



การพัฒนาวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียน
ทางวิศวกรรมศึกษา

พรชัย กิจเจริญ

คุณูปการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การพัฒนาวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียน
ทางวิศวกรรมศึกษา



พรชัย กิจเจริญ

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองคุณวุฒิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียน
ทางวิศวกรรมศึกษา

โดย พรชัย กิจเจริญ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้า
ภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ จันทร์วิวัฒน์)

คณะกรรมการสอบคุณวุฒิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย หอวิมานพร)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หุตะมาน)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรพงค์ ทานอก)

ชื่อ : พรชัย กิจเจริญ
ชื่อคุณูปการ : การพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุก
สรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรม
ศึกษา
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาคุณูปการหลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย หอวิมานพร
อาจารย์ที่ปรึกษาคุณูปการร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยการพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรมศึกษา นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติในฟาร์มกระชาย ด้วยการใช้อุปกรณ์ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (AIoT) โดยตั้งค่าตัวแปรอินพุต 3 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และปริมาณแสงแดด เพื่อควบคุมตัวแปรเอาต์พุตความกว้างของพัลส์ (PWM) ซึ่งใช้ในการควบคุมปั้มน้ำ โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (MLR) และปรับด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพฟุ้งอนุภาค (PSO) จากนั้นฝึกในระบอบอนุมานฟัซซีแบบปรับตัว (ANFIS) เพื่อประยุกต์ใช้กฎในการสร้างโค้ดโปรแกรมอาดุยโน้ ผ่านไลบรารีลอจิกฟัซซีฝังตัว (eFLL) โดยค่าที่ได้จะแสดงบนแดชบอร์ดโนดเรด (Node-RED) และประเมินประสิทธิภาพด้วยค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (MSE) ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) เพื่อนำมาปรับใช้ในทางวิศวกรรมศึกษาโดยการออกแบบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโน้ สำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (AIoT) ในการยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางด้านความรู้ ทักษะ กิจนิสัย และทัศนคติ โดยผลลัพธ์กลุ่มทดลองที่ทำการเรียนการสอนด้วยวิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AIoT Inquiry-based learning) สามารถยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง, วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบการสืบเสาะหาความรู้

อาจารย์ที่ปรึกษาคุณูปการหลัก

Name : Pornchai Kitcharoen
Dissertation Title : Developing Innovative Learning on Artificial Intelligence of Things to Enhance Students' Competencies in Engineering Education
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

The research focuses on the development of learning innovations involving the Internet of Things (AloT) to enhance the competencies of engineering students. It presents the design of an automatic water resource control system for a fingerroot farm using AloT. This system is configured with three input variables: temperature, soil moisture, and sunlight intensity, to control the output variable, pulse width modulation (PWM), which is used to operate a water pump. A mathematical model was developed using multiple linear regression (MLR) and optimized with particle swarm optimization (PSO). This model was then trained using an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to apply rules for generating Arduino program code through the embedded fuzzy logic library (eFLL). The resulting values are displayed on the Node-RED dashboard, and performance is evaluated using Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), and R-squared metrics. This research aims to integrate AloT into engineering education by designing practical training workshops on microcontrollers (Arduino), focusing on AloT applications. The objective is to enhance students' competencies in knowledge, skills, habits, and attitudes. The study found that the experimental group, taught using the AloT inquiry-based learning process, demonstrated a significant improvement in their competencies effectively.

Keywords: Artificial Intelligence of Things, AloT Inquiry-based learning.

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย หอวิมานพร รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูแก้ว ที่ให้คำแนะนำพร้อมทั้งคอยตรวจสอบข้อบกพร่องในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงงานวิจัยและสามารถพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่างๆ อย่างดีตลอดเวลา

คณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ผู้สอนสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือทุกท่านที่ให้ความรู้จากการเข้าเรียนในรายวิชาต่างๆ ถ่ายทอดประสบการณ์อันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย และบูรพคณาจารย์ทุกท่านที่เคยให้การอบรมความรู้มากมายจนประสบผลความสำเร็จในวันนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณภรรยา คุณนฤมล บุนยะบุรณ และลูกชายทั้ง 3 คน เด็กชายนฤชัย กิจเจริญ เด็กชายนฤชิต กิจเจริญ และเด็กชายนฤชา กิจเจริญ ที่เป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ที่สุด คอยอยู่เคียงข้างกันเสมอมา และเป็นแรงผลักดันที่ดีที่สุดในการเรียนจบการศึกษาระดับปริญญาเอก

พรชัย กิจเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	16
1.3 ขอบเขตการวิจัย	16
1.4 วิธีการวิจัย	16
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	17
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	18
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 โปรแกรมในงานวิจัย	19
2.2 ทฤษฎีทางวิศวกรรม	22
2.3 ทฤษฎีทางการศึกษา	28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
3.1 วิธีดำเนินการวิจัยทางวิศวกรรม	32
3.2 วิธีดำเนินการวิจัยทางการศึกษา	48
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	66
4.1 การหาประสิทธิภาพของข้อมูลการถดถอยพหุคูณและแบบกลุ่มอนุภาค	66
4.2 การหาประสิทธิภาพค่าพยากรณ์ด้วยระบบอนุมานนิเวโรฟซซี่แบบปรับตัวได้	67
4.3 การหาประสิทธิภาพค่าการทดลองจริง	68
4.4 ผลการวิจัยทางด้านการเรียนรู้	69
4.5 ผลการวิจัยทางด้านทักษะ	71
4.6 ผลการวิจัยทางด้านจินตนิสัย	71
4.7 ผลการวิจัยทางทัศนคติ	72

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผล	74
5.2 อภิปรายผล	75
5.3 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก ก	84
เอกสารประกอบการวิจัย	84
ภาคผนวก ข	86
บทความงานวิจัย	86
ประวัติผู้วิจัย	87



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
3.1 การกำหนดพารามิเตอร์	35
3.2 การออกแบบเงื่อนไขการทำงาน	35
3.3 ระยะเวลาการอบรมการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง	65
4.1 ประสิทธิภาพของข้อมูลการถอดออยพหุคูณและแบบกลุ่มอนุภาค	67
4.2 ประสิทธิภาพค่าพยากรณ์ด้วยระบบอนุมานนิวโรฟิวซ์ซีแบบปรับตัวได้	67
4.3 การประเมินประสิทธิภาพจากการทดลองจริง	68
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้ก่อนเรียนโดยใช้สถิติ ครุสกาล-วอลลิส	69
4.5 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้โดยใช้สถิติ แมน-วิทนีย์ ยู	69
4.6 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้ ก่อน-หลัง โดยใช้สถิติ วิลคอกซัน	70
4.7 ผลการวิเคราะห์ด้านทักษะโดยใช้สถิติ แมน-วิทนีย์ ยู	71
4.8 ผลการวิเคราะห์ด้านกิจนีสัยโดยใช้สถิติ แมน-วิทนีย์ ยู	72
4.9 ผลการวิเคราะห์ด้านทัศนคติโดยใช้สถิติ การแจกแจงปกติ	73

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โปรแกรมแมทแลป	20
2.2	โปรแกรมมินิแทป	21
2.3	โปรแกรมอาคิโน ไอดีอี	21
2.4	โครงสร้างของระบบอนุমানพีซีบนเครือข่ายแบบปรับตัว	25
2.5	บอร์ดอาคิโน เมกา 2560	26
2.6	การกำหนดค่าพื้นฐานไลบรารีพีซีลอจิกแบบฝังตัว	27
2.7	แดชบอร์ดเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา บนแพลตฟอร์มโนดเรด	28
3.1	ผังงานทางวิศวกรรมเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา	33
3.2	การดำเนินการวิจัยทางวิศวกรรม	34
3.3	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยโปรแกรมมินิแทป	38
3.4	การเปลี่ยนแปลงข้อผิดพลาดของตัวแปร อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง	40
3.5	การตั้งค่าการออกแบบนิวโร-พีซี	42
3.6	โครงสร้างระบบอนุमानพีซีแบบปรับตัวเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา	42
3.7	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรอินพุตที่ 1 อุณหภูมิ	43
3.8	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรอินพุตที่ 2 ความชื้นดิน	43
3.9	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรอินพุตที่ 3 ความเข้มแสง	44
3.10	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรเอาต์พุตควมกว้างพัลส์	44
3.11	จำนวนกฎพีซีเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา	45
3.12	การเขียนโค้ดกำหนดชุดตัวแปรพีซีลอจิก	46
3.13	การสร้างแดชบอร์ดโนดเรด	47
3.14	การเชื่อมต่ออุปกรณ์วิจัยเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา	48
3.15	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในฟาร์มกระชาย	48
3.16	การดำเนินการวิจัยทางการศึกษา	49
3.17	ชุดอุปกรณ์คอร์ส เอไอโอที	50
3.18	การเลือกใช้งานการต่ออุปกรณ์	51
3.19	การเลือกบอร์ดและพอร์ตการใช้งานอาคิโน	52
3.20	โครงสร้างภาษาอาคิโน	52
3.21	วงจรและโค้ดการส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี	53

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.22	วงจรและโค้ดการรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้	54
3.23	วงจรและโค้ดการรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้	55
3.24	วงจรและโค้ดการส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยความกว้างพัลส์	56
3.25	วงจรการควบคุมหลอดแอลอีดีส่งความกว้างพัลส์ตามเงื่อนไขวีโร-พีชชี	57
3.26	การแสดงผลวีโร-พีชชี อาคิโน ด้วยแดชบอร์ดด้วยโนดเรด	58
3.27	แบบประเมินทักษะและกิจนิสัย	60
3.28	กิจกรรมการปฏิบัติงาน	66
4.1	การพยากรณ์ของโมเดลเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา	68
ก.1	คิวอาร์โค้ดเอกสารการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในโปรแกรมแมทแลบ	84
ก.2	คิวอาร์โค้ดเอกสารตัวอย่างการคำนวณวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค	84
ก.3	คิวอาร์โค้ดเอกสารไมโครคอนโทรลเลอร์อาคิโน เมกา 2560 โค้ดโปรแกรม	84
ก.4	คิวอาร์โค้ดเอกสารคอร์ส เอไอโอที	84
ก.5	คิวอาร์โค้ดเอกสารแบบทดสอบความรู้	84
ก.6	คิวอาร์โค้ดเอกสารแบบประเมินทักษะและจิตพิสัย	85
ก.7	คิวอาร์โค้ดเอกสารแบบประเมินทัศนคติ	85
ก.8	คิวอาร์โค้ดเอกสาร ไอโอซี คอร์สการอบรม	85
ก.9	คิวอาร์โค้ดเอกสารหนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ	85
ก.10	คิวอาร์โค้ดเอกสารค่า ไอโอซี จากผู้เชี่ยวชาญ	85
ข.1	บทความประชุมวิชาการนานาชาติ	86
ข.2	บทความตีพิมพ์ระดับนานาชาติ	86
ข.3	บทความตีพิมพ์ระดับนานาชาติ	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบัน การก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things: IoT) และ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้มีการพัฒนานวัตกรรมรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า “ปัญญาประดิษฐ์ของสรรพสิ่ง” หรือ เอไอโอที (Artificial Intelligence of Things: AIoT) โดย (Hu et al., 2021) เป็นการผสมผสานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นลักษณะเด่นของปัญญาประดิษฐ์ของสรรพสิ่ง คือ การนำความสามารถในการวิเคราะห์และ ดำเนินการกับข้อมูลในขณะที่มีการตรวจจับและส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์ (Zhao & Lian, 2022) โดยที่ ข้อมูลขนาดใหญ่จะถูกประมวลผลด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อทำความเข้าใจ วิเคราะห์ให้คำตอบโดยอัตโนมัติที่คล้ายคลึงความคิดของมนุษย์ (Zhu et al., 2021) อาจกล่าว ได้ว่าเป็นการทำให้เครื่องจักรอัตโนมัติมีการเรียนรู้เหมือนมนุษย์ ซึ่งปัจจุบันนี้ได้กลายเป็นที่นิยมใน การค้นหาสถาปัตยกรรมระบบประสาทต่างๆ ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ทำให้เกิดปัญญาประดิษฐ์ของสิ่ง สรรพสิ่งที่หลากหลาย (Zhang et al., 2022)

แน่นอนว่า แมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning) เป็นการรับการฝึกฝนโมเดลด้วยข้อมูล กระจายอำนาจโดยไม่กระทบต่อความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ ซึ่งทำให้ปัญญาประดิษฐ์ของสรรพสิ่งนิยม ใช้กันอย่างแพร่หลาย (Liu et al., 2022) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมในยุค 4.0 เทคโนโลยีมีการ เปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างรวดเร็ว (Pajpach et al., 2022) มีการนำเทคโนโลยีมาใช้งานกันอย่าง กว้างขวางทั้งในด้านอุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมการขนส่ง อุตสาหกรรมการบริการ และในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ การนำเทคโนโลยีมาใช้ในงานอุตสาหกรรม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลา อำนวยความสะดวก เป็น การนำประโยชน์ของเทคโนโลยีในศตวรรษที่ 21 มาใช้เพื่อพัฒนาความก้าวหน้าในการแก้ปัญหา เศรษฐกิจและความยากลำบาก (Görgülü Ari & Meço, 2021)

การนำเทคโนโลยีในข้างต้นมาบูรณาการกับบทเรียนและวิธีการเรียนการสอนเป็นที่แพร่หลาย (Bullis et al., 2021) แต่ปัญหาของการเรียนรู้ส่วนใหญ่ คือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีมีราคา สูง ในหลายงานวิจัยจึงเลือกใช้บอร์ดอาดุยโนซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยม อย่างแพร่หลาย เนื่องจากราคาไม่สูงมากนัก เหมาะกับการนำมาพัฒนาสื่อการเรียนรู้ อีกทั้ง บอร์ด ชนิดนี้มีราคาต้นทุนต่ำ สามารถใช้งานได้ง่าย (Guzmán-Fernández et al., 2021; Sari et al.,

2022; Lee, 2020) รองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่ มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ (Makan et al., 2021) สามารถนำมาใช้งานทั้งในด้านระบบบ้านอัจฉริยะ ระบบความปลอดภัย (Sarhan, 2020)

นอกจากนี้บอร์ดอาคิโนยังถูกนำมาใช้ประกอบในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) โดยสามารถใช้ให้ผู้เรียนเกิดทักษะการแก้ปัญหา การฝึกปฏิบัติ และการเสริมสร้างกิจกรรม (Sari et al., 2022) ของผู้เรียนในหลากหลายมิติของการศึกษา ทั้งระดับประถมศึกษา ระดับมัธยมศึกษา ระดับอาชีวศึกษา และในระดับอุดมศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนมีผลการศึกษาเชิงบวก มีความกระตือรือร้นในการเรียนมากขึ้น (Budi et al., 2021) มีการคิดอย่างมีระบบ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ และมีทักษะในการบริหารเวลา (Medeiros et al., 2018) มีความรู้รอบด้านเทคโนโลยี เรียนรู้ร่วมกันและมีส่วนร่วมในชั้นเรียน (Roumen & Fernaeus, 2021) สามารถพัฒนาการเขียนโปรแกรมและนำมาใช้ประโยชน์ (Tupac-Yupanqui et al., 2022) สามารถสร้างอุปกรณ์การเรียนรู้ได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ (Ueyama et al., 2022; Vidal et al., 2022) สามารถใช้ออกแบบระบบที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นโดยการใส่ความชาญฉลาดหรือปัญญาประดิษฐ์เข้าไป

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่มีการใช้งานอัลกอริทึมร่วมกับบอร์ดอาคิโนมากมาย ยกตัวอย่างเช่น การนำมาวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) ให้สารละลายระบบไฮโดรโปนิคส์จากค่าปริมาณน้ำและเวลาการทำงานของปั๊ม (Setyawan et al., 2022) การเปรียบเทียบเซนเซอร์ดิน 3 ชนิด เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำในดิน (Songara & Patel, 2022) การใช้ระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตในสภาพแวดล้อมคอมพิวเตอร์อาสาสมัคร (IoT-EMS) วิเคราะห์ค่าการถดถอยพหุคูณ (Bhoi et al., 2022) การใช้ ไอโอที เปิดการใช้งานการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการชลประทานอัจฉริยะ (IoTDL-SIS) โดย (Suresh et al., 2022) การเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นทะเลในการพยากรณ์กำลังขับของชายฝั่ง โดยกำหนดลักษณะคลื่นทะเล โดยใช้หุ่นลอยน้ำ (Deberneh & Kim, 2018)

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กับวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO) ตัวอย่างเช่น เพื่อประสิทธิภาพของการให้พลังงานสูงสุดของโซลาร์เซลล์ ด้วยการนำข้อดีของวิธีการไอซีและพาร์ติเคิลสวอร์ม (Particle swarm) มารวมกันในการควบคุมค่ากำลังไฟสูงสุด (Sheikh Ahmadi et al., 2020) เพิ่มความแข็งแกร่ง ความยืดหยุ่น และระดับความอิสระอินเวอร์เตอร์ไมโครกริดที่มีข้อบกพร่องและกำหนดพารามิเตอร์ขอบเขตของสิ่งรบกวนด้วยพาร์ติเคิลสวอร์ม (Delavari & Naderian, 2020) การใช้พาร์ติเคิลสวอร์มออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ให้มีค่าผิดพลาดสัมบูรณ์แบบอินทิกรัลและความแปรผันรวมของสัญญาณควบคุมน้อยที่สุด (de Moura Oliveira et al., 2020) การควบคุมแขนหุ่นยนต์ต้นหุ่นต่ำและปรับค่าพารามิเตอร์พีไอดีด้วยพาร์ติเคิลสวอร์มใช้คอนโทรลเลอร์ฝังตัวขนาดเล็กหรือขนาดกลาง (Sutyasadi & Wicaksono, 2020) การ

ออกแบบทาคาจิ-ซุจิโน้ (Takagi-Sugeno fuzzy) ร่วมกับพาร์ติเคิลสวอร์มเพิ่มเสถียรภาพการควบคุม ตัวแปลงบวสต์ดีซี-ดีซี (Daouadi et al., 2020)

ในส่วนของงานวิจัยที่มีการนำบอร์ตาออคยโน้มาใช้กับระบบอนุมานนิวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive neuro fuzzy inference system: ANFIS) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ ตัวอย่างเช่น การหาค่าที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำในดินโดยใช้ระบบอนุมานนิวโรฟซซีแบบปรับตัว (Songara & Patel, 2022) การออกแบบแขนหุ่นยนต์ใช้ 4 เซอร์โว ร่วมกับระบบอนุมานนิวโรฟซซีแบบปรับตัว (Sanjaya et al., 2019) การออกแบบและใช้ระบบอนุมานแบบปรับตัวหลายระบบ (MANFIS) สำหรับการนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมสองมิติที่แตกต่างกัน (Pandey et al., 2019) การออกแบบแขนหุ่นยนต์ใช้ 5 เซอร์โว ร่วมกับระบบอนุมานนิวโรฟซซีแบบปรับตัว (Mujiarto et al., 2019)

ในขณะที่ มีงานวิจัยการแสดงผลที่ได้ใช้โปรแกรมประยุกต์เพื่อแสดงผลบนแดชบอร์ดด้วย แพลตฟอรม์โนดเรด (Dashboard Node-RED: Node-RED) ตัวอย่างเช่น การควบคุมมลพิษทางอากาศ ตรวจสอบข้อมูลทุกๆ 5 นาที อัปเดตข้อมูลแพลตฟอร์มโนดเรด (Mohd Shaari Azyze et al., 2021) การออกแบบและใช้ระบบที่ควบคุมวัตถุแบบเรียลไทม์โนดเรด (Cgseong et al., 2020) การพัฒนาโครงการด้านสมาร์ตฟาร์มและการเกษตร เพื่อออกแบบต้นแบบที่ใช้อินเทอร์เน็ตของสิ่งต่างๆ ในฟาร์มและการเกษตรและใช้ไอโอทีตรวจสอบค่าผ่านทางโนดเรด (Effendi et al., 2020) แก้ปัญหาการสูญเสียผลผลิตระหว่างการเก็บรักษา มีเซ็นเซอร์สำหรับตรวจสอบสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมของโรงเก็บธัญพืช แสดงเว็บแอปพลิเคชัน (was) แบบเรียลไทม์ผ่านทางโนดเรด (Tedla et al., 2019) ระบบหลายตัวรับข้อมูล (Multi-agent) ระบบนี้ใช้โนดเรดเพื่อแสดงข้อมูลที่ใกล้เคียง เรียลไทม์ในจอภาพ (Huang et al., 2019)

จากการสังเคราะห์งานวิจัยดังกล่าว พบว่า อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์อย่างมากภายในบริบทต่างๆ มีการใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR) ในการปรับปรุงข้อมูลและการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของข้อมูลที่ต้องการ มีการใช้ระบบอนุมานนิวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS) ในการออกแบบปัญญาประดิษฐ์ในงานวิจัยใหม่ๆ ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น มีการใช้บอร์ตาออคยโน้ (Arduino) ในการทดลองและศึกษาการวิจัยในหลายๆ สาขา มีการใช้โนดเรด (Node-RED) แสดงผลแดชบอร์ดการทำงานแบบเรียลไทม์ในหลายๆ รูปแบบ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มีการใช้งานแค่อัลกอริทึมบางตัว ยังไม่มีงานวิจัยที่ใช้อัลกอริทึมทั้งหมดที่กล่าวมาสำหรับออกแบบการวิจัยทางวิศวกรรมศึกษา รวมถึงการใช้งานร่วมกับการควบคุมทรัพยากรน้ำทางการเกษตร (Kitcharoen et al., 2023) จึงมีแนวคิดการออกแบบระบบการควบคุม

ทรัพยากรน้ำโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ระบบอนุमानนิวโรฟัซซี่แบบปรับตัว แพลตฟอร์มโนดเรตที่ใช้งานร่วมกับบอร์ดอาδυโน

ดังนั้น งานวิจัยการพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรมศึกษา จึงได้นำเสนอการออกแบบนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง โดยได้จำลองระบบการควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติ โดยใช้อัลกอริทึมแมชชีนเลิร์นนิ่ง เป็นการกำหนดตัวแปรอินพุตจำนวน 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง ควบคุมตัวแปรเอาต์พุต 1 ตัวแปร คือ การปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) ซึ่งนำมาควบคุมปั้มน้ำ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR) นำข้อมูลที่ได้สร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพยากรณ์ จากนั้นใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณให้มีค่าที่เหมาะสมที่สุด นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการเทรนค่าในระบบอนุमानนิวโรฟัซซี่แบบปรับตัว (ANFIS) และนำกฎที่ได้ไปสร้างโค้ดโปรแกรมอาδυโน (Arduino) ผ่านทางไลบรารีสมองกลฝังตัวแบบฟัซซี่ (Embedded Fuzzy Logic Library: eFLL) และทำการทดสอบความเที่ยงตรงจากแมทแลป (MATLAB) เทียบกับอาδυโน นำค่าที่ได้แสดงโชว์ขึ้นแดชบอร์ดโนดเรต เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทางภาคการเกษตรโดยการนำหลายอัลกอริทึมใช้งานร่วมกับอาδυโน นำไปสู่การเกษตรที่ชาญฉลาดและยั่งยืน การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมและมีความแม่นยำที่ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้น ทางผู้วิจัยจะนำนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งที่พัฒนาขึ้น มาออกแบบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโน สำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (AIoT) โดยเนื้อหาการอบรมประกอบด้วยกิจกรรมการทดลอง 7 กิจกรรม ได้แก่ 1) การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐาน 2) การส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี 3) การรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ 4) การควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ 5) การส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม 6) การควบคุมหลอดแอลอีดีส่งสัญญาณด้วยพี ดับบลิว เอ็ม ตามเงื่อนไขนิวโรฟัซซี่ 7) การแสดงผลนิวโรฟัซซี่อาδυโนด้วยแดชบอร์ดโนดเรต โดยใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้เป็นฐานในการศึกษาความสามารถทางด้านปัญญาประดิษฐ์และทัศนคติที่เหมาะสม เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนที่เกี่ยวข้องกับทางวิศวกรรมศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ระยะที่ 1 ด้านวิศวกรรม

1.2.1.1 เพื่อพัฒนานวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.2.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของนวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.2.2 ระยะที่ 2 ด้านการศึกษา

1.2.2.1 เพื่อพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้นวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.2.2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะปัญญาประดิษฐ์ของผู้เรียน

1.2.2.3 เพื่อศึกษาทัศนคติผู้เรียนที่มีต่อนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ระยะที่ 1 ด้านวิศวกรรม

1.3.1.1 ออกแบบระบบการควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติในฟาร์มกระชาย โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ระบบอนุมานนิวโรฟuzzy แบบปรับตัว แพลตฟอร์มโนดเรดร่วมกับบอร์ดอาดุยโน

1.3.1.2 หาประสิทธิภาพของการควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติในฟาร์มกระชาย โดยใช้ค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE) ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R-squared)

1.3.2 ระยะที่ 2 ด้านการศึกษา

1.3.2.1 พัฒนารูปแบบการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสิ่ง โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีฟuzzyลอจิก การใช้ฮาร์ดแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนและการเขียนโปรแกรม

1.3.2.2 ประเมินสมรรถนะปัญญาประดิษฐ์ของผู้เรียน

1.3.2.3 ประเมินทัศนคติผู้เรียนที่มีต่อนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 การศึกษาการวิจัยเรื่องการพัฒนาวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรมศึกษา เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้การวิจัยกึ่งการทดลอง (Quasi-experimental research) มีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) และมีการเก็บข้อมูลแบบแผนการเปรียบเทียบสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (Control group) และกลุ่มทดลอง (Experimental group) วัดผลแบบทดสอบก่อน-หลังแบบบางส่วน (Partial Pretest-Posttest Control Group Design) โดยกลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบฝึกปฏิบัติเป็นฐาน (AIoT Practice-based learning) และ

กลุ่มทดลองใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AIoT Inquiry-based learning)

1.4.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพหรือชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสนใจด้านวิศวกรรมศึกษา

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2566 ของวิทยาลัยเทคโนโลยีดอนบอสโก บ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน จำนวน 76 คน เพศ ชาย อายุ 17-19 ปี

1.4.1.2 เครื่องมือวิจัย

สื่อการสอนพาวเวอร์พอยต์เรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโน สำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (AIoT)

แบบประเมินสมรรถนะปัญญาประดิษฐ์ของผู้เรียน และแบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้นวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

1.5.2 ได้องค์ความรู้นวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งผ่านการเผยแพร่ผลงานวิชาการ

1.5.3 ได้ต้นแบบรูปแบบการเรียนการสอนด้านปัญญาประดิษฐ์แบบบูรณาการ

1.6 กรอบแนวคิดงานวิจัย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ ที่อธิบายและนำเสนอ ทฤษฎีทางวิศวกรรมศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 โปรแกรมในงานวิจัย

2.1.1 โปรแกรมแมทแลป (MATLAB)

2.1.2 โปรแกรมมินิแทป (Minitab)

2.1.3 โปรแกรมอาดูยโน ไอดีอี (Arduino IDE)

2.2 ทฤษฎีทางวิศวกรรม

2.2.1 สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)

2.2.2 วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO)

2.2.3 ระบบอนุมานนิวโรฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive neuro fuzzy inference system: ANFIS)

2.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน เมกา 2560 (Microcontroller Arduino Mega 2560)

2.2.5 ไลบรารีฟัซซี่ลอจิกแบบฝังตัว (Embedded Fuzzy Logic Library: eFLL)

2.2.6 แดชบอร์ดโนดเรด (Dashboard Node-RED: Node-RED)

2.3 ทฤษฎีทางการศึกษา

2.3.1 ปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งทางการศึกษา (AIoT Education)

2.3.2 การเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-based Learning: IBL)

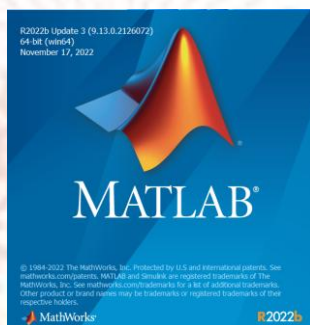
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรมในงานวิจัย

2.1.1 โปรแกรมแมทแลป (MATLAB)

โปรแกรมแมทแลป (MATLAB: Matrix Laboratory) เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนา โดยบริษัทแมทเวิร์ค ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาระบบ การสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม โปรแกรมนี้มีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูง สามารถทำการคำนวณที่ซับซ้อน ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ทั้งในส่วนของเมทริกซ์ แคลคูลัส สถิติ การแก้สมการเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น แมทแลปมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียดและสามารถสร้างกราฟและแผนภูมิที่สวยงามและเข้าใจง่าย ช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้าง ทดสอบอัลกอริธึมใหม่ๆ แมทแลปถูกใช้ในการ

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่างๆ และจำลองการทำงานของระบบเพื่อการศึกษาหรือการพัฒนา สามารถประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่และซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว รองรับการทำงานร่วมกับภาษาการเขียนโปรแกรมอื่นๆ เช่น ภาษาซี ภาษาซีพลัสพลัส จาวา ไพทอน แมทแลปมีเครื่องมือและฟังก์ชันที่หลากหลายและครอบคลุมทุกความต้องการในการคำนวณและการวิเคราะห์แมทแลปเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถหลากหลายและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำให้เป็นที่นิยมในวงการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และการวิเคราะห์ข้อมูลในหลากหลายสาขา



รูปที่ 2.1 โปรแกรมแมทแลป

2.1.2 โปรแกรมมินิแทป (Minitab)

โปรแกรมมินิแทปเป็นซอฟต์แวร์ทางสถิติที่ถูกรออกแบบมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการประมวลผลทางสถิติ โปรแกรมนี้มีความสามารถในการทำงานหลากหลายด้านและถูกใช้อย่างแพร่หลายในวงการวิจัยการศึกษา อุตสาหกรรม และการใช้งานหลักของ Minitab ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การวิเคราะห์ทางสถิติพื้นฐาน

การทดสอบสมมติฐานต่างๆ เช่น t-test ANOVA สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร (ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระต่อความแปรปรวนของตัวแปรตาม การวิเคราะห์การถดถอย ช่วยในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) และการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear regression)

2.1.2.2 การควบคุมคุณภาพ

แผนภูมิควบคุม (Control Charts): ใช้ในการตรวจสอบความเสถียรของกระบวนการผลิต การวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Process Capability Analysis): ใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในการผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐาน

2.1.2.3 การวิเคราะห์เชิงพรรณนา

การสร้างกราฟและแผนภูมิ: สามารถสร้างกราฟและแผนภูมิที่หลากหลาย เช่น ฮิสโตแกรม แผนภูมิพาย กราฟกระจายการวิเคราะห์การกระจาย (Distribution Analysis): เพื่อศึกษาและแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูล

2.1.2.4 การออกแบบการทดลอง (DOE)

การวางแผนการทดลอง: เครื่องมือในการวางแผนและวิเคราะห์การทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตการวิเคราะห์ผลการทดลอง: วิเคราะห์ผลของการทดลองเพื่อหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 2.2 โปรแกรมมินิแทป

2.1.3 โปรแกรมอาดูยโน ไอดีอี (Arduino IDE)

โปรแกรมอาดูยโน ไอดีอี (Arduino IDE: Arduino Integrated Development Environment) เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการเขียนโค้ดและอัปโหลดโปรแกรมไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของอาดูยโน โปรแกรมนี้มีความง่ายต่อการใช้งานและเป็นที่ยอมรับในวงการการศึกษาด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาดูยโนใช้ภาษาโปรแกรมที่มีพื้นฐานมาจากภาษาซี ภาษาซีพลัสพลัส ซึ่งมีโครงสร้างและไวยากรณ์ที่เรียบง่าย ทำให้ผู้ที่เริ่มต้นสามารถเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว มีฟังก์ชันสำเร็จรูปและไลบรารี (libraries) มากมายที่ช่วยในการพัฒนาสามารถคอมไพล์โค้ดและตรวจหาข้อผิดพลาดได้โดยอัตโนมัติมีปุ่มสำหรับอัปโหลดโปรแกรมไปยังบอร์ดอาดูยโนผ่านพอร์ตยูเอสบี รองรับการสร้างและจัดการโครงการ (projects) หลากๆ โครงการพร้อมกันได้ มีการบันทึกและเปิดไฟล์โปรเจกต์ต่าง ๆ ในรูปแบบโฟลเดอร์ มีเครื่องมือช่วยเหลือในการดีบั๊ก (debug) โค้ด ที่ช่วยในการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งผ่านพอร์ตอนุกรม (serial port) มีฟังก์ชันในการบันทึกและเปิดไฟล์สเก็ตช์ (sketches) ซึ่งเป็นไฟล์โค้ดโปรแกรมที่ใช้ในอาดูยโน



รูปที่ 2.3 โปรแกรมอาดูยโน ไอดีอี

2.2 ทฤษฎีทางวิศวกรรม

2.2.1 สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)

การวิเคราะห์เชิงเส้นหลายตัวแปรและแบบจัดการการทดลองต่างๆ เป็นตัวอย่างของกรอบงานทั่วไปของการวิเคราะห์เชิงเส้น เหล่านี้สามารถสรุปได้อย่างกระชับด้วยการแบ่งออกเป็นสองส่วนสำคัญ รูปแบบของประชากร (SP) และรูปแบบที่ประมาณ (ESP) รูปแบบของประชากรที่แสดงด้วย SP ถูกสุ่มให้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรแก้การถดถอย (β) และตัวแปรทำนาย (x) ในทางกลับกัน รูปแบบที่ประมาณ (ESP) ถูกนำเสนอในรูปแบบของตัวแปรแก้การถดถอยที่ประมาณ ($\hat{\beta}$) และตัวแปรทำนาย (x) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดมักถูกนำมาใช้เป็นเทคนิคที่ชอบในการประมาณค่าตัวแปรแก้การถดถอยในโมเดลการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร ในบทบาททั่วไปตัวแปรตอบสนอง (y_i) สามารถแสดงความสัมพันธ์กับตัวแปรทำนาย (k) โดยที่ k แสดงถึงจำนวนตัวทำนายในโมเดล (Olive, 2017; Montgomery, 2017) สมการนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \\ &= \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad i=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

สมมติว่ามีการสังเกต $n > k$ ค่าของตัวแปรตอบสนอง (y_1, y_2, \dots, y_n) ระบุค่าพารามิเตอร์ β_j (ที่ j ระหว่าง 0 ถึง k) ซึ่งเรียกว่าตัวแปรแก้การถดถอย สำหรับแต่ละตัวแปรตัวทำนาย x_{ij} มีการสังเกตที่เกี่ยวข้องที่ระบุด้วย x_{ij} ที่บ่งชี้การสังเกตลำดับหรือระดับที่ i ของตัวแปร x_j มีการสมมติในกรอบการศึกษานี้ว่าข้อผิดพลาด ε ในโมเดลเป็นไปตามเงื่อนไข $E(\varepsilon) = 0$ ซึ่งหมายถึงค่าคาดหวังเท่ากับศูนย์ และเพิ่มเติมว่าข้อผิดพลาดเหล่านี้เป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน การแก้สมการปกติในกรอบการศึกษานี้จะทำให้ได้ตัวประมาณการค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดสำหรับตัวแปรแก้การถดถอยเหล่านี้ ตัวประมาณเหล่านี้สามารถเขียนในรูปแบบเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

โดยทำงานกับมิติเมทริกซ์และเวกเตอร์

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \text{ and } \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

y เป็นเวกเตอร์ขนาด $(n \times 1)$ ที่แทนข้อมูลที่สังเกต

X เป็นเมทริกซ์ขนาด $(n \times p)$ ที่ประกอบด้วยระดับของตัวแปรอิสระ

β เป็นเวกเตอร์ขนาด $(p \times 1)$ ที่แทนสัมประสิทธิ์ตัวแปรแก้การถดถอย

ε เป็นเวกเตอร์ขนาด $(n \times 1)$ ที่รวมถึงข้อผิดพลาดที่เป็นตัวแปรสุ่ม

วัตถุประสงค์ คือ การหาเวกเตอร์ของตัวประมาณน้อยที่สุด เรียกว่า $\hat{\beta}$ เวกเตอร์นี้ถูกกำหนดขึ้นผ่านกระบวนการของการถดถอยเชิงเส้นและเป็นการประมาณของตัวปรับแก้การถดถอยที่แท้จริง สามารถหาค่า $\hat{\beta}$ ตามสมการที่ (3)

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \quad (3)$$

แบบจำลองการถดถอยที่กำหนดสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\hat{y} = X\hat{\beta} \quad (4)$$

เมื่อแสดงในรูปแบบสเกลาร์ แบบจำลองการถดถอยสามารถแสดงได้เป็น

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij}, i = 1, 2, \dots, n$$

มีการใช้สถิติข้อผิดพลาดต่างๆ เพื่อประเมินคุณภาพของข้อผิดพลาดที่กำลังสองน้อยที่สุด ตามที่อธิบายไว้ในข้อมูลอ้างอิง (De Silva, 2015) ตัวชี้วัดที่สำคัญอย่างหนึ่งคือผลรวมของข้อผิดพลาดกำลังสอง (SSE) ซึ่งถูกกำหนดเป็น

$$SSE = \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (5)$$

SSE สามารถแสดงเป็น

y_i หมายถึง ค่าที่สังเกตได้ของตัวแปรตามที่จุดข้อมูล i

\hat{y}_i หมายถึง ค่าที่คาดการณ์หรือค่าประมาณของตัวแปรตามที่จุดข้อมูล i

สถิติข้อผิดพลาดที่สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับการประเมินความถูกต้องของข้อผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด คือ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ได้มาจากค่าเฉลี่ยที่ปรับปรุงแล้วของผลรวมของข้อผิดพลาดกำลังสอง (SSE) และสามารถแสดงทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (6)$$

สถิติข้อผิดพลาดที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องของข้อผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด คือ ค่าความผิดพลาดรากกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ได้มาจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และสามารถแสดงได้ในลักษณะต่อไปนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (7)$$

การวัดทางสถิติที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องของความพอดีในการวิเคราะห์การถดถอยคือค่า R-squared ซึ่งมักเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น

$$R - squared = 1 - \frac{SSE}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

2.2.2 วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO)

การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเป็นเทคนิคการปรับแต่งที่ใช้ความเป็นไปได้หลายอย่างซึ่งมีรากฐานมาจากปัญญาของฝูงสัตว์ วิธีนี้มีที่มาจากการจำลองแบบจำลองสังคมที่เรียบง่ายที่เสนอโดยนักวิจัย (Kennedy & Eberhart, 1995; Eberhart & Kennedy, 1995) การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคจำลองพฤติกรรมของกลุ่มของเอนทิตีเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ เช่น การรับประกันการอยู่รอดของประชากรหรือการปรับแต่งฟังก์ชัน แนวคิดหลักคือการนำทางส่วนใหญ่ของเอนทิตีในกลุ่มให้แสดงพฤติกรรมที่ประสานกัน คล้ายกับการเคลื่อนไหวร่วมกันที่สังเกตได้ในปรากฏการณ์ธรรมชาติหลายอย่าง รวมถึงฝูงนก ฝูงปลา ฝูงผึ้ง หรือคอลอนีของมด ในอัลกอริธึมแบบกลุ่มอนุภาคแต่ละเอนทิตี ที่เรียกว่าอนุภาค ปรับเวกเตอร์ความเร็วของตัวเอง ต่อมากำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ภายในพื้นที่การปรับแต่ง ในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวปรับแต่งฝูงอนุภาค นักวิจัยได้นำเสนอพารามิเตอร์ที่ดีขึ้นเข้ามาในสมการ (Shi & Eberhart, 1998) พารามิเตอร์เหล่านี้ช่วยปรับปรุงกระบวนการปรับแต่งและช่วยให้การรวมตัวเข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดียิ่งขึ้น หลักการพื้นฐานของการหาค่าแบบกลุ่มอนุภาค สามารถแสดงออกในรูปของสมการได้ สมการ (9) และ (10) ซึ่งรวมถึงการเคลื่อนที่และการปรับแต่งของอนุภาค

$$v_i^{(k+1)} = w * v_i^{(k)} + c_1 * r_1 * (x_i^{lbest} - x_i^{(k)}) + c_2 * r_2 * (x_i^{gbest} - x_i^{(k)}) \quad (9)$$

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + v_i^{(k+1)} \quad (10)$$

โดยที่

$v_i^{(k)}$ แทนเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคที่ i ในรอบที่ k

$x_i^{(k+1)}$ แทนอนุภาคที่แสดงคำตอบที่ i ในรอบที่ k

w แทนน้ำหนักความเฉื่อยคงที่ตาม (Bansal et al., 2011)

c_1, c_2 แทนค่าคงที่ที่เป็นบวก

r_1, r_2 แทนตัวเลขสุ่มที่เป็นเอกภาพในช่วง $[0,1]$

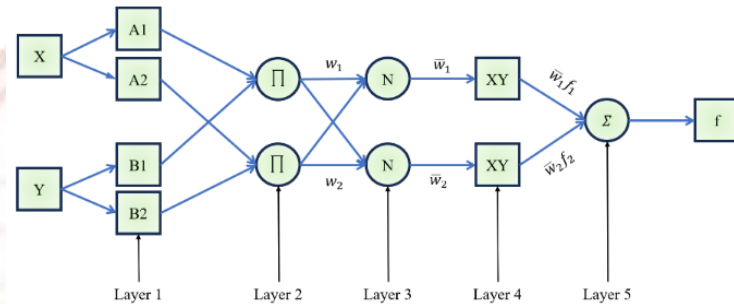
x_i^{lbest} แทนคำตอบที่ดีที่สุดที่พบโดยอนุภาคที่ i

x_i^{gbest} แทนคำตอบที่ดีที่สุดที่พบโดยฝูงอนุภาค

2.2.3 ระบบอนุมานนิเวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive neuro fuzzy inference system: ANFIS)

ระบบการอนุมานระบบอนุมานนิเวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive neuro-fuzzy inference system หรือ ANFIS) ถูกนำเสนอในฐานะระบบการอนุมานแบบฟัซซีพิเศษที่รวมอยู่ในกรอบของเครือข่ายที่ปรับตัวได้ โมเดลระบบอนุมานนิเวโรฟซซีแบบปรับตัวได้นี้ ตามที่เสนอไว้ (Jang, 1993) แสดงความสามารถในการสร้างการแมปปีงข้อมูลนำเข้า ส่งออกโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบผสมผสาน การแมปปีงนี้ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยทั้งความรู้ของมนุษย์และคู่ข้อมูลนำเข้า ส่งออกที่กำหนดไว้ ภายในกรอบของระบบอนุมานนิเวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ หลักการของการบัญญัติกล่าวถึง

คำอธิบายของพื้นที่ย่อยฟัซซีที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรนำเข้า ในขณะที่ผลสืบเนื่องคือความสัมพันธ์นำเข้า ส่งออกแบบเส้นตรง กระบวนการของการระบุระบบถูกยกตัวอย่างโดยใช้ข้อมูลนำเข้า ส่งออกและ ได้รับการแสดงอย่างชัดเจนในบริบทของฟัซซี ทาคากิ-ซูจิโน (Takagi & Sugeno, 1985) สถาปัตยกรรมของระบบระบบอนุมานนิเวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้จัดระเบียบอยู่ในห้าชั้นที่แตกต่างกัน (Hammam et al., 2022) ซึ่งสามารถสังเกตได้ในรูปแบบแผนภาพตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของระบบอนุมานฟัซซีบนเครือข่ายแบบปรับตัว (Kitcharoen et al., 2024)

ชั้นที่ 1 – ฟัซซีฟิเคชัน เลเยอร์ (Fuzzification Layer): ชั้นเริ่มต้นที่เรียกว่าเลเยอร์ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification Layer) เป็นส่วนแรกในกรอบระบบอนุมานนิเวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) ชั้นนี้ประกอบด้วยฟังก์ชันสมาชิก (Membership Functions - MFs) ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรนำเข้า แต่ละโหนดในชั้นนี้ที่แสดงด้วย $\mu_{A_i}(x)$ และ $\mu_{B_{i-2}}(y)$ สอดคล้องกับฟังก์ชันสมาชิกแต่ละประการ และสูตรคณิตศาสตร์นำเสนอในสมการ (11) และ (12)

$$o_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (11)$$

$$o_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (12)$$

ชั้นที่ 2 – ชั้นกฎ (Rule Layer): ชั้นที่สองซึ่งเรียกว่าชั้นกฎ (Rule Layer) มีหน้าที่ในการคำนวณน้ำหนักสำหรับแต่ละกฎ ชั้นนี้รับค่านำเข้าที่ได้จากฟังก์ชันสมาชิกในชั้นการทำเป็นฟัซซีฟิเคชัน (fuzzification layer) ในชั้นนี้แต่ละโหนดคำนวณน้ำหนักในการเรียกใช้กฎ ซึ่งแสดงถึงระดับที่กฎเฉพาะถูกใช้งาน ผลลัพธ์ของชั้นนี้ถูกอธิบายด้วยสมการที่ (13)

$$o_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (13)$$

ชั้นที่ 3 – ชั้นความแข็งแรงการเรียกใช้ที่ปรับปรุง (Normalized Firing Strength Layer): ชั้นที่ 3 มีหน้าที่ในการปรับค่าความแข็งแรงการเรียกใช้ของกฎให้เป็นมาตรฐาน ชั้นนี้คำนวณความแข็งแรงการเรียกใช้ที่ปรับปรุงแล้วสำหรับแต่ละกฎ ซึ่งแสดงด้วย \bar{w}_i ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความแข็งแรงการเรียกใช้ของกฎที่ i ต่อผลรวมของความแข็งแรงการเรียกใช้ของกฎทั้งหมดตามสมการ (14) แสดงการคำนวณความแข็งแรงการเรียกใช้ที่ปรับปรุงแล้ว

$$o_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad (14)$$

ชั้นที่ 4 – ชั้นฟังก์ชันพารามิเตอร์ (Parameter Function Layer): ชั้นที่ 4 มุ่งเน้นไปที่การกำหนดพารามิเตอร์ในรูปแบบของฟังก์ชันของผลลัพธ์จากชั้นสาม ชั้นนี้คำนวณการผลิตรวมโดยการรวมสัญญาณที่เข้ามาทั้งหมดทางพารามิเตอร์ ($p_i x + q_i y + r_i$) เป็นเฉพาะสำหรับชั้นนี้และจะถูกปรับตามผลลัพธ์จากชั้นสาม \bar{w}_i ตามสมการ (15) อธิบายกระบวนการคำนวณพารามิเตอร์

$$o_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (15)$$

ชั้นที่ 5 – ชั้นผลลัพธ์รวม (Overall Output Layer): ชั้นสุดท้ายที่เรียกว่าชั้นที่ 5 มีหน้าที่รวมผลลัพธ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน โหนดเดียวในชั้นนี้คำนวณผลลัพธ์รวมโดยการรวมสัญญาณที่เข้ามาทั้งหมดเช่นเดียวกับที่แสดงในสมการ (16)

$$o_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \sum_i \frac{w_i f_i}{w_i} \quad (16)$$

2.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน้ เมกา 2560 (Microcontroller Arduino Mega 2560)

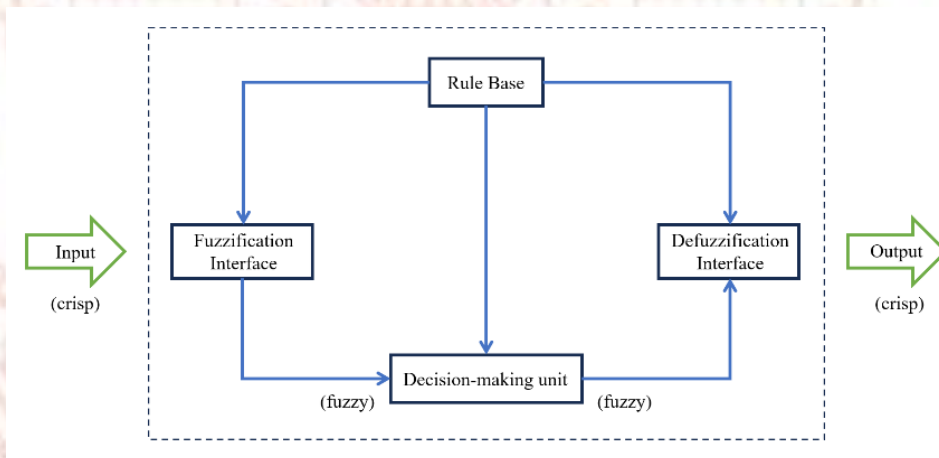
บอร์ดอาดูยโน้ (Arduino Mega 2560) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีฐานที่ใช้ไมโครชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 2560 โปรแกรมแพลตฟอร์มฮาร์ดแวร์นี้ให้ประโยชน์จากความสามารถของไมโครชิปควบคุม Atmega 2560 เพื่อการปฏิบัติงานทางคอมพิวเตอร์และควบคุมงานต่างๆ มีคุณสมบัติและการใช้งานที่หลากหลาย มีทั้งหมด 54 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต โดยที่มีพอร์ต 14 ถูกกำหนดให้ทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุตที่เข้ากันได้กับเทคนิคการปรับความกว้างของช่วงสัญญาณ (Omid et al., 2023) การกำหนดค่านี้ทำให้เหมาะสมสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมที่แม่นยำของสัญญาณแอนะล็อก นอกจากนี้บอร์ดยังมีช่องนำเข้าแอนะล็อกทั้งหมด 16 ช่อง เพื่อให้สามารถรับข้อมูลแอนะล็อกได้ มี 4 พอร์ตซีเรียลฮาร์ดแวร์ (UARTs) การทำงานหลักของบอร์ดนี้ถูกขับเคลื่อนโดยออสซิลเลเตอร์คริสตัล 16 MHz ซึ่งมั่นใจในเรื่องของการจับเวลาและประสิทธิภาพ การเชื่อมต่อยูเอสบี สำหรับการอัปโหลดโปรแกรมและการสื่อสาร แหล่งจ่ายไฟสำหรับการจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอก และปุ่มรีเซ็ตสำหรับควบคุมระบบและวัตถุประสงค์ในการดีบั๊ก (Mariaraja et al., 2023) ความสำคัญอย่างหนึ่งคือความสามารถในการอัปโหลดโปรแกรมโดยตรงผ่านยูเอสบี ความหลากหลายในการจ่ายพลังงานเป็นลักษณะที่สำคัญของอาดูยโน้ สามารถรับพลังงานได้โดยตรงผ่านการเชื่อมต่อยูเอสบี หรืออะแดปเตอร์ (AC-to-DC) รองรับการใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกเพื่อสะดวกต่อการพกพา (Hsiao & Sung, 2020) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 บอร์ดอาดูยโน้ เมกา 2560 (Kitcharoen et al., 2024)

2.2.5 ไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัว (Embedded Fuzzy Logic Library: eFLL)

ไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัวเป็นไลบรารีซอฟต์แวร์มาตรฐานที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานกับระบบฝังตัวโดยเฉพาะ โดยมีเป้าหมายหลักในการทำให้การนำไปใช้งานระบบฟuzzyระบบฝังตัวเป็นไปอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ (Alves et al., 2012) และแสดงในรูปที่ 2.6 สำหรับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนในซีรีส์ ATmega ไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัวเป็นทรัพยากรที่มีค่า ไลบรารีเขียนด้วยภาษาซี ภาษาซีพลัสพลัส สามารถรวมได้อย่างราบรื่นกับโปรเจกต์ใช้อาดูโน แต่ยังคงขยายขอบเขตความสามารถไปยังระบบฝังตัวอื่นๆ ที่เขียนด้วยภาษาซี (Sulistyanto et al., 2018) คุณลักษณะเด่นของไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัว คือความสามารถในการปรับใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน ซึ่งทำได้โดยการแปลงไฟล์ระบบการอนุมานฟuzzy (Fuzzy Inference System - FIS) เป็นไฟล์สเก็ทซ์ของไอดีอี (IDE) สำหรับภาษาโปรแกรมซี พร้อมด้วยไฟล์ส่วนหัวที่จำเป็น การแปลงนี้ทำให้การใช้งานไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัวที่เรียกอย่างเป็นทางการว่า ไลบรารีสมองกลฝังตัว (embedded fuzzy logic library) นั้นง่ายขึ้น ไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัวสอดคล้องกับหลักการของวิธีมันดานี่ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในสาขาของตรรกะฟuzzy (Al-Talb et al., 2023)

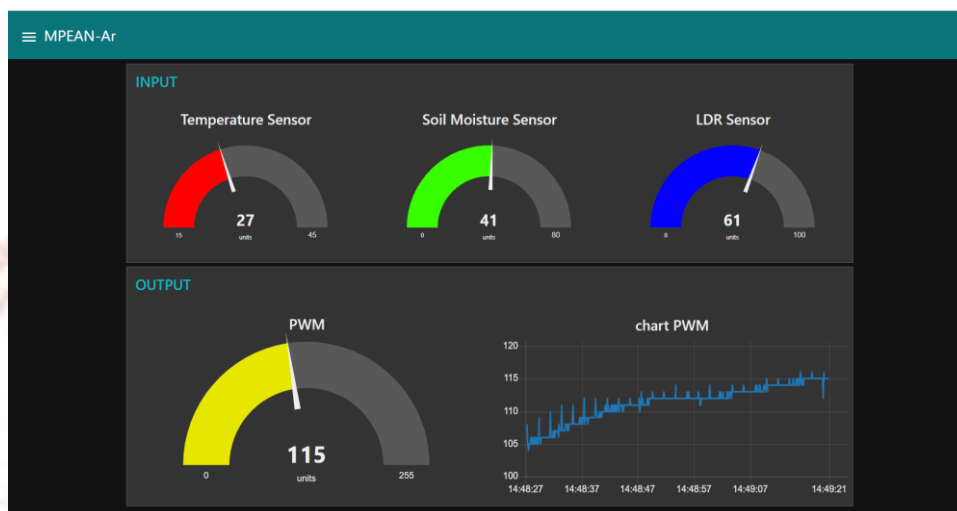


รูปที่ 2.6 การกำหนดค่าพื้นฐานไลบรารีฟuzzyลอจิกแบบฝังตัว (Kitcharoen et al., 2024)

2.2.6 แดชบอร์ดโนดเรด (Dashboard Node-RED: Node-RED)

โนดเรดเป็นเครื่องมือกราฟิกที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเบื้องต้นโดยไอบีเอ็ม (IBM) ที่ออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ เอพีไอ และบริการออนไลน์ ในแบบที่สร้างสรรค์และหลากหลาย ตามที่ได้กล่าวไว้ในเว็บไซต์อย่างเป็นทางการของโนดเรด โนดเรดสร้างขึ้นบนพื้นฐานของโนดเจส (Node.js) ซึ่งเป็นรันไทม์ของจาวาสคริปต์ (Ferrari et al., 2018) และกลายเป็นหนึ่งในโซลูชันหลักสำหรับการสร้างและกำหนดค่าระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) อย่างมีประสิทธิภาพ (Torres et al., 2020) แพลตฟอร์มนี้ช่วยให้ผู้ใช้

สามารถจัดการบล็อกและส่วนประกอบต่างๆ ได้ผ่านทางอินเตอร์เฟซเว็บเบราว์เซอร์ ทำให้สามารถควบคุมและกำหนดค่าได้แบบเรียลไทม์ ผลลัพธ์ของการปฏิสัมพันธ์เหล่านี้มักจะถูกแสดงผ่านแดชบอร์ดบนเว็บ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญภายในระบบนิเวศไอโอที ตามที่แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แดชบอร์ดเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา บนแพลตฟอร์มโนดเรด (Kitcharoen et al., 2024)

2.3 ทฤษฎีทางการศึกษา

2.3.1 ปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งทางการศึกษา (AIoT Education)

การรู้เท่าทันปัญญาประดิษฐ์เป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับนักเรียนในยุคดิจิทัล การศึกษาด้านปัญญาประดิษฐ์ ช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะที่สำคัญและมีความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ การสอนความรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ควรใช้วิธีการที่หลากหลายและบูรณาการกับหลักสูตรการศึกษาด้านเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และเตรียมความพร้อมให้นักเรียนสำหรับอนาคตที่เกี่ยวข้องกับปัญญาประดิษฐ์ (Stolpe & Hallström, 2024) การบูรณาการเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่ง (AIoT) ในการสอนมีประสิทธิภาพในการเพิ่มทรัพยากรการสอนและการติดตามการมีส่วนร่วมของนักเรียน การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งช่วยให้ครูสามารถปรับการสอนได้ตามความต้องการของนักเรียนและเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ แม้ว่าจะมีความท้าทายบางประการ แต่การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งในการศึกษาเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของนักเรียน (Ferreira et al., 2024) เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งช่วยให้การเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างแม่นยำและต่อเนื่อง ทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมและการโต้ตอบของครูและนักเรียนได้อย่างละเอียด ซึ่งมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการศึกษาในอนาคต (Zhao et al., 2024) การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งในการศึกษาเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการเรียนรู้ของนักเรียนและการปรับ

การสอนตามความต้องการของนักเรียนแบบเรียลไทม์ แม้ว่าจะมีความท้าทายบางประการ แต่การลงทุนในเทคโนโลยีนี้มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของการศึกษาในอนาคต (Rejeb & Kalboussi, 2024) ปัญหาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งยังมีการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ส่วนในงานทางการศึกษา เช่น การพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาที่มีศักยภาพในการเตรียมนักเรียนให้พร้อมสำหรับการทำงานในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับปัญญาประดิษฐ์ การประเมินผลแสดงให้เห็นว่าหลักสูตรนี้ช่วยเพิ่มความรู้และทักษะของนักเรียน (Tsai et al., 2022) การนำการศึกษาด้านปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในหลักสูตรเทคโนโลยีสำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาในประเทศเกาหลีใต้มีผลต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อการพัฒนาทักษะและความรู้ด้านเทคโนโลยีของนักเรียน หลักสูตรนี้ไม่เพียงแต่เพิ่มความสนใจและความมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ แต่ยังเตรียมความพร้อมให้นักเรียนสำหรับอนาคตที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ อย่างมีประสิทธิภาพ (Park & Kwon, 2024) การนำหลักสูตรปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่ง มาใช้ในการเรียนการสอนของนักเรียนมัธยมปลายส่งผลให้ผลการเรียนรู้ ทักษะการคิดวิเคราะห์ และทัศนคติของนักเรียนดีขึ้น หลักสูตรนี้เป็นประโยชน์และสามารถเพิ่มโอกาสในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะที่จำเป็นสำหรับอนาคต (Tsai et al., 2021) การใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่ง ทำให้การสอนมีประสิทธิภาพในการเพิ่มทักษะการคิดเชิงคำนวณและการเข้าใจแนวคิดเทคโนโลยีของนักเรียน การใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งในการศึกษาเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของนักเรียน (Lin et al., 2021) การใช้เทคโนโลยีจำลองภาพเสมือนจริงที่ใช้ภาพพล็อตในการสอน ปัญหาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งมีประสิทธิภาพในการเพิ่มทักษะการคิดเชิงคำนวณและการเข้าใจแนวคิดปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งของนักเรียน การใช้เทคโนโลยีจำลองภาพเสมือนจริงในการศึกษาเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของนักเรียน (Lai et al., 2021)

2.3.2 การเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-based Learning: IBL)

การเรียนรู้ที่ใช้การสืบเสาะ (IBL) เป็นแนวทางการศึกษาที่ให้ความสำคัญกับการสำรวจและการค้นคว้าด้วยตนเอง มีรากฐานมาจากปรัชญาของนักศึกษามีอิทธิพลมากมาย เช่น จอน ดาว์วี (Dewey, 1916) ที่กล่าวว่า “การเรียนรู้ควรเกิดจากประสบการณ์ที่แท้จริงและการมีส่วนร่วมอย่างแท้จริง” ฌอง เพียเจต์ (Piaget, 1952) กล่าวว่า “เด็กเรียนรู้ดีที่สุดเมื่อพวกเขาสำรวจและมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมรอบตัวของพวกเขา” และ เลฟ ไวกอตสกี (Vygotsky, 1978) กล่าวว่า “การให้นักเรียนทำงานที่สามารถทำได้ด้วยความช่วยเหลือและสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่สนับสนุน” ซึ่งการเรียนรู้แบบสืบเสาะมีจุดมุ่งหมายในการทำให้ผู้เรียนมีพลังและเข้ามามีส่วนร่วมอย่างแท้จริงในกระบวนการสืบเสาะ วิธีการสอนนี้ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากความสามารถในการส่งเสริมความอยากรู้ การคิดวิเคราะห์ และความเข้าใจลึกซึ้งในหัวข้อที่เรียนรู้ ดังนี้

การสังเกตและการค้นคว้า นักเรียนถูกกระตุ้นให้สังเกตและค้นคว้าเอง ซึ่งช่วยในการพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีระบบ การสร้างคำถาม นักเรียนถูกส่งเสริมให้สร้างคำถามขึ้นมาเอง ทำให้การเรียนรู้เป็นไปในทิศทางที่ตนเองสนใจ การทดลองและการสร้างผลงาน นักเรียนมีโอกาสดลองและสร้างผลงานตามความคิดสร้างสรรค์ของตนเอง ในยุคปัจจุบันเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการเรียนรู้ที่ใช้การสืบเสาะ เครื่องมือเชิงกราฟิก ทำให้นักเรียนสามารถสร้างและปรับแต่งระบบได้อย่างสร้างสรรค์ ซึ่งการเรียนรู้แบบสืบเสาะส่งผลให้นักเรียนพัฒนาทักษะทางการคิด การสังเกต การแก้ปัญหา และการทำงานเป็นทีม และช่วยพัฒนาการเรียนรู้ตลอดชีวิต

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	สรุปแนวทางบทความวิจัย
(Hu et al., 2021), (Zhao & Lian, 2022), (Zhu et al., 2021), (Zhang et al., 2022), (Liu et al., 2022), (Pajpach et al., 2022), (Görgülü Ari & Meço, 2021)	ปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่ง (AIoT: Artificial Intelligence of Things) การผสานปัญญาประดิษฐ์ (AI) กับอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) เพื่อสร้างระบบที่สามารถวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและอัตโนมัติ คล้ายคลึงกับความคิดของมนุษย์ ทำให้เกิดความสามารถในการเรียนรู้และปรับตัวได้ในหลากหลายสถานการณ์
(Bullis et al., 2021), (Sari et al., 2022), (Budi et al., 2021), (Medeiros et al., 2018), (Roumen & Fernaeus, 2021), (Tupac-Yupanqui et al., 2022), (Ueyama et al., 2022), (Vidal et al., 2022), (Dewey, 1916), (Piaget, 1952), (Vygotsky, 1978)	สะเต็มศึกษา (STEM) ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการแก้ปัญหา การปฏิบัติ และความคิดสร้างสรรค์ โดยเน้นการมีส่วนร่วมและการเรียนรู้เชิงสำรวจผ่านแนวทางการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (IBL) ซึ่งส่งเสริมการคิดวิเคราะห์และการเรียนรู้จากประสบการณ์จริง
(Stolpe & Hallström, 2024), (Ferreira et al., 2024), (Zhao et al., 2024), (Rejeb & Kalboussi, 2024), (Tsai et al., 2022), (Park & Kwon, 2024), (Tsai et al., 2021), (Lin et al., 2021), (Lai et al., 2021)	การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ในทุกสรรพสิ่งในการศึกษา ช่วยให้นักเรียนพัฒนาทักษะสำคัญ เช่น การคิดเชิงคำนวณและการวิเคราะห์ โดยครูสามารถปรับการสอนได้ตามความต้องการแบบเรียลไทม์ เทคโนโลยีเสมือนจริงและ ช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมและผลการเรียนรู้ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	สรุปแนวทางบทความวิจัย
(Guzmán-Fernández et al., 2021), (Sarı et al., 2022), (Lee, 2020), (Makan et al., 2021), (Sarhan, 2020), (Omid et al., 2023), (Mariaraja et al., 2023), (Hsiao & Sung, 2020), (Alves et al., 2012), (Sulistyanto et al., 2018), (Al-Talb et al., 2023)	บอร์ดอาคิโน เมกา เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับคามนิยมสูง เนื่องจากมีราคาต่ำ ใช้งานง่าย มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตหลากหลาย รวมถึง 14 พอร์ตที่รองรับ PWM และ 16 ช่องแอนะล็อก อีกทั้งยังสามารถอัปโหลดโปรแกรมผ่าน USB และรองรับแหล่งพลังงานหลายรูปแบบ ทำให้เหมาะสำหรับงานควบคุมที่แม่นยำ
(Setyawan et al., 2022), (Songara & Patel, 2022), (Bhoi et al., 2022), (Suresh et al., 2022), (Deberneh & Kim, 2018), (Olive, 2017), (Montgomery, 2017), (De Silva, 2015)	การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR) ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อพยากรณ์ปริมาณสารละลายในระบบไฮโดรโปนิคส์จากค่าปริมาณน้ำและการทำงานของปั๊ม นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบเซนเซอร์ดินสำหรับการชลประทานอัจฉริยะ และการใช้ร่วมกับการตรวจสอบและคาดการณ์กำลังขับจากคลื่นทะเล
(Sheikh Ahmadi et al., 2020), (Delavari & Naderian, 2020), (de Moura Oliveira et al., 2020), (Sutyasadi & Wicaksono, 2020), (Daouadi et al., 2020), (Kennedy & Eberhart, 1995), (Eberhart & Kennedy, 1995), (Shi & Eberhart, 1998), (Bansal et al., 2011)	วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของโซลาร์เซลล์และการควบคุมอินเวอร์เตอร์ไมโครกริดที่มีข้อบกพร่อง นอกจากนี้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ยังถูกนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีและระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและลดความผิดพลาดของระบบ
(Songara & Patel, 2022), (Sanjaya et al., 2019), (Pandey et al., 2019), (Mujiarto et al., 2019), (Jang, 1993), (Takagi & Sugeno, 1985), (Hammam et al., 2022)	ระบบอนุมานนิเวศที่ปรับตัวเอง (ANFIS) ถูกใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปริมาณน้ำในดินและการออกแบบแขนหุ่นยนต์ที่ใช้เซอร์โวควบคุมการเคลื่อนไหว นอกจากนี้ระบบอนุมานนิเวศที่ปรับตัวเอง ยังถูกนำมาใช้ในระบบนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่และการควบคุมแขนหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มความแม่นยำ

บทที่ 3

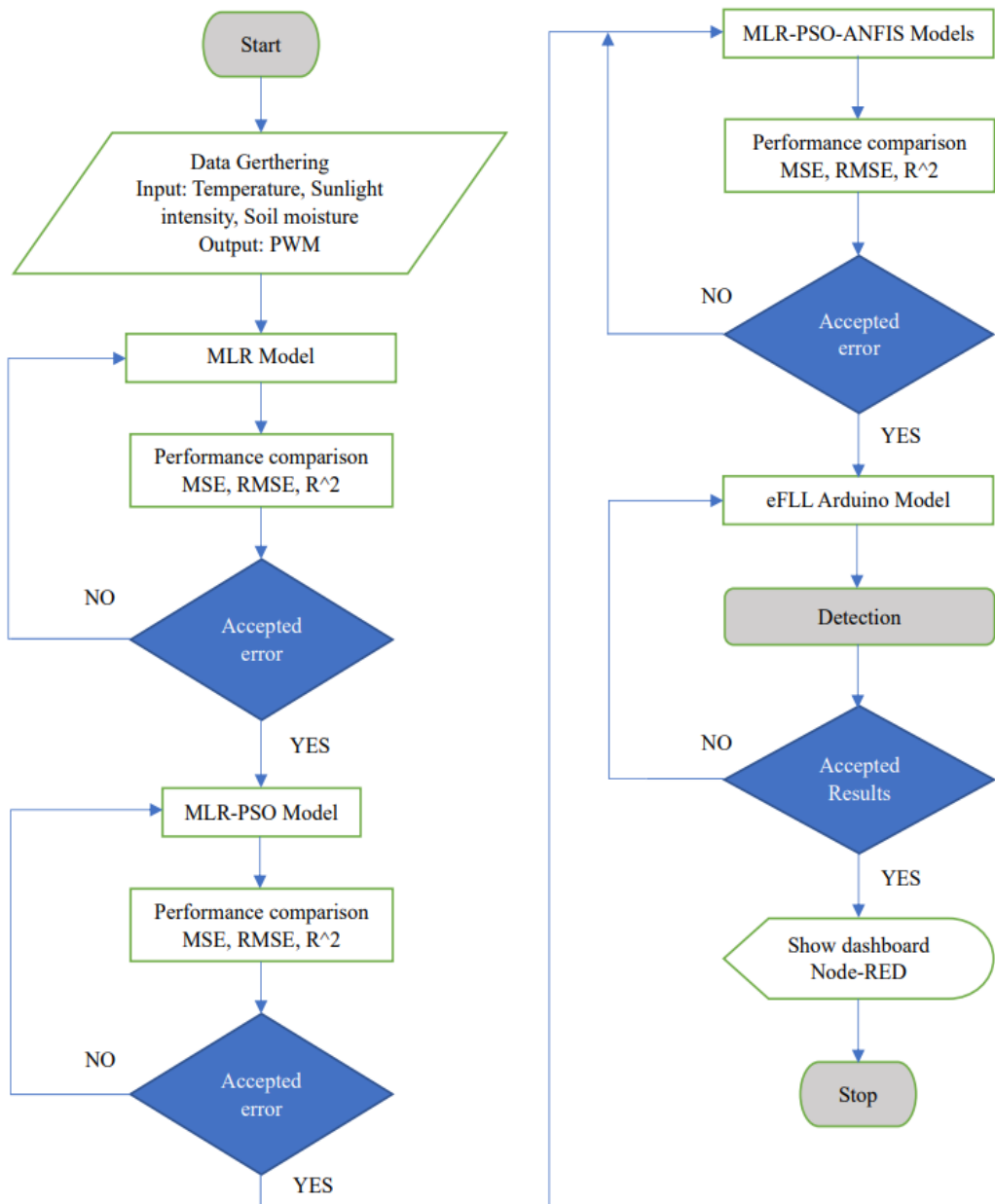
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรมศึกษา มีวิธีการดำเนินการ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วิธีดำเนินการวิจัยทางวิศวกรรม และส่วนที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัยทางการศึกษา ดังนี้

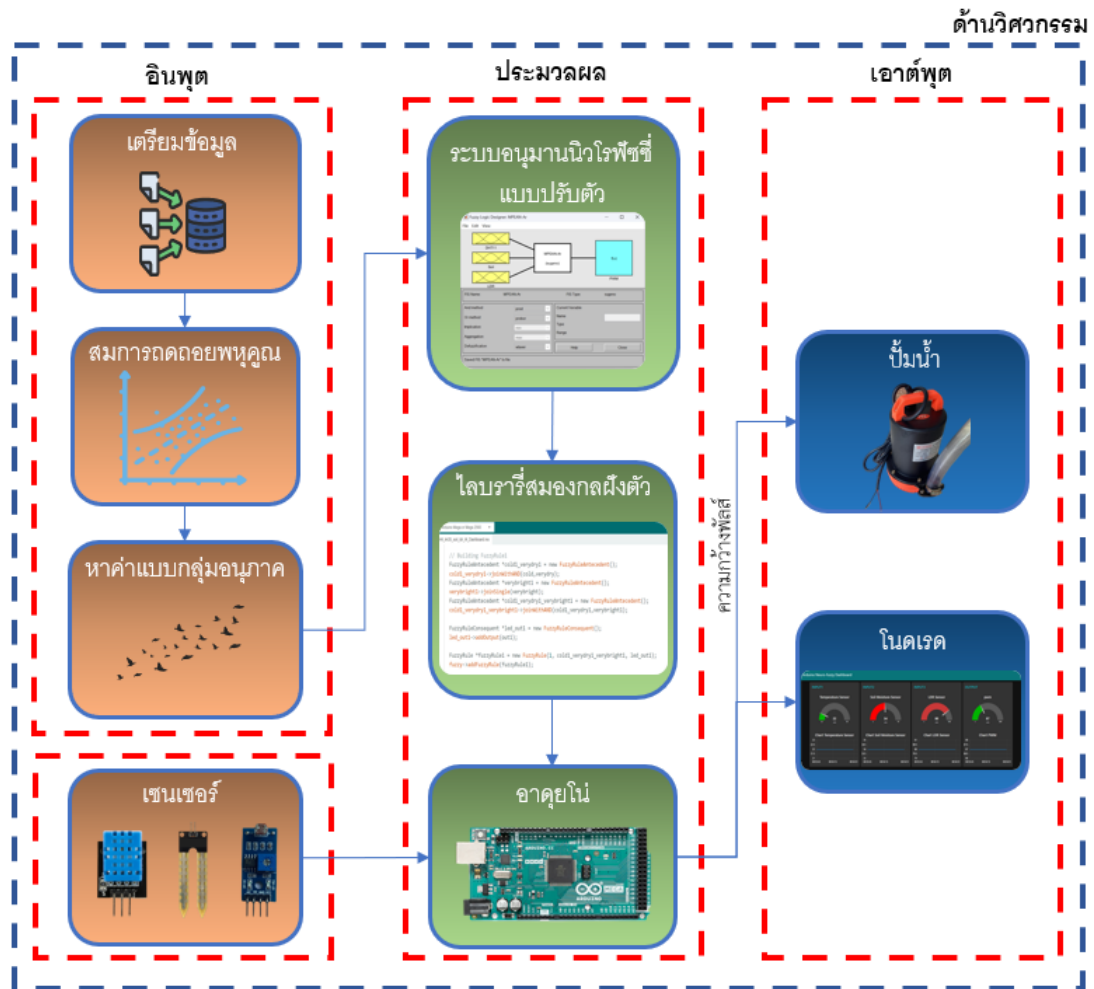
3.1 วิธีดำเนินการวิจัยทางวิศวกรรม

3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทางวิศวกรรม

การวิจัยเริ่มต้นด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติอากาศอากาศภายในประเทศตามกรมอุตุนิยมวิทยาและรวมถึงเงื่อนไขความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชและปริมาณความเข้มของแสงแสงอาทิตย์ในประเทศไทย การออกแบบการวิจัยถูกสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลนี้เพื่อสร้างชุดข้อมูล ชุดข้อมูลเริ่มต้นถูกตรวจสอบผ่านสมการการถดถอยพหุคูณ (MLR) และความแม่นยำของโมเดลถูกประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดเช่น ค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE) ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R-squared) ต่อมานำสมการถดถอยพหุคูณที่ยอมรับได้มาปรับปรุงค่าโดยใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวปรับค่าความแม่นยำ และถูกประเมินอีกครั้งโดยใช้ ค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เพื่อกำหนดค่าที่ดีที่สุดจากการปรับพารามิเตอร์ นำค่า MLR-PSO ที่ปรับปรุงแล้วจะถูกฝึกโดยใช้เครื่องมือออกแบบนิวโร-ฟิชชีภายในซอฟต์แวร์แมทแลป ความแม่นยำของโมเดลจะถูกประเมินอีกครั้งโดยใช้ตัวชี้วัดที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ ฟังก์ชันสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดจะถูกกำหนดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และนำไปใช้สร้างกฎสำหรับระบบฟิชชีลอจิกฟัซซี่ (eFLL) ตามที่กำหนด หลังจากการเขียนโค้ดเรียบร้อยแล้วภายในอาดุยโน ไอทีอี ทำการทดสอบความสามารถในการตรวจจับ และผลลัพธ์จริงถูกเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแมทแลป หากผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ และทำการสร้างระบบการแสดงผลผ่านทางแดชบอร์ดโดยใช้แพลตฟอร์มโนดเรด ซึ่งสิ้นสุดการสร้างเครื่องมือวิจัยทางวิศวกรรมของวิจัยนี้ จากนั้นนำเครื่องมือที่ได้สร้างขึ้นไปเก็บข้อมูลในสถานที่จริงชื่อฟาร์มข้าวหอม ตำบลห้วยกระบอก อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ในระหว่างวันที่ 21-30 เมษายน พ.ศ.2566 ในระหว่างการดำเนินงานของการศึกษานี้โดยใช้คอมพิวเตอร์ รุ่น ASUS Vivo book ที่ใช้เป็นเครื่องมือเก็บข้อมูล 12th Gen Intel® Core™ i7-12700H 2.30 GHz ram 16.0 GB ตามรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ฟังงานทางวิศวกรรมเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา (Kitcharoen et al., 2024)



รูปที่ 3.2 การดำเนินการวิจัยทางวิศวกรรม

3.1.2 การสร้างการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)

ในการวิจัยนี้ได้มีการศึกษาดำเนินการโดยมีตัวแปรนำเข้าสามตัวแปร ตัวแปรแรกคือ อุณหภูมิ ซึ่งถูกจำแนกเป็นสี่ระดับ ได้แก่ หนาว อบอุ่น ร้อน และร้อนมาก โดยมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศาเซลเซียส ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ตัวแปรที่สอง คือ ความชื้นของดิน ซึ่งแบ่งออกเป็นสี่ระดับ ได้แก่ แห้งมาก แห้ง ชื้น และเปียก โดยมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 70 ตามระดับความชื้นของดินที่เหมาะสมสำหรับการทำเกษตรกรรมในประเทศไทย ตัวแปรที่สาม คือ ความเข้มของแสง ซึ่งถูกจำแนกเป็นสี่กลุ่ม ได้แก่ สว่างมาก สว่าง มีด และมีดมาก โดยมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 100 ตามสภาพแสงธรรมชาติ ตัวแปรผลลัพธ์ถูกแสดงโดยค่า PWM ซึ่งมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 255 ขั้นตอนต่อไปมีการใช้ข้อมูลเหล่านี้เพื่อสร้างสมการการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร วัตถุประสงค์คือการทำนายและประเมินความแม่นยำของข้อมูลโดยใช้สมการ MLR ในการวิเคราะห์ การวิจัยได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรผลลัพธ์อย่างมีระบบ ด้วยจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างโมเดลการทำนายที่มีประสิทธิภาพสำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง โมเดลนี้คือ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

โดยเริ่มต้นจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสง และออกแบบเงื่อนไขการทำงาน ตามตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 3.1 การกำหนดพารามิเตอร์

INPUT						OUTPUT
x1 = อุณหภูมิ		x2 = ความชื้น		x3 = ความเข้มแสง		y =PWM
15	เย็น	0	แห้งมาก	0	สว่างมาก	0-255
25	อบอุ่น	30	แห้ง	20	สว่าง	
35	ร้อน	45	ชื้น	50	มืด	
45	ร้อนมาก	70	เปียก	100	มืดมาก	

ตารางที่ 3.2 การออกแบบเงื่อนไขการทำงาน

ลำดับ	x1	x2	x3	y
1	15	0	0	232.05
2	15	0	25	224.4
3	15	0	50	216.75
4	15	0	100	209.1
5	15	25	0	168.3
6	15	25	25	160.65
7	15	25	50	153
8	15	25	100	145.35
9	15	45	0	104.55
10	15	45	25	96.9
11	15	45	50	89.25
12	15	45	100	81.6
13	15	70	0	7.65
14	15	70	25	5.1

ตารางที่ 3.2 การออกแบบเงื่อนไขการทำงาน (ต่อ)

15	15	70	50	2.55
16	15	70	100	0
17	25	0	0	239.7
18	25	0	25	232.05
19	25	0	50	224.4
20	25	0	100	216.75
21	25	25	0	175.95
22	25	25	25	168.3
23	25	25	50	160.65
24	25	25	100	153
25	25	45	0	112.2
26	25	45	25	104.55
27	25	45	50	96.9
28	25	45	100	89.25
29	25	70	0	12.75
30	25	70	25	10.2
31	25	70	50	7.65
32	25	70	100	5.1
33	35	0	0	247.35
34	35	0	25	239.7
35	35	0	50	232.05
36	35	0	100	224.4
37	35	25	0	183.6
38	35	25	25	175.95
39	35	25	50	168.3
40	35	25	100	160.65
41	35	45	0	119.85
42	35	45	25	112.2
43	35	45	50	104.55

ตารางที่ 3.2 การออกแบบเงื่อนไขการทำงาน (ต่อ)

44	35	45	100	96.9
45	35	70	0	17.85
46	35	70	25	15.3
47	35	70	50	12.75
48	35	70	100	10.2
49	45	0	0	255
50	45	0	25	247.35
51	45	0	50	239.7
52	45	0	100	232.05
53	45	25	0	191.25
54	45	25	25	183.6
55	45	25	50	175.95
56	45	25	100	168.3
57	45	45	0	127.5
58	45	45	25	119.85
59	45	45	50	112.2
60	45	45	100	104.55
61	45	70	0	22.95
62	45	70	25	20.4
63	45	70	50	17.85
64	45	70	100	15.3

หลังจากกำหนดตัวแปรจากชุดข้อมูลแล้ว ทำการทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อกันของตัวแปร อุณหภูมิสภาพอากาศ ตัวแปรความชื้นในดิน ตัวแปรปริมาณความเข้มแสง เพื่อประเมินผลผ่านทางค่า P-Value โดยใช้โปรแกรมมินิแทป เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการทำนายสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตามรูปที่ 3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยโปรแกรมมินิแทป

Regression Analysis: y versus x1, x2, x3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	428809	142936	2121.29	0.000
x1	1	3934	3934	58.38	0.000
x2	1	421735	421735	6258.89	0.000
x3	1	3140	3140	46.60	0.000
Error	60	4043	67		
Total	63	432852			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
8.20864	99.07%	99.02%	98.93%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	226.73	3.47	65.30	0.000	
x1	0.7012	0.0918	7.64	0.000	1.00
x2	-3.1538	0.0399	-79.11	0.000	1.00
x3	-0.1894	0.0278	-6.83	0.000	1.00

Regression Equation

$$y = 226.73 + 0.7012 x_1 - 3.1538 x_2 - 0.1894 x_3$$

รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยโปรแกรมมินิแทป

เมื่อทำการทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อกันของตัวแปรอุณหภูมิสภาพอากาศ ตัวแปรความชื้นในดิน ตัวแปรปริมาณความเข้มแสง เพื่อประเมินผลผ่านทางค่า P-Value โดยใช้โปรแกรมมินิแทปเรียบร้อยแล้ว นำชุดข้อมูลที่ได้มาเขียนอยู่ในรูปแบบสมการสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในการหาค่าประมาณการที่เหมาะสมที่สุดกับสัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอยทางการคำนวณของโปรแกรมแมทแลปผ่านทางชุดคำสั่ง ดังนี้

```
>> X=A
>> y=target
>> Xt=X'
>> XtX=Xt*X
>> invXtX=inv(XtX)
>> XtY=Xt*y
>> b=invXtX*XtY
```

โดยมีการใช้สมการเมทริกซ์ X และ Y คือ

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 15 & 0 & 0 \\ 1 & 15 & 0 & 25 \\ 1 & 15 & 0 & 50 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 45 & 70 & 100 \end{bmatrix}_{64 \times 4}, \quad Y = \begin{bmatrix} 232.05 \\ 224.40 \\ 216.75 \\ \vdots \\ 15.30 \end{bmatrix}_{64 \times 1}$$

ค่าเมทริกซ์ $X'X$ คือ

$$X'X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 15 & 15 & 15 & \dots & 45 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 70 \\ 0 & 25 & 50 & \dots & 100 \end{bmatrix}_{4 \times 64} \begin{bmatrix} 1 & 15 & 0 & 0 \\ 1 & 15 & 0 & 25 \\ 1 & 15 & 0 & 50 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 45 & 70 & 100 \end{bmatrix}_{64 \times 4}$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 64 & 1920 & 2240 & 2800 \\ 1920 & 65600 & 67200 & 84000 \\ 2240 & 67200 & 120800 & 98000 \\ 2800 & 84000 & 98000 & 210000 \end{bmatrix}_{4 \times 4}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.1789 & -0.0037 & -0.0008 & -0.0005 \\ -0.0037 & 0.0001 & 0 & 0 \\ -0.0008 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0005 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4}$$

ค่าเวกเตอร์ $X'y$ คือ

$$X'y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 15 & 15 & 15 & \dots & 45 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 70 \\ 0 & 25 & 50 & \dots & 100 \end{bmatrix}_{4 \times 64} \begin{bmatrix} 232.05 \\ 224.4 \\ 216.75 \\ \vdots \\ 15.3 \end{bmatrix}_{64 \times 1}$$

$$X'y = \begin{bmatrix} 8260 \\ 253470 \\ 155450 \\ 344890 \end{bmatrix}_{4 \times 1}$$

ค่าประมาณการของสัมประสิทธิ์ β คือ

$$b = (X'X)^{-1} X'y$$

$$b = \begin{bmatrix} 0.1789 & -0.0037 & -0.0008 & -0.0005 \\ -0.0037 & 0.0001 & 0 & 0 \\ -0.0008 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0005 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \begin{bmatrix} 8260 \\ 253470 \\ 155450 \\ 344890 \end{bmatrix}_{4 \times 1}$$

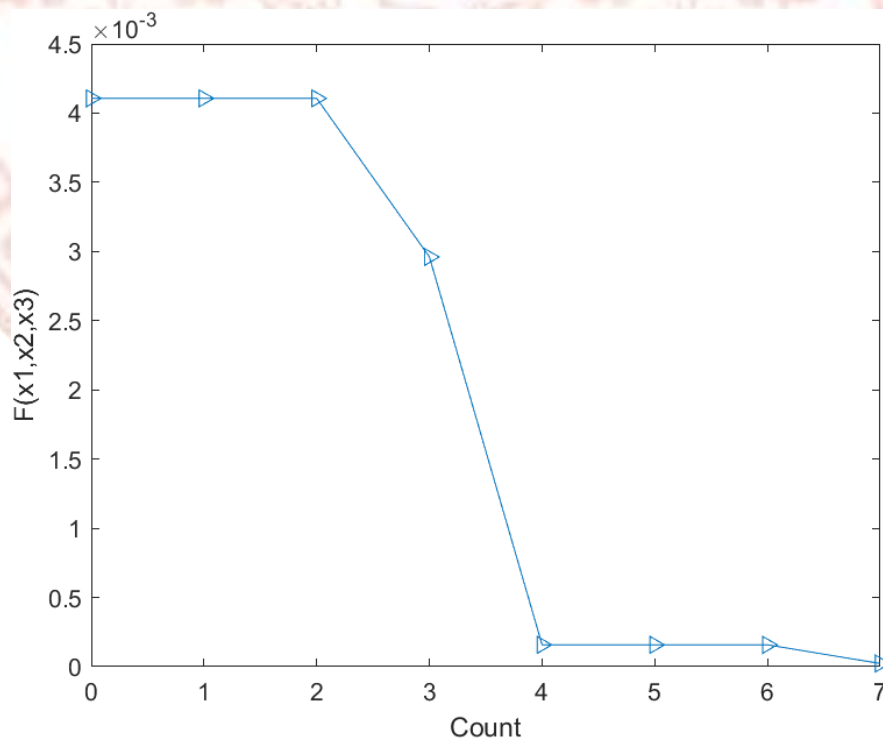
$$b = \begin{bmatrix} 226.7275 \\ 0.7012 \\ -3.1538 \\ -0.1894 \end{bmatrix}_{4 \times 1}$$

ค่าประมาณการที่เหมาะสมที่สุดกับสัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย คือ

$$\hat{y} = 226.7275 + 0.7012x_1 - 3.1538x_2 - 0.1894x_3$$

3.1.3 ปรับค่าการค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO)

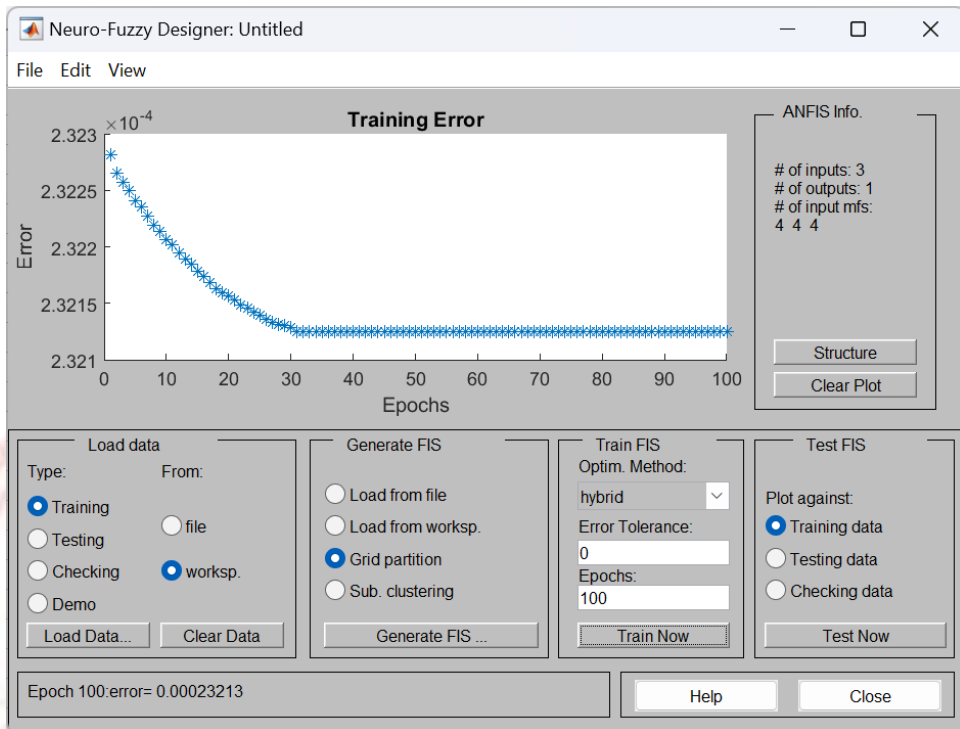
ในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค เมื่อได้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (MLR) ที่ถูกปรับให้สัมประสิทธิ์มีความเหมาะสมที่สุด คือ $\hat{y} = 226.7275 + 0.7012x_1 - 3.1538x_2 - 0.1894x_3$ กระบวนการจะเกี่ยวข้องกับการปรับค่าเหล่านี้ผ่านการค้นหาแบบกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสม ทำได้โดยการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามค่า y จะคำนวณค่าของตัวแปรอินพุต x_1 (อุณหภูมิ), x_2 (ความชื้นในดิน) และ x_3 (ความเข้มของแสงธรรมชาติ) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลและปรับปรุงความแม่นยำของข้อมูลในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้ค่าน้ำหนักความเฉื่อยคงที่จะถูกตั้งไว้ที่ 0.7 มีการตั้งค่าของ c_1, c_2 จะถูกใช้ค่าเป็น 2 และมีการตั้งค่าของ r_1, r_2 จะถูกสร้างเป็นตัวเลขแบบสุ่มที่กระจายสม่ำเสมอภายในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งใช้เพื่อกำหนดเวกเตอร์ความเร็ว $v_i^{(k)}$ และตำแหน่งของอนุภาค $x_i^{(k+1)}$ โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อกำหนดค่าที่ดีที่สุดสำหรับ x_1, x_2 และ x_3 เพื่อลดค่าความผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 3.4



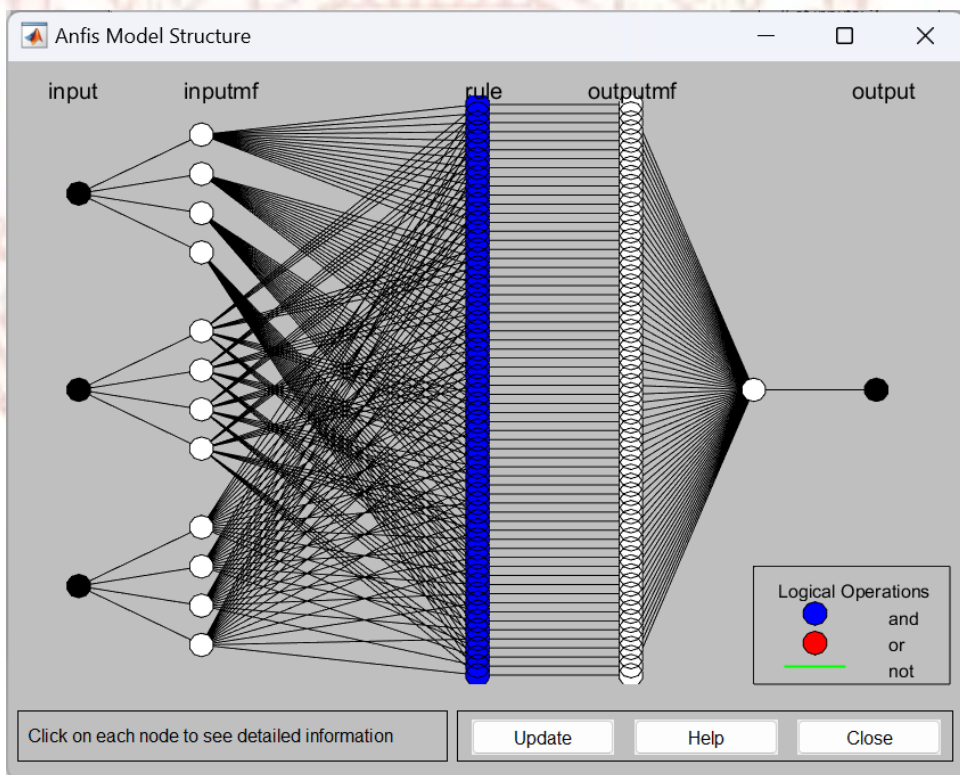
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงข้อผิดพลาดของตัวแปร x_1, x_2 และ x_3 (Kitcharoen et al., 2024)

3.1.4 การออกแบบระบบอนุมานนิเวโรฟฟuzzyแบบปรับตัวได้ (Adaptive neuro fuzzy inference system: ANFIS)

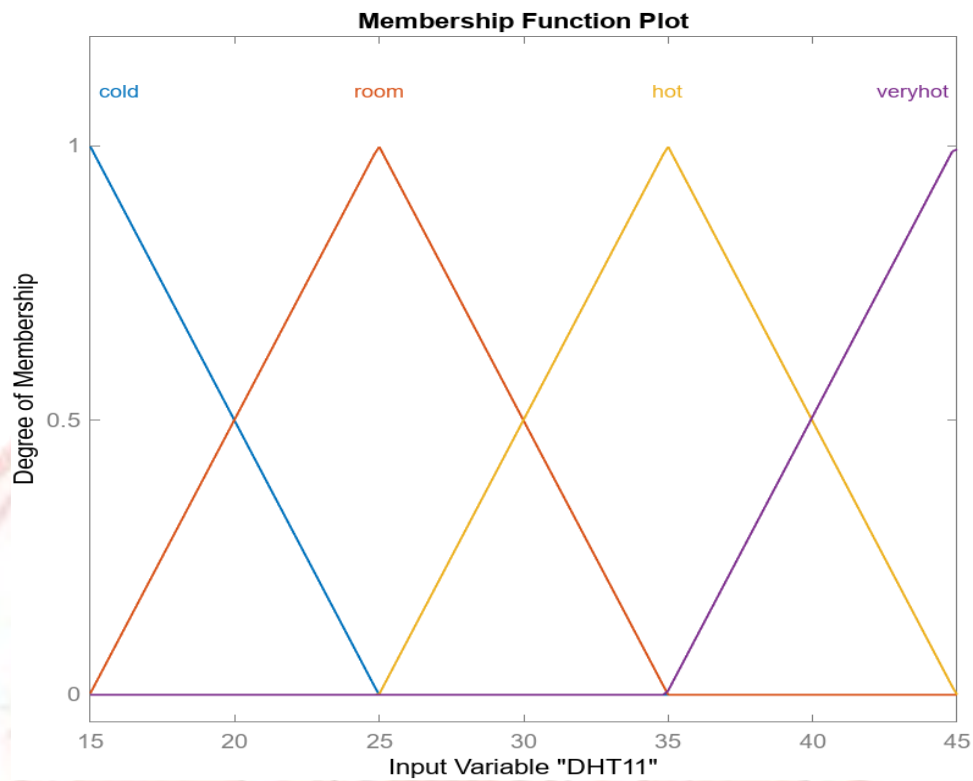
ออกแบบระบบอนุมานนิเวโรฟฟuzzyแบบปรับตัวได้ (Adaptive neuro fuzzy inference system: ANFIS) ออกแบบจากการสร้างสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) และปรับค่าความแม่นยำด้วยการค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO) นำข้อมูลจากการปรับค่าจากด้วย MLR-PSO มาทำการออกแบบสร้างตัวแปรเพื่อเทรนค่า และทดสอบ fuzzy inference systems ในแอปพลิเคชัน Neuro-Fuzzy Designer จาก Fuzzy Logic Toolbox 3.0 ซึ่งอยู่ในโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2022b โดยทำการกำหนดชื่อตัวแปรข้อมูลที่ต้องการเทรนค่าใน workspace ในโปรแกรม MATLAB จากนั้นทำการกดเปิด แอปพลิเคชัน Neuro-Fuzzy Designer ขึ้นมา ทำการเลือกข้อมูลที่ต้องการ Training เลือกข้อมูลที่ต้องการใช้จาก workspace และทำการเลือก Load data จากนั้นทำการเลือกตัวแปรที่ตั้งชื่อไว้ จากนั้นทำการตั้งค่า Generate FIS โดยการเลือก INPUT ของจำนวน Number of MFs เลือกรูปแบบของ MF Type โดยเลือกรูปแบบ trimf และเลือก OUTPUT รูปแบบของ MF Type โดยเลือกรูปแบบ constant จากนั้นทำการเลือก Train FIS จำนวน Epochs และทำการกด Train Now เพื่อทำการเทรนค่าตามคำสั่งทั้งหมดที่ได้ตั้งค่าก่อนหน้านี้ ตามรูปที่ 3.5 เมื่อทำการเทรนค่าเรียบร้อยแล้วจะสามารถเห็นถึงโครงสร้างโมเดลที่ทำการออกแบบ ตามรูปที่ 3.6 โดยมี number of inputs = 3, number of outputs = 1 ตัวแปรที่1 อุณหภูมิ มีจำนวน number of MFs = 4 ตามรูปที่ 3.7 ตัวแปรที่ 2 ความชื้นดิน มีจำนวน number of MFs = 4 ตามรูปที่ 3.8 ตัวแปรที่3 ความเข้มแสง มีจำนวน number of MFs = 4 ตามรูปที่ 3.9 number of output PWM = 64 ตามรูปที่ 3.10 MF type = trimf, number of epochs = 100, ANFIS info: number of nodes = 158, number of linear parameters = 64, number of nonlinear parameters = 36, total number of parameters = 100, number of training data pairs = 64, number of fuzzy rules = 64 ตามรูปที่ 3.11



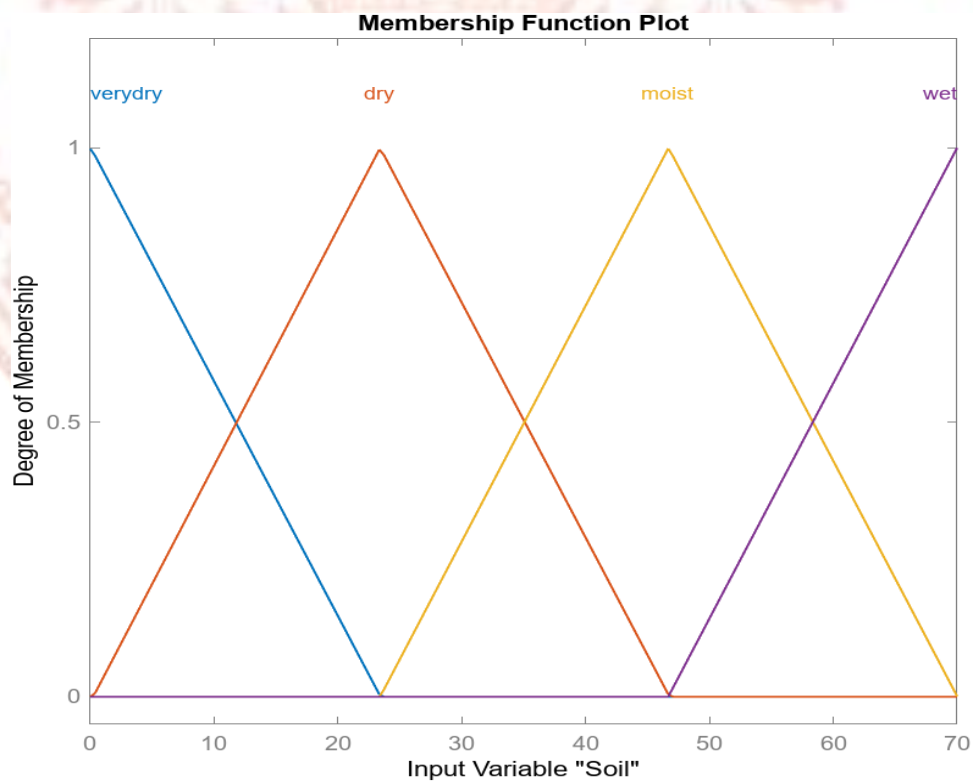
รูปที่ 3.5 การตั้งค่าการออกแบบนิวโร-ฟัซซี่ (Kitcharoen et al., 2024)



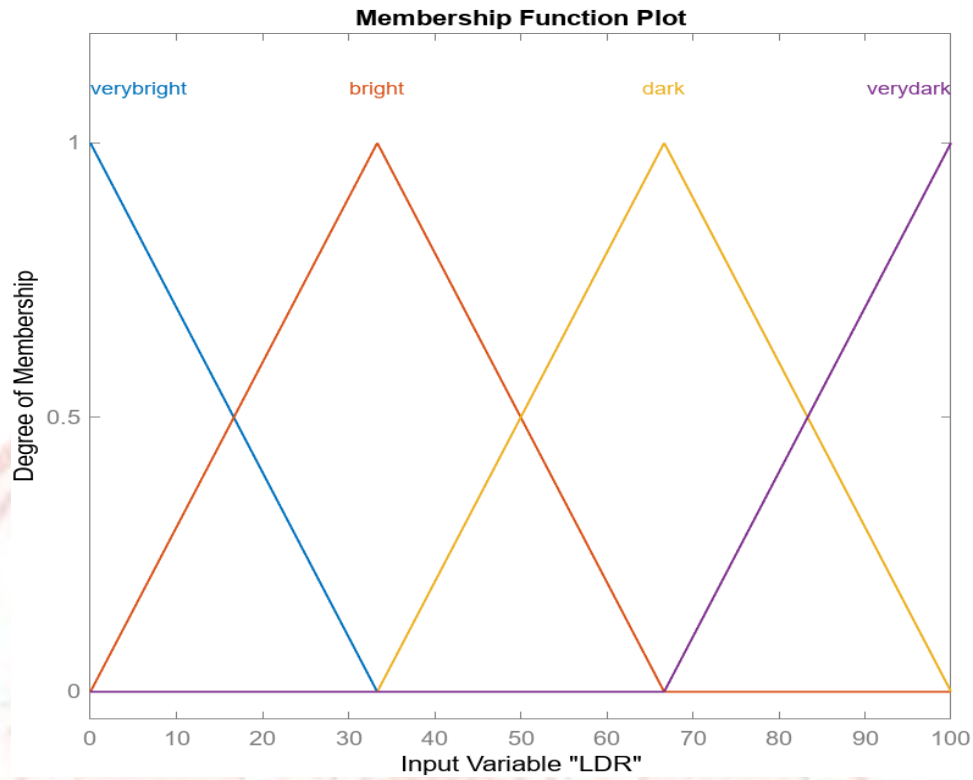
รูปที่ 3.6 โครงสร้างระบบอนุมานฟัซซี่แบบปรับตัวเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา (Kitcharoen et al., 2024)



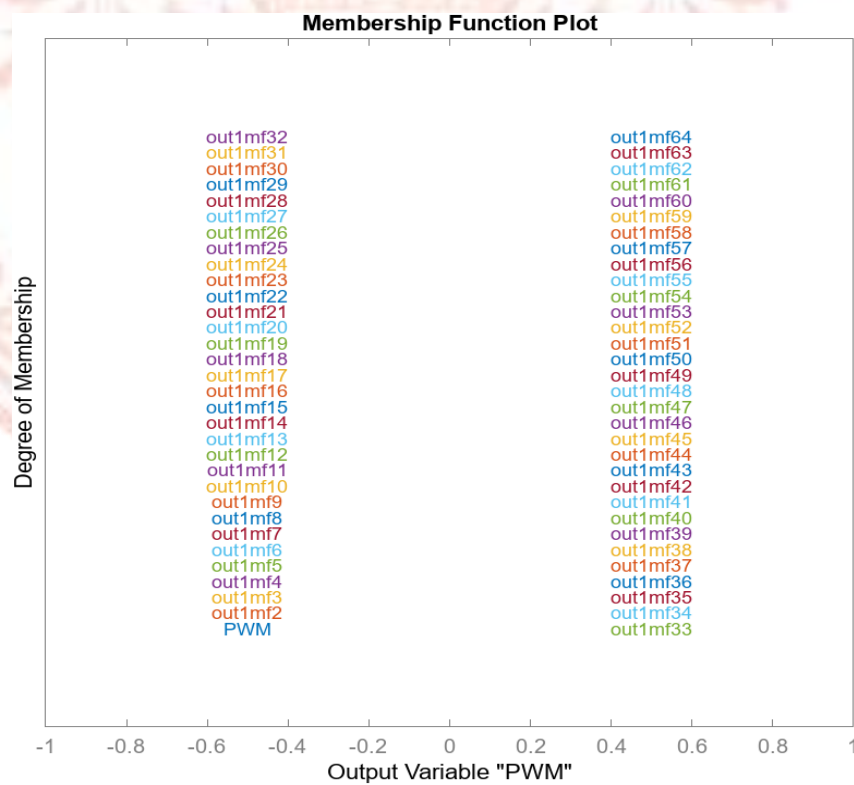
รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรอินพุตที่ 1 อุณหภูมิ (Kitcharoen et al., 2024)



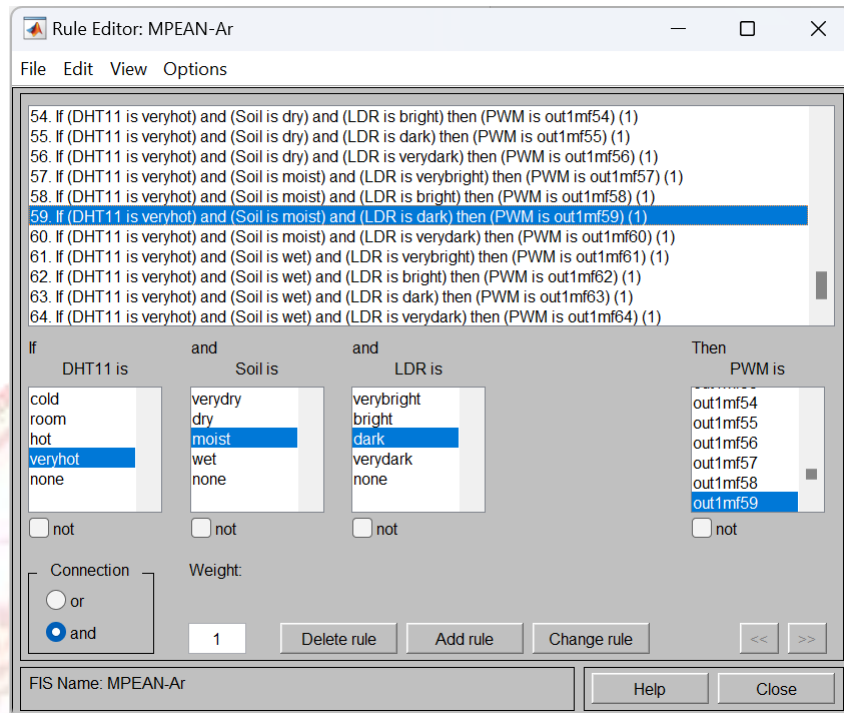
รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรอินพุตที่ 2 ความชื้นดิน (Kitcharoen et al., 2024)



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรอินพุตที่ 3 ความเข้มแสง (Kitcharoen et al., 2024)



รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตัวแปรเอาต์พุตความกว้างพัลส์ (Kitcharoen et al., 2024)



รูปที่ 3.11 จำนวนกฎฟัซซี่เอ็มพีอีเอเอ็น-เออา (Kitcharoen et al., 2024)

3.1.5 การเขียนโค้ดไลบรารีฟัซซี่ลอจิกแบบฝังตัว (Embedded Fuzzy Logic Library: eFLL)

การใช้ไลบรารีฟัซซี่ลอจิกในระบบฝังตัว เมื่อได้กฎฟัซซี่จากระบบอนุมานแบบปรับตัวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANFIS) กฎจะถูกสร้างและโปรแกรมในอาคิโน ไอดีอี ชั้นแรก ให้โหลดไลบรารีจากคำสั่ง sketch ไปที่ include library, manage libraries และพิมพ์ชื่อ eFLL ในช่องค้นหาของ library manager จากนั้นติดตั้งไลบรารี eFLL เวอร์ชัน 1.4.1 หลังการติดตั้ง ให้เขียนโค้ดโปรแกรมแบ่งออกเป็นสามส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1: ประกาศตัวแปรและการเชื่อมต่อพิน ตัวแปรที่ใช้เป็นประเภท float เพราะการเขียนข้อมูลต้องการพื้นที่จัดเก็บมาก กำหนดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่พิน 2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินที่พิน A2 และเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสงที่พิน A3 กำหนดสัญญาณ PWM output ที่พิน 11 และกำหนดชุดฟัซซี่ของตัวแปรอินพุต DHT11 = 4 อินพุต Soil = 4 อินพุต LDR = 4 และตัวแปรเอาต์พุต = 64 ตามเงื่อนไขของ ANFIS ตามรูปที่ 3.12

ส่วนที่ 2: ตั้งค่ากฎเพื่อทำการตัดสินใจตามเงื่อนไขโดยใช้กฎ 64 ข้อ

ส่วนที่ 3: ใช้ฟังก์ชัน loop เพื่อนำค่าเข้าเงื่อนไขฟัซซี่และทำการ defuzzify ส่งผลลัพธ์ไปที่พิน 11 แสดงสถานะของตัวแปรผ่านคำสั่ง Serial.print และแสดงค่าที่ Serial Monitor


```

#include <Fuzzy.h>
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();
//FuzzyInput DHT11
FuzzySet *cold = new FuzzySet(5, 14.99, 14.99, 24.99);
FuzzySet *room = new FuzzySet(14.97, 24.98, 24.98, 35);
FuzzySet *hot = new FuzzySet(24.99, 34.98, 34.98, 44.98);
FuzzySet *veryhot = new FuzzySet(34.98, 44.99, 44.99, 55);
//FuzzyInput Soil
FuzzySet *verydry = new FuzzySet(-23.33, 0.04496, 0.04496, 23.44);
FuzzySet *dry = new FuzzySet(0.2273, 23.41, 23.41, 46.77);
FuzzySet *moist = new FuzzySet(23.4, 46.69, 46.69, 70.02);
FuzzySet *wet = new FuzzySet(46.67, 70, 70, 93.33);
//FuzzyInput LDR
FuzzySet *verybright = new FuzzySet(-33.33, 0.002066, 0.002066, 33.33);
FuzzySet *bright = new FuzzySet(0.009893, 33.34, 33.34, 66.67);
FuzzySet *dark = new FuzzySet(33.34, 66.67, 66.67, 100);
FuzzySet *verydark = new FuzzySet(66.67, 100, 100, 133.3);

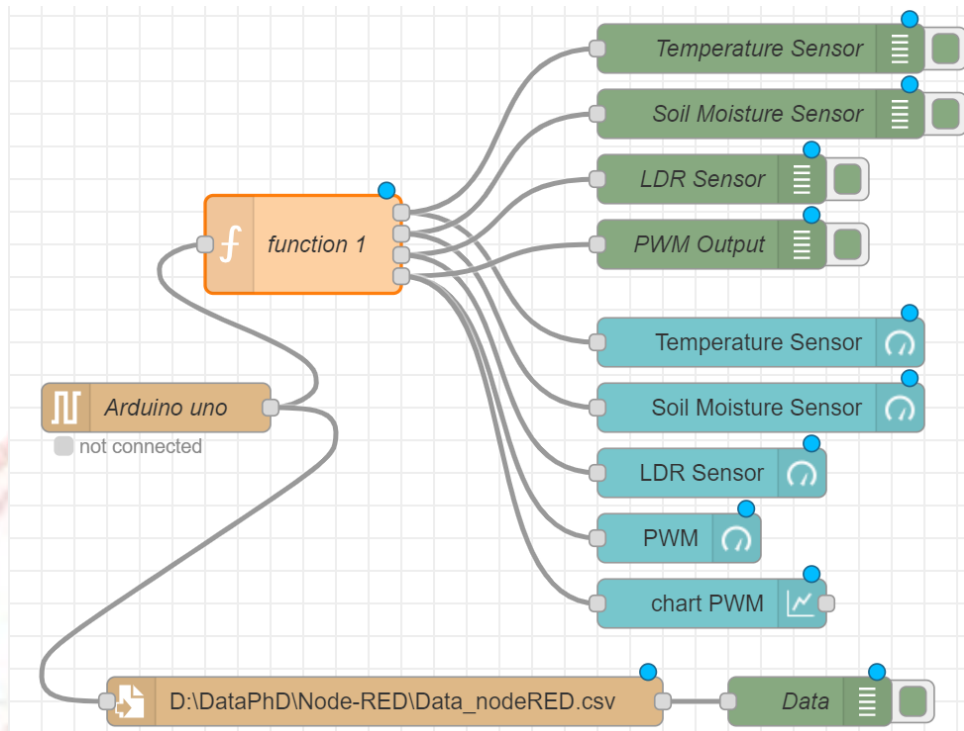
//FuzzyOutput
FuzzySet *out1 = new FuzzySet(233.1, 233.1, 233.1, 233.1);
FuzzySet *out2 = new FuzzySet(231.5, 231.5, 231.5, 231.5);
FuzzySet *out3 = new FuzzySet(222.3, 222.3, 222.3, 222.3);
FuzzySet *out4 = new FuzzySet(217.9, 217.9, 217.9, 217.9);
FuzzySet *out5 = new FuzzySet(163.6, 163.6, 163.6, 163.6);
FuzzySet *out6 = new FuzzySet(157.1, 157.1, 157.1, 157.1);
FuzzySet *out7 = new FuzzySet(150.7, 150.7, 150.7, 150.7);
FuzzySet *out8 = new FuzzySet(144.6, 144.6, 144.6, 144.6);
FuzzySet *out9 = new FuzzySet(89.65, 89.65, 89.65, 89.65);
FuzzySet *out10 = new FuzzySet(83.47, 83.47, 83.47, 83.47);
FuzzySet *out11 = new FuzzySet(77.08, 77.08, 77.08, 77.08);

```

รูปที่ 3.12 การเขียนโค้ดกำหนดชุดตัวแปรฟัซซี่ลอจิก (Kitcharoen et al., 2024)

3.1.6 การตรวจสอบผ่านแดชบอร์ดโนดเรด (Node-RED)

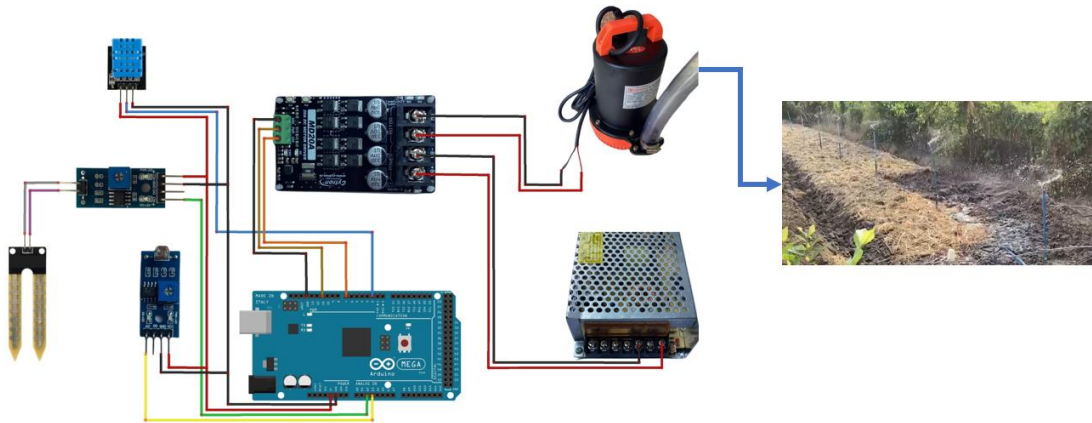
การสร้างแดชบอร์ดผ่านแพลตฟอร์มโนดเรด ต้องทำการโหลด Node.js ติดตั้งให้เสร็จสิ้น จากนั้นเปิด command prompt เพื่อติดตั้ง npm โดยระบบสามารถพิมพ์คำสั่ง node-red เพื่อหาเซิร์ฟเวอร์ที่เชื่อมต่อไปที่ <http://127.0.0.1:1880/> และเปิดเพื่อเริ่มเขียนโพล์ของโนดเรด การวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการเลือก serial block ชื่อ Arduino Mega ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบการเชื่อมต่อ ในระหว่าง การส่งค่าของบอร์ด Arduino เข้าสู่คอมพิวเตอร์และเชื่อมต่อไปยัง function block และ write file block เพื่อต่อบั๊ก 4 หน่วย ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์ตรวจความเข้มแสง และเอาต์พุต PWM และส่งไปยังเกจ 4 หน่วย คือ เกจเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เกจเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เกจเซ็นเซอร์ความเข้มแสง เกจเอาต์พุต PWM และส่งไปยัง 1 แผนภูมิ คือ แผนภูมิ PWM ในส่วนของ block write file รับข้อมูลจาก Arduino Mega เพื่อเก็บในไดรฟ์ D ไฟล์ Data_nodeRED.csv ส่งไปต่อบั๊ก 1 หน่วย แสดงค่าที่ส่งออกดังแสดงในรูปที่ 3.13



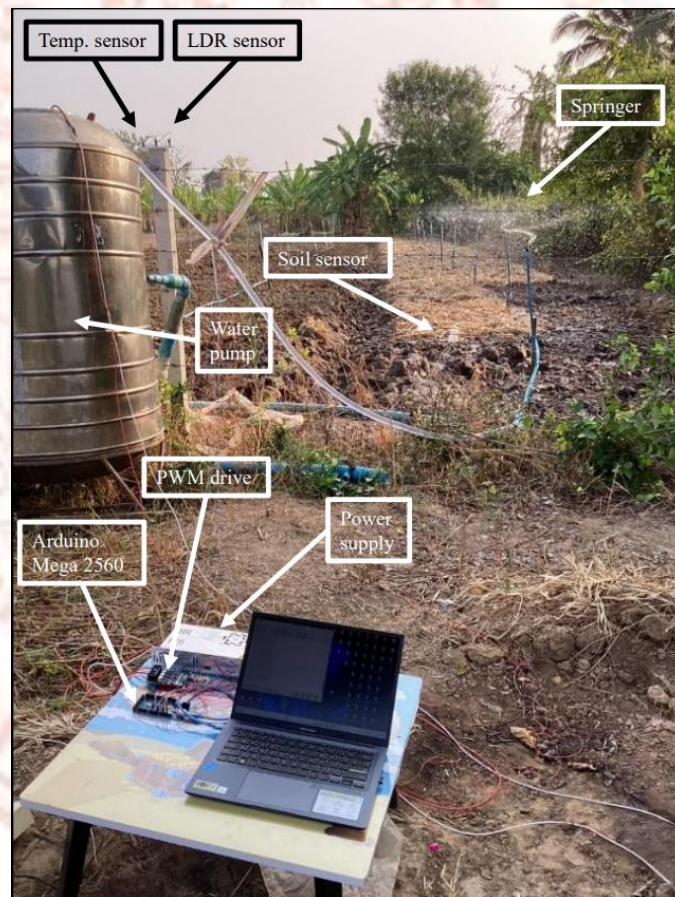
รูปที่ 3.13 การสร้างแดชบอร์ดโนดเรด (Kitcharoen et al., 2024)

3.1.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์การทดลอง

เมื่อออกแบบและสร้างระบบควบคุมทรัพยากรน้ำทางการเกษตรที่เน้นการใช้เครือข่ายสำหรับกระจายด้วย MLR-PSO-ANFIS-Embedded-Node-RED ที่ผสานรวมกับอาดุยโน อย่างสมบูรณ์ (MPAEN-Ar) เชื่อมต่ออุปกรณ์วิจัย ตั้งค่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่พิน 2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินที่พิน A2 และเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสงที่พิน A3 ของบอร์ดอาดุยโน เมกา 2560 จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโน เมกา 2560 จะประมวลผลเงื่อนไขนิวโร-ฟัซซี่ เมื่อกระบวนการเสร็จสิ้นจะส่งสัญญาณเอาต์พุตเป็นพี ดับบลิว เอ็ม ไปยังพิน 11 ของไดรเวอร์มอเตอร์กระแสตรง 20A ซึ่งได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟ 12V 30A ารับสัญญาณคำสั่งจากพิน 11 เมื่อมีสัญญาณคำสั่งไปยังไดรเวอร์มอเตอร์กระแสตรง จะจ่ายพลังงานให้กับปั้มน้ำทำงานตามรูปที่ 3.14 โดยปั้มน้ำจากถังน้ำขนาด 1,250 ลิตรผ่านสายยางขนาด 1 1/2 นิ้วที่เชื่อมต่อกับหัวฉีดน้ำห้าหัวตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์วิจัยเอ็มพีอีเอเอ็น-เออา (Kitcharoen et al., 2024)



รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในฟาร์มกระชาย (Kitcharoen et al., 2024)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัยทางการศึกษา

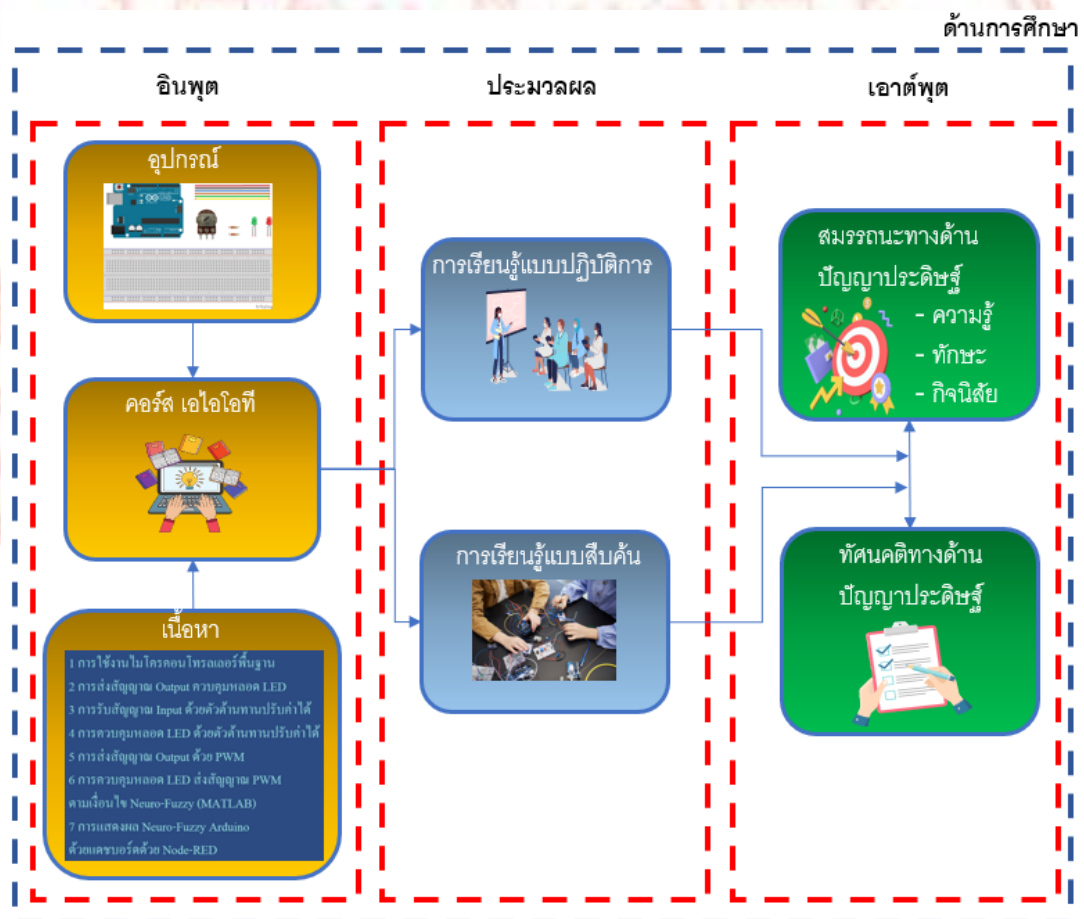
การพัฒนาความรู้และทักษะของผู้เรียนในด้านการศึกษา โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติและการสืบเสาะ โดยมีการแบ่งส่วนต่างๆ ตามกระบวนการทางการศึกษาออกเป็นสามส่วน

หลัก ได้แก่ อินพุต (Input) ประมวลผล (Process) และเอาต์พุต (Output) โดยมีสมรรถนะแต่ละกิจกรรมตามภาคผนวก ก ตามรูปที่ ก.8

อินพุต หมายถึง คอร์ส เอไอที ประกอบด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน้ และเนื้อหาการอบรมจำนวน 7 กิจกรรม

ประมวลผล หมายถึง การเรียนรู้แบบปฏิบัติการเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่นักเรียนจะได้ฝึกปฏิบัติและเรียนรู้จากการลงมือทำจริง เช่น การต่อวงจร การเขียนโปรแกรม และการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ และการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นกระบวนการที่นักเรียนจะต้องค้นหาความรู้เพิ่มเติม และแก้ปัญหาด้วยตนเอง เช่น การทดลองวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรม หรือการปรับปรุงวงจรให้ทำงานได้ดีขึ้น

เอาต์พุต หมายถึง สมรรถนะทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วย ความรู้ ทักษะ กิจนิสัย และทัศนคติทางด้านปัญญาประดิษฐ์



รูปที่ 3.16 การดำเนินการวิจัยทางการศึกษา

3.2.1 ออกแบบเนื้อหาการอบรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

จากการวิจัยทางด้านวิศวกรรมที่สร้างเครื่องมือทางด้านปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (MPAEN-Ar) และนำมาปรับใช้ในการดำเนินการวิจัยทางการศึกษาในการสร้างการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino) สำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (AIoT) โดยมีกิจกรรมการทดลองจำนวน 7 กิจกรรม โดยแต่ละกิจกรรมจะมีชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่ใช้สำหรับการทดลอง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน ซึ่งในชุดประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้

3.2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน ยูโน (Arduino Uno R3)

3.2.1.2 สายสำหรับเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ (USB Type B)

3.2.1.3 สายไฟสำหรับต่อวงจร (Jumper Wires)

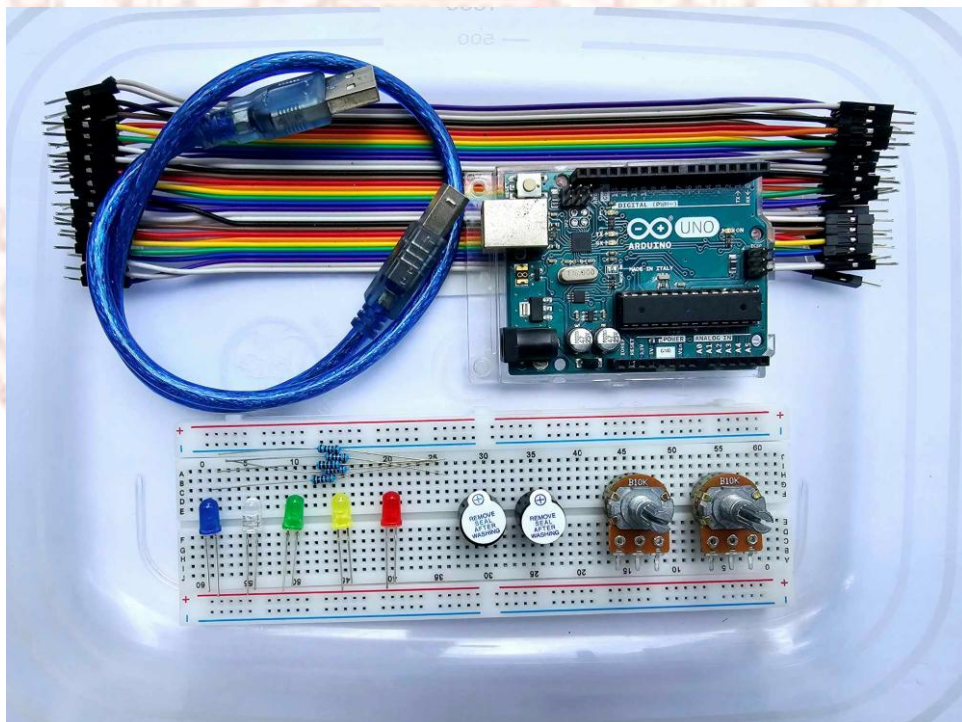
3.2.1.4 บอร์ดทดลองสำหรับการสร้างวงจรชั่วคราว (Breadboard)

3.2.1.5 หลอดไฟแอลอีดี (LED: Light Emitting Diodes)

3.2.1.6 ลำโพง (Buzzer)

3.2.1.7 ตัวต้านทาน (Resistors)

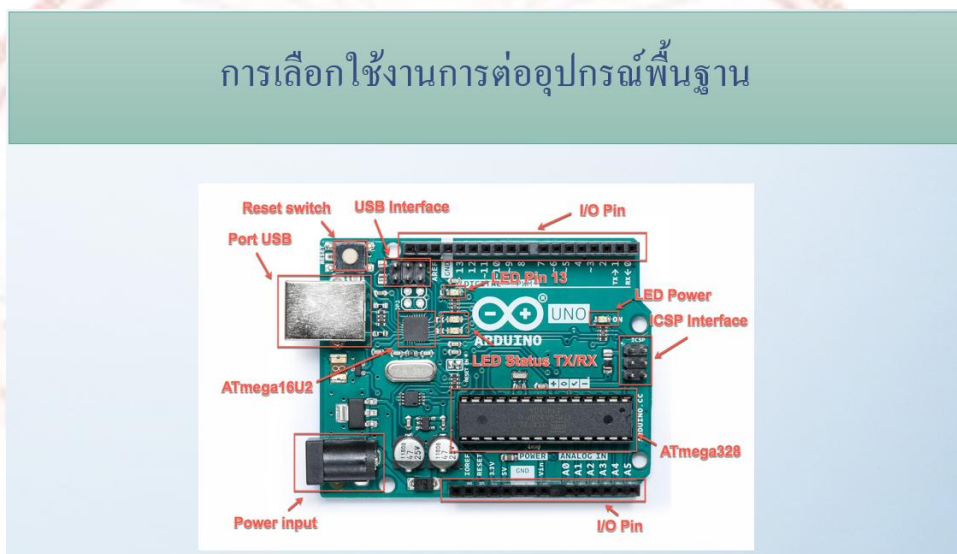
3.2.1.8 ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometers)



รูปที่ 3.17 ชุดอุปกรณ์คอร์ส เอไอโอที

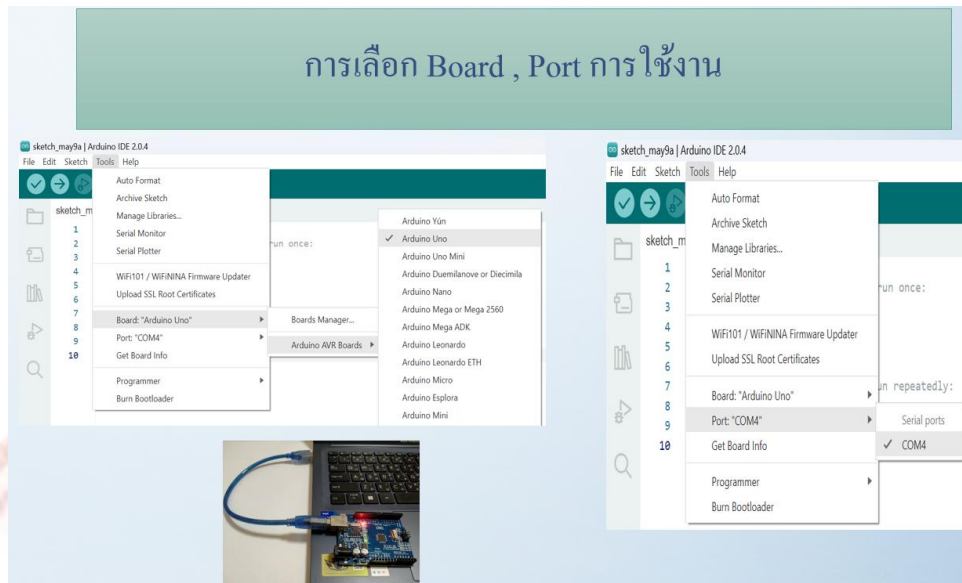
3.2.1.1 การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐาน

การเลือกใช้งานการต่ออุปกรณ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน่ ยูโน่ อาสาม ตามตารางที่ 3.3 มีส่วนประกอบที่จำเป็นต้องรู้จักและใช้งาน เช่น พอร์ตยูเอสบี เป็นสายแบบไทม์บี ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อินพุตกำลังไฟฟ้าใช้สำหรับการทำงานในกรณีที่มีการลงโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน่เรียบร้อยแล้วและสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในส่วนงานที่ต้องการใช้งานได้ ขาพินอินพุต/เอาต์พุต เป็นการต่อใช้งานอุปกรณ์ เซนเซอร์และแอกทูเอเตอร์โดยมีในส่วนของแอนะล็อก และในส่วนของดิจิตอล เป็นต้น ตามรูปที่ 3.18



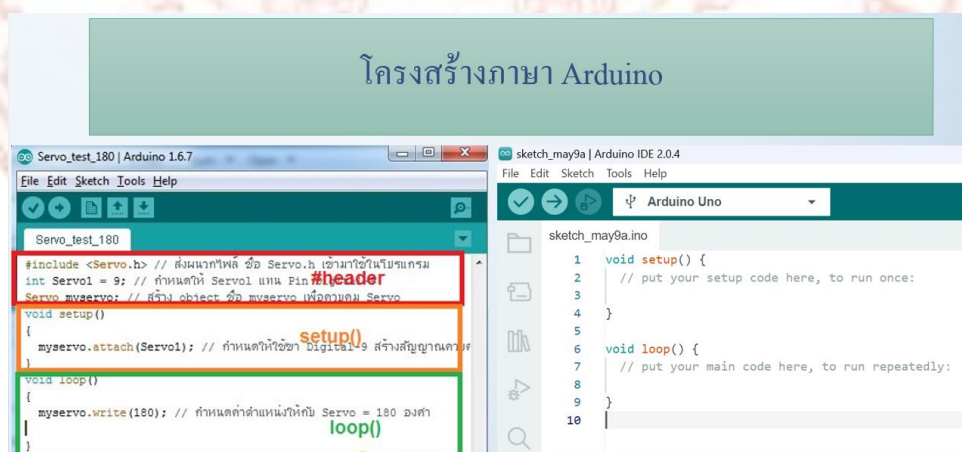
รูปที่ 3.18 การเลือกใช้งานการต่ออุปกรณ์

การเลือกใช้ Board และ Port ของการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเลือกโดยใช้คำสั่ง Tools จากนั้นเลือก Board และเลือก Arduino AVR Boards ทำการเลือก Arduino Uno ให้มีเครื่องหมาย ถูกในการเลือกใช้งาน ในส่วนของการเลือก Port เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน่ โดยใช้คำสั่ง Tools จากนั้นเลือก Port และเลือก Com Port ที่คอมพิวเตอร์แสดงขึ้น โดยต้องมีการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ถ้าไม่ได้เชื่อมต่อจะไม่สามารถเลือก Com Port ได้ ตามรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การเลือก Board และ Port

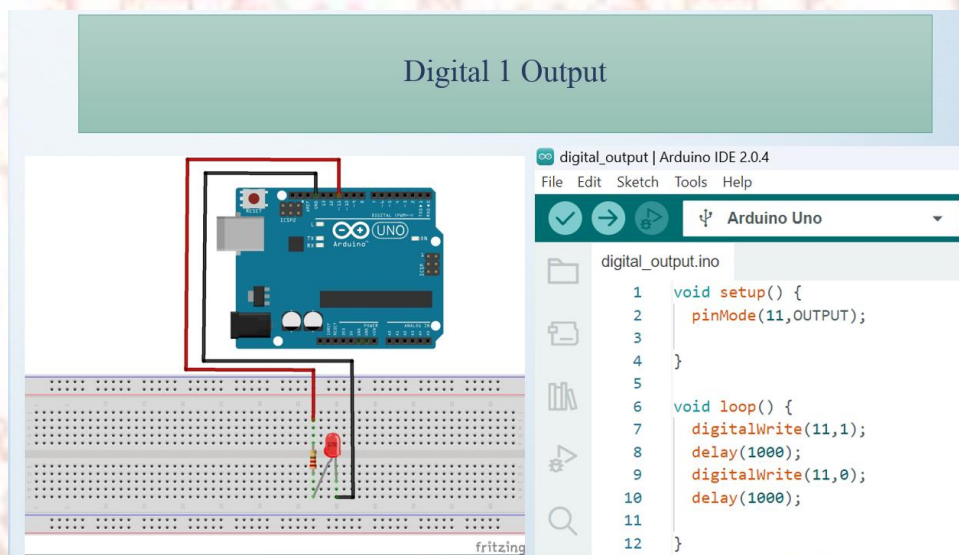
การใช้งานโครงสร้างภาษาของอาตูดุโน ซึ่งประกอบด้วยด้วยกัน 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 header ใช้สำหรับการประกาศตัวแปรที่กำหนด ส่วนที่ 2 setup ใช้สำหรับกำหนดอุปกรณ์การส่งการอินพุตหรือเอาต์พุต ส่วนที่ 3 loop ใช้สำหรับการกำหนดลักษณะการทำงานและการออกแบบเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม โดยสามารถตรวจสอบความถูกต้องของโค้ดโปรแกรมที่เขียนลงได้ผ่านทาง การ Verify หรือสัญลักษณ์เครื่องหมายถูก และทำการอัปโหลดโค้ดลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง การ Upload หรือสัญลักษณ์เครื่องหมายลูกศรทางด้านขวามือ ตามรูปที่ 3.20 ในกิจกรรมการทดลองที่ 1 ทำการเชื่อมต่อส่งการจากคอมพิวเตอร์ควบคุมหลอดไฟแอลอีดีในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.20 โครงสร้างภาษาอาตูดุโน

3.2.1.2 การส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี

การส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี ในกิจกรรมการทดลองที่ 2 ตามตารางที่ 3.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าโดยต่อสายสีแดงที่มีสัญญาณจากขาที่ 11 มายังด้านต้นของตัวต้านทานและทำการต่อหลอดไฟแอลอีดี กับตัวต้านทานโดยที่ขาบวกต่อกับด้านปลายของตัวต้านทาน จากนั้นนำสายสีดำต่อที่ขาลบของหลอดแอลอีดี และอีกด้านต่อเข้ากับขากราวด์ เมื่อทำการต่อหลอดเรียบร้อยแล้วทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino IDE โดยในส่วน void setup ทำการประกาศการใช้งานขา 11 ผ่านทางคำสั่ง pinMode และกำหนดให้เป็นสถานะ OUTPUT จากนั้นในส่วน void loop ทำการสั่งการเปิดหรือปิดโดยคำสั่ง digitalWrite ซึ่งเป็นสัญญาณ Digital โดยมีสถานะ HIGH เท่ากับ หลอดไฟติด และ สถานะ LOW เท่ากับ หลอดไฟดับ เมื่อทำการต่อวงจรและเขียนโค้ดเสร็จแล้วทำการเช็คโค้ดโดยการ Verify จากนั้นเมื่อโค้ดถูกต้องทำการ Upload ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปที่ 3.21

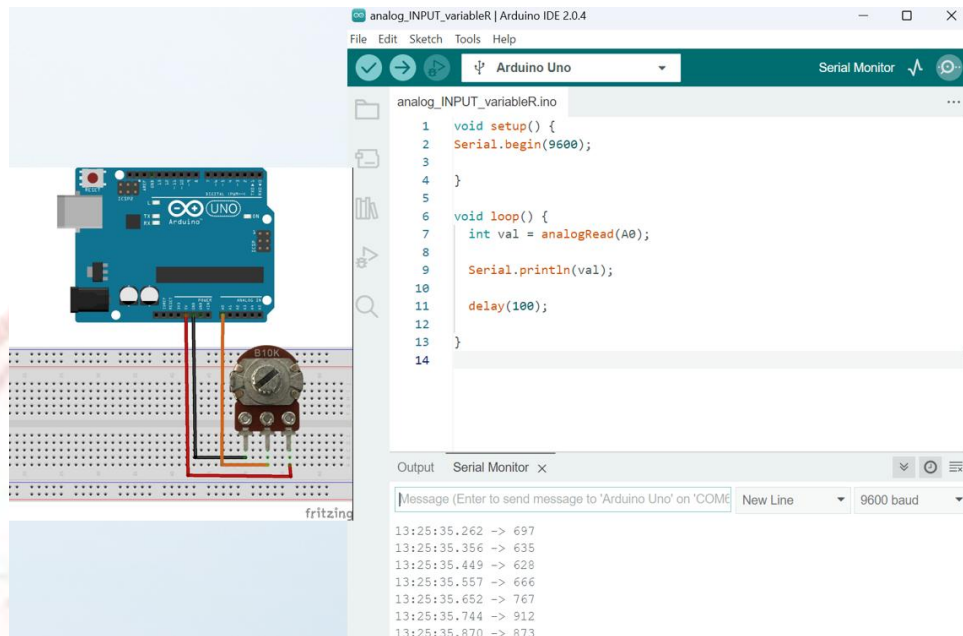


รูปที่ 3.21 วงจรและโค้ดการส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี

3.2.1.3 การรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้

การรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ในกิจกรรมการทดลองที่ 3 ตามตารางที่ 3.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าโดยต่อสายสีส้มที่ส่งสัญญาณจากขากลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ไปยังขา A0 เพื่อรับสัญญาณในรูปแบบแอนะล็อก เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน โดยมีการป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 5V ให้กับตัวต้านทานปรับค่าได้มีสายสีแดงเป็นขั้วบวกและสายสีดำเป็นขั้วลบ เมื่อทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino IDE โดยในส่วน void setup ทำการเชื่อมต่อความเร็วในการส่งข้อมูลด้วยคำสั่ง Serial.begin จากนั้นในส่วน void loop ทำการรับสัญญาณผ่านทางตัวแปรที่เก็บค่าแบบ int ที่ชื่อ Val โดยใช้คำสั่ง analogRead เพื่อทำการรับ

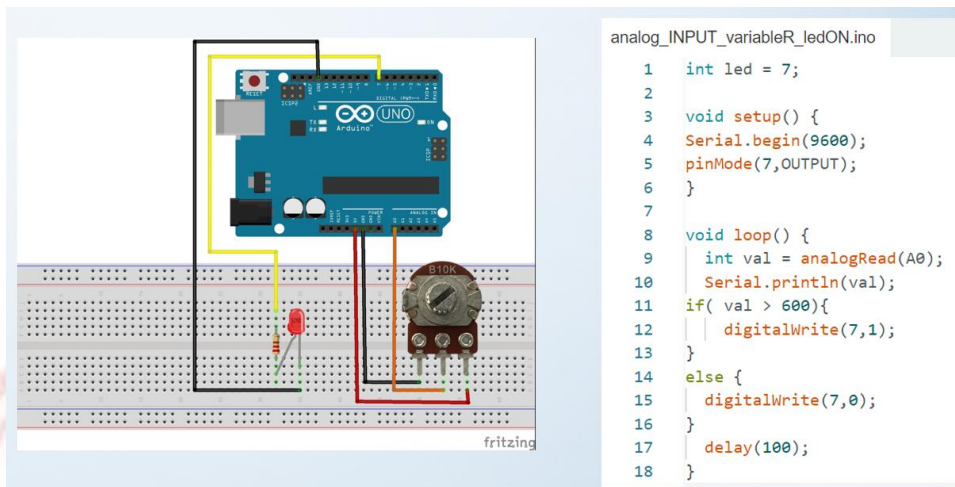
สัญญาณจากขา A0 เมื่อทำการต่อวงจรและเขียนโค้ดเสร็จแล้วทำการเช็คโค้ดโดยการ Verify จากนั้นเมื่อโค้ดถูกต้องทำการ Upload ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรและโค้ดการรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้

3.2.1.4 การควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้

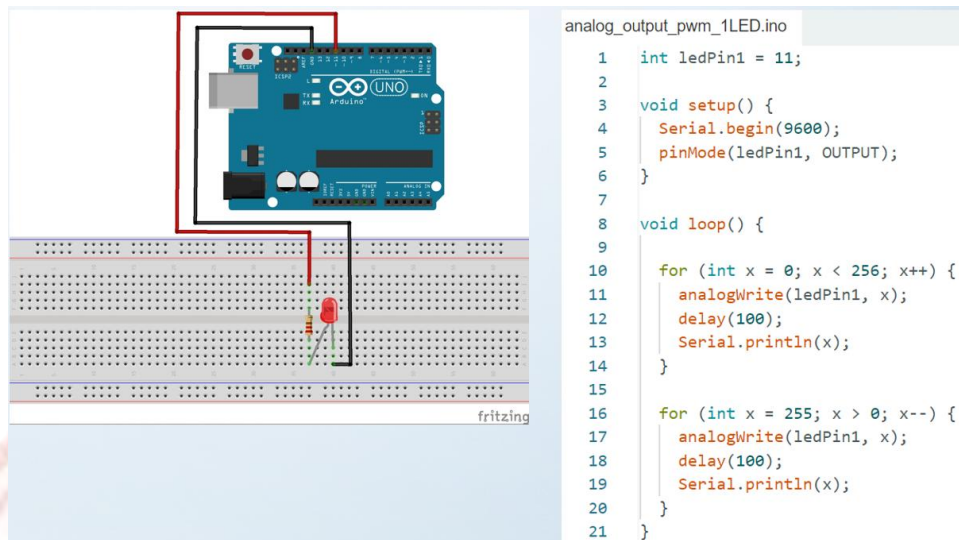
การควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ในกิจกรรมการทดลองที่ 4 ตามตารางที่ 3.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าโดยต่อสายสีส้มที่ส่งสัญญาณจากขากลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ไปยังขา A0 เพื่อรับสัญญาณในรูปแบบแอนะล็อก เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่ โดยมีการป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 5V ให้กับตัวต้านทานปรับค่าได้มีสายสีแดงเป็นขั้วบวกและสายสีดำเป็นขั้วลบ ในส่วนของการต่อขาดิจิตอลเอาท์พุตต่อสายสีเหลืองออกจากขาที่ 7 ไปที่ด้านต้นของตัวต้านทาน และต่อเข้ากับขั้วบวกของหลอดแอลอีดี จากนั้นต่อสายสีดำจากขั้วลบของหลอดแอลอีดี เข้าที่ขากราวนด์ ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่ เมื่อทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino IDE โดยในส่วน Header ของโปรแกรมทำการประกาศตัวแปรแบบ int โดยใช้ชื่อว่า LED ควบคุมโดยใช้ขาที่ 7 ในส่วนต่อไป void setup ทำการเชื่อมต่อความเร็วในการส่งข้อมูลด้วยคำสั่ง Serial.begin และใช้คำสั่ง pinMode ตั้งค่าอุปกรณ์ กำหนดให้ขาที่ 7 เป็นขาเอาต์พุต จากนั้นในส่วน void loop ทำการรับสัญญาณผ่านทางตัวแปรที่เก็บค่าแบบ int ที่ชื่อ Val โดยใช้คำสั่ง analogRead เพื่อทำการรับสัญญาณจากขา A0 และใช้คำสั่งเงื่อนไข if ในการตรวจสอบค่า val ถ้ามีค่ามากกว่า 600 กำหนดให้หลอด LED ทำงานผ่านทางคำสั่ง digitalWrite มีสถานะเป็น 1 และถ้าไม่ใช่คำสั่ง else คำสั่ง digitalWrite มีสถานะเป็น 0 เมื่อทำการต่อวงจรและเขียนโค้ดเสร็จแล้วทำการเช็คโค้ด โดยการ Verify จากนั้นเมื่อโค้ดถูกต้องทำการ Upload ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรและโค้ดการควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้

3.2.1.5 การส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม

การส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม ในกิจกรรมการทดลองที่ 5 ตามตารางที่ 3.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าโดยต่อสายสีแดงที่มีสัญญาณจากขาที่ 11 มายังด้านต้นของตัวต้านทานและทำการต่อหลอดไฟแอลอีดี กับตัวต้านทานโดยที่ขาบวกต่อกับด้านปลายของตัวต้านทาน จากนั้นนำสายสีดำต่อที่ขาลบของหลอดแอลอีดี และอีกด้านต่อเข้ากับขากราวด์ เมื่อทำการต่อหลอดเรียบร้อยแล้วทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino IDE โดยในส่วน Header ของโปรแกรมทำการประกาศตัวแปรแบบ int โดยใช้ชื่อว่า ledPin1 ควบคุมโดยใช้ขาที่ 11 ในส่วนต่อไป void setup ทำการเชื่อมต่อความเร็วในการส่งข้อมูลด้วยคำสั่ง Serial.begin และประกาศการใช้งานผ่านชื่อ ledPin1 ผ่านทางคำสั่ง pinMode และกำหนดให้เป็นสถานะ OUTPUT จากนั้นในส่วน void loop ใช้คำสั่งทำงานตามเงื่อนไขด้วยคำสั่ง for โดยกำหนดตัวแปร x เริ่มต้นเท่ากับ 0 และให้ค่า x เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บวกทีละ 1 จนถึง 255 และให้สถานะเอาต์พุตโดยใช้คำสั่ง digitalWrite ควบคุมขา ledPin1 และสว่างตามค่าตัวแปร x และใช้เวลารับค่าครั้งละ 0.1 วินาที พร้อมทั้งแสดงค่าตัวแปรผ่านทางคำสั่ง Serial.println จากนั้นจะย้ายไปทำในคำสั่ง for ถัดไป โดยหลอด LED จะค่อยๆดับลงตามเงื่อนไขของตัวแปร x ที่มีค่า 255 และลดลงทีละ 1 จนถึงค่าเหลือ 1 และให้สถานะเอาต์พุตโดยใช้คำสั่ง digitalWrite ควบคุมขา ledPin1 และดับตามค่าตัวแปร x และใช้เวลารับค่าครั้งละ 0.1 วินาที พร้อมทั้งแสดงค่าตัวแปรผ่านทางคำสั่ง Serial.println เมื่อทำการต่อวงจรและเขียนโค้ดเสร็จแล้วทำการเช็คโค้ดโดยการ Verify จากนั้นเมื่อโค้ดถูกต้องทำการ Upload ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตามรูปที่ 3.24

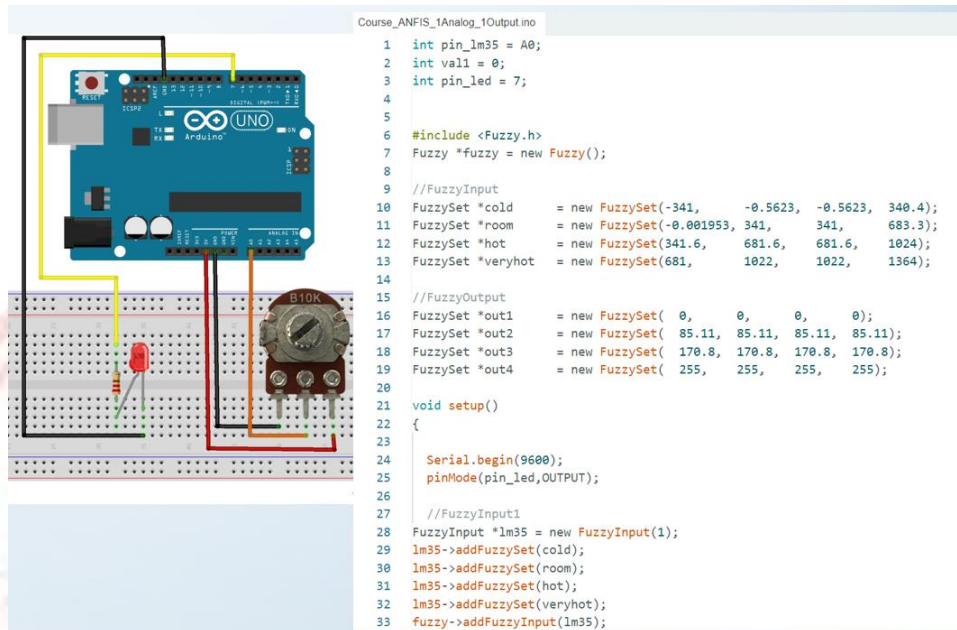


รูปที่ 3.24 วงจรและโค้ดการส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม

3.2.1.6 การควบคุมหลอดแอลอีดีส่งความกว้างพัลส์ตามเงื่อนไขนิวโร-ฟัชซี

การควบคุมหลอดแอลอีดีส่งความกว้างพัลส์ตามเงื่อนไขนิวโร-ฟัชซีในกิจกรรมการทดลองที่ 6 ตามตารางที่ 3.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าโดยต่อสายสีส้มที่ส่งสัญญาณจากขากลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ไปยังขา A0 เพื่อรับสัญญาณในรูปแบบแอนะล็อก เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน โดยมีการป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 5V ให้กับตัวต้านทานปรับค่าได้มีสายสีแดงเป็นขั้วบวกและสายสีดำเป็นขั้วลบ ในส่วนของการต่อขาคิจิตอลเอาต์พุตต่อสายสีเหลืองออกจากขาที่ 7 ไปที่ด้านต้นของตัวต้านทาน และต่อเข้ากับขั้วบวกของหลอดแอลอีดี จากนั้นต่อสายสีดำจากขั้วลบของหลอดแอลอีดีเข้าที่ขาราวาน ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน เมื่อทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino IDE โดยเริ่มจากการโหลดไลบรารีฟัชซีลอจิกแบบฝังตัว(eFLL) จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมแมทแลปเพื่อเรียกใช้งานในส่วนของ Neuro-Fuzzy Designer นำข้อมูลตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต้องการแทนค่าใส่ในโปรแกรมแมทแลป ทำการเลือกรูปแบบและจำนวนกฎฟัชซี เมื่อทำการแทนค่าเรียบร้อยแล้วจะมีส่วนที่ต้องนำไปใช้ด้วยกันอยู่ 3 ส่วน คือ 1) ค่าพารามิเตอร์ของอินพุต 2) ค่าพารามิเตอร์เอาต์พุต 3) กฎและเงื่อนไขของโมเดล จากนั้นนำค่าทั้งสามส่วนไปเขียนในโค้ดโปรแกรมจากไลบรารีฟัชซีลอจิกแบบฝังตัว โดยในส่วน Header ของโปรแกรมทำการประกาศตัวแปรแบบ int โดยใช้ชื่อว่า pin_led ควบคุมโดยใช้ขาที่ 7 และทำการตั้งค่า fuzzySet ของอินพุตและเอาต์พุตตามเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้จำนวน 4 กฎ ในส่วนต่อไป void setup ทำการตั้งค่า fuzzy Rule จำนวน 4 กฎ ทำการเชื่อมต่อความเร็วในการส่งข้อมูลด้วยคำสั่ง Serial.begin และใช้คำสั่ง pinMode ตั้งค่าอุปกรณ์ กำหนดให้ขาที่ pin_led เป็นขาเอาต์พุต จากนั้นในส่วน void loop ทำการรับสัญญาณผ่านทางตัวแปรที่เก็บค่าแบบ int ที่ชื่อ Val1 โดยใช้คำสั่ง analogRead เพื่อทำการรับสัญญาณจาก

ขา A0 เมื่อทำการต่อวงจรและเขียนโค้ดเสร็จแล้วทำการเช็คโค้ดโดยการ Verify จากนั้นเมื่อโค้ด ถูกต้องทำการ Upload ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปที่ 3.25

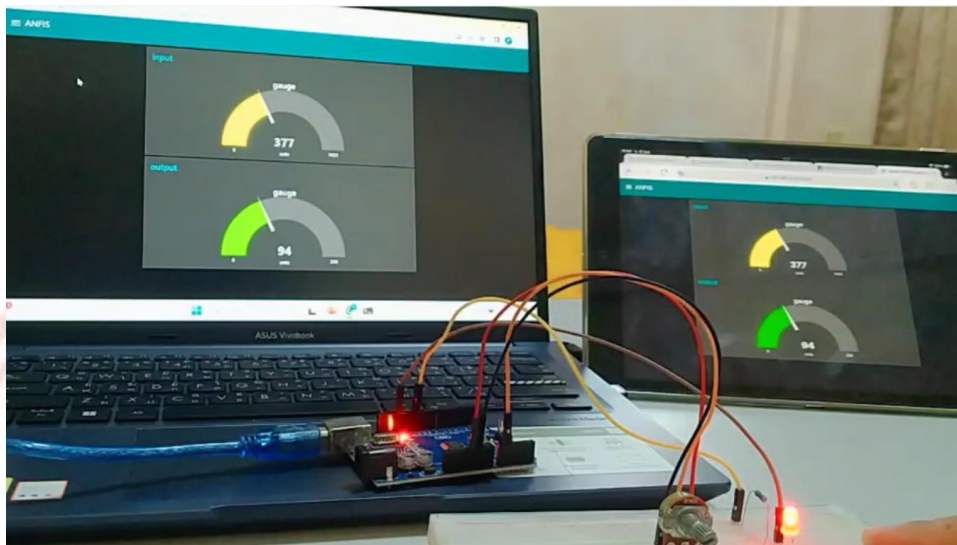


รูปที่ 3.25 วงจรและโค้ดการควบคุมหลอดแอลอีดีส่งความกว้างพัลส์ตามเงื่อนไขวีโร-ฟัชซี

3.2.1.7 การแสดงผลวีโร-ฟัชซี อาดูยโน้ ด้วยแดชบอร์ดด้วยโนดเรด

การแสดงผลวีโร-ฟัชซี อาดูยโน้ ด้วยแดชบอร์ดด้วยโนดเรด ในกิจกรรมการทดลองที่ 7 ตามตารางที่ 3.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าโดยต่อสายสีส้มที่ส่งสัญญาณจากขากลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ไปยังขา A0 เพื่อรับสัญญาณในรูปแบบแอนะล็อก เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน้ โดยมีการป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 5V ให้กับตัวต้านทานปรับค่าได้มีสายสีแดงเป็นขั้วบวกและสายสีดำเป็นขั้วลบ ในส่วนของการต่อขาดิจิตอลเอาทพุตต่อสายสีเหลืองออกจากขาที่ 7 ไปที่ด้านต้นของตัวต้านทาน และต่อเข้ากับขั้วบวกของหลอดแอลอีดี จากนั้นต่อสายสีดำจากขั้วลบของหลอดแอลอีดี เข้าที่ขากราวน์ ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน้ เมื่อทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino IDE เมื่อทำการต่อวงจรและเขียนโค้ดเสร็จแล้วทำการเช็คโค้ดโดยการ Verify จากนั้นเมื่อโค้ดถูกต้องทำการ Upload ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ขั้นตอนต่อไปทำการเปิด Command Prompt เพื่อทำการเปิดการใช้งานโปรแกรมโนดเรด พิมพ์ข้อความ node-red แล้วกด enter จากนั้นจะได้อยู่ที่เซิร์ฟเวอร์สำหรับการเปิดโนดเรด เช่น <http://127.0.0.1:1880/> ทำการก็อปปี้แล้วนำไปเปิดในเว็บเบราว์เซอร์จะขึ้นหน้าต่างโปรแกรมโนดเรด จากนั้นทำการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดอาดูยโน้โดยใช้บล็อก serial และการแยกค่าของตัวแปรโดยใช้บล็อก function จากนั้นทำการโชว์ค่าผ่านทางบล็อก gauge และเช็คค่าของตัวแปรทางบล็อก debug เมื่อ

ทำการต่อวงจร เขียนโค้ด และสร้างโนดเรดเรียบร้อยแล้ว จะสามารถแสดงการทำงานและโชว์ค่าข้อมูลแบบเรียลไทม์ ตามรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การแสดงผลนิเวศ-ฟิชซี อาดูยโน้ ด้วยแดชบอร์ดด้วยโนดเรด

3.2.2 การออกแบบประเมินเครื่องมืองานวิจัย

3.2.2.1 แบบทดสอบความรู้

การออกแบบทดสอบความรู้เพื่อทดสอบหลังการอบรมปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง จะทำการออกแบบผ่านทางกูเกิ้ลฟอร์มโดยนักเรียน นักศึกษาต้องทำการกรอกชื่อ นามสกุล เพศ อายุ สถานศึกษา ระดับการศึกษา คำถามในแบบทดสอบความรู้จะมีจำนวนทั้งหมด 28 ข้อ แบ่งเป็น 7 กิจกรรม กิจกรรมละ 4 ข้อ มีคะแนนแต่ละข้อ ข้อละ 5 คะแนน เมื่อนักเรียนทำการตอบคำถามเรียบร้อยแล้วจะมีคะแนนที่ตอบถูกขึ้นโชว์ค่าคะแนนตามที่นักเรียนตอบถูก โดยจำนวนข้อสอบ 28 ข้อ ดังนี้

3.2.2.1.1 เปิดใช้งานโปรแกรมอาดูยโน้ ไอดีอี

3.2.2.1.2 เลือกบอร์ดอาดูยโน้

3.2.2.1.3 เลือกพอร์ตอาดูยโน้

3.2.2.1.4 เลือกโค้ดโปรแกรมตัวอย่าง blink

3.2.2.1.5 ต่อวงจรส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี

3.2.2.1.6 เขียนโค้ดโปรแกรมการส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี

3.2.2.1.7 ส่งการทำงานส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี

3.2.2.1.8 ปรับปรุงโค้ดโปรแกรมส่งสัญญาณเอาต์พุต ควบคุมหลอดแอลอีดี

3.2.2.1.9 ต่อวงจรรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้

- 3.2.2.1.10 เขียนโค้ดการรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.11 สั่งการทำงานรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.12 ปรับปรุงโค้ดการรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.13 ต้องจรวจควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.14 เขียนโค้ดการควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.15 สั่งการทำงานควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.16 ปรับปรุงโค้ดควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้
- 3.2.2.1.17 ต้องจรวจการส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม
- 3.2.2.1.18 เขียนโค้ดโปรแกรมการส่งสัญญาณเอาต์พุต ด้วยพี ดับบลิว เอ็ม
- 3.2.2.1.19 สั่งการทำงานส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม
- 3.2.2.1.20 ปรับปรุงโค้ดโปรแกรมส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม
- 3.2.2.1.21 ต้องจรวจการควบคุมหลอด แอลอีดี ส่งสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ตามเงื่อนไขนิร-พีชชี
- 3.2.2.1.22 เขียนโค้ดโปรแกรมการควบคุมหลอด แอลอีดี ส่งสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ตามเงื่อนไขนิร-พีชชี
- 3.2.2.1.23 สั่งการทำงานควบคุมหลอด แอลอีดี ส่งสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ตามเงื่อนไขนิร-พีชชี
- 3.2.2.1.24 ปรับปรุงโค้ดโปรแกรมการควบคุมหลอด แอลอีดี ด้วยสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ตามเงื่อนไขนิร-พีชชี
- 3.2.2.1.25 เชื่อมต่อเปิดใช้งานแพลตฟอร์มโนดเรด
- 3.2.2.1.26 สร้างโฟลว์ชาร์ตบนแพลตฟอร์มโนดเรด
- 3.2.2.1.27 เชื่อมต่อการทำงานนิร-พีชชี อาศัยโน้กับโนดเรด
- 3.2.2.1.28 สั่งการแสดงผลนิร-พีชชี อาศัยโน้กับโนดเรด

3.2.2.2 แบบประเมินทักษะและกิจนิสัย

การออกแบบประเมินทักษะและกิจนิสัยเพื่อประเมินผลระหว่างการอบรม ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง นักเรียนจะเป็นผู้ประเมินด้วยตัวเองระหว่างทำกิจกรรม ใบกิจกรรม จะระบุให้นักเรียนเขียนกิจกรรมที่กำลังปฏิบัติ กลุ่มที่ จากนั้นจะทำการแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ละ 4 คน พร้อมทั้งเขียนชื่อ นามสกุล ชั้น เลขที่ และหน้าที่ของสมาชิกในกลุ่มลงในใบกิจกรรม โดยมี ครูผู้สอนเป็นผู้ควบคุมและตรวจสอบกิจกรรม ในทุกๆกิจกรรมนักเรียนจะต้องประเมิน 2 ส่วน คือ ด้านทักษะ และด้านกิจนิสัย พร้อมลงชื่อผู้ประเมินในใบกิจกรรม ตามรูปที่ 3.27

ในส่วนที่ 1 ด้านทักษะ ประกอบด้วย

1) การต่อวงจร 2) การเขียนโค้ด 3) การสั่งงาน 4) การประยุกต์

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะ แบ่งเป็น

5 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงานได้ ดี, 4 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงานได้ ค่อนข้างดี, 3 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงานได้ พอใช้, 2 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงานได้ ค่อนข้างไม่ดี, 1 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงานได้ ไม่ดี

ในส่วนที่ 2 ด้านกิจนิสัย ที่ประกอบด้วย

1) ปลอดภัย 2) ตรงเวลา 3) เรียบร้อย 4) ทีมเวิร์ค

เกณฑ์การให้คะแนนด้านกิจนิสัย แบ่งเป็น

5 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติ เป็นประจำ, 4 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติ บ่อยครั้ง, 3 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติ บางครั้ง, 2 คะแนน เมื่อนักเรียนปฏิบัติ นานๆ ครั้ง, 1 คะแนน เมื่อนักเรียนไม่ปฏิบัติ

กิจกรรมที่.....

กลุ่มที่.....

รายชื่อสมาชิก

- 1)ชั้น.....เลขที่.....หน้าที่.....
- 2)ชั้น.....เลขที่.....หน้าที่.....
- 3)ชั้น.....เลขที่.....หน้าที่.....
- 4)ชั้น.....เลขที่.....หน้าที่.....

ด้านทักษะ				ด้านกิจนิสัย				ผู้ประเมิน (ลงชื่อ)
ต่อวงจร	เขียนโค้ด	สั่งงาน	ประยุกต์	ปลอดภัย	ตรงเวลา	เรียบร้อย	ทีมเวิร์ค	

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทักษะ	เกณฑ์การให้คะแนนกิจนิสัย
5 คะแนน ดี	5 คะแนน ปฏิบัติเป็นประจำ
4 คะแนน ค่อนข้างดี	4 คะแนน ปฏิบัติบ่อยครั้ง
3 คะแนน พอใช้	3 คะแนน ปฏิบัติบางครั้ง
2 คะแนน ค่อนข้างไม่ดี	2 คะแนน ปฏิบัตินานๆ ครั้ง
1 คะแนน ไม่ดี	1 คะแนน ไม่ปฏิบัติ

รูปที่ 3.27 แบบประเมินทักษะและกิจนิสัย

3.2.2.3 แบบประเมินทัศนคติ

แบบประเมินทัศนคติเป็นการนำเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประเมินทัศนคติของการใช้งานอาδυโนสำหรับการเรียนเขียนโปรแกรมทางวิศวกรรมศึกษา และนำไปปรับการใช้งานให้อยู่ในกูเกิ้ลฟอร์มเพื่อให้นักเรียนประเมินได้สะดวกขึ้น มีการแบ่งออกเป็นจำนวน 10 ข้อ ดังนี้

- 1) อาδυโนเป็นเครื่องมือที่น่าสนใจ
- 2) มีความเข้าใจแนวคิดของตัวแปร
- 3) สามารถแยกความแตกต่างและใช้ประโยชน์จากตัวดำเนินการ
- 4) มีความเข้าใจการใช้โครงสร้างแบบมีเงื่อนไข
- 5) มีความเข้าใจในการนำโครงสร้างรูปแบบเดิมมาใช้ใหม่
- 6) เข้าใจในการนำไปใช้ในกิจกรรมประจำวันย่อยๆ
- 7) รู้สึกพร้อมที่จะดำเนินโครงการอาδυโน
- 8) อาδυโนเป็นแพลตฟอร์มที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาจริง
- 9) สนใจซื้ออาδυโนสำหรับโครงการส่วนบุคคล
- 10) ต้องการเรียนหลักสูตรอาδυโนขั้นสูงเพิ่มเติม

เกณฑ์การให้คะแนนด้านทัศนคติ แบ่งเป็น

- 5 คะแนน เมื่อนักเรียน เห็นด้วยอย่างยิ่ง
- 4 คะแนน เมื่อนักเรียน เห็นด้วย
- 3 คะแนน เมื่อนักเรียน เป็นกลาง
- 2 คะแนน เมื่อนักเรียน ไม่เห็นด้วย
- 1 คะแนน เมื่อนักเรียน ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

3.2.2.4 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมืองานวิจัย

การประเมินเครื่องมืองานวิจัย ทางภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้ทำจดหมายเรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ขอให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาว่า เนื้อหางานวิจัยสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมหรือไม่ โดยใช้วิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ (Item-Objective Congruence Index : IOC) โดยมีเอกสารประกอบการพิจารณา

- 1) คอร์สการสอนไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino) สำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง(AIoT)
- 2) แบบทดสอบความรู้
- 3) แบบประเมินทักษะและกิจนิสัย
- 4) แบบประเมินทัศนคติ
- 5) แบบประเมินไอโอซี (IOC) งานวิจัย

โดยมีรายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินงานวิจัย ดังนี้

- | | |
|--|---|
| 1. รศ.ดร.วรินทร์ สุตคณิ่ง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ |
| 2. ผศ.ว่าที่ร้อยตรี ดร.เจริญชัย วงศ์วัฒน์กิจ
สำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ | มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง |
| 3. ดร.เสาวลักษณ์ ลีลาวงศาโรจน์
คณะวิทยาศาสตร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ |
| 4. ดร.จิตตภู พูลวัน
คณะวิทยาศาสตร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ |
| 5. ผศ.ดร.ทศพร แสงสว่าง
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา |
| 6. ผศ.ดร.อรอนงค์ ตั้งตรงไพโรจน์
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม |
| 7. ดร.วรदानันท์ เหมนิธิ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
สาขาเทคนิคศึกษา |

3.2.3 วิธีการเก็บข้อมูลการวิจัย

การเก็บข้อมูลแบบแผนการเปรียบเทียบสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง วัดผลหลังการทดลอง (Post test only Design) โดยกลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบฝึกปฏิบัติเป็นฐาน (AIoT Practice-based learning) และกลุ่มทดลองใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AIoT Inquiry-based learning) โดยมีประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2566 วิทยาลัยเทคโนโลยีดอนบอสโก บ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน

กลุ่มทดลองใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AIoT Inquiry-based learning) เป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 ห้อง 1 จำนวน 38 คน ประกอบด้วย นักเรียนช่างกล 10 คน นักเรียนช่างไฟ 14 คน และนักเรียนช่างยนต์ 14 คน โดยรูปแบบเป็นการสอนอธิบายพร้อมยกตัวอย่างการทำงานที่สมบูรณ์ในแต่ละกิจกรรมและให้นักเรียนลงทำด้วยตนเองโดยมีครูผู้สอนคอยให้คำแนะนำในการทำกิจกรรม ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เวลา 15 นาที

- 1) คุณครูนำอุปกรณ์การทำงานกิจกรรมต่างๆ มาให้นักเรียนดู
- 2) ถามคำถาม (Big question) เช่น อุปกรณ์ที่นักเรียนเห็นมีลักษณะการทำงานอย่างไร
- 3) ให้นักเรียนสืบเสาะข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต
- 4) คุณครูและนักเรียนร่วมกันทบทวนความรู้

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เวลา 40 นาที

- 1) คุณครูให้นักเรียนจับกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน
- 2) คุณครูอธิบายหลักการทำงานกิจกรรมต่างๆ พร้อมวิดีโอ (VDO) การทำงาน
- 3) คุณครูให้นักเรียนสืบเสาะจากเอกสารประกอบการสอนและแหล่งข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต
- 4) คุณครูมอบหมายให้นักเรียนต่อวงจร เขียนโค้ด และส่งงานอุปกรณ์ตามกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เวลา 5 นาที

- 1) คุณครูอธิบายเพิ่มเติมในประเด็นที่นักเรียนยังแก้ปัญหาไม่ได้
- 2) คุณครูให้นักเรียนแก้ไข ตรวจสอบการทำงานเพื่อให้ได้ข้อสรุป

ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เวลา 30 นาที

- 1) คุณครูมอบหมายงานให้นักเรียนทำขั้นตอนกิจกรรมประยุกต์การใช้งาน
- 2) นักเรียนร่วมกันทำการแก้ปัญหาโจทย์ประยุกต์เพื่อให้ได้การทำงานที่สมบูรณ์

3) คุณครูตรวจสอบการทำงานประยุกต์ของนักเรียนที่ทำการปฏิบัติกิจกรรมเสร็จเรียบร้อย

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินผล (Evaluation) เวลา 10 นาที

- 1) คุณครูให้เพื่อนสมาชิกในกลุ่มร่วมกันประเมินคะแนนทักษะ และกิจนิสัย
- 2) นักเรียนร่วมกันแลกเปลี่ยนแนวความคิดการประเมินผลระหว่างเพื่อนสมาชิก
- 3) คุณครูตอบคำถามเพิ่มเติมและสรุปกิจกรรมการเรียนรู้

กลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบฝึกปฏิบัติเป็นฐาน (AIoT Practice-based learning) เป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 ห้อง 2 จำนวน 38 คน ประกอบด้วย นักเรียนช่างกล 10 คน นักเรียนช่างไฟ 14 คน และนักเรียนช่างยนต์ 14 คน โดยรูปแบบเป็นการสอนอธิบายในแต่ละกิจกรรมและให้นักเรียนปฏิบัติตามครูผู้สอนที่ละขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียม (Preparation) เวลา 20 นาที

- 1) คุณครูผู้สอนอธิบายวัตถุประสงค์กิจกรรมการเรียนรู้
- 2) คุณครูให้นักเรียนจับกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน
- 3) คุณครูให้นักเรียนเตรียมอุปกรณ์สำหรับกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นที่ 2 ขั้นดำเนินการ (Implementation) เวลา 40 นาที

- 1) คุณครูผู้สอนสาธิตการต่อวงจร เขียนโค้ด และสั่งการอุปกรณ์ตามกิจกรรมที่ละขั้นตอนตามลำดับ
- 2) คุณครูให้นักเรียนปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่คุณครูได้สาธิตก่อนหน้า
- 3) คุณครูผู้สอนเดินตรวจสอบการปฏิบัติงานตามกลุ่ม
- 4) คุณครูอธิบายเพิ่มเติมในส่วนที่นักเรียนยังแก้ไขปัญหาไม่ได้

ขั้นที่ 3 ขั้นสรุป (Reflection) เวลา 30 นาที

- 1) คุณครูมอบหมายกิจกรรมขั้นประยุกต์การใช้งาน
- 2) คุณครูตรวจสอบการทำงานขั้นประยุกต์ของนักเรียนที่ทำการปฏิบัติกิจกรรมเสร็จเรียบร้อย

ขั้นที่ 4 ขั้นประเมินผล (Evaluation) เวลา 10 นาที

- 1) คุณครูให้เพื่อนสมาชิกในกลุ่มร่วมกันประเมินคะแนนทักษะ และกิจนิสัย
- 2) นักเรียนร่วมกันแลกเปลี่ยนแนวความคิดการประเมินผลระหว่างเพื่อนสมาชิก
- 3) คุณครูตอบคำถามเพิ่มเติมและสรุปกิจกรรมการเรียนรู้

ตารางที่ 3.3 ระยะเวลาการอบรมการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง

กิจกรรมที่	คาบ/สัปดาห์
1 การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐาน	2
2 การส่งสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดแอลอีดี	2
3 การรับสัญญาณอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้	2
4 การควบคุมหลอดแอลอีดีด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้	2
5 การส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยพี ดับบลิว เอ็ม	2
6 การควบคุมหลอดแอลอีดีส่งสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ตามเงื่อนไขไมโครโพรเซสเซอร์	2
7 การแสดงผลไมโครโพรเซสเซอร์ด้วยแดชบอร์ดโนดเรด	2
8 ทดสอบความรู้และตรวจสอบข้อมูล	2
รวม	16



รูปที่ 3.28 กิจกรรมการปฏิบัติงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากทฤษฎีที่ได้ศึกษาและการวิจัยการทดลองการออกแบบระบบการควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ของการนำหลายอัลกอริทึมมาประยุกต์สำหรับการนำมาพัฒนาทางภาคการเกษตร และนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างคอร์สการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งจำนวน 7 กิจกรรม สำหรับทางวิศวกรรมศึกษา ทางผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและผลที่ได้นำมาวิเคราะห์ สามารถแสดงผลการวิจัย ดังนี้

- 4.1 การหาประสิทธิภาพของข้อมูลการถดถอยพหุคูณและแบบกลุ่มอนุภาค (MLR & PSO)
- 4.2 การหาประสิทธิภาพค่าพยากรณ์ด้วยระบบอนุมานนิเวโรฟซซี่แบบปรับตัวได้ (ANFIS)
- 4.3 การหาประสิทธิภาพค่าการทดลองจริง
- 4.4 ผลการวิจัยทางการเรียนรู้
- 4.5 ผลการวิจัยทางด้านทักษะ
- 4.6 ผลการวิจัยทางด้านกิจนิสัย
- 4.7 ผลการวิจัยทางทัศนคติ

4.1 การหาประสิทธิภาพของข้อมูลการถดถอยพหุคูณและแบบกลุ่มอนุภาค (MLR & PSO)

การหาประสิทธิภาพของข้อมูลด้วยสมการถดถอยพหุคูณเมื่อได้สมการในการหาค่าสัมประสิทธิ์ $\beta_0 = 226.7275$, $\beta_1 = 0.7012$, $\beta_2 = -3.1538$, $\beta_3 = -0.1894$ จะนำค่าข้อมูลอินพุต แทนเข้าไปในสมการ \hat{y} เพื่อพยากรณ์ค่าทั้งหมดของสมการถดถอยพหุคูณ (MLR) โดยได้ค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (MSE) = 63.170439875 ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 7.947983384 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.990659835 หลังจากนั้นทำการปรับค่าสมการให้ดีขึ้นด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยได้ค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (MSE) = 1.5184150290 ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 1.232239842 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.999775492 จะสังเกตเห็นว่า เมื่อทำการปรับค่าด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคทำให้ประสิทธิภาพของข้อมูลมีความแม่นยำที่ดีขึ้น ตามตารางที่ 4.1 (Kitcharoen et al., 2024)

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของข้อมูลการถดถอยพหุคูณและแบบกลุ่มอนุภาค (MLR & MLR-PSO)

Algorithm	MSE	RMSE	R-squared
MLR	63.170439875	7.947983384	0.990659835
MLR-PSO	1.5184150290	1.232239842	0.999775492

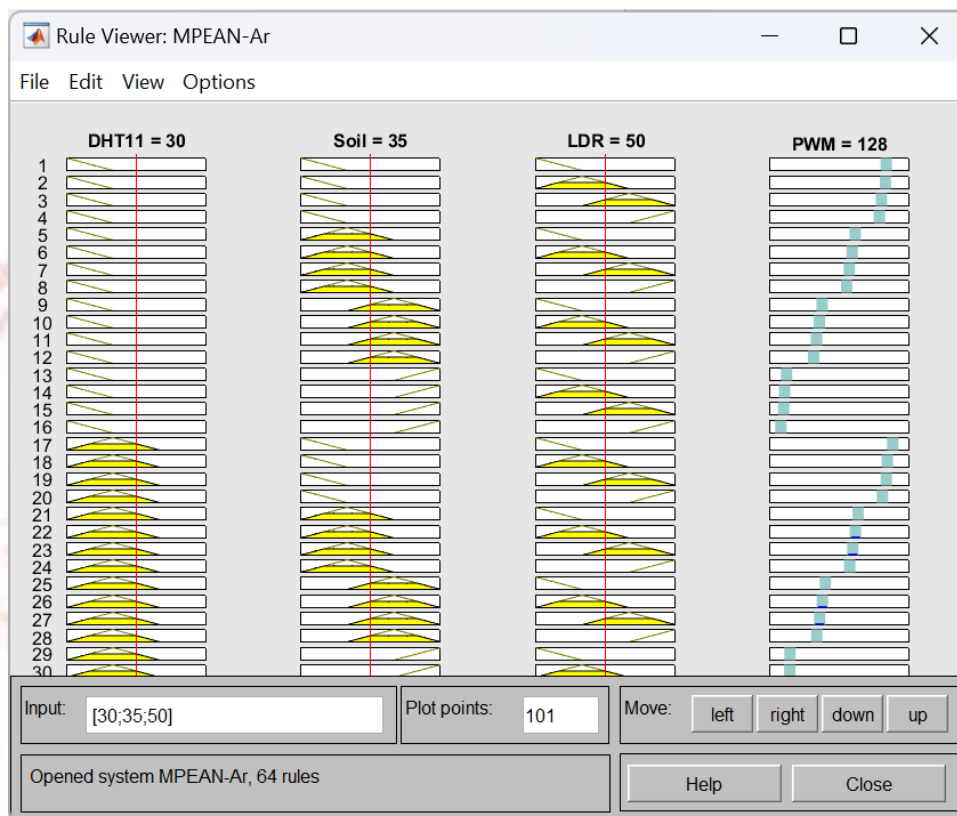
4.2 การหาประสิทธิภาพค่าพยากรณ์ด้วยระบบอนุमानนิวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS)

เมื่อทำการปรับค่าข้อมูลด้วยสมการถดถอยพหุคูณและการหาค่าแบบกลุ่มอนุภาคเรียบร้อยแล้ว จะทำการหาเทรนค่าของข้อมูลด้วยนิวโร-ฟซซี เพื่อเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด จากจำนวนการเทรน 13 ค่า คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขนาด 3 2 2 ขนาด 3 3 2 ขนาด 3 3 3 ขนาด 4 3 3 ขนาด 3 4 3 ขนาด 3 3 4 ขนาด 4 4 3 ขนาด 3 4 4 ขนาด 4 3 4 ขนาด 4 4 4 ขนาด 5 4 4 ขนาด 5 5 4 และขนาด 5 5 5 ผลลัพธ์จากขนาดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้ทำการเทรนค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขนาด 4 4 4 ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 0.0002345207880 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.9999999999187 ตามตารางที่ 4.2 (Kitcharoen et al., 2024)

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพค่าพยากรณ์ด้วยระบบอนุमानนิวโรฟซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS)

Algorithm	RMSE	R-squared
MLR-PSO-ANFIS322	0.7292514976844	0.99992136873045
MLR-PSO-ANFIS332	0.3034931846434	0.99998638121029
MLR-PSO-ANFIS333	0.3067269803404	0.99998608944088
MLR-PSO-ANFIS433	0.2181236812281	0.99999296528892
MLR-PSO-ANFIS343	0.2577291350066	0.99999017872977
MLR-PSO-ANFIS334	0.2554452155062	0.99999035202491
MLR-PSO-ANFIS443	0.1670422658903	0.99999587434058
MLR-PSO-ANFIS344	0.2156268521660	0.99999312541772
MLR-PSO-ANFIS434	0.0410994639564	0.99999975024572
MLR-PSO-ANFIS444	0.0002345207880	0.9999999999187
MLR-PSO-ANFIS544	0.0002651650429	0.9999999998960
MLR-PSO-ANFIS554	0.0003259601203	0.9999999998429
MLR-PSO-ANFIS555	0.0002880429655	0.9999999998773

และได้ค่าการพยากรณ์ของโมเดล (MPEAN-Ar) ผ่านทางการใช้งานตรวจสอบกฎเกณฑ์ (Rule Viewer) ในโปรแกรมแมทแลป ตามรูปที่ 4.1 เมื่อโมเดลได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลที่ปรับอย่างเหมาะสมโดยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค จะมีความแม่นยำที่ดีขึ้นในการพยากรณ์



รูปที่ 4.1 การพยากรณ์ของโมเดล MPEAN-Ar

4.3 การหาประสิทธิภาพค่าการทดลองจริง

การหาประสิทธิภาพจากการทดลองเก็บค่าจริงในช่วงวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2566 จนถึงวันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2566 ที่ฟาร์มกระชายในจังหวัดราชบุรี ประเทศไทย อยู่ในช่วงฤดูร้อน ลักษณะของดินที่ใช้เพาะปลูกเป็นดินเหนียว มีการเก็บข้อมูลในทุกๆ 1 วินาที, 1 นาที, 10 นาที มีจำนวนข้อมูลที่ทำกรเก็บเพื่อวิเคราะห์จำนวน 1207 ข้อมูล และทำการเปรียบเทียบจากค่าของการพยากรณ์จากโปรแกรมแมทแลป เทียบกับการเก็บค่าจริงจากฟาร์มกระชาย พบว่า ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 8.212069632 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.987963603 ตามตารางที่ 4.3 (Kitcharoen et al., 2024)

ตารางที่ 4.3 การประเมินประสิทธิภาพจากการทดลองจริง

Algorithm	RMSE	R-squared
MPEAN-Ar	8.212069632	0.987963603

4.4 ผลการวิจัยทางการเรียนรู้

การเก็บผลการเรียนรู้ก่อนเริ่มเรียนคอร์สปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง ทำการทดสอบพื้นฐานความรู้ของนักเรียนทั้ง 2 กลุ่ม โดยออกข้อสอบแบบอัตนัย จำนวน 8 ข้อ เพื่อให้นักเรียนได้อธิบายเกี่ยวกับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐาน จากตารางที่ 4.4 สมมติฐานศูนย์ (H_0): ค่ามัธยฐานของกลุ่มต่าง ๆ เท่ากัน และสมมติฐานทางเลือก (H_1): ค่ามัธยฐานของกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งกลุ่มแตกต่างจากกลุ่มอื่น ค่า P-Value อยู่ที่ 0.666 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม จากนั้นเมื่อเริ่มเรียนคอร์สปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งจากกิจกรรมที่ 1 ไปจนถึงกิจกรรมที่ 7 แล้วทำการทดสอบความรู้หลังเรียนโดยออกข้อสอบตามจุดประสงค์ของแต่ละกิจกรรม จำนวน 28 ข้อ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้ก่อนเรียนโดยใช้สถิติ ครุสคัล-วอลลิส (Kruskal-Wallis)

ด้านความรู้	จำนวน (N)	ค่ามัธยฐาน (Median)	ค่าอันดับเฉลี่ย (Mean Rank)	ค่าทิศทางความแตกต่าง (Z-Value)	ค่าทางสถิติ ครุสคัล-วอลลิส H-Value	ค่าความน่าจะเป็นแสดง ความแตกต่าง (P-Value)
กลุ่มควบคุม	38	12.5	37.40	-0.43	0.19	0.666
กลุ่มทดลอง	38	12.5	39.60	0.43		

$P > 0.05$ ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้โดยใช้สถิติ แมน-วิทนีย์ ยู (Mann-Whitney)

ด้านความรู้	จำนวน (N)	ค่าอันดับเฉลี่ย (Mean Rank)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (StDev)	ค่าทางสถิติแมน-วิทนีย์ ยู (Z)	ค่าความน่าจะเป็นแสดง ความแตกต่าง (P-Value)
กลุ่มควบคุม	38	30.38	54.42	18.47	-3.211	0.001
กลุ่มทดลอง	38	46.46	79.34	32.72		

*** $P \leq 0.001$ มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้ก่อน-หลังโดยใช้สถิติ วิลคอกซัน (Wilcoxon Signed-Rank)

ด้านความรู้		จำนวน (N)	ค่าอันดับ เฉลี่ย (Mean Rank)	ผลรวม ของอันดับ (Sum of Ranks)	ความแตกต่าง ของคะแนน (Pretest- Posttest)	ค่าทาง สถิติวิลค อกซัน (Z-Value)	ค่าความ น่าจะเป็น แสดงความ แตกต่าง (P-Value)
กลุ่ม ควบคุม	Negative Ranks	2	1.50	3.00	PostCG < PreCG	-5.337	0.000
	Positive Ranks	36	20.50	738.00	PostCG > PreCG		
	Ties	0			PostCG = PreCG		
	Total	38					
กลุ่ม ทดลอง	Negative Ranks	0	0.00	0.00	PostEG < PreEG	-5.304	0.000
	Positive Ranks	37	19.00	703.00	PostEG > PreEG		
	Ties	1			PostEG = PreEG		
	Total	38					

***P ≤ 0.001 มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง

จากตารางที่ 4.5, 4.6 ผลการวิเคราะห์ด้านความรู้ นักเรียนทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 76 คน พบว่า กลุ่มทดลองที่ทำการเรียนการสอนด้วยวิธีการสอนปัญหาประติษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AloT Inquiry-based learning) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 79.34 มากกว่ากลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนปัญหาประติษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบฝึกปฏิบัติเป็นฐาน (AloT Practice-based learning) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.42 จากการสังเกตค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า P-Value พบว่า ทั้งสองตารางแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของระดับความรู้ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองมีความรู้สูงกว่ากลุ่มควบคุม

4.5 ผลการวิจัยทางด้านทักษะ

การเก็บผลด้านทักษะการปฏิบัติงานทั้ง 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองที่ทำการเรียนการสอนด้วยวิธีการสอนปัญหาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AloT Inquiry-based learning) และกลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนปัญหาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบฝึกปฏิบัติเป็นฐาน (AloT Practice-based learning) ทุกๆ กิจกรรมจะมีคะแนนส่วนด้านทักษะ 20 คะแนน แบ่งเป็น 4 หัวข้อ การต่อวงจร เซียนโค้ด สั่งงาน และประยุกต์ นักเรียนภายในกลุ่มเป็นคนให้คะแนนประเมินเพื่อนร่วมกลุ่มโดยมีครูผู้สอนตรวจสอบกิจกรรมการปฏิบัติงาน และทำการเก็บคะแนนทุกสัปดาห์จนครบ 7 กิจกรรม

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้านทักษะโดยใช้สถิติ แมน-วิทนีย ยู (Mann-Whitney)

ด้านความทักษะ	จำนวน (N)	ค่าอันดับเฉลี่ย (Mean Rank)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (StDev)	ค่าทางสถิติ แมน-วิทนีย ยู (Z)	ค่าความน่าจะเป็นแสดงความแตกต่าง (P-Value)
กลุ่มควบคุม	38	33.20	113.34	16.54	-2.095	0.036
กลุ่มทดลอง	38	43.80	120.61	10.01		

**P ≤ 0.01 มีนัยสำคัญยิ่ง

จากตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้านทักษะ นักเรียนทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 76 คน พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 120.61 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 113.34 จากการสังเกตจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า P-Value พบว่า ทั้งสองตารางแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับทักษะระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองมีความทักษะสูงกว่ากลุ่มควบคุม

4.6 ผลการวิจัยทางด้านกิจนิสัย

การเก็บผลด้านกิจนิสัยปฏิบัติงานทั้ง 2 กลุ่ม จะเก็บคะแนนพร้อมการปฏิบัติงาน ทุกๆ กิจกรรมจะมีคะแนนส่วนด้านทักษะ 20 คะแนน แบ่งเป็น 4 หัวข้อ ปลอดภัย ตรงเวลา เรียบร้อย ทีมเวิร์ค นักเรียนภายในกลุ่มเป็นคนให้คะแนนประเมินเพื่อนร่วมกลุ่มโดยมีครูผู้สอนตรวจสอบกิจกรรม และทำการเก็บคะแนนทุกสัปดาห์จนครบ 7 กิจกรรม

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ด้านกิจนิสัยโดยใช้สถิติ แมน-วิทนีย ยู (Mann-Whitney)

ด้านความกิจนิสัย	จำนวน (N)	ค่าอันดับเฉลี่ย (Mean Rank)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (StDev)	ค่าทางสถิติแมน-วิทนีย ยู (Z)	ค่าความน่าจะเป็นแสดงแตกต่าง (P-Value)
กลุ่มควบคุม	38	31.05	117.58	19.33	-2.948	0.003
กลุ่มทดลอง	38	45.49	129.24	9.30		

**P < 0.01 มีนัยสำคัญยิ่ง

จากตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ด้านกิจนิสัย นักเรียนทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 76 คน พบว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 129.24 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 117.58 จากการสังเกตจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า P-Value พบว่า ทั้งสองตารางแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับกิจนิสัยระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองมีความกิจนิสัยสูงกว่ากลุ่มควบคุม

4.7 ผลการวิจัยทางทัศนคติ

การเก็บผลด้านทัศนคติ ทั้ง 2 กลุ่ม จะให้นักเรียนประเมินผลเมื่อเรียนครบทั้ง 7 กิจกรรมเป็นเวลา 14 คาบ และจะทำการทดสอบความรู้ในคาบที่ 15 หลังจากนั้นจะให้นักเรียนประเมินผลทัศนคติในคาบที่ 16 ในรายวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีข้อคำถามจำนวน 10 ข้อ จากตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ทัศนคติ พบว่า จากตารางแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยในแต่ละรายการที่สำคัญสูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองมีทัศนคติที่ดีกว่าในหลายด้านที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอาδυโน้ และจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งบ่งชี้ว่าการตอบสนองในกลุ่มทดลองมีความสม่ำเสมอมากกว่า แสดงถึงประสิทธิผลของการสอนที่ดีกว่าในกลุ่มทดลอง

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ทัศนคติโดยใช้สถิติ การแจกแจงปกติ

รายการประเมิน	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม	
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (StDev)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (StDev)
1) Arduino เป็นเครื่องมือที่น่าสนใจ	4.894	0.3110	4.6053	0.594
2) มีความเข้าใจแนวคิดของตัวแปร	4.289	0.654	3.789	0.843
3) สามารถแยกความแตกต่างและใช้ประโยชน์จากตัวดำเนินการ	4.657	0.5825	4.079	0.632
4) มีความเข้าใจการใช้โครงสร้างแบบมีเงื่อนไข	4.342	0.582	3.842	0.823
5) มีความเข้าใจในการนำโครงสร้างรูปแบบเดิมมาใช้ใหม่	4.421	0.642	3.921	0.850
6) เข้าใจในการนำไปใช้ในกิจกรรมประจำวันย่อยๆ	4.237	0.820	3.974	0.788
7) รู้สึกพร้อมที่จะดำเนินโครงการ Arduino	4.500	0.726	4.158	0.823
8) Arduino เป็นแพลตฟอร์มที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาจริง	4.684	0.574	4.368	0.751
9) สนใจซื้อ Arduino สำหรับโครงการส่วนบุคคล	4.053	0.985	3.816	1.036
10) ต้องการเรียนหลักสูตร Arduino ขั้นสูงเพิ่มเติม	4.631	0.589	4.289	0.956

หมายเหตุ: 1.00–1.50 = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง 1.51–2.00 = ไม่เห็นด้วย 2.51–3.50 = เห็นด้วยปานกลาง 3.51–4.50 = ยอมรับ 4.51–5.00 = เห็นด้วยอย่างยิ่ง

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุสรพสิ่ง โดยได้จำลองระบบการควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ของทุสรพสิ่ง (MPEAN-Ar) จากข้อมูลอุณหภูมิตามสภาพภูมิประเทศของประเทศไทย ความชื้นของดิน แสงแดดถูกนำมาใช้ในการออกแบบ พี ดับบลิว เอ็ม เพื่อใช้ในฟาร์มกระชาย ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาเขียนเป็นการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าทำนายของตัวแปร พี ดับบลิว เอ็ม และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างจากค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (MSE) = 63.170439875 ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 7.947983384 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.990659835 หลังจากนั้นทำการปรับค่าสมการให้ดีขึ้นด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยได้ค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (MSE) = 1.5184150290 ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 1.232239842 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.999775492 ค่าจะถูกแทนค่าในระบบอนุมานคลุมเครือแบบปรับตัว (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) ผลลัพธ์จากขนาดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้ทำการแทนค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขนาด 4 4 4 ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือ ค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 0.0002345207880 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.9999999999187 จากนั้นใช้กฎเพื่อสร้างโค้ดโปรแกรมอาศัยโนผ่านไลบรารีพีชชีลอกจิก แสดงผลบนแดชบอร์ดโนตเรด และใช้งานในฟาร์มกระชาย ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมเพื่อเปรียบเทียบกับค่าทำนายในการทดสอบระบบอนุมานคลุมเครือแบบปรับตัว พบว่าประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่ารากของค่าเฉลี่ยข้อผิดพลาดกำลังสอง (RMSE) = 8.212069632 และ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) = 0.987963603 จากผลการวิจัยเป็นที่พบว่า การแก้ปัญหาการเกษตรที่ซับซ้อนผ่านปัญญาประดิษฐ์เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ การผสมผสานหลายอัลกอริธึมควบคู่กับอาศัยโนช่วยเสริมความก้าวหน้าไปสู่การเกษตรที่ชาญฉลาดและยั่งยืน ส่งเสริมการใช้น้ำอย่างเหมาะสม และเพิ่มความแม่นยำผ่านการจัดการทรัพยากรน้ำอัตโนมัติในฟาร์มกระชาย และเมื่อได้งานทางวิศวกรรมที่น่าเชื่อถือและนำไปปรับใช้ในการสร้างคอร์สการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์อาศัยโนสำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุสรพสิ่ง (AIoT) เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางด้านความรู้ ทักษะ กิจนิสัย และทัศนคติ ของนักเรียน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่ทำการเรียนการสอนด้วยวิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุสรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AIoT

Inquiry-based learning) และกลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบฝึกปฏิบัติเป็นฐาน (AIoT Practice-based Learning) ซึ่งมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างละ 38 คน รวมเป็นจำนวน 76 คน พบว่า ด้านความรู้ ทักษะ และกิจนิสัย กลุ่มทดลองมีค่ามากกว่ากลุ่มตัวอย่าง กล่าวคือ ด้านความรู้กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ย 79.34 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.42 ด้านทักษะกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ย 120.61 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 113.34 ด้านกิจนิสัยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ย 129.24 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 117.58 ด้านทัศนคติกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยในแต่ละรายการสูงกว่ากลุ่มควบคุม

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยการพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรมศึกษา นำเสนอการออกแบบนวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งผ่านทางการสร้างเครื่องมือทางวิศวกรรมในการควบคุมทรัพยากรน้ำอัตโนมัติโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสิ่ง (MPEAN-Ar) เมื่อนำมาปรับใช้ในทางวิศวกรรมศึกษาโดยการออกแบบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโน สำหรับการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง (AIoT) ในการยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางด้านความรู้ ทักษะ กิจนิสัย และทัศนคติ โดยวิธีที่เหมาะสมในการวิจัยนี้ คือ กลุ่มทดลองที่ทำการเรียนการสอนด้วยวิธีการสอนปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (AIoT Inquiry-based learning) ซึ่งให้ผลลัพธ์ดีกว่ากลุ่มควบคุม แต่การเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่งสามารถเพิ่มสมรรถนะทั้งสองกลุ่ม ส่งผลที่ดีต่อการพัฒนาสมรรถนะของนักเรียน จากการเข้าร่วมการวิจัย ทั้งสองกลุ่ม

5.3 ข้อเสนอแนะ

- การวิจัยในอนาคตอาจจะทำการสำรวจเพิ่มเติมในการรวมอัลกอริธึมที่หลากหลายกับอุปกรณ์ อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง เช่น อาδυโนที่มีศักยภาพในการปฏิบัติทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความยั่งยืนและผลผลิตในระยะยาวในภาคการเกษตร
- การนำแบบจำลองโครงสร้างงานวิจัยนี้ไปประยุกต์และปรับใช้กับอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดอื่นๆ
- การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปปรับใช้ในสถานศึกษาต่างๆ โดยการปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับระดับชั้นที่ทำการวิจัย
- การเขียนโค้ดในโปรแกรมอาδυโน ไอดีอี ต้องคำนึงถึงขนาดการใช้งานและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับการวิจัยนั้นๆ

บรรณานุกรม

- Al-Talb, H. N., Al-Faydi, S. N., Fathi, T. A., & Al-Adwany, M. A. (2023). A fuzzy logic IoT-based temperature and humidity control system for smart buildings. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 13(1), 139-147. <https://doi.org/10.12785/ijcds/130110>
- Alves, A. J., Lira, R., Lemos, M., Kridi, D. S., & Leal, K. (2012). Arduino embedded fuzzy logic library (eFLL). Zerokol. Available online: <https://blog.zerokol.com>
- Bansal, J. C., Singh, P. K., Saraswat, M., Verma, A., Jadon, S. S., & Abraham, A. (2011). Inertia weight strategies in particle swarm optimization. In *2011 Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing* (pp. 633-640). Salamanca, Spain. <https://doi.org/10.1109/NaBIC.2011.6089659>
- Bhoi, S. K., Panda, S. K., Jena, K. K., Sahoo, K. S., Jhanjhi, N. Z., Masud, M., & Aljahdali, S. (2022). IoT-EMS: An Internet of Things based environment monitoring system in volunteer computing environment. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 32(3), 2022. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.017913>
- Budi, A. H. S., Juanda, E. A., Fauzi, D. L. N., Henny, H., & Masek, A. (2021). Implementation of simulation software on vocational high school students in programming and Arduino microcontroller subject. *Journal of Technical Education and Training*, 13(3), 108-114. <https://doi.org/10.30880/jtet.2021.13.03.011>
- Bullis, R., Coker, J., Belding, J., Groodt, A. D., Mitchell, D. W., Velazquez, N., ... & Gunderson, J. E. (2021). The Fluorino: A low-cost, Arduino-controlled fluorometer. *Journal of Chemical Education*, 98(12), 3892-3897. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00668>
- Cgseong, C. G., Kim, J. Y., & Park, D. J. (2020). Real-time object control system using open source platform. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(1), 313-319. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i1.pp313-319>

- Daouadi, R., Ounass, D., Soufi, Y., Metatla, A., & Guiza, D. (2020). Real-time implementation of a Takagi-Sugeno fuzzy controller for a DC-DC boost converter. *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 68(4).
- de Moura Oliveira, P. B., Hedengren, J. D., & Solteiro Pires, E. J. (2020). Swarm-based design of proportional integral and derivative controllers using a compromise cost function: An Arduino temperature laboratory case study. *Algorithms*, 13(12), 315. <https://doi.org/10.3390/a13120315>
- De Silva, C. W. (2015). *Sensors and actuators: Engineering system instrumentation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18944>
- Deberneh, H. M., & Kim, I. (2018). Predicting output power for nearshore wave energy harvesting. *Applied Sciences*, 8(4), 566. <https://doi.org/10.3390/app8040566>
- Delavari, H., & Naderian, S. (2020). Design and HIL implementation of a new robust fractional sliding mode control of microgrids. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(26), 6690-6702. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2020.0432>
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education*. Macmillan.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science (pp. 39 - 43)*. Nagoya, Japan. <https://doi.org/10.1109/MHS.1995.494215>
- Effendi, M. K. R., Kassim, M., Sulaiman, N. A., & Shahbudin, S. (2020). IoT smart agriculture for aquaponics and maintaining goat stall system. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(8), 240 - 250. <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.08.028>
- Ferrari, P., Flammini, A., Sisinni, E., Rinaldi, S., Brandão, D., & Rocha, M. S. (2018). Delay estimation of industrial IoT applications based on messaging protocols. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(9), 2188-2199. <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2813798>
- Ferreira, R., Sabino, C., Canesche, M., Neto, O. P. V., & Nacif, J. A. (2024). AIoT tool integration for enriching teaching resources and monitoring student engagement. *Internet of Things*, 26, 101045.

- Görgülü Arı, A., & Meço, G. (2021). A new application in biology education: Development and implementation of Arduino-supported STEM activities. *Biology*, 10(6), 506. <https://doi.org/10.3390/biology10060506>
- Guzmán-Fernández, M., Zambrano de la Torre, M., Ortega-Sigala, J., Guzmán-Valdivia, C., Galvan-Tejeda, J. I., Cruz-Domínguez, O., ... & Durán-Muñoz, H. A. (2021). Arduino: A novel solution to the problem of high-cost experimental equipment in higher education. *Experimental Techniques*. <https://doi.org/10.1007/s40799-021-00498-4>
- Hammam, R. E., Solyman, A. A. A., Alsharif, M. H., Uthansakul, P., & Deif, M. A. (2022). Design of biodegradable Mg alloy for abdominal aortic aneurysm repair (AAAR) using ANFIS regression model. *IEEE Access*, 10, 28579-28589. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3155645>
- Hsiao, S. -J., & Sung, W. -T. (2020). Building a fish-vegetable coexistence system based on a wireless sensor network. *IEEE Access*, 8, 192119-192131. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032795>
- 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. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3025225>
- Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowe, S., & Dargusch, M. S. (2019). Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.001>
- Jang, J. -S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). Perth, WA, Australia. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Kitcharoen, P., Chookaew, S., & Howimanporn, S. (2024). Implementation of an AIoT-based Intelligent Water Resources Control System for Smart Farm. *IEEE Access*.

- Kitcharoen, P., Howimanporn, S., & Chookaew, S. (2023). Review Process to Investigate Trends of Using Arduino to Enhance AI Study. 31st International Conference on Computers in Education, ICCE 2023. pp. 448–455.
- Lai, Y. H., Chen, S. Y., Lai, C. F., Chang, Y. C., & Su, Y. S. (2021). Study on enhancing AIoT computational thinking skills by plot image-based VR. *Interactive Learning Environments*, 29(3), 482-495.
- Lee, E. (2020). A meta-analysis of the effects of Arduino-based education in Korean primary and secondary schools in engineering education. *European Journal of Educational Research*, 9(4), 1503-1512. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.4.1503>
- Lin, Y. S., Chen, S. Y., Tsai, C. W., & Lai, Y. H. (2021). Exploring computational thinking skills training through augmented reality and AIoT learning. *Frontiers in psychology*, 12, 640115.
- Liu, T., Xia, J., Ling, Z., Fu, X., Yu, S., & Chen, M. (2022). Efficient federated learning for AIoT applications using knowledge distillation. *IEEE Internet of Things Journal*. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3191565>
- Makan, G., Mingesz, R., & Gingl, Z. (2021). Reliable readings from Arduino voltmeters. *Physics Education*, 56(4), 043001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abf9b3>
- Mariaraja, P., Charan, R., Harish, M., & Soundhar, B. (2023). Automatic traffic signal controller using Arduino. *EPR International Journal of Research and Development*, 8(2), 38-42.
- Medeiros, R. P., Ramalho, G. L., & Falcão, T. P. (2018). A systematic literature review on teaching and learning introductory programming in higher education. *IEEE Transactions on Education*, 62(2), 77-90. <https://doi.org/10.1109/TE.2018.2816723>
- Mohd Shaari Azyze, N. L. A., Isa, I. S. M., & Kamaruzaman, N. S. (2021). Development of real-time LoRa-based air pollution monitoring system. *Asian Research Publishing Network*.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119410445>
- Mujiarto, A. D., Komaro, M., Mohamed, M. A., & Rahayu, D. S. (2019). Colored object detection using 5 dof robot arm based adaptive neuro-fuzzy method.

- Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 13(1), 293-299. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v13.i1.pp293-299>
- Olive, D. J. (2017). Multiple Linear Regression. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55252-1>
- Omidi, S. A., Baig, M. J. A., & Iqbal, M. T. (2023). Design and implementation of Node-RED based open-source SCADA architecture for a hybrid power system. *Energies*, 16(5), 2092. <https://doi.org/10.3390/en16052092>
- Pajpach, M., Haffner, O., Kučera, K., & Drahoš, P. (2022). Low-cost education kit for teaching basic skills for industry 4.0 using deep-learning in quality control tasks. *Electronics*, 11(2), 230. <https://doi.org/10.3390/electronics11020230>
- Pajpach, M., Haffner, O., Kučera, K., & Drahoš, P. (2022). Low-cost education kit for teaching basic skills for industry 4.0 using deep-learning in quality control tasks. *Electronics*, 11(2), 230. <https://doi.org/10.3390/electronics11020230>
- Pandey, A., Kashyap, A. K., Parhi, D. R., & Patle, B. K. (2019). Autonomous mobile robot navigation between static and dynamic obstacles using multiple ANFIS architecture. *World Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.1108/WJE-06-2019-0175>
- Park, W., & Kwon, H. (2024). Implementing artificial intelligence education for middle school technology education in Republic of Korea. *International journal of technology and design education*, 34(1), 109-135.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. International Universities Press, Inc.
- Rejeb, N., & Kalboussi, H. (2024). AIOT FOR EDUCATION: ENHANCING LEARNING AND ADAPTING TEACHING IN REAL-TIME BASED ON STUDENTS'NEEDS.
- Roumen, G. J., & Fernaeus, Y. (2021). Envisioning Arduino Action: A collaborative tool for physical computing in educational settings. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 29, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100277>
- Sanjaya, W. S. M., Sambas, A., Jannah, M., Rahayu, D. S., Mamat, M., & Mohamed, M. A. (2019). Design of 4 Dof robot arm based on adaptive neuro-fuzzy (ANFIS) using vision in detecting color objects. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2S7), 224-227. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1035.0982S719>

- Sarhan, Q. I. (2020). Systematic survey on smart home safety and security systems using the Arduino platform. *IEEE Access*, 8, 128362-128384. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008995>
- Sari, U., Çelik, H., Pektaş, H. M., & Yalçın, S. (2022). Effects of STEM-focused Arduino practical activities on problem-solving and entrepreneurship skills. *Australasian Journal of Educational Technology*, 38(3), 140-154. <https://doi.org/10.14742/ajet.7846>
- Sari, U., Pektaş, H. M., Şen, Ö. F., & Çelik, H. (2022). Algorithmic thinking development through physical computing activities with Arduino in STEM education. *Education and Information Technologies*, 27(5), 6669-6689. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10801-1>
- Setyawan, T. A., Nugroho, A. S., Febyana, A., & Pramono, S. (2022). Multiple linear regression method used to control nutrient solution on hydroponic cultivation. *Journal of Engineering Science and Technology*, 17(5), 3460-3474.
- Sheikh Ahmadi, S. H., Karami, M., Gholami, M., & Mirzaei, R. (2020). Improving MPPT performance in PV systems based on integrating the incremental conductance and particle swarm optimization methods. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s40998-020-00295-1>
- Shi, Y., & Eberhart, R. (1998). A modified particle swarm optimizer. In 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings (pp. 69-73). IEEE World Congress on Computational Intelligence, Anchorage, AK, USA. <https://doi.org/10.1109/ICEC.1998.699146>
- Songara, J. C., & Patel, J. N. (2022). Calibration and comparison of various sensors for soil moisture measurement. *Measurement*, 197, 111301. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111301>
- Stolpe, K., & Hallström, J. (2024). Artificial intelligence literacy for technology education. *Computers and Education Open*, 6, 100159.
- Sulistiyanto, M. P. T., Harianto, W., Nugroho, D. A., Retandi, R. E., Akbar, A. K., & Tjahjanti, P. H. (2018). The controlling and monitoring system in oyster

mushroom cultivation using fuzzy logic through web technology integrated with Internet of Things. MATEC Web of Conferences.

- Suresh, P., Aswathy, R. H., Arumugam, S., Albraikan, A. A., Al-Wesabi, F. N., Hilal, A. M., & Alamgeer, M. (2022). IoT with evolutionary algorithm based deep learning for smart irrigation system. *CMC*, 71(1), 1713-1728. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.021715>
- Sutyasadi, P., & Wicaksono, M. B. (2020). Joint control of a robotic arm using particle swarm optimization based H₂/H_∞ robust control on Arduino. *Telecommunication Computing Electronics and Control*, 18(2), 1021-1029. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v18i2.14392>
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15(1), 116-132. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399>
- Tedla, T. B., Bovas, J. J. L., Berhane, Y., Davydkin, M. N., & James, P. S. (2019). Automated granary monitoring and controlling system suitable for the sub-Saharan region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(12), 1943-1951.
- Torres, D., Dias, J. P., Restivo, A., & Ferreira, H. S. (2020). Real-time feedback in Node-RED for IoT development: An empirical study. In *2020 IEEE/ACM 24th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT)* (pp. 1-8). Prague, Czech Republic. <https://doi.org/10.1109/DS-RT50469.2020.9213544>
- Tsai, C. C., Cheng, Y. M., Tsai, Y. S., & Lou, S. J. (2021). Impacts of AIOT implementation course on the learning outcomes of senior high school students. *Education Sciences*, 11(2), 82.
- Tsai, C. C., Chung, C. C., Cheng, Y. M., & Lou, S. J. (2022). Deep learning course development and evaluation of artificial intelligence in vocational senior high schools. *Frontiers in Psychology*, 13, 965926.
- Tupac-Yupanqui, M., Vidal-Silva, C., Pavesi-Farriol, L., Ortiz, A. S., Cardenas-Cobo, J., & Pereira, F. (2022). Exploiting Arduino features to develop programming

- competencies. *IEEE Access*, 10, 20602-20615. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3154082>
- Ueyama, Y., Sago, T., Kurihara, T., & Harada, M. (2022). An inexpensive autonomous mobile robot for undergraduate education: Integration of Arduino and Hokuyo laser range finders. *IEEE Access*, 10, 79029-79040. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3193428>
- Vidal, J., Bravo, D. A., & Rengifo, C. F. (2022). Teaching physical sciences using Arduino physics lab at the Universidad Del Cauca. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 17(3), 223-229. <https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3156376>
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Zhang, C., Yuan, X., Zhang, Q., Zhu, G., Cheng, L., & Zhang, N. (2022). Toward tailored models on private AIoT devices: Federated direct neural architecture search. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(18), 17309-17322. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3158711>
- Zhao, J., Xu, M., & Wang, X. (2024). A novel dataset based on indoor teacher-student interactive mode using AIoT. *Internet of Things*, 25, 101044.
- Zhao, Y., & Lian, Y. (2022). Event-driven circuits and systems: A promising low power technique for intelligent sensors in AIoT era. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 69(7), 3122-3128. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2022.3148517>
- Zhu, H., Tiwari, P., Ghoneim, A., & Hossain, M. S. (2021). A collaborative AI-enabled pretrained language model for AIoT domain question answering. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(5), 3387-3396. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3049593>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารประกอบการวิจัย



รูปที่ ก.1 QR code เอกสารการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ
ในโปรแกรมแมทแล็บ จำนวน 11 หน้า



รูปที่ ก.2 QR code เอกสารตัวอย่างการคำนวณวิธีหาค่าเหมาะสม
ที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค จำนวน 63 หน้า



รูปที่ ก.3 QR code เอกสารไมโครคอนโทรลเลอร์อาδυโน้ เมกา
2560 โค้ดโปรแกรม จำนวน 63 หน้า



รูปที่ ก.4 QR code เอกสารคอร์ส AIoT จำนวน 93 หน้า



รูปที่ ก.5 QR code เอกสารแบบทดสอบความรู้ จำนวน 18 หน้า



รูปที่ ก.6 QR code เอกสารแบบประเมินทักษะและจิตพิสัย
จำนวน 1 หน้า



รูปที่ ก.7 QR code เอกสารแบบประเมินทัศนคติ
จำนวน 3 หน้า



รูปที่ ก.8 QR code เอกสาร IOC คอร์สการอบรม
จำนวน 9 หน้า

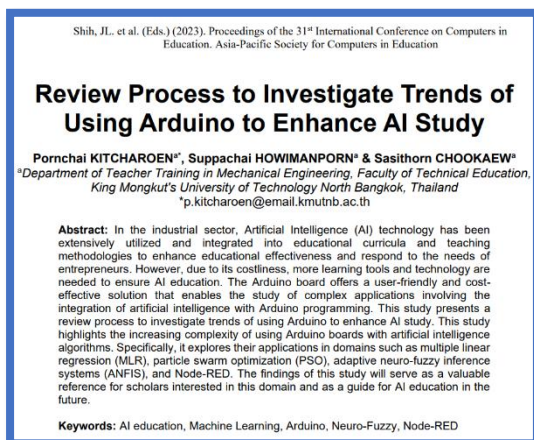


รูปที่ ก.9 QR code เอกสารหนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ
จำนวน 7 หน้า

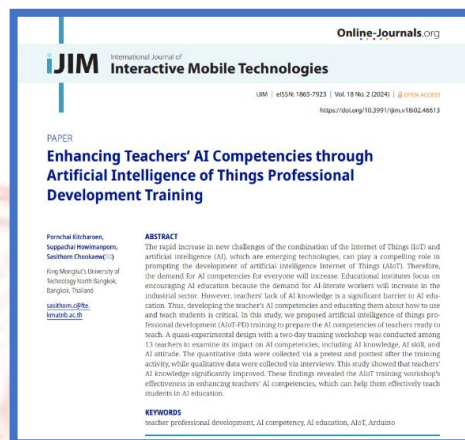


รูปที่ ก.10 QR code ค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญ
จำนวน 4 หน้า

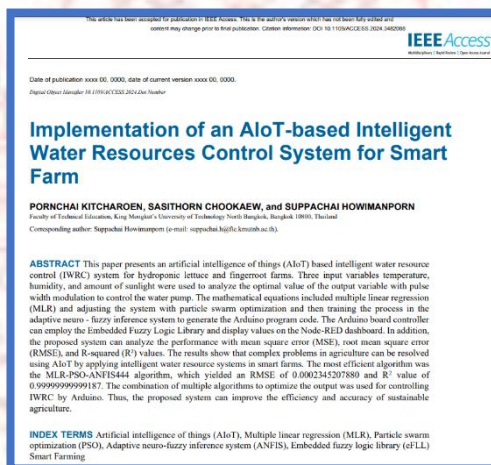
ภาคผนวก ข บทความงานวิจัย



(ข.1)



(ข.2)



(ข.3)

รูปที่ ข.1 บทความประชุมวิชาการนานาชาติ

รูปที่ ข.2 - ข.3 บทความตีพิมพ์ระดับนานาชาติ

วารสาร (journal)

1. Kitcharoen, P., Chookaew, S., & Howimanporn, S. (2024). Implementation of an AIoT-based Intelligent Water Resources Control System for Smart Farm. *IEEE Access*. [SCOPUS: Q1, SJR: Q1] (ข.3)
2. Kitcharoen, P., Howimanporn, S., & Chookaew, S. (2024). Enhancing Teachers' AI Competencies through Artificial Intelligence of Things Professional Development Training. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 18(02), pp. 4–15. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i02.46613> [SCOPUS: Q2, SJR : Q3] (ข.2)

International Conference Proceedings

1. Kitcharoen, P., Howimanporn, S., Chookaew, S. (2023). Review Process to Investigate Trends of Using Arduino to Enhance AI Study. 31st International Conference on Computers in Education, ICCE 2023. pp. 448–455. [SCOPUS] (ข.1)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายพรชัย กิจเจริญ
ชื่อคุณวุฒิพนธ์	การพัฒนาวัตกรรมการเรียนรู้ปัญญาประดิษฐ์ของทุกสรรพสิ่ง เพื่อยกระดับสมรรถนะของผู้เรียนทางวิศวกรรมศึกษา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
ประวัติ	- พ.ศ. 2567 ปรัชญาคุณวุฒิบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา แขนงวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ - พ.ศ. 2556 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ - พ.ศ. 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุฒิ

