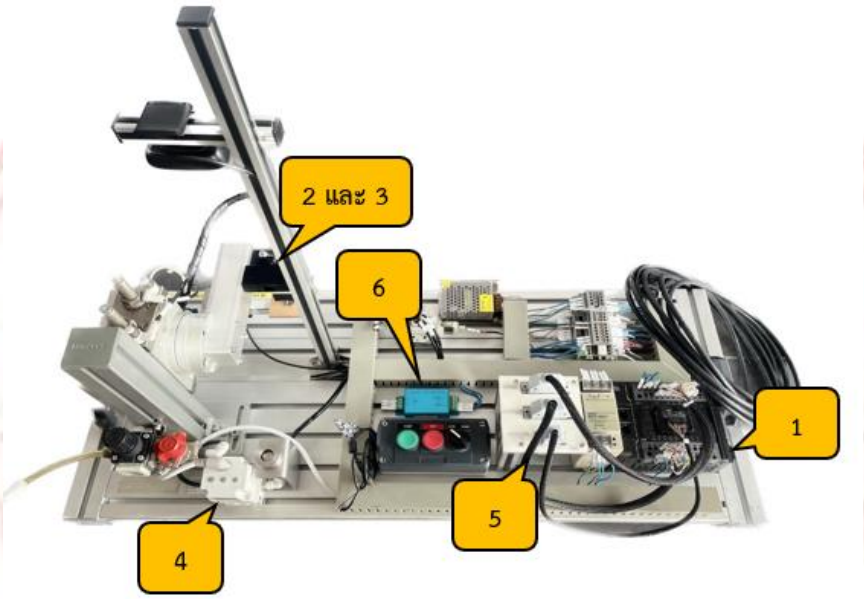
ภาพที่ 3-6 การหาค่ามาตราฐานตารางแรงกระบอกสูบนิวแมติกส์

3.3.2 การออกแบบและสร้างชิ้นส่วนทางกลของชุดฝึกอบรม

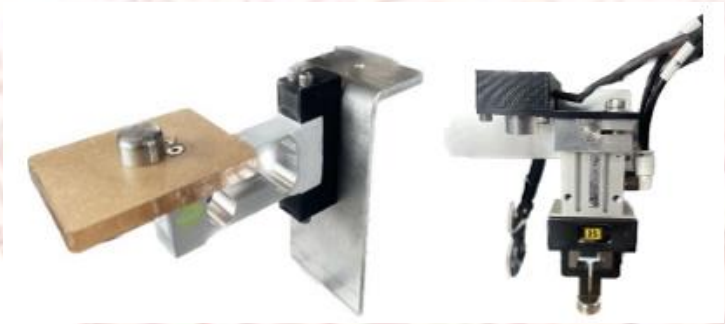


ภาพที่ 3-7 แผนภาพการออกแบบและสร้างชิ้นส่วนทางกลของชุดฝึกอบรม

ภาพรวมของเพลนชุดฝึกอบรม ในชุดฝึกก็จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ได้แก่ พีแอลซี มาตรฐานไออีซีรองรับไอโอทีรุ่น (Omron NX1P2 V1.50) โหลดเซลล์เซนเซอร์รุ่น (Mavin NA6 1KG) เซนเซอร์วัดระยะ (Distance US-016) ตัวปรับแรงดันลม (ITV2050-01F3L) โดยในชุดฝึกอบรมได้ทำการใส่หัวชุดเชื่อมต่อผ่านหัว DB ช่องอินพุต ช่องเอาต์พุต และช่องแรงดัน



ภาพที่ 3-8 ภาพรวมของชุดฝึกอบรม



ภาพที่ 3-9 อุปกรณ์หมายเลข 2 และหมายเลข 3

3.3.2.1 พีแอลซีมาตรฐานไออีซีรองรับไอโอทีรุ่น (Omron NX1P2 V1.50) พร้อมโมดูลแรงดัน

ภาพที่ 3-10 Omron NX1P2 V1.50 , NX1W-MAB221

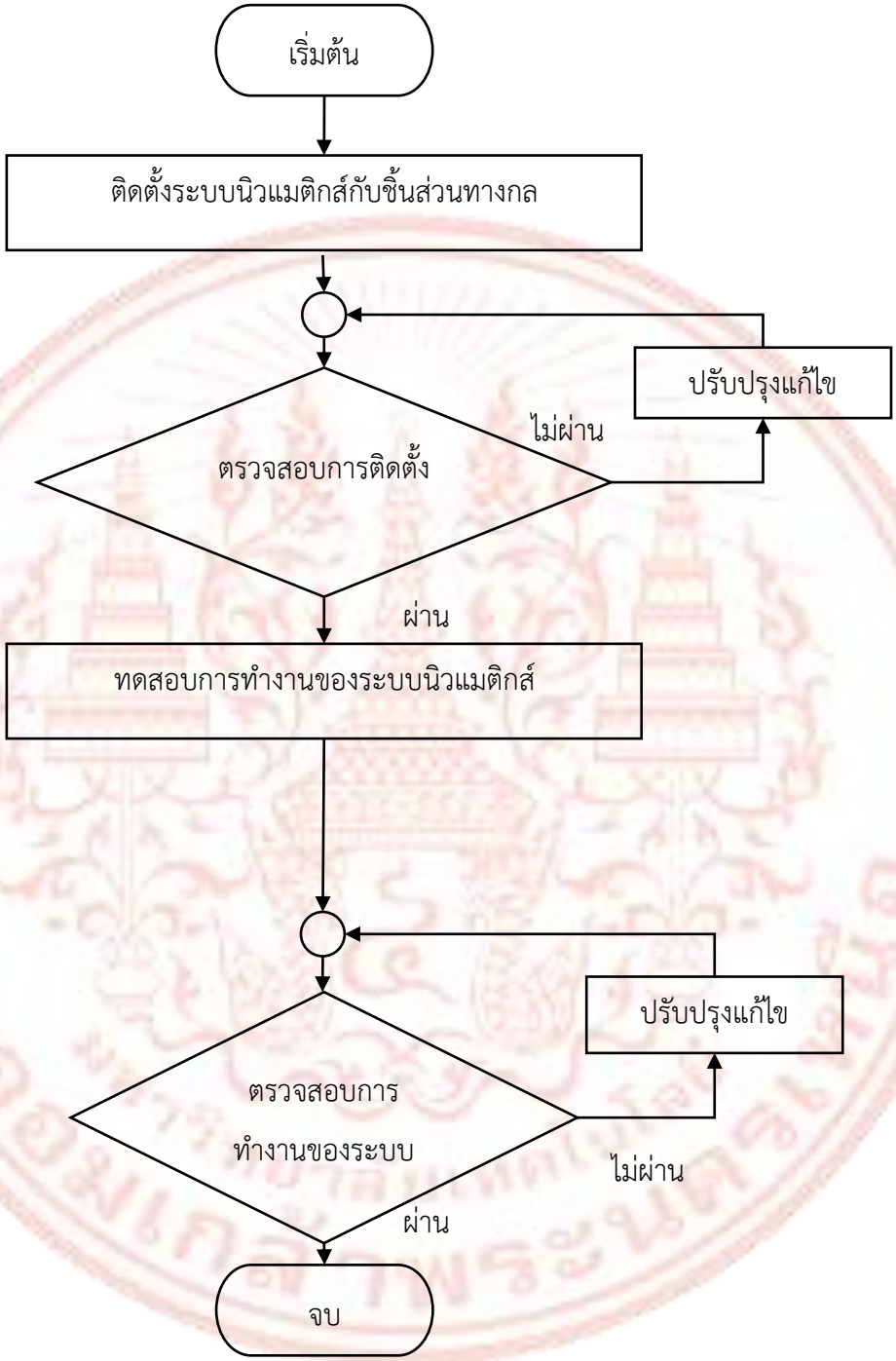
3.3.2.2 โหลดเซลล์เซนเซอร์รุ่น (Mavin NA6 1KG)

ภาพที่ 3-11 Load Cell Sensor Mavin NA6 1KG

3.3.2.3 ตัวเซนเซอร์ระยะทาง (Distance Sensor US-016)

ภาพที่ 3-12 เซนเซอร์ระยะทาง US-016

หลังจากการสร้างและผลิตชิ้นส่วนทางกลของโครงงานเรียบร้อยแล้วเอาอุปกรณ์และระบบนิวแมติกส์ลงไปติดตั้ง ในโครงสร้าง โดยระบบนิวนิวแมติกส์ประกอบด้วยต้นกำลังเครื่องอัด อากาศหรือถังเก็บลมอัด อุปกรณ์กรองน้ำ ชุดควบคุมและปรับคุณภาพลมอัด วาล์วควบคุมทิศทางลม และตัวปรับแรงดันลมไฟฟ้าอีกด้วย ดังภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-13 แผนภาพการติดตั้งและทดสอบระบบนิวแมติกส์

3.3.4 ทดสอบการรับค่าเซนเซอร์ของชุดฝึกอบรม

การรับค่าเซนเซอร์ของชุดฝึกอบรมตัวแรกนั้นก็ คือ โหลดเซลล์เซนเซอร์เริ่มต้นด้วยการการต่อสายของโหลดเซลล์เซนเซอร์กับพีแอลซีออมรอนผ่านเครื่องแปลงสัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (WEIGHT TRANSMITTER) เป็นตัวกลางในการทำหน้าที่ขยายสัญญาณเอาต์พุตให้เป็น 0-10 โวลต์ หรือ 4-20 มิลลิแอมป์ ไปเข้าพีแอลซีโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงแรงดันอยู่ที่ 15-30 โวลต์ ดังภาพที่ 3-22 และภาพที่ 3-23

การคำนวณหาค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ ดังสมการที่ (3-11)

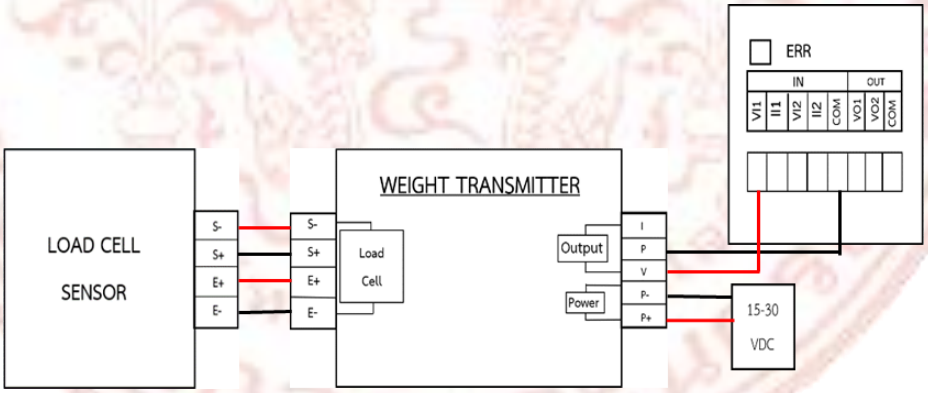
$$\frac{\textbf{Weight (Kg)}}{\textbf{Max Load Cell(Kg)}} \times \text{Voltage} = \text{Output Voltage} \qquad (3\text{-}11)$$

โดยที่

Weight คือ น้ำหนักที่ต้องการทดสอบ (กิโลกรัม)

Max Load Cell คือ ค่าน้ำหนักสูงสุดของโหลดเซลล์ (กิโลกรัม)

Voltage คือ แรงดันที่นำไปใช้ (โวลต์)



ภาพที่ 3-14 แผนภาพการต่อโหลดเซลล์เซนเซอร์ไปพีแอลซี

การเพิ่มโมดูลแอนะล็อกของพีแอลซีออรอน โดยทำการเลือกที่การตั้งค่า (Option Board) จากนั้นเข้าไปที่ Configuration เลือก Option Board 1 เลือกรุ่น Analog I/O ที่ผู้จัดทำใช้สามารถรับช่องอินพุต 4 ช่อง และเอาต์พุต 2 ช่อง ดังตารางที่ 3-5 ถึงตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-1 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์แอนะล็อกของพีแอลซีออมรอน

ตัวย่อ		ชื่อสัญญาณ
อินพุต	VI1	แรงดันเข้าช่อง 1
	II1	กระแสเข้าช่อง 1
	VI2	แรงดันเข้าช่อง 2
	II2	กระแสเข้าช่อง 2
	COM	0 โวลต์
เอาต์พุต	VO1	แรงดันออกช่อง 1
	VO2	แรงดันออกช่อง 2
	COM	0 โวลต์

ตารางที่ 3-2 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

ตัวย่อ		ชื่อสัญญาณ
ขยายแรงดันอินพุต	S-	สัญญาณลบ
	S+	สัญญาณบวก
	E+	แรงดันเข้าช่อง 1
	E-	แรงดันเข้าช่อง 2
ขยายแรงดันเอาต์พุต	I	4-20 มิลลิแอมป์
	P	0 โวลต์
	V	0–10 โวลต์
	P-	0 โวลต์
	P+	15–30 โวลต์

ตารางที่ 3-3 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์โหลดเซลล์ (Sensor Load Cell)

แหล่งจ่ายและสัญญาณเอาต์พุต	P-	0 โวลต์
	V	0–5 โวลต์
	P-	15–30 โวลต์
	P+	0 โวลต์

3.3.5 เขียนโปรแกรมในส่วนการทำงานของชุดฝึกอบรม

การออกแบบและเขียนโปรแกรมในส่วนของโครงงานชุดฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานลมอัดผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม นั้นแบ่งออกเป็น 2 การทำงาน คือ การประหยัด พลังงานลม โดยใช้อัลกอริทึมนิวโรฟัซซีและการคัดแยกโดยใช้กล้องตรวจจับ โดยการเริ่มรูปแบบที่ 1 ใช้อัลกอริทึมจำเป็นต้องมีข้อมูลสำหรับให้อัลกอริทึมประมวลผล เช่น ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ต้อง มีข้อมูลไว้สำหรับออกกฎในการตัดสินใจให้เอาต์พุตออกมามีความผิดพลาดน้อยที่สุด จำเป็นต้องมีชุด ข้อมูลไว้สำหรับการเรียนรู้หรือการอบรมเพื่อให้โมเดลประมวลผลเอาต์พุตออกมามีความผิดพลาด น้อยที่สุด ผู้จัดทำโครงงานได้สร้างชุดข้อมูลขึ้นมาแบ่งออกเป็น อินพุต 3 อินพุต ได้แก่ ความเร็ว น้ำหนัก และระยะของวัตถุ โดยมีเอาต์พุตคือ แรงดันลม ดังภาพที่ 3-27

ขั้นตอนการกำหนดช่วงของสมาชิกฟังก์ชัน (Membership Function) ทำการกำหนดช่วงของสมาชิกฟังก์ชันแต่ละอินพุต โดยอินพุตของความเร็วมี 3 ช่วง โดยครอบคลุมในความเร็วอยู่ที่ 0–3.20 เซนติเมตรต่อนาที ดังตารางที่ 3-13 อินพุตน้ำหนักแบ่งออกเป็น 3 ช่วง โดยครอบคลุมในน้ำหนักอยู่ที่ 0–600.00 กรัม ดังตารางที่ 3-14 ระยะห่างวัตถุแบ่งออกเป็น 3 ช่วง โดยครอบคลุมในระยะห่างอยู่ที่ 0-30.00 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3-15 และเอาต์พุตมีน้ำหนักตั้งแต่ 1.50-5.00 บาร์ ดังตารางที่ 3-16

ตารางที่ 3-9 ช่วงของอินพุตความเร็ว

ค่าความเป็นสมาชิก	ช่วงของอินพุต
MF1	[0.00, 0.00, 1.60]
MF2	[0.00, 1.60, 3.20]
MF3	[1.60, 3.20, 4.80]

ตารางที่ 3-10 ช่วงของอินพุตน้ำหนัก

ค่าความเป็นสมาชิก	ช่วงของอินพุต
MF1	[-300.00, 0.00, 300.00]
MF2	[0.00, 300.00, 600.00]
MF3	[300.00, 600.00, 900.00]

ตารางที่ 3-11 ช่วงของอินพุตระยะห่างจากวัตถุ

ค่าความเป็นสมาชิก	ช่วงของอินพุต
MF1	[-15.00, 0.00, 15.00]
MF2	[0.00, 15.00, 30.00]
MF3	[15.00, 30.00, 45.00]

ตารางที่ 3-12 ช่วงของเอาต์พุตของแรงดันลม

แปลงฟังก์ชันสมาชิก					
ลำดับ	เอาต์พุต	ลำดับ	เอาต์พุต	ลำดับ	เอาต์พุต
1	1.50	10	2.10	19	2.63
2	2.45	11	3.98	20	5.53
3	0.00	12	0.00	21	0.00
4	2.45	13	3.98	22	5.55
5	-0.16	14	2.33	23	4.81
6	0.00	15	-14.14	24	5.14
7	0.00	16	0.00	25	0.00
8	0.00	17	-14.14	26	5.14
9	0.00	18	-0.49	27	4.96

ขั้นตอนต่อไปคือการนำสมการเส้นตรงมาหาคำนวนและมาสร้างสมการที่จะนำไปสู่ขั้นตอนของการแปลงค่าจากตารางข้อมูลสำหรับให้อัลกอริทึมประมวลผลในระบบฟัซซีสู่ค่าในโลกของความเป็นจริง (Defuzzification) โดยหาเส้นของอินพุตทั้ง 3 ช่วงของทุก ๆ โดยการกำหนดตัวแปรใน สมการให้ครบเพื่อความชันของแต่ช่วง โดยผู้จัดทำโครงงานได้หาดังตารางที่ 3-17 ถึงตารางที่ 3-19

ตารางที่ 3-13 หาสมการเส้นตรงของอินพุต 1 ทั้งหมด 3 ช่วง 4 เส้น

เส้นที่	X1	Y1	X2	X2	X2	X2
1	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	1.60	1.60	1.60	1.60
3	3.20	0.00	1.60	1.60	1.60	1.60
4	1.60	0.00	3.20	3.20	3.20	3.20

ตารางที่ 3-14 หาสมการเส้นตรงของอินพุต 2 ทั้งหมด 3 ช่วง 4 เส้น

เส้นที่	X1	Y1	X2	Y2	Y	C
1	300.00	0.00	0.00	1.00	-0.04	1.00
2	0.00	0.00	300.00	1.00	0.04	0.00
3	600.00	0.00	300.00	1.00	-0.04	2.00
4	300.00	0.00	600.00	1.00	0.04	-1.00

ตารางที่ 3-15 หาสมการเส้นตรงของอินพุต 3 ทั้งหมด 3 ช่วง 4 เส้น

เส้นที่	X1	Y1	X2	Y2	Y	C
1	48.81	0.00	0.00	1.00	-0.02	1.00
2	0	0.00	41.7	1.00	0.02	0.00
3	76.43	0.00	41.7	1.00	-0.02	2.20
4	38.71	0.00	81.44	1.00	-0.02	-0.97

เมื่อได้สมาชิกสมการเส้นตรงแล้วนำไปเขียนเงื่อนไขในพีแอลซีออมรอน โดยเขียนตามขั้นตอนดังนี้ หาสมการเส้นตรงของแต่ละอินพุตทั้งหมด

Tnorm = Input 1 x Input 2 x Input 3 x Input 4 ** ตามจำนวนกฎในโปรแกรมแมตแล็บ

Normalize = $\frac{\textbf{Tnorm}}{\textbf{Sum Tnorm}}$ ได้ Normalize ตามจำนวนกฎ

W = $\frac{(\boldsymbol{Normalize1\ x\ Output1})}{\textbf{Sum Normalize}}$ + $\frac{(\boldsymbol{Normalize2\ x\ Output2}}{\textbf{Sum Normalize}}$) + $\frac{(\boldsymbol{Normalize3\ x\ Output3})}{\textbf{Sum Normalize}}$

ได้ Nomali ตามจำนวนกฎ

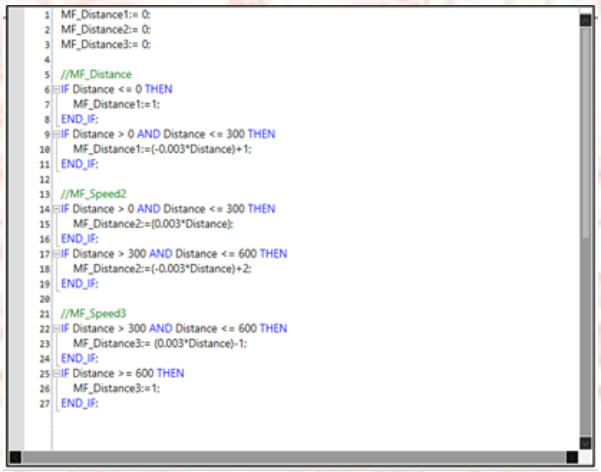
การนำเงื่อนไขที่ได้จากกฎของข้อมูลในโปรแกรมแมทแลปนำมาเขียนลงในอุปกรณ์พีแอลซี ทั้งหมด 3 อินพุต ได้แก่ ความเร็ว น้ำหนักและระยะห่างของวัตถุ ดังภาพที่ 3-28 ถึงภาพที่ 3-30

```
MF_Speed1:= 0;
MF_Speed2:= 0;
MF_Speed3:= 0;

//MF_Speed1
IF Speed <= 0 THEN
    MF_Speed1:=1;
END_IF;
IF Speed > 0 AND Speed <= 1.6 THEN
    MF_Speed1:=(-0.625*Speed)+1;
END_IF;

//MF_Speed2
IF Speed > 0 AND Speed <= 1.6 THEN
    MF_Speed2:=(0.625*Speed);
END_IF;
IF Speed> 1.6 AND Speed <= 3.2 THEN
    MF_Speed2:=(-0.625*Speed)+2;
END_IF;

//MF_Speed3
IF Speed > 1.6 AND Speed <= 3.2 THEN
    MF_Speed3:= (0.625*Speed)-1;
END_IF;
IF Speed >= 3.2 THEN
    MF_Speed3:=1;
END_IF;
```

ภาพที่ 3-15 เงื่อนไขอินพุตที่ 1 ความเร็ว

```
MF_Weight1:= 0;
MF_Weight2:= 0;
MF_Weight3:= 0;

//MF_Speed1
IF Weight <= 0 THEN
    MF_Weight1:=1;
END_IF;
IF Weight > 0 AND Weight <= 300 THEN
    MF_Weight1:=(-0.003*Weight)+1;
END_IF;

//MF_Speed2
IF Weight > 0 AND Weight <= 300 THEN
    MF_Weight2:=(0.003*Weight);
END_IF;
IF Weight > 300 AND Weight <= 600 THEN
    MF_Weight2:=(-0.003*Weight)+2;
END_IF;

//MF_Speed3
IF Weight > 300 AND Weight <= 600 THEN
    MF_Weight3:= (0.003*Weight)-1;
END_IF;
IF Weight >= 600 THEN
    MF_Weight3:=1;
END_IF;
```

ภาพที่ 3-16 เงื่อนไขอินพุตที่ 2 น้ำหนัก

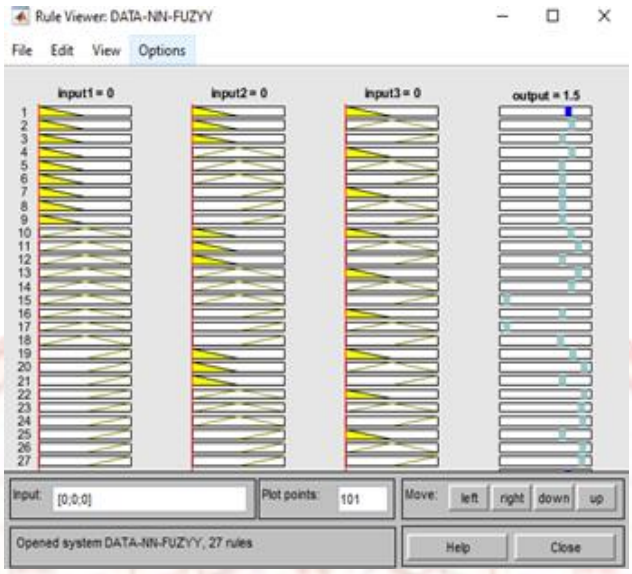


```
MF_Distance1:= 0;
MF_Distance2:= 0;
MF_Distance3:= 0;

//MF_Distance
IF Distance <= 0 THEN
    MF_Distance1:=1;
END_IF;
IF Distance > 0 AND Distance <= 300 THEN
    MF_Distance1:=(-0.003*Distance)+1;
END_IF;

//MF_Speed2
IF Distance > 0 AND Distance <= 300 THEN
    MF_Distance2:=(0.003*Distance);
END_IF;
IF Distance > 300 AND Distance <= 600 THEN
    MF_Distance2:=(-0.003*Distance)+2;
END_IF;

//MF_Speed3
IF Distance > 300 AND Distance <= 600 THEN
    MF_Distance3:= (0.003*Distance)-1;
END_IF;
IF Distance >= 600 THEN
    MF_Distance3:=1;
END_IF;
```

ภาพที่ 3-17 เงื่อนไขอินพุตที่ 3 ระยะห่างจากวัตถุ

ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยทำการเปรียบการเขียนโปรแกรมฟัซซี

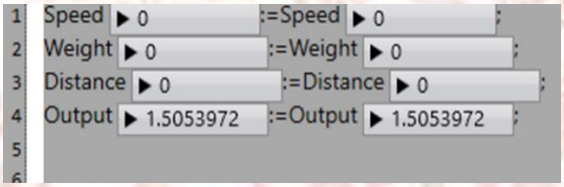
ลอจิกในโปรแกรม Sysmac Studio กับโปรแกรมแมทแลป โดยทำการใส่ค่าอินพุตในโปรแกรม แมทแลปเท่ากับ [0.00, 0.0, 0.00] ได้เอาต์พุตออกมา คือ แรงดันลมอยู่ที่ 1.50 บาร์ดังภาพที่ 3-31



ภาพที่ 3-18 ผลจำลองโปรแกรมแมทแลปอินพุตเท่ากับ [0.00, 0.00, 0.00] เอาต์พุตอยู่ที่ 1.50 บาร์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรมแมทแลปได้แรงดันลมอยู่ที่ 1.50 บาร์ จากนั้นทำการทดลองในโปรแกรม Sysmac Studio โดยกำหนดค่าอินพุตมีค่าเท่ากับ [0.00, 0.00, 0.00] ได้

เอาต์พุตอยู่ที่ 1.50 บาร์ เท่ากับการจำลองในโปรแกรมแมทแลป ดังภาพที่ 3-32



ภาพที่ 3-19 ผลการจำลองในโปรแกรมพีแอลซี อินพุตเท่ากับ [0.00, 0.00, 0.00] เอาต์พุตอยู่ที่ 1.50 บาร์

การนำข้อมูลแสดงบนอินเทอร์เน็ต

การนำข้อมูลขึ้นบนอินเทอร์เน็ตกลุ่มเครือข่ายย่อย ๆ จำนวนมากที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันภายใต้มาตรฐานการสื่อสารเดียวกัน จนเป็นสังคมเครือข่ายขนาดใหญ่และสามารถรับส่งข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถมอนิเตอร์กับอุปกรณ์ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยเข้าถึงได้ง่าย เช่น โทรศัพท์หรือคอมพิวเตอร์ ทางผู้จัดทำได้ทำการเลือกมอนิเตอร์อุปกรณ์ผ่านอินเทอร์เน็ตเป็นแดชบอร์ดใช้ในการแสดงผลไปยังผู้ใช้งาน โดยมีกระบวนการ

3.3.6 สร้างเครื่องมือในการวิจัย

3.3.6.1 แบบประเมินความเข้าใจของวิศกรเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม 5 ข้อ จากนั้น ทำการออกข้อสอบจำนวน 30 ข้อ หลังจากนั้น ได้ทำการการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาที่วัดกับจุดประสงค์ที่ต้องการวัดโดยให้ ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการจะวัดหรือไม่โดยใช้วิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ ในกระบวนการนี้ ได้รับความอนุเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 7 ท่าน ซึ่งจะพิจารณาให้คะแนน ข้อสอบแต่ละข้อ คือ

+1 เมื่อแน่ใจว่า ข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์

0 เมื่อไม่แน่ใจว่า ข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์

-1 เมื่อแน่ใจว่า ข้อคำถามนั้นไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์

ตารางที่ 3-2 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมืองานวิจัยทั้งหมด 7 ท่าน ดังนี้

ที่	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	ชื่อหน่วยงานที่สังกัด
1	นายสันติ แซ่โฮ้ว	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม	บริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล
2	นายประสิทธิ์ เถื่อนทนนท์	ผู้จัดการฝ่ายผลิต	บริษัท โตโยต้า ไดฮัทซุ
3	นายบำรุง หมอนภักดี	ผู้จัดการโรงงาน	บริษัท ไทยซัมมิท พีเค
4	นายถนอม คุ้มดี	ผู้จัดการฝ่ายผลิต	บริษัท ไทยซัมมิท ออโตโมทีฟ
5	นายวราพร สายยุเขต	ผู้จัดการฝึกอบรม	บริษัท อิซูซุ มอเตอร์
6	นายปองคุณ เลิศนวนิล	ผู้อำนวยการบริหาร	บริษัท โซนีดีไวซ์ เทคโนโลยี
7	นายภูวดล นนทวี	ผู้จัดการโรงงาน	บริษัท ซิติเซน แมชชินเนอรี

3.3.6.2 แบบประเมินการรับรู้ของวิศวกร โดยได้ทำการประยุกต์คำถามที่พัฒนาโดย Ruengdech et al. (2024) เพื่อนำมาใช้เพื่อประเมินการรับรู้ที่มีต่อการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็น ประกอบด้วยข้อคำถาม 3 ด้าน จำนวน 15 ข้อ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ (Likert scale) โดยให้ระดับคะแนน ดังต่อไปนี้

1 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

2 หมายถึง เห็นด้วยน้อย

3 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง

4 หมายถึง เห็นด้วยมาก

5 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด

3.3.7 จัดฝึกอบรมเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย

ผู้เข้าร่วมอบรมครั้งนี้เป็นกลุ่มวิศวกรในสถานประกอบการประเภทผลิตรถยนต์และผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่พัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) จำนวน 34 คน เป็นเพศชาย จำนวน 27 คน และเพศหญิงจำนวน 7 คน มีอายุระหว่าง 20-50 ปี ผู้เข้าร่วมอบรมทุกคนมีการวุฒิการศึกษาในการรับปริญญาตรีด้านวิศวกรรมศาสตร์ และมีประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องในภาคอุตสาหกรรม

ภาพที่ 3-21 ภาพกิจกรรมการอบรมวันที่ 1

ภาพที่ 3-22 ภาพกิจกรรมการอบรมวันที่ 2

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิจัยที่ได้รับจากการดำเนินงานตามกรอบวัตถุประสงค์การวิจัยที่ได้กำหนดไว้ โดยได้แสดงผลลัพธ์ที่เกิดจากกระบวนการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา 2 ส่วน ได้แก่

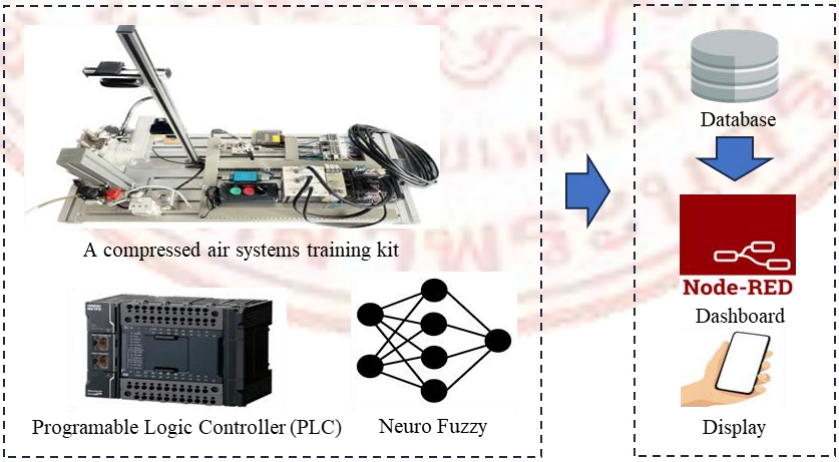
4.1 ผลการวิจัยด้านวิศวกรรม

4.2 ผลการวิจัยด้านการศึกษา

4.1 ผลการวิจัยด้านวิศวกรรม

4.1.1 ผลการพัฒนานวัตกรรมชุดการเรียนรู้

ผลที่ได้จากการพัฒนานวัตกรรมชุดการเรียนรู้การบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม โดยอยู่ในรูปแบบของชุดฝึกอบรมระบบลมอัด (Compressed air system training kit) โดยมีการใช้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ที่เรียกว่า ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี (Neuro Fuzzy) สำหรับใช้ในการบริหารจัดการพลังงาน จากนั้น จะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลและสามารถแสดงผลได้บนหน้าจอมอนิเตอร์หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ภาพรวมของชุดฝึกที่นำเสนอ

โดยในส่วนงานด้านวิศวกรรมได้ทำการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 สรุปค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่ได้ทดลองนิวโรฟัซซี 20 การทดลอง

ค่าที่	อินพุต			เอาต์พุต
	น้ำหนัก (กรัม)	ระยะห่าง (มิลลิเมตร)	ความเร็ว (เมตรต่อนาที)	แรงดันลม (บาร์)
1	0.13	1.36	0.43	0.09
2	0.07	2.67	0.26	0.16
3	0.07	1.84	2.44	1.32
4	0.11	1.75	1.71	0.23
5	0.05	0.91	2.14	0.25
6	0.00	0.17	0.00	0.00
7	0.05	5.49	0.25	0.66
8	0.16	10.22	0.83	2.28
9	0.08	7.39	1.91	1.73
10	0.11	5.54	1.06	0.13
11	0.04	2.11	2.33	0.68
12	0.13	3.26	0.59	0.10
13	0.08	2.71	0.24	0.11
14	0.04	2.44	1.74	0.18
15	0.08	0.91	0.29	0.08
16	0.05	1.08	1.39	0.08
17	0.05	1.07	0.08	0.24
18	0.39	6.25	1.95	1.93
19	0.10	2.03	2.55	2.63
20	0.05	6.21	0.94	0.05

ตารางที่ 4-2 สรุปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ทดลองนิวโรฟัซซี 20 การทดลอง

ค่าที่	อินพุต			เอาต์พุต
	น้ำหนัก (กรัม)	ระยะห่าง (มิลลิเมตร)	ความเร็ว (เมตรต่อนาที)	แรงดันลม (บาร์)
1	0.07	1.09	0.08	0.07
2	0.07	0.70	0	0.06
3	0.07	1.35	2.29	0.09
4	0.13	1.08	0.39	0.13
5	0.06	0.69	0	0.23
6	0.00	0.11	0.00	0.00
7	0.02	1.29	0.19	0.03
8	0.08	1.14	0.32	0.08
9	0.05	1.46	4.33	0.70
10	0.09	1.47	0.35	0.03
11	0.02	0.64	3.47	0.04
12	0.02	0.47	0.35	0.02
13	0.07	0.65	0.00	0.08
14	0.03	0.50	0.00	0.04
15	0.08	0.32	0.00	0.07
16	0.02	0.49	0.51	0.05
17	0.01	0.91	0.00	0.03
18	0.67	1.28	0.63	0.12
19	0.06	0.81	0.63	0.36
20	0.03	1.16	0.32	0.02

4.1.2 ผลการทดลองในส่วนของการใช้อนุมานแบบคลุมเครือ

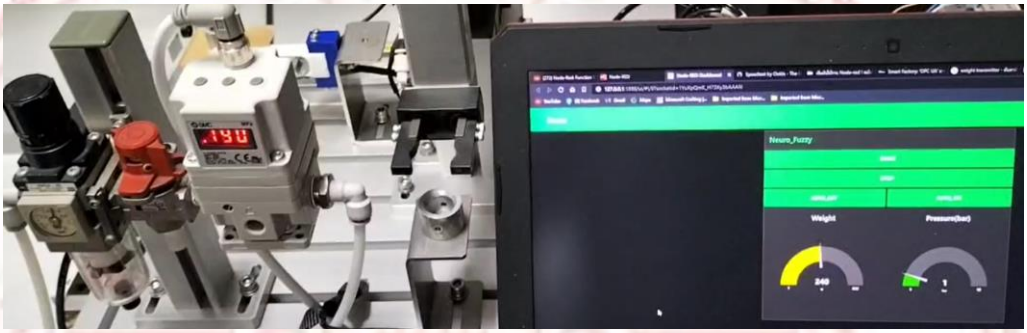
จากตารางที่ 4-2 เป็นตารางสรุปค่าเฉลี่ยความผิดพลาดการทดลองแบบอนุมานแบบคลุมเครือ รวมทั้งหมด 20 ค่าโดยนำข้อมูลมารวบรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองได้ว่าการเปรียบเทียบเอาต์พุตแรงดันลมจากตัวปรับแรงดันลมไฟฟ้าระหว่างข้อมูลจริงและผลจากระบบอนุมานแบบคลุมเครือเป็นนำเอาเอาต์พุตที่ได้จากโปรแกรมแมทแลปนั้นมาทำการเปรียบเทียบกับของมูลจริงที่นำเข้ามาเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 1 เอาต์พุตเท่ากับ 0.09 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 2 เอาต์พุตเท่ากับ 0.16 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 3 เอาต์พุตเท่ากับ 13.2 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 4 เอาต์พุตเท่ากับ 0.23 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 5 เอาต์พุตเท่ากับ 0.25 ผลจากการ เปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 6 เอาต์พุตเท่ากับ 0.00 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 7 เอาต์พุตเท่ากับ 0.66 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 8 เอาต์พุตเท่ากับ 2.28 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 9 เอาต์พุตเท่ากับ 1.73 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 10 เอาต์พุตเท่ากับ 0.13 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 11 เอาต์พุตเท่ากับ 0.68 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 12 เอาต์พุตเท่ากับ 0.10 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 13 เอาต์พุตเท่ากับ 0.11 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 14 เอาต์พุตเท่ากับ 0.18 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 15 เอาต์พุตเท่ากับ 0.08 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 16 เอาต์พุตเท่ากับ 0.08 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 17 เอาต์พุตเท่ากับ 0.24 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 18 เอาต์พุตเท่ากับ 0.09 ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 19 เอาต์พุตเท่ากับ 1.93

ผลจากการเปรียบเทียบมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดครั้งที่ 20 เอาต์พุตเท่ากับ 2.63 โดยค่าเฉลี่ยทั้ง 20 ค่าที่ได้ทำการทดลองเป็นค่าความความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้และ สามารถนำไปใช้งานได้ในการปรับแรงดันลมของระบบชุดฝึกอบรมได้สาเหตุความผิดพลาดของเอาต์พุตแรงดันลมจากตัวปรับแรงดันลมไฟฟ้าระหว่างข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากเซนเซอร์อินพุต ตัวที่ 1 เซนเซอร์อินพุตตัว

ที่ 2 และเซนเซอร์อินพุตตัวที่ 3 ค่าของเซนเซอร์ยังมีค่าที่ไม่คงที่ในการทดลองจึงทำให้เอาต์พุตแรงดันลมมีการเปลี่ยนแปลงเสมอ

4.1.3 ผลการทำงานของระบบแสดงผล

ผลการทำงานของระบบแสดลผลได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเริ่มต้นและหยุดการทำงานของชุดฝึกและกลุ่มแสดงผลการทำงานของเซนเซอร์อินพุต โดยการแสดงผลอินพุต ได้แก่ น้ำหนัก (กรัม) ระยะห่างของวัตถุ (มิลลิเมตร) ความเร็ว (เมตรต่อวินาที) ดังแสดงในภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ระบบแสดงผลเปรียบเทียบของค่าบนอุปกรณ์และชุดฝึกอบรม

4.1.4 ผลการหาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานลมอัดด้วยนวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

รูปแบบการฝึกอบรมที่ประกอบด้วยชุดฝึกอบรมระบบอัดอากาศ โดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์แห่งสรรพสิ่ง (AIoT) และมีสถานการณ์ประหยัดพลังงานได้แก่

4.1.4.1 การควบคุมความดันของอากาศที่ถูกอัดเข้าสู่กระบอกสูบในขณะที่มีการรับน้ำหนักขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณลมอัดที่ใช้ในสำหรับน้ำหนักชิ้นงานต่าง ๆ กัน กรณีทำงาน 1 รอบต่อนาที (ก่อน)

ลำดับที่	น้ำหนักชิ้นงาน (Kg)	ความดันลมที่ใช้ (Mpa)	ปริมาณการใช้ลมใน 1 รอบ (L/M)	ปริมาณการใช้ลมใน 1 ปี (L/Year)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)
1	1	1	2,159	1,134,639	363
2	2	1	2,159	1,134,639	363
3	3	1	2,159	1,134,639	363
4	4	1	2,159	1,134,639	363
5	5	1	2,159	1,134,639	363
รวมทั้งหมด				**5,673,195**	**1,815**

ตารางที่ 4-4 แสดงปริมาณลมอัดที่ใช้ในสำหรับน้ำหนักชิ้นงานต่าง ๆ กันกรณีทำงาน 1 รอบต่อนาที (หลัง)

ลำดับที่	น้ำหนักชิ้นงาน (Kg)	ความดันลมที่ใช้ (Mpa)	ปริมาณการใช้ลมใน 1 รอบ (L/M)	ปริมาณการใช้ลมใน 1ปี (L/Year)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)
1	1	0.3	785	412,596	132
2	2	0.4	981	515,745	165
3	3	0.5	1,177	618,894	198
4	4	0.8	1,767	928,341	297
5	5	1	2,158	1,134,639	363
รวมทั้งหมด				3,610,215	1,155

จากข้อมูลปริมาณการใช้ลมอัดในรอบ 1 ปี ในตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการใช้ลมอัดในรอบ 1 ปี ในตารางที่ 4-3 จะพบว่าถ้าเรามีการปรับแรงดันที่เหมาะสมกับขนาดน้ำหนักของชิ้นงานจะทำให้มีการใช้พลังงานลมอัดในรอบ 1 ปี ลดลงจาก 5,673,195 ลิตรต่อปีเหลือเพียง 3,610,215 ลิตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นการการใช้พลังงานลมอัดลดลงถึง 36 เปอร์เซนต์

4.1.4.2 การควบคุมความดันของอากาศที่ถูกอัดเข้าสู่กระบอกสูบขณะไม่มีการรับน้ำหนัก

ตารางที่ 4-5 แสดงปริมาณลมอัดที่ใช้ในกรณีที่กระบอกลมทำงานด้านเดียว กรณีทำงาน 1 รอบต่อนาที (ก่อนและหลัง)

ลำดับที่	น้ำหนักชิ้นงาน (Kg)	ความดันลมที่ใช้ผลักออก (Mpa)	ความดันลมที่ใช้ดึงเข้า (Mpa)	ปริมาณการใช้ลมใน 1 รอบ (L/M)	ปริมาณการใช้ลมใน 1ปี(L/Year)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)
1	5	1	1	2,159	1,134,639	363
2	5	1	0.2	1,667	464,171	148

จากข้อมูลปริมาณการใช้ลมอัดในรอบ 1 ปี ในตารางที่ 4-5 ซึ่งเป็นการควบคุมความดันของอากาศที่ถูกอัดเข้าสู่กระบอกสูบขณะไม่มีการรับน้ำหนักโดยมีการปรับแรงดันลดลงจากเดิมที่ 10 บาร์เหลือเพียง 2 บาร์ ซึ่งยังสามารถการทำงานได้ตามปกติจะพบว่าทำให้มีการใช้พลังงานลมอัดในรอบ 1 ปี ลดลงจาก 1,134,639 ลิตรต่อปีเหลือเพียง 464,171 ลิตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นการใช้พลังงานลมอัดลดลงถึง 59.24 เปอร์เซ็นต์

4.1.4.3 การควบคุมอากาศที่ถูกอัดเข้าสู่เครื่องจักรขณะที่หยุดการทำงาน

ลำดับที่	จำนวนของรูรั่วขนาด 1mm	ปริมาณการสูญเสียลมอัดใน 1 ชั่วโมง (L/M)	ปริมาณการสูญเสียลมอัดในรอบ1ปี (L/Year)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)
1	1	4,550	39,861,504	12,756
2	2	9,101	79,723,008	25,511
3	3	13,651	119,584,512	38,267
4	4	18,202	159,446,016	51,023
5	5	22,752	199,307,520	63,778

ตารางที่ 4-6 แสดงการสูญเสียลมอัดในกรณีที่เกิดลมรั่วขนาด 1 ม.ม.โดยแรงดันที่ใช้ 7 บาร์

จากตารางที่ 4-6 เป็นการแสดงการสูญเสียลมอัดในกรณีที่เกิดลมรั่วขนาด 1 ม.ม.โดยแรงดันที่ใช้ 7 บาร์ จำนวน 1 รู แสดงให้เห็นว่าเราสูญเสียลมอัดโดยไม่ก่อให้เกิดงานในรอบ 1 ปี ถึง 39,861,504 ลิตร ซึ่งคิดเป็นเงินที่สูญเปล่าปีละ 12,756 บาทต่อปี ถ้าเรามีการปิดวาล์วลมในขณะที่เครื่องจักรหยุดปฏิบัตงานจะทำให้ลดการสูญเสียลมอัดลงได้ถึง 100 เปอร์เซนต์จากรูลมรั่ว

4.2 ผลการวิจัยด้านการศึกษา

4.2.1 ผลการประเมินความเข้าใจของวิศวกร

การวิเคราะห์ผลการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้การทดสอบที (t-test) แบบ Paired samples t-test เพื่อศึกษาความแตกต่างของคะแนนทดสอบความเข้าใจของวิศวกรก่อนและหลังการเข้าร่วมกิจกรรมในการฝึกอบรม จากตารางที่ 4-1 แสดงคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดเข้าเข้าใจของวิศวกร โดยมีคะแนนทดสอบก่อนเรียน เท่ากับ 14.11 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 9.54 และมีคะแนนทดสอบหลังเรียน เท่ากับ 22.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 10.89 ผลการวิจัยพบว่า วิศวกรมีคะแนน

ทดสอบระหว่างก่อนและหลังเรียนมีความแตกต่างอย่างที่มีนัยสำคัญทางสถติ โดยมีค่า t เท่ากับ 12.36 และค่า p เท่ากับ 0.000

ตารางที่ 4-7 การทดสอบ t แบบคู่ (Paired samples t-test)

คะแนน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t
ก่อนเรียน (Pre-test)	14.11	3.25	12.36**
หลังเรียน (Post-test)	22.29	3.04	

** นัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 ผลประเมินการรับรู้ของวิศวกร

โดยได้ทำการประเมินที่การรับรู้ของวิศวกรมีต่อการประหยัดพลังงานระบบลมอัดด้วยนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น มีการประเมินการรับรู้ 3 ด้าน มีรายการประเมิน จำนวน 15 ข้อ จากตารางที่ 4-2 ผลประเมินพบว่า วิศวกรเห็นด้วยมากที่สุดในด้านการรับรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.79 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42 เช่นเดียวกับ วิศวกรเห็นด้วยมากที่สุดในด้านการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการประหยัดพลังงาน มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68 แต่ในขณะที่ด้านข้อดีของการใช้ปัญญาประดิษฐ์นั้น วิศวกรเห็นด้วยมาก มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68

ตารางที่ 4-8 ผลการประเมินการรับรู้ของวิศวกร

ด้านการรับรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลความ
1. ปัญญาประดิษฐ์สามารถช่วยในการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.82	0.38	เห็นด้วยมาก
2. ปัญญาประดิษฐ์สามารถทำงานด้วยความเชื่อมั่นมากกว่าประสบการณ์ของมนุษย์	4.79	0.40	เห็นด้วยมาก
3. มีความคาดหวังสูงเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในระบบจัดการพลังงาน	4.85	0.35	เห็นด้วยมาก
4. มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับระบบจัดการพลังงานด้วยปัญญาประดิษฐ์นี้เป็นอย่างดี	4.82	0.38	เห็นด้วยมาก
5. มีการรับรู้โดยรวมของระบบจัดการพลังงานด้วยปัญญาประดิษฐ์	4.68	0.53	เห็นด้วยมาก
สรุปผล	4.79	0.42	เห็นด้วยมากที่สุด

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

ด้านการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการประหยัดพลังงาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลความ
11. ปัญญาประดิษฐ์ง่ายที่จะประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการพลังงาน	4.53	0.50	เห็นด้วยมาก
12. ปัญญาประดิษฐ์ได้รับการพัฒนาโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง	4.82	0.38	เห็นด้วยมาก
13. ปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถในการวิเคราะห์การใช้พลังงานได้เที่ยงตรงแม่นยำ	4.79	0.47	เห็นด้วยมาก
14. ปัญญาประดิษฐ์สามารถใช้เพื่อให้คำแนะนำในสถานการณ์ที่ไม่คาดคิด	4.76	0.42	เห็นด้วยมาก
15. ปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานรูปแบบอื่นๆได้อีกมากมาย	4.82	0.38	เห็นด้วยมาก
สรุปผล	4.75	0.45	เห็นด้วยมากที่สุด

หมายเหตุ การแปลผลการรับรู้ 1.00-1.49 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

1.50-2.49 หมายถึง เห็นด้วยน้อย

2.50-3.49 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง

3.50-4.49 หมายถึง เห็นด้วยมาก

4.50-5.00 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในพัฒนานวัตกรรมชุดการเรียนรู้การบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม มีกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยวิศวกรในภาคอุตสาหกรรม จำนวน 34 คน เพื่อใช้สำหรับประเมินความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องการบริหารจัดการพลังงาน และการรับรู้ต่อนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น โดยมีหัวข้อดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยครั้งนี้ สามารถดำเนินการตามวัตถุประสงค์การวิจัยโดยได้ให้ความสำคัญของการผนวกรวมของสหวิทยาการตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตรที่มุ่งเน้นการพัฒนาผลการวิจัยด้านวิศวกรรม และนำมาประยุกต์ด้านการศึกษา ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

5.1.1 ผลการวิจัยด้านวิศวกรรรม

จากผลการวิจัยเราได้ชุดฝึกอบรมการพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้สามารถสรุปผลการวิจัยด้านวิศวกรรมได้ว่าตัวแปลที่สำคัญในงานวิจัยก็คือการปรับแรงดันลมอัดที่ป้อนให้กับกระบอกสูบลมถ้าเรามีการปรับแรงดันให้เหมาะสมกับน้ำหนักชิ้นงาน จะทำให้เราสามารถประหยัดพลังงานลงได้อย่างเช่นสถานการณ์ที่มีน้ำหนักชิ้นงานที่ต่าง ๆ กันจะพบว่าถ้าเรามีการปรับแรงดันที่เหมาะสมกับขนาดน้ำหนักของชิ้นงานจะทำให้มีการใช้พลังงานลมอัดลงถึง 36 เปอร์เซนต์ และในสถานการณ์ที่กระบอกสูบทำงานด้านเดียวกล่าวคือในช่วงที่กระสูบเคลื่อนที่ออกจะมีการผลักชิ้นงานแต่ในขณะที่กระบอกสูบถอยกลับตัวเปล่าไม่มีชิ้นงานเราก็มีการปรับแรงดันลงเหลือแค่ 2 บาร์ทำให้เราประหยัดพลังงานลมอัดต่อปีลงได้ถึง 59.24 เปอร์เซนต์โดยยังคงทำงานได้ตามเดิม ส่วนในการทดลองสถานการ์ที่สามจะเป็นการปิดวาล์วลมอัตโนมัติในขณะที่เครื่องจักรหยุดปฏิบัติงานซึ่งจะส่งผลในการลดการสูญเสียลมอัดลงได้ถึง 100 เปอร์เซนต์

5.1.2 ผลการวิจัยด้านการศึกษา

หลังจากได้นวัตกรรมการเรียนรู้ด้วยการจำลองสถานการณ์ในการเกี่ยวกับสถานการณ์ในการประหยัดพลังงานในระบบลมอัด ผู้วิจัยได้พัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมที่เน้นการปฏิบัติกิจกรรมที่สร้างสถานการณ์ เพื่อทำความเข้าใจพลังงานและประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตัดสินใจ โดยกระบวนการฝึกอบรมจะมีการปฏิบัติกิจกรรมโดยมีการใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรเลอร์หรือพีแอลซี เพื่อควบคุมอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมด้วยอัลกอริธึมปัญญาประดิษฐ์ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี เพื่อจัดการพลังงานในระบบอัดอากาศ ขณะเดียวกันผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลที่แสดงผลบนแดชบอร์ดได้ผ่านจอมอนิเตอร์หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ เพื่อจำลองสถานการณ์ในอุตสาหกรรมให้เข้าใจง่ายขึ้น ในกระบวนการฝึกอบรมการจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศ มีการประเมินผลความเข้าใจและการรับรู้ของวิศวกร ซึ่งจะสังเกตได้จากผลด้านการศึกษาจากงานวิจัยนี้ เราได้นำชุดฝึกรวมถึงหลักสูตรฝึกอบรม ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเรียนรู้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบอัดอากาศและคาดการณ์การใช้พลังงานในสถานการณ์ต่าง ๆ ของระบบนิวแมติกส์ การศึกษานี้มีความสำคัญเนื่องจากให้วิธีปฏิบัติที่ชัดเจนในการพัฒนาความรู้ด้านเทคโนโลยีและเผยแพร่นวัตกรรมที่สามารถเป็นประโยชน์ต่อสถานประกอบการต่าง ๆ การทดลองแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ทันทีของหลักสูตรฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับทุกสรรพสิ่ง และชี้ให้เห็นถึงจุดที่สามารถปรับปรุงเพิ่มเติมได้ แม้ว่าความเข้าใจของวิศวกรผู้เข้ารับการอบรมเพิ่มมากขึ้นและมีการตอบสนองในเชิงบวกต่อหลักสูตร แต่ความคิดเห็นของวิศวกรผู้เข้ารับการอบรมก็เสนอแนวทางการปรับปรุงในด้านการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้การทดลองนี้เปิดโอกาสที่น่าตื่นเต้นสำหรับการวิจัยในอนาคต โดยที่ปัจจัยและเงื่อนไขเพิ่มเติมในการจัดสภาพแวดล้อมการเรียนรู้สามารถถูกสำรวจ ซึ่งอาจนำไปสู่การพัฒนาศักยภาพทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนรู้ในโรงงานและการศึกษาเชิงวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาเชิงวิศวกรรมควรถูกเชื่อมโยงกับภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้ทักษะที่เกี่ยวข้องกับความต้องการในตลาดแรงงาน

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

บทความ "Energy Management of Compressed Air Systems: Assessing the Production and Use of Compressed Air in Industry" โดย Cabello Eras และคณะ (2020) ถูกเผยแพร่ในวารสาร Energy (Volume 213, 118662) ซึ่งเน้นการจัดการพลังงานในระบบลมอัดในอุตสาหกรรม บทความนี้วิเคราะห์การผลิตและการใช้งานลมอัดโดยใช้กระบวนการประเมินเพื่อระบุโอกาสในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและลดการสูญเสียพลังงานในระบบลมอัดซึ่งเป็นส่วนสำคัญใน

หลายอุตสาหกรรม เนื่องจากการใช้ลมอัดมักใช้พลังงานสูงแต่สามารถปรับปรุงให้ประหยัดได้มากขึ้นผ่านการจัดการและเทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น การลดการรั่วไหลและปรับปรุงกระบวนการผลิต

กระบวนการจัดการพลังงานเพื่อตรวจสอบและควบคุมการใช้ไฟฟ้า รวมถึงรักษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบลมอัดในระยะยาว กระบวนการนี้ติดตามการผลิตและการใช้ลมอัดในระดับโรงงานและส่วนการผลิต โดยใช้การตรวจสอบแบบเรียลไทม์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อคำนวณตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน เส้นฐานพลังงาน พบว่า การติดตามการใช้ลมอัดในระดับส่วนการผลิตช่วยลดความต้องการใช้ลมอัดลงได้ระหว่าง 11 % ถึง 47 % ขณะที่การใช้ไฟฟ้าสำหรับผลิตลมอัดในระดับโรงงานลดลงประมาณ 23 % วิธีการนี้ช่วยให้สามารถตรวจจับความไม่มีประสิทธิภาพในด้านการผลิตและความต้องการใช้ลมอัดได้อย่างรวดเร็ว โดยชี้ให้เห็นปัญหาที่มักถูกซ่อนอยู่ในปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยรวมของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาในภาพรวมของทั้งโรงงาน แต่สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมจะลงลึกไปยังอุปกรณ์ที่ใช้งานในเครื่องจักรซึ่งจะทำให้วิศวกรผู้เข้ารับการอบรมได้มองเห็นภาพและเข้าใจการประหยัดพลังงานลมอัดได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

Benedetti, M., Bonfà, F., Bertini, I., Introna, V., Salvatori, S., Ubertini, S., & Paradiso, R. (2019). Maturity-based approach for the improvement of energy efficiency in industrial compressed air production and use systems. Energy, 186, 115879.

Bonfá, F., Benedetti, M., Ubertini, S., Introna, V., & Santolamazza, A. (2019). New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use. Energy Procedia, 158, 4198-4203.

Eras, J. J. C., Gutiérrez, A. S., Santos, V. S., & Ulloa, M. J. C. (2020). Energy management of compressed air systems. Assessing the production and use of compressed air in industry. Energy, 213, 118662.

Pantzos, P., Gumaelius, L., Buckley, J., & Pears, A. (2023). Engineering students' perceptions of the role of work industry-related activities on their motivation for studying and learning in higher education. European Journal of Engineering Education, 48(1), 91-109.

Ruengdech, C., Howimanporn, S., Intarakumthornchai, T., & Chookaew, S. (2024). Implementing a Risk Assessment System of Electric Welders' Muscle Injuries for Working Posture Detection with AI Technology. International Journal of Online & Biomedical Engineering, 20(4).

Sanders, D. A., Robinson, D. C., Hassan, M., Haddad, M., Gegov, A., & Ahmed, N. (2019). Making decisions about saving energy in compressed air systems using ambient intelligence and artificial intelligence. In Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2018 Intelligent Systems Conference (IntelliSys) Volume 2 (pp. 1229-1236). Springer International Publishing.

Thabet, M., Sanders, D., Becerra, V., Tewkesbury, G., Haddad, M., & Barker, T. (2020, August). Intelligent energy management of compressed air systems. In 2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS) (pp. 153-158). IEEE.

Trianni, A., Cagno, E., Bertolotti, M., Thollander, P., & Andersson, E. (2019). Energy management: A practice-based assessment model. Applied Energy, 235, 1614-1636.

Valiente Bermejo, M. A., Eynian, M., Malmsköld, L., & Scotti, A. (2022). University–industry collaboration in curriculum design and delivery: A model and its application in manufacturing engineering courses. Industry and Higher Education, 36(5), 615-622.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1-ก คะแนนประเมินความเข้าใจของวิศวกร

ที่	ชื่อวิศวกร	การทดสอบ	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	Engineer No.1	14	24
2	Engineer No.2	17	24
3	Engineer No.3	23	23
4	Engineer No.4	17	24
5	Engineer No.5	19	24
6	Engineer No.6	15	24
7	Engineer No.7	15	23
8	Engineer No.8	9	21
9	Engineer No.9	17	18
10	Engineer No.10	9	18
11	Engineer No.11	13	20
12	Engineer No.12	9	19
13	Engineer No.13	9	20
14	Engineer No.14	13	18
15	Engineer No.15	9	16
16	Engineer No.16	13	22
17	Engineer No.17	15	14
18	Engineer No.18	19	20
19	Engineer No.19	16	22
20	Engineer No.20	17	26

ตารางที่ 1-ก (ต่อ)

ที่	ชื่อวิศวกร	การทดสอบ	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
21	Engineer No.21	14	23
22	Engineer No.22	12	25
23	Engineer No.23	11	25
24	Engineer No.24	16	26
25	Engineer No.25	16	22
26	Engineer No.26	14	22
27	Engineer No.27	14	22
28	Engineer No.28	17	24
29	Engineer No.29	14	23
30	Engineer No.30	14	26
31	Engineer No.31	10	24
32	Engineer No.32	16	27
33	Engineer No.33	12	27
34	Engineer No.34	12	22
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	14.118	22.294
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	3.252	3.044

ภาคผนวก ข

แบบประเมินการรับรู้ต่อการประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ (เอไอ)
สำหรับการจัดการพลังงานในภาคอุตสาหกรรม

INVENTION TO INNOVATION

แบบประเมินการรับรู้ต่อการประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ (เอไอ)
สำหรับการจัดการพลังงานในภาคอุตสาหกรรม

ตอนที่ 1. ข้อมูลทั่วไป

กรุณาเลือกและทำเครื่องหมาย √ หน้าข้อที่ตรงกับข้อมูลของท่าน

1.	**เพศ**				
	☐ ชาย	☐ หญิง			
2.	**อายุ**				
	☐ 20-30 ปี	☐ 31-40 ปี	☐ 41-50 ปี	☐ >50 ปี	☐ อื่น ๆ.....
3.	**ตำแหน่งงาน**				
	☐ วิศวกร	☐ วิศวกรอาวุโส	☐ หัวหน้างาน	☐ ผู้จัดการ	☐ เจ้าของกิจการ
	☐ อื่น ๆ.....				
4.	**ประสบการณ์การทำงานในภาคอุตสาหกรรม**				
	☐ < 1 ปี	☐ 1-5 ปี	☐ 6-10 ปี	☐ >10 ปี	☐ อื่น ๆ.....
5.	**ระดับการศึกษา**				
	☐ มัธยมศึกษา	☐ ปริญญาตรี	☐ ปริญญาโท	☐ ปริญญาเอก	☐ อื่น ๆ.....
6.	**สาขาวิชาที่สำเร็จการศึกษา**				
	ระบุสาขา.....				
7.	**เคยได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในภาคอุตสาหกรรมหรือไม่**				
	☐ ไม่เคย	☐ เคย	ระบุ.....		
8.	**การประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ (เอไอ) สำหรับการจัดการพลังงานในภาคอุตสาหกรรม**				
	☐ ไม่เคย	☐ เคย	ระบุ.....		

ตอนที่ 2. กรุณาทำเครื่องหมาย √ ที่ตรงกับระดับความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับการประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ (เอไอ) สำหรับการจัดการพลังงานในภาคอุตสาหกรรม โดยมีระดับความคิดเห็น ดังนี้ 5 = เห็นด้วยมากที่สุด 4= เห็นด้วย 3 = ปานกลาง 2 = ไม่เห็นด้วย และ 1= ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

รายการประเมิน	ระดับความเห็นด้วย				
	5	4	3	2	1
ด้านการรับรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ (เอไอ)					
1. เอไอสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
2. เอไอสามารถทำงานด้วยความเชื่อมั่นมากกว่าประสบการณ์ของมนุษย์					
3. มีความคาดหวังสูงเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เอไอในระบบจัดการพลังงาน					
4. มีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับระบบจัดการพลังงานด้วยเอไอนี้เป็นอย่างดี					
5. มีการรับรู้โดยรวมของระบบจัดการพลังงานด้วยเอไอ					
ด้านข้อดีของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI)					
6. เอไอสามารถยกระดับกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ					
7. เอไอไม่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และระยะเวลาในการทำงาน					
8. เอไอสามารถช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
9. เอไอไม่มีความเหนื่อยล้าทางอารมณ์หรือข้อจำกัดทางร่างกาย					
10. เอไอสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้แบบเรียลไทม์					
3. ด้านการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) สำหรับการจัดการพลังงานในภาคอุตสาหกรรม					
11. เอไอง่ายที่จะประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการในการใช้พลังงาน					
12. เอไอได้รับการพัฒนาโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง					
13. เอไอสามารถในการวิเคราะห์การใช้พลังงานได้เที่ยงตรงแม่นยำ					
14. เอไอสามารถใช้เพื่อให้คำแนะนำในสถานการณ์ที่ไม่คาดคิด					
15. เอไอสามารถการประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ได้อีกมากมาย					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ

31st International Conference on Computers in Education (ICCE 2023)

วันที่ 4-8 ธันวาคม 2566 ณ เมือง Matsue ประเทศญี่ปุ่น

Shih, JL. et al. (Eds.) (2023). Proceedings of the 31st International Conference on Computers in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education

Proposing a Training Model on Energy Management of Compressed Air Systems with Artificial Intelligence of Things

Noppadon MONOK[a]*, Suppachai HOWIMANPORN[a] & Sasithorn CHOOKAEW[a]
[a] *Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand*
*s6502017910028@email.kmutnb.ac.th

Abstract: Technology 4.0 in the industry focuses on effective energy saving. There is an increase in the need for industrial worker training, especially in compressed air systems, air kept under more significant pressure than atmospheric pressure. It is an important medium for the transfer of energy in industrial processes. However, the new technology of energy management systems to enhance performance has yet to be widespread. Owing to the learning material for training is expensive. It is also not possible to simulate the operation of a comprehensive system. The employees lack an understanding of the big picture, causing problems in learning and lacking practical skills. Especially new employees may need more knowledge and experience and have operation errors or problem-solving skills. In this study, we proposed a training model consisting of a compressed air systems training kit based on the Artificial Intelligence of Things (AIoT), and the energy-saving scenarios consist of 1) controlling the compressed air pressure fed to the air cylinder while being subjected to loads of different sizes. 2) controlling the compressed air pressure supplied to the air cylinder while operating the air cylinder without load. 3) controlling the compressed air supplied to the machine while it is stopped. In addition, we use an outcome-based approach to drive training activities. The results show that the training model can simulate the process of energy management systems of compressed air systems and show it on the dashboard. It can be implemented in employee or engineer practical training in the future.

Keywords: energy management systems, training kit, AIoT, engineering education

1. Introduction

Nowadays, industrial manufacturing and companies increasingly recognize the financial and reputational benefits of meeting sustainable targets concerning waste and excessive energy consumption (Abela et al., 2020). Although compressed air in the industry is an important yet overlooked energy carrier. However, in the industrial sector, compressed air systems are one primary energy consumer, accounting for around 10% of the electricity consumed in the European Union and China, while the US, Malaysia, and South Africa account for 9% of total energy consumption (Bonfá et al., 2019; Eras et al.,2020) Therefore, reducing CAS energy consumption is crucial to meet the energy efficiency goals (Benedetti et al., 2019).

Compressed Air Systems (CAS) provide a significant improvement opportunity for energy saving. CAS refers to air kept under more significant pressure than atmospheric pressure. It is an important medium for the transfer of energy in industrial processes.

Many studies attempt to propose a methodology to develop the energy management of CAS. For example, Thabet et al. (2020) proposed real-time sensing and machine learning to increase CAS efficiency with algorithms that automate the detection of energy inefficiencies and make decisions regarding suitable troubleshooting procedures will be created. Sanders et al. (2020) proposed new intelligent techniques to save energy in compressed air systems with real-time ambient sensing via Artificial Intelligence and Knowledge Management to automatically improve efficiency in energy intensive manufacturing.

This paper uses Artificial Intelligence of Things (AIoT) technology to develop the energy management of compressed air systems training model. AIoT will reduce energy consumption in compressors by considering real-time circumstances and predicted needs. Sensor data will deliver real-time performance information, interpret the data, and then act automatically.

This training course focuses on new technology that will be applied to save energy in industrial manufacturing. Therefore, we proposed a training model consisting of a compressed air systems training kit based on the Artificial Intelligence of Things (AIoT) and the energy-saving scenarios to align the outcome-based approach.

2. Related work

2.1 Training course of a compressed air system

For the industrial sector, CAS is necessary to offer versatility, reliability, and ease of use in various industrial applications. It is a cost-effective and efficient solution for powering tools, controlling processes, and facilitating numerous manufacturing and operational tasks. CAS is a network that generates energy from gas molecules being transported through and activating an engine or rotor. It uses natural air that is all around us that we inhale and exhale. The system uses compressed gas molecules to create sufficient pressure, which pushes through the rest of the circuit. Therefore, the concept of training is shown in Table 1.

Table 1. *The training concepts of leaning outcomes*

Concepts	***Leaning outcomes***
1. Management of industrial compressed air systems	Understand the management compressed air systems
2. Programmable logic controller (PLC)	Use PLC to control hardware.
3. Ladder programming	Write Ladder logic programming with PLC.
4. Pneumatic cylinders	Write programming to control pneumatic cylinders.
5. Photoelectric sensor	Apply a photoelectric sensor to detect an object.
6. Vision inspection systems	Apply a vision inspection system to track an object.
7. Electro Pneumatic control	Write program control Electro Pneumatic control
8. Vacuum grippers control	Use Vacuum grippers to pick and plate the workpiece.
9. Artificial Intelligence	Apply Artificial Intelligence to save energy
10. Dashboard	Display information on the dashboard

2.2 Artificial Intelligence of Things (AIoT)

Artificial Intelligence of Things (AIoT) refers to integrating artificial intelligence (AI) technologies with Internet of Things (IoT) devices and systems. AIoT combines the power of AI algorithms and data analytics with IoT devices' connectivity and sensor capabilities to enable intelligent decision-making, automation, and advanced functionalities (Hu et al., 2021; Xian et al., 2023). Many studies attempt to present AIoT applications in many fields. For example, El Himer et al. (2022) present applications of AIoT technology to manage and save energy in renewable energy sources such as solar and wind. Shi (2021) presented AIoT as a new technology for developing innovative, low-cost, reliable monitoring systems for smart home applications.

3. Training Model on Energy Management of Compressed Air Systems

3.1 Proposed Training model

In this study, we designed a training model focusing on industrial employee practice training. A training course should have a hands-on activity that can operate related work. To understand the engineering problem of saving energy, we design the training model to perform the activities and appropriately prepare devices or materials based on a conceptual framework, as shown in Figure 1.

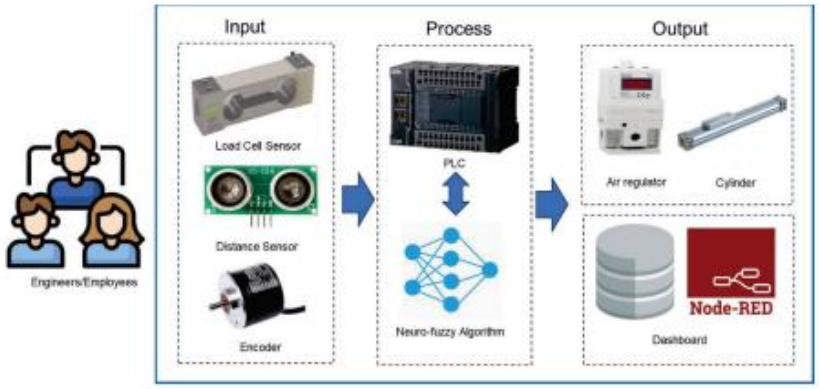


Figure 1. Training model framework

In addition, we design energy savings scenarios to consist of 1) controlling the compressed air pressure fed to the air cylinder while being subjected to loads of different sizes. 2) controlling the compressed air pressure supplied to the air cylinder while operating the air cylinder without load. 3) controlling the compressed air supplied to the machine while it is stopped, as shown in Figure 2.

Figure 2. Energy savings scenarios

3.2 A compressed air systems training kit

To design the structure of the training kit, we identify the performance of training materials able to compare the scenarios in case of saving energy. Figure 3. shows a compressed air systems training kit consisting of a Programmable Logic Controller or PLC (Omron NX1P2 V1.50), a device that automatically controls a machine. A load cell sensor is an electro-mechanical sensor that measures force or weight. A distance sensor is a sensor that measures the distance by emitting a signal and measuring how long it takes to return to the

transducer. An air regulator is a pneumatic device that receives air at any pressure within its tolerance and then dispenses air at a pressure no more significant than its intended output. A DC-to-DC converter temporarily stores electrical energy to convert the direct current (DC) from one voltage level to another. A camera is an optical instrument that captures images. A cylinder is A device that converts energy from wind pressure into mechanical energy.

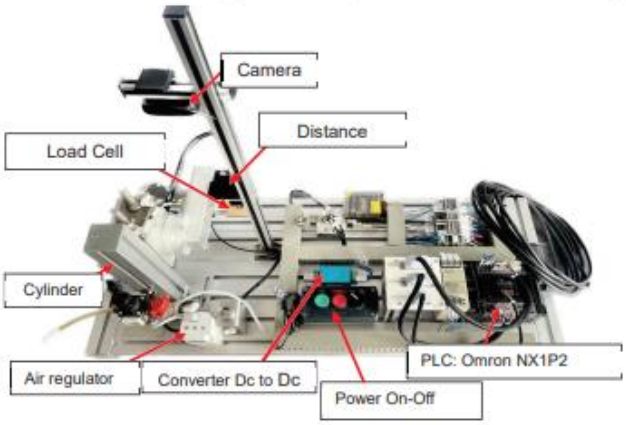
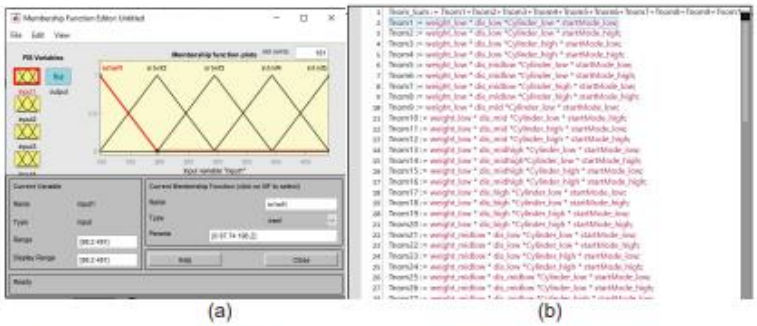


Figure 3. The component of a compressed air systems training kit

3.3 Neuro-fuzzy algorithm

Neuro-fuzzy is an artificial intelligence method effectively utilized in control engineering to demonstrate neuro-fuzzy usage in training for managing the energy of compressed air systems. Neuro-fuzzy algorithms, also known as fuzzy neural networks or adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS), combine elements of fuzzy logic and neural networks to create hybrid models that can handle complex and uncertain data. These algorithms aim to leverage the strengths of both fuzzy logic and neural networks to improve the accuracy and interpretability of the models (Tiruneh et al.,2020; De et al., 2020). In this study, PLC is necessary for building its control programs and is appropriately tied with AIoT. In addition, the MATLAB program can run a Neuro-fuzzy algorithm, as shown in Figure 4.



(a) (b)

Figure 4. (a) Example of Membership Functions in MATLAB (b) Example of PLC program

3.4 Dashboard

A dashboard is a visual representation of essential information, data, metrics, and performance indicators displayed in a consolidated and easily understandable format. It provides a snapshot or summary of data to help users monitor, analyze, and make informed decisions based on the information presented. Node-RED is a development tool for connecting hardware devices, application programming interfaces, and online services (as shown in Figure 5). It has a browser-based editor to enable wiring together flows using the wide range of nodes in the palette. The industrial flows automation created in the Node-RED tool and a programmable logic controller (PLC) can be stored, imported, and exported for information-sharing as a dashboard in the gateway connected with the open platform communications unified architecture (Chookaew & Howimanporn, 2022).

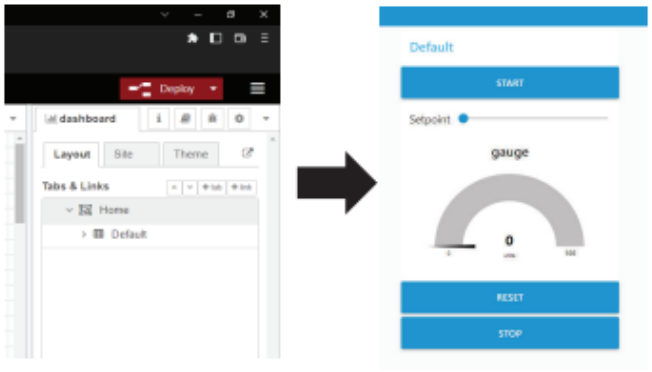


Figure 5. The screen snapshot of Node-RED dashboard

4. Conclusion and Future work

In this study, we proposed a training model consisting of a compressed air systems training kit based on the Artificial Intelligence of Things (AIoT), and the energy-saving scenarios consist of 1) controlling the compressed air pressure fed to the air cylinder while being subjected to loads of different sizes. 2) controlling the compressed air pressure supplied to the air cylinder while operating the air cylinder without load. 3) controlling the compressed air supplied to the machine while it is stopped. In addition, we use an outcome-based approach to drive training activities. The results show that the training model can simulate the process of energy management systems of compressed air systems and show it on the dashboard. It can be implemented in employee or engineer practical training. We plan to investigate the effectiveness of the proposed models by comparing pre- and post-test performance and evaluating attitudes toward training as part of future work.

Acknowledgements

The part of the research was funded by SMC Pneumatic Automation Training Center Thailand, SMC (Thailand) Ltd., and we thank King Mongkut's University of Technology North Bangkok for their support.

References

Abela, K., Refalo, P., & Francalanza, E. (2020). Design and implementation of an energy monitoring cyber physical system in pneumatic automation. *Procedia CIRP*, 88, 240-245.

Benedetti, M., Bonfà, F., Bertini, I., Introna, V., Salvatori, S., Ubertini, S., & Paradiso, R. (2019). Maturity-based approach for the improvement of energy efficiency in industrial compressed air production and use systems. *Energy*, 186, 115879.

Bonfá, F., Benedetti, M., Ubertini, S., Introna, V., & Santolamazza, A. (2019). New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use. *Energy Procedia*, 158, 4198-4203.

Chookaew, S., & Howimanporn, S. (2022). Upskilling and reskilling for engineering workforce: implementing an automated manufacturing 4.0 technology training course. *Global Journal of Engineering Education*, 24(1), 34-39.

De Campos Souza, P. V. (2020). Fuzzy neural networks and neuro-fuzzy networks: A review the main techniques and applications used in the literature. Applied soft computing, 92, 106275.

Eras, J. J. C., Gutiérrez, A. S., Santos, V. S., & Ulloa, M. J. C. (2020). Energy management of compressed air systems. Assessing the production and use of compressed air in industry. *Energy*, 213, 118662.

El Himer, S., Ouaissa, M., Ouaissa, M., & Boulouard, Z. (2022). Artificial Intelligence of Things (AIoT) for Renewable Energies Systems. *In Artificial Intelligence of Things for Smart Green Energy Management* (pp. 1-13). Cham: Springer International Publishing.

Hu, X., Li, Y., Jia, L., & Qiu, M. (2021). A novel two-stage unsupervised fault recognition framework combining feature extraction and fuzzy clustering for collaborative AIoT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(2), 1291-1300.

Sanders, D. A., Robinson, D. C., Hassan, M., Haddad, M., Gegov, A., & Ahmed, N. (2019). Making decisions about saving energy in compressed air systems using ambient intelligence and artificial intelligence. In Intelligent Systems and Applications: *Proceedings of the 2018 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)* Volume 2 (pp. 1229-1236). Springer International Publishing.

Shi, Q., Zhang, Z., Yang, Y., Shan, X., Salam, B., & Lee, C. (2021). Artificial intelligence of things (AIoT) enabled floor monitoring system for smart home applications. *ACS nano*, 15(11), 18312-18326.

Thabet, M., Sanders, D., Becerra, V., Tewkesbury, G., Haddad, M., & Barker, T. (2020, August). Intelligent energy management of compressed air systems. *Proceeding of 2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS)* (pp. 153-158). IEEE.

Tiruneh, G. G., Fayek, A. R., & Sumati, V. (2020). Neuro-fuzzy systems in construction engineering and management research. *Automation in construction*, 119, 103348.

Xian, W., Yu, K., Han, F., Fang, L., He, D., & Han, Q. L. (2023). Advanced Manufacturing in Industry 5.0: A Survey of Key Enabling Technologies and Future Trends. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 1 – 15.

ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูล SCOPUS

ชื่อวารสาน Global Journal of Engineering Education

Vol.26, No.3 (2024)

Volume 26, Number 3, 2024 © WIETE 2024

Global Journal of Engineering Education

Enhancing engineering students' understanding and perception of compressed air system energy management in industrial manufacturing through the application of artificial intelligence

Noppadon Monok, Suppachai Howimanporn & Sasithorn Chookaew

King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Bangkok, Thailand

ABSTRACT: Nowadays, using technology to manage energy in manufacturing is an important issue and is receiving increasing attention, especially energy savings in compressed air systems that use energy equivalent to 10% of the total electricity consumption in industrial plants. Therefore, the energy consumed in a compressed air system is expensive. Many studies have attempted to propose energy efficiency methods that can result in energy savings. However, the most advanced technology is difficult to teach, complex to transfer and disseminate knowledge, and it still requires engineering expertise. In addition, traditional teaching and training are limited and cannot reach the level of industrial practice and new manufacturing technology knowledge in realistic situations. Therefore, this study examined energy management with artificial intelligence in compressed air system training courses that use artificial neural networks to learn data about compressed air systems and predict energy use in various situations of pneumatic systems. The results showed that developing technological knowledge through collaboration between academics and industry partners helps to disseminate and distribute innovations that benefit other establishments.

Keywords: Energy management, AI education, learning factory, academia-industry collaboration

INTRODUCTION

In the modern industrial landscape, the importance of meeting sustainable targets, particularly in areas such as waste management and reducing excessive energy usage, is gaining significant recognition. Energy management is the key to saving energy, which is the process of monitoring, controlling and conserving energy in the industrial sector. Improving energy efficiency in industry is difficult due to the high complexity of industrial energy systems [1]. For example, energy savings in compressed air systems (CASs) can account for up to 10% of the total electricity consumption in industrial plants [2]. However, the journey toward energy efficiency has some challenges. One of the critical barriers is the need for energy efficiency promotion and, more importantly, staff training in energy management [3]. One reason for the critical barriers to staff training in energy management is the need for more awareness and understanding of energy efficiency practices and their benefits.

This underscores the need for action and involvement from all levels of stakeholders. Industries' electrical energy consumption is due to CASs. Effective energy-saving interventions for generating, distributing and transforming compressed air require proper energy information management [4]. CASs refer to air kept under more significant pressure than atmospheric pressure. They are an essential medium for the transfer of energy in industrial processes. CASs are primary energy consumers in the industrial sector, accounting for around 10% of the electricity consumed in the European Union and China. By contrast, the United States, Malaysia and South Africa account for 9% of the total energy consumption [5].

Many universities and industries have co-operated to provide students with opportunities to engage with new technology in industry practices and learn more about professional skills and competencies to be more effective in the classroom [6][7] and in the workforce. Energy efficiency in industries is essential for energy cost savings and sustainable competitiveness [8]. Thus, energy management is important for engineering students because they should learn how to use new engineering technology to optimise energy systems and reduce energy consumption, and they should understand the economic system to manage a budget and reduce operational costs [9].

In addition, proper energy management with new technology can help engineering students connect knowledge with practice in real life, thus reducing and preventing burnout in *abstract* learning. By learning how to manage their motivation and energy levels, students can cultivate problem-solving skills using technology that will benefit them in their future careers.

This study presents energy management (EM) with artificial intelligence (AI) in compressed air systems (EMAI-CAS) training courses that focus on applying AI to reduce energy consumption in compressors by considering real-time circumstances and predicted needs. The role of AI in these courses is to interpret the real-time performance information delivered by sensors in the trainer platform, and then act automatically to save energy in the pneumatic process in industrial manufacturing. To explore the effectiveness of this study, an experiment was conducted in a training course on collaboration between academics and industry partners to disseminate and distribute innovations that benefit other establishments, and to evaluate students' learning achievements and perceptions. The research questions are as follows:

RQ 1: Do the EMAI-CAS training courses enhance students' understanding of energy management in CASs?

RQ 2: How do students perceive EMAI-CAS training courses?

BACKGROUND

Artificial Intelligence Education

AI is a developed computer system or machine that can perform tasks that typically require human intelligence. It is a cognitive science technology related to image processing, natural language processing, robotics and machine learning [10]. Previous studies have confirmed that AI education is an essential concept and competency for new generation students in many fields and levels of education [11]. It is especially so in higher education that focuses on the curriculum inclusive of AI, and strives to create an AI-ready workforce with essential 21st-century competencies as identified by industry and government needs worldwide [12].

Some studies refer to course offerings based on challenge-based learning, physical and virtual practice laboratories, and mixed teaching methodologies to accommodate the digital transformation and demands of Industry 4.0, and to educate and prepare the new generation of students according to the labour market needs [13]. Other studies describe how to develop a conceptual understanding of AI through a literacy course at a university [14].

The true power of AI education lies in its connection with the industrial sector. This connection can facilitate fruitful collaboration and knowledge exchange between academia and industry, leading to valuable research partnerships, internship opportunities and industry-driven curriculum development. This symbiotic relationship ultimately benefits not just educational institutions but also the industrial sector, underscoring the crucial role of industry professionals in shaping the future of AI education [15].

Conversely, integrating AI technologies into industrial operations can help improve and streamline various industries' processes. Furthermore, AI teaching in the industrial sector can help employees adapt to and leverage AI technologies, ensuring a skilled workforce capable of utilising AI to its full potential. Companies can benefit from increased efficiency, reduced costs, predictive maintenance and enhanced safety [16]. AI can also facilitate the development of smart factories and automated systems, thereby improving productivity and competitiveness.

Academia-Industry Collaboration

Academia-industry collaboration (AIC) is essential in the education system because it allows for the exchange of knowledge and expertise between academic researchers and industry professionals, leading to innovations and advancements [17]. This collaboration also helps bridge the gap between theoretical research and practical applications, leading to real-world solutions to complex problems [18]. It provides valuable opportunities for students to gain practical experience and for industry professionals to stay updated on the latest research developments [19]. Overall, AIC fosters a mutually beneficial relationship that drives innovation and economic growth. In this study, the authors of this article designed a training course based on the AIC model (Figure 1), which focuses on providing students with an opportunity to connect with industry. Students can learn about the connection situation in the industrial sector, so that once they graduate, searching for a job becomes simpler. Using their established connections, graduating students easily find job opportunities.

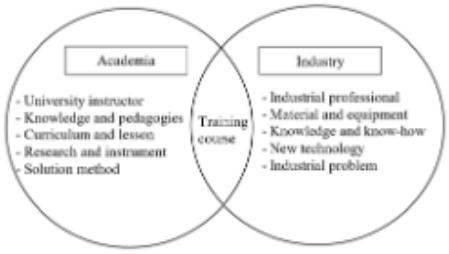


Figure 1: Training course based on the AIC model.

Application of AI in Industrial Manufacturing

The use of industrial AI in process optimisation in manufacturing is gaining rapid traction, enabling more innovative and more efficient data-driven decision-making by leveraging historical and real-time data. In developed countries, the power industry has started using AI technologies to connect with smart meters, smart grids and Internet of Things (IoT) devices to improve efficiency, energy management, transparency and the usage of renewable energies [20]. Thus, AI plays a crucial role in industrial manufacturing, as it can optimise production processes by analysing real-time data and identifying improvement areas. This increases efficiency and reduces operational costs.

This novel technology is transformed into advanced manufacturing by summarising the latest progress in critical enabling technologies (e.g. production processes) and transitioning toward digitalisation with the implementation of sensors that provide real-time data that can now be monitored remotely with IoT technology [21] and AI and IoT [22], which can monitor production processes and reduce high maintenance costs. AI also enables predictive maintenance and allows manufacturers to detect potential equipment failures before they occur, thus minimising disruptions to the production line. AI-powered robotics can handle repetitive tasks precisely and quickly, leading to higher productivity. Integrating AI into industrial manufacturing can lead to cost savings, improved quality control and enhanced overall performance.

Energy Management of Compressed Air Systems

As mentioned earlier, CASs refer to air kept under more significant pressure than atmospheric pressure in a pneumatic system. Pneumatics refers to how air pressure feeds and moves applications in industrial manufacturing. It puts compressed air into operation by moving applications, especially tools and machinery used in engineering. It is an essential medium for energy transfer in industrial processes, is an effective solution for balancing this mismatch, and is therefore suitable for future electrical systems to achieve a high penetration of renewable energy generation [23].

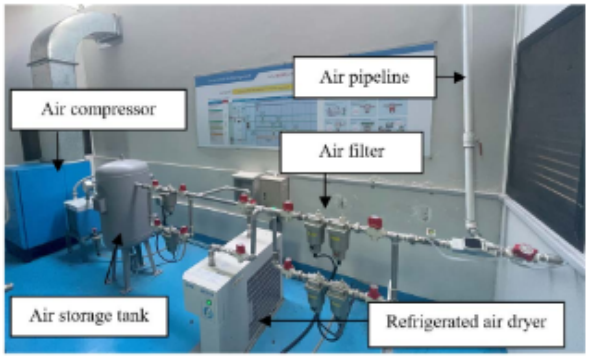


Figure 2: Compressed air system components.

Figure 2 shows the CAS components. They are prepared to use as a refrigeration dryer. There is usually a compressed air reservoir upstream or downstream of the refrigeration dryer. It is designed to compensate for fluctuations in consumption through tubes in the decentralised air preparation stage. This stage is the subject of this article, and it has the following functions: building pressure using an air compressor, transforming it into an air storage tank, filtering and oiling using an air filter, and regulating and drying with a refrigerated air dryer. The prepared compressed air is supplied to the machine to actuate the application through an air pipeline. Industrial manufacturers rely on compressed air, which comes with specific pressure, flow and purity requirements. With careful planning, these requirements can be met, offering significant cost-saving opportunities. Compressed air is a costly utility, but by implementing strategies to reduce air system operating costs, such as considering compressor controls, manufacturers can make substantial savings.

The ultimate goal of any compressor control system is to efficiently match the compressed air supply to demand, thereby optimising energy usage and reducing costs. Effectively managing energy in CASs can start by conducting regular audits to identify and address any leaks, inefficiencies or areas of improvement, and by considering investing in energy-efficient equipment. CASs in factories have more than one compressor, therefore, controlling multiple units in concert increases energy efficiency and pressure stability. Running multiple units independently often results in unstable pressure and wasted energy, such as running more machines than necessary or running compressors at higher pressures than needed.

Energy Management of a Compressed Air System Trainer Platform

The aim of this study was to teach students in practice situations from EMAI-CASs activities that create practice scenarios to: 1) understand energy in pneumatic systems; 2) understand energy efficiency and energy savings;

and 3) use AI for decision-making. Figure 3 shows the conceptual framework of the training course, which focuses on the activity of using a programmable logic controller (PLC) to control industrial equipment with an AI algorithm (i.e. an artificial neural network (ANN)) to manage energy in a CAS. At the same time, users can monitor visual information displayed on a dashboard through a monitor or mobile device.

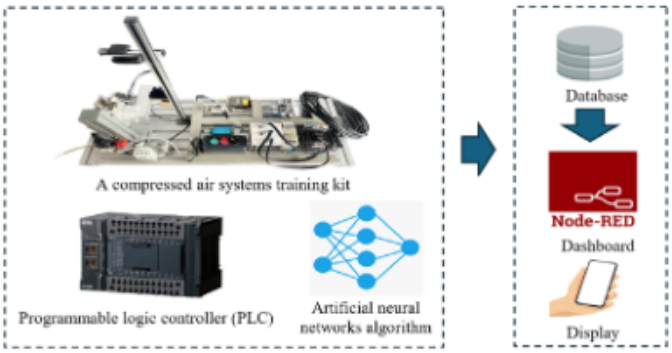


Figure 3: Compressed air system components.

This platform consisted of a CAS training kit based on three energy-saving scenarios: controlling the compressed air pressure fed to the air cylinder while being subjected to loads of different sizes; controlling the compressed air pressure supplied to the air cylinder while operating the air cylinder without load; and controlling the compressed air supplied to the machine, which is stopped.

METHODS

Participants

This study was conducted with the co-operation of an industrial enterprise and a university in Thailand. The university has instructors who are experts in applying AI concepts to industry. The enterprise supports industrial professionals with energy management expertise and industrial learning material from SMC Thailand Ltd. They have also conducted co-operative research on AI's contribution to energy efficiency in industrial manufacturing. This pilot study's target population was first-year engineering students interested in participating in training courses. There were 45 students, comprising 28 men and 17 women. Their age range was 19-21 years, and they majored in mechatronics and electrical engineering. Voluntary and informed consent from the participants was obtained before their involvement. They received information about the research purpose, procedures, risks, benefits, and their right to withdraw from the study at any time.

Instruments

The assessment of learning achievements was designed by three experienced industrial sector experts and an instructor with more than ten years of experience in teaching-related fields. The test measured students' understanding of energy management using AI in CASs. It consisted of 30 multiple-choice questions in the pre- and post-tests, with items in the two tests being different. The test was evaluated and scored out of 30. The Cronbach's alpha of the EMAI-CAS tests was 0.75. The interviews were used to collect the students' perceptions after participating in the EMAI-CAS activity, including five semi-structured interviews that comprised open-ended questions.

Procedures

This study adopted a one-group pre- and post-test design to examine whether the participants' understanding levels were significant after participating in an EMAI-CAS training course. The students attended the training course, and the experiment took 12 hours to complete in two days. On the first day, the students were given an introduction and overview, and they took a pre-test to measure their prior knowledge, which was completed in 30 minutes.

Afterward, the instructor from the university presented and demonstrated the EMAI-CAS trainer platform. The students learned about the equipment in the pneumatic system and were introduced to the use of AI for making decisions (Figure 4a). On the second day, the EMAI-CAS activity was conducted, followed by a discussion of energy management expertise in the industrial sector (Figure 4b).

In the activity, the students were divided into eight groups, with each group comprising five-six members, through the EMAI-CAS trainer platform using three situations. The participants performed the learning activities based on scenario

learning, which involved energy consumption problems in industrial manufacturing, the starting point for students to immerse themselves in real-world problems, and a subsequent solution-finding process to save energy. The students had to apply their knowledge and cognition to solve problems and conduct discussions during this process. After performing the training activities, the students in each group discussed the application of AI to manage energy in ten minutes. All the students took post-tests in 30 minutes. In addition, ten students were randomly chosen to participate in semi-structured focus group interviews for 20 minutes.

a) b)

Figure 4: Training activities conducted by a) a university instructor; and b) an industrial professional.

RESULTS

RQ 1: Do the EMAI-CAS training courses enhance students' understanding of energy management in CASs?

To answer the research question, the authors used the paired samples *t*-test to determine whether there was a significant difference in the students' understanding scores before and after the intervention (Table 1).

Table 1: Results of the means, standard deviations and paired samples *t*-tests.

Category	Pre-test M+SD	Post-test M+SD	*t*	*p*	Cohen's d
Understanding of energy in the pneumatic system	4.667 + 2.033	6.422 + 1.868	7.371***	0.000	0.313
Understanding of energy efficiency and savings	2.533 + 1.222	4.422 + 2.266	5.036***	0.000	0.555
Using AI for decision-making	5.356 + 1.864	6.378 + 1.305	3.499**	0.001	0.174
Overall	12.556 + 3.364	17.222 + 3.938	9.400***	0.000	0.310

N = 45, *$p < 0.05$, **$p < 0.01$, ***$p < 0.001$

The overall pre-test and post-test mean scores were 12.556 (SD = 3.364) and 17.222 (SD = 3.938), respectively. It was confirmed that there was a significant difference between the mean pre- and post-test scores ($t = 9.400$, $p = 0.000$).

The students had an understanding of energy in the pneumatic system ($t = 7.371$, $p = 0.000$), with a pre-test score of 4.667 (SD = 2.033) and a mean post-test score of 6.422 (SD = 1.868); an understanding of energy efficiency and savings ($t = 5.036$, $p = 0.000$), with a mean pre-test score of 2.533 (SD = 1.222) and a post-test score of 4.422 (SD = 2.266); and an understanding of using AI for decision-making ($t = 3.499$, $p = 0.001$), with a mean pre-test score of 5.356 (SD = 1.864) and a mean post-test score of 6.378, SD = 1.305).

RQ 2: How do students perceive EMAI-CAS training courses?

Table 2 presents the results of the students' interviews about the EMAI-CAS training courses, including five questions. The summary of the group interviews showed that the students perceived the training courses as beneficial and responded positively to them. The training courses provided them with practical skills and knowledge directly applicable to their future careers. This hands-on experience could give them a competitive edge in the job market.

However, this course is too short to allow students to participate in the activities; they need more time to learn more about the complex concepts of AI. In addition, training courses often offer opportunities for networking and building connections within the industry, which can be invaluable for future job prospects. Moreover, completing these training courses can enhance students' portfolios and demonstrate their commitment to ongoing learning and professional development.

Table 2: Results of the students' interviews.

Interview questions	Students' responses
Q1: What did you learn and understand from this training course?	*I learned about Innovation 4.0 and AI systems, but some situations need clarification and understanding.* *I learned about using AI to save energy and practicing with industrial equipment, such as sensors, PLCs and pneumatic systems.*
Q2: How do you think this course can apply AI in energy management in industry?	*It is used to adjust the air pressure used to control the air cylinder in the factory to suit the load, and when the machine stops, it is ordered to close the air valve to reduce the air loss caused by air leakage in the machine.* *This course applies AI, which can be incredibly useful in energy management in industry. AI can help forecast energy demands more accurately, leading to better planning and cost savings.*
Q3: How can AI affect our lives in the future?	*I think that AI will continue to significantly affect our lives in the future… I can apply AI to my daily life, and it can make our lives easier… In the future, the impact of AI will depend on how we choose to use and regulate this rapid technology.*
Q4: If AI is integrated into our daily lives, how do you think will we adapt? If it does not, what do you think will happen to our lives?	*I need to learn how AI works…because I may be able to keep my job if I adapt… I mean, AI skills may be essential for industrial requirements.* *As AI becomes more integrated into our daily lives, we will need to adapt by learning new skills and to understand how to work alongside AI systems; otherwise, I may miss out on potential benefits from the application of AI in my work.*
Q5: Would you want this training course to be added with more content or activities?	*I suppose two days is too short a time to learn and understand the AI concept… It may take up to three days to learn and understand more.* *The timeline of this activity is slightly short, but I have a certificate to include in my portfolio. It can be useful in my job in the future.*

CONCLUSIONS

This study provides evidence to the power of collaboration between academics and industry establishments. The authors introduced the EMAI-CAS training courses, which leverage ANNs to learn data about CASs and predict energy use in various pneumatic system scenarios. This study is crucial because it provides a practical way to develop technological knowledge and disseminate innovations that can benefit a wide range of establishments.

The experiment demonstrated the immediate benefits of the EMAI-CAS training courses and highlighted areas for future improvement. Although the students' understanding increased and their perception of the course was positive, their feedback suggested potential enhancements in the design of the learning activities. This experiment opens up exciting avenues for future research in which additional factors and conditions for organising the learning environment can be explored, thus potentially revolutionising AI competency development in factory learning settings and engineering education.

AI education should be connected with the industrial sector to ensure that students are learning relevant skills that are in demand in the workforce. By aligning AI education with the industrial sector, students can gain practical experience and understanding of how AI technologies are applied in real-world settings. This connection can also bridge the gap between academia and industry, leading to better collaboration, innovation and job opportunities for graduates.

The authors plan to implement this course in the industrial sector with a knowledge transfer process in future studies. This process is not only beneficial for academia-industry co-operation. It is essential for industrial staff to ensure that valuable information, skills and best practices are passed on from experienced employees to new hires or existing team members to enhance operational efficiency, safety standards and overall productivity within the industrial setting.

REFERENCES

1. Schulze, M., Nehler, H., Ottosson, M. and Thollander, P., Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *J. of Cleaner Produc.*, 112, 3692-3708 (2016).
2. Abela, K., Refalo, P. and Francalanza, E., Design and implementation of an energy monitoring cyber physical system in pneumatic automation. *Procedia CIRP*, 88, 240-24 (2022).
3. Siddique, M.N.I., Hasan, A.M., Kabir, M.A., Prottasha, F.Z., Samin, A.M., Soumik, S.S. and Trianni, A., Energy management practices, barriers, and drivers in Bangladesh: an exploratory insight from pulp and paper industry. *Energy for Sustainable Develop.*, 70, 115-132 (2022).
4. Benedetti, M., Bonfá, F., Bertini, I., Introna, V., Salvatori, S., Ubertini, S. and Paradiso, R., Maturity-based approach for the improvement of energy efficiency in industrial compressed air production and use systems. *Energy*, 186, 115879 (2019).
5. Eras, J.J.C., Gutiérrez, A.S., Santos, V.S. and Ulloa, M.J.C., Energy management of compressed air systems. Assessing the production and use of compressed air in industry. *Energy*, 213, 118662 (2020).
6. Herrmann, K.J., The impact of cooperative learning on student engagement: results from an intervention. *Active Learning in Higher Educ.*, 14, **3**,175-187 (2013).

7. Pantzos, P., Gumaelius, L., Buckley, J. and Pears, A., Engineering students' perceptions of the role of work industry-related activities on their motivation for studying and learning in higher education. *European J. of Engng. Educ.*, 48, **1**, 91-109 (2023).
8. Trianni, A., Cagno, E., Bertolotti, M., Thollander, P. and Andersson, E., Energy management: a practice-based assessment model. *Applied Energy*, 235, 1614-1636 (2019).
9. Mischos, S., Dalagdi, E. and Vrakas, D., Intelligent energy management systems: a review. *Artificial Intelligence Review*, 56, 11635-11674 (2023).
10. Soori, M., Arezoo, B. and Dastres, R., Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*, 3, 54-70 (2023).
11. Sanusi, I.T., Olaleye, S.A., Oyelere, S.S. and Dixon, R.A., Investigating learners' competencies for artificial intelligence education in an African K-12 setting. *Computers and Educ. Open*, 3, 100083 (2022).
12. Southworth, J., Migliaccio, K., Glover, J., Reed, D., McCarty, C., Brendemuhl, J. and Thomas, A., Developing a model for AI across the curriculum: transforming the higher education landscape via innovation in AI literacy. *Computers and Educ.: Artificial Intelligence*, 4, 100127 (2023).
13. Cantú-Ortiz, F.J., Galeano Sánchez, N., Garrido, L., Terashima-Marin, H. and Brena, R.F., An artificial intelligence educational strategy for the digital transformation. *Inter. J. of Interactive Design and Manufacturing*, 14, 1195-1209 (2020).
14. Kong, S.C., Cheung, W.M.Y. and Zhang, G., Evaluation of an artificial intelligence literacy course for university students with diverse study backgrounds. *Computers and Educ.: Artificial Intelligence*, 2, 10002 (2021).
15. Valiente Bermejo, M.A., Eynian, M., Malmsköld, L. and Scotti, A., University-industry collaboration in curriculum design and delivery: a model and its application in manufacturing engineering courses. *Industry and Higher Educ.*, 36, **5**, 615-622 (2022).
16. Meddaoui, A., Hain, M. and Hachmoud, A., The benefits of predictive maintenance in manufacturing excellence: a case study to establish reliable methods for predicting failures. *Inter. J. of Advanced Manufacturing Technol.*, 128, 3685-3690 (2023).
17. Kettunen, P., Järvinen, J., Mikkonen, T. and Männistö, T., Energizing collaborative industry-academia learning: a present case and future visions. *European J. of Futures Research*, 10, **1**, 8 (2023).
18. Ahmed, F., Fattani, M.T., Ali, S.R. and Enam, R.N., Strengthening the bridge between academic and the industry through the academia-industry collaboration plan design model. *Frontiers in Psychology*, 13, 875940 (2022).
19. Awasthy, R., Flint, S., Sankarnarayana, R. and Jones, R.L., A framework to improve university-industry collaboration. *J. of Industry-University Collaboration*, 2, **1**, 49-62 (2022).
20. Ahmad, T., Zhu, H., Zhang, D., Tariq, R., Bassam, A., Ullah, F., Alghamdi, A.S. and Alshamrani, S.S., Energetics systems and artificial intelligence: applications of industry 4.0. *Energy Reports*, 8, 334-361 (2022).
21. Zhong, L., Liu, Y., Zhao, J. and Wang, W., Hierarchical reinforcement learning based operational optimization for compressed air system. *Control Engng. Practice*, 136, 105524 (2023).
22. Hasan, A.M. and Trianni, A., Boosting the adoption of industrial energy efficiency measures through Industry 4.0 technologies to improve operational performance. *J. of Cleaner Produc.*, 425, 138597 (2023).
23. Novaliendry, D., Yoga Saputra, R.F., Febrianti, N., Putra Yanto, D.T., Saragih, F.M. and Yusof Rahiman, W.M., Development of a digital twin prototype for industrial manufacturing monitoring system using IoT and augmented reality. *Inter. J. of Online and Biomedical Engng.*, 20, **03**, 4-23 (2024).

BIOGRAPHIES

Noppadon Monok is a PhD candidate in mechanical engineering education in the Department of Teacher Training in Mechanical Engineering in the Faculty of Technical Education at King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. He received his MS in industrial management from Ramkhamhaeng University in 2014. He is also the education manager at SMC Thailand Ltd. He has over 20 years of experience in industrial automation technology, and is an expert in renewable energy, automated control systems and artificial intelligence.

Suppachai Howimanporn, DEng, is an associate professor in the Division of Mechatronics and Robotics Engineering in the Department of Teacher Training in Mechanical Engineering in the Faculty of Technical Education at King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. He has over 25 years of experience and is a professional trainer in automated control systems for many industries. He is interested in optimisation algorithms in control systems, industrial robotics, automation systems, mechatronics engineering and artificial intelligence.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายนพดล มั่นอก

ชื่อดุษฎีนิพนธ์ การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมการบริหารจัดการพลังงานสำหรับระบบลมอัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ทุกสรรพสิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา แขนงวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2565 - ปัจจุบัน กำลังศึกษาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา แขนงวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พ.ศ. 2548 : บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (เอ็มบีเอ)

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยรามคำแหง

พ.ศ. 2541 : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2542 – 2544 : อาจารย์พิเศษวิทยาลัยเทคโนโลยีโทรคมนาคม

พ.ศ.2544 - ปัจจุบัน : ผู้อำนวยการศูนย์ฝึกอบรมนิวแมติกส์อัตโนมัติ บริษัทเอส.เอ็ม.ซี (ประเทศไทย)จำกัด

งานวิจัยที่สนใจ

วิศวกรรมระบบควบคุมอัตโนมัติ, แมคคาทรอนิกส์, การพยากรณ์, การหาค่าเหมาะสมที่สุด, โครงข่ายประสาทเทียม, ปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่ง