ชุดควบคุมพีเอชน้ำควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

WATER'S PH CONTROLLER BY USING FUZZY LOGIC

นายชูศักดิ์ เมธสมบูรณ์ รหัส 57362965

นายสุทธิชัย พึ่งบุญเก่า รหัส 57363566

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ชุดควบคุมพีเอชน้ำควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

ผู้ดำเนินโครงงาน นายชูศักดิ์ เมธสมบูรณ์ รหัส 57362965

นายสุทธิชัย พึ่งบุญเก่า รหัส 57363566

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ

(ดร.จิรวดี ผลประเสริฐ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ชุดควบคุมพีเอชน้ำควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายชูศักดิ์	เมธสมบูรณ์	รหัส 57362965
	นายสุทธิชัย	พึ่งบุญเก่า	รหัส 57363566
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2560		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดควบคุมค่าพีเอชของน้ำแบบฟัซซีลอจิกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่ ชุดควบคุมนี้สามารถควบคุมค่าพีเอชของน้ำให้อยู่ระหว่าง 6 ถึง 8 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์เป็นตัวปรับให้น้ำมีความเป็นกรดและด่างที่มีค่าพีเอช 4 และ 10 ตามลำดับ โดยใช้พีเอชเซนเซอร์ SKU: SEN0161 เป็นตัววัดค่าพีเอชของน้ำแล้วแปลงค่าส่งไปยังอาดูโน่เพื่อประมวลผลด้วยฟัซซีลอจิก แล้วอาดูโน่สั่งให้ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงที่ระดับแรงดัน 1.5 โวลต์ทำงานผ่านรีเลย์เพื่อหยดสารละลายกรดหรือด่างตามผลประเมินที่ได้จากฟัซซีลอจิกและแสดงผลเป็นจำนวนหยดที่หน้าจอแอลซีดี ส่วนของตัวควบคุมฟัซซี อินพุตของฟัซซีประกอบด้วยฟังก์ชันสมาชิกของค่าพีเอชที่ต้องการกับผลต่างของค่าพีเอชที่วัดจากเซนเซอร์และค่าพีเอชที่ต้องการ ส่วนเอาต์พุตของฟัซซีแสดงเป็นจำนวนหยดของสารละลายที่ต้องการหยด จากผลการทดลองพบว่าการปรับค่าพีเอชของน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสามารถปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยมีความคาดเคลื่อนสูงสุดที่ร้อยละ 2.8 และมีการทำงานในแต่ละครั้งไม่เกิน 10 วินาที

Project title	Water pH Control using Fuzzy Logic Controller
Name	Mr. Choosak Matesombhun ID. 57362965
	Mr. Suttichai Pungboonkao ID. 57363566
Project advisor	Mr. Sarawut Wattanawongpitak, D.Eng.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2017

Abstract

This project presents the design and invention of water's pH controlled by using fuzzy logic with the use of Arduino microcontroller. This controller can control pH's water to the pH setting within 6 to 8 by using the acid and base buffer solution with pH 4 and 10, respectively. The pH sensor, SKU: SEN0161, is used for measurement the water and transduces to Arduino for evaluation by fuzzy logic. Arduino commands 1.5 volt oxygen pump via relay for dropping the acid or base buffer solution according to the evaluated result from fuzzy logic. Then the number of required droplets is displayed on LCD screen. In fuzzy logic controller, the inputs of fuzzy compose of two member functions: required pH and pH difference between required pH and measured pH. The output of fuzzy is member function of the number of required droplets. From the results, it is found that this fuzzy logic controller can adjust the pH of water within acceptable range with maximum error 2.8% and operating time is within 10 seconds.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมค่าพีเอชของน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ซึ่งจะไม่มีทางสำเร็จไปได้ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

และสิ่งสำคัญที่สุดขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนแก่คณะผู้จัดทำจนทำให้คณะผู้จัดทำทุกคนมีวันนี้ได้ ซึ่งเป็นพระคุณอันหาที่เปรียบไม่ได้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน
นายชูศักดิ์ เมธสมบูรณ์
นายสุทธิชัย พึ่งบุญเก่า

กรกฎาคม 2561

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 งบประมาณ 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำ 4
2.2 ความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอช 5
2.3 สารละลายที่ใช้ปรับปรุงค่าพีเอช 7
2.4 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก 8
2.4.1 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี 9
2.4.2 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Functions) 10
2.4.3 ตัวแปรภาษา (linguistic variable) 11
2.4.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต 12
2.4.5 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก 13
2.4.6 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (Mamdani) 15
2.5 บอร์ดอาดูโน่ 22
2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR 22

2.5.2 ข้อมูลทั่วไปของบอร์ด..... 23
2.6 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ..... 24
2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดค่าพีเอช..... 25
2.6.2 เครื่องวัดพีเอช..... 26
2.7 ปั๊มออกซิเจนกระแสตรง 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีดำเนินงาน 29
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน 29
3.2 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องควบคุมค่าพีเอช 32
3.2.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของเครื่องควบคุมค่าพีเอช 32
3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องควบคุมควบคุมค่าพีเอช 33
3.2.3 การประกอบทุกส่วนเข้าเป็นเครื่องควบคุมค่าพีเอช 38
3.3 การหาค่าที่เหมาะสมในการปล่อยสารละลาย 39
3.3.1 การทดลองปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์ 39
3.3.2 การทดสอบหาปริมาตรสารต่อจำนวนหยด 41
3.3.3 การหาเวลาที่ใช้หยดสารละลายด้วยปั๊มออกซิเจนกระแสตรง 42
3.4 การออกแบบการทำงานตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก 43
3.4.1 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี แบบที่ 1 45
3.4.2 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี แบบที่ 2 52
3.4.3 การเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลาย 58
3.4.4 ตัวอย่างการคำนวณ 60

บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล 70
4.1 การทดสอดควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นเบสมากขึ้น 70
4.1.1 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 6 ไปหาพีเอช 7 70
4.1.2 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 7 ไปหาพีเอช 8 72
4.2 การทดสอดควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นกรดมากขึ้น 73
4.2.1 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 7 ไปหาพีเอช 6 73
4.2.1 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 8 ไปหาพีเอช 7 74

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 76
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 76
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 77
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา 77

เอกสารอ้างอิง 78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 79
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 81
ภาคผนวก ค รายละเอียดข้อมูลของบอร์ดอาดูโน่ 83
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลของเซนเซอร์วัดค่าพีเอช 85
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 94

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (น้ำประปา) 5
2.2 บัฟเฟอร์ที่เกิดจากกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน 7
2.3 บัฟเฟอร์ที่เกิดจากเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน 7
2.4 สารละลายบัฟเฟอร์ 8
2.5 การดำเนินการทางฟัซซีเซต 13
2.6 ลักษณะค่าที่วัดได้ของพีเอชเซนเซอร์ 27
3.1 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับจอแอลซีดี 34
3.2 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับรีเลย์ 35
3.3 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับเซนเซอร์วัดค่าพีเอช 35
3.4 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับปุ่มกดคีย์แพด 37
3.5 การเชื่อมรีเลย์กับปั๊มออกซิเจน 37
3.6 การทดสอบค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 39
3.7 การทดสอบค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 40
3.8 การทดสอบหาจำนวนหยดของปริมาตรสารละลาย 1 มิลลิลิตร 41
3.9 การหาเวลาที่ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงทำงานที่แรงดัน 1.5 โวลต์ 42
3.10 ข้อมูลการออกแบบฟัซซี 44
3.11 กฎการควบคุมค่าพีเอช 48
3.12 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชของน้ำพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.03 ปรับเป็น 6 50
3.13 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชของน้ำพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.03 ปรับเป็น 8 51
3.14 กฎการควบคุมค่าพีเอช 55
3.15 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชของน้ำพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.91 ปรับเป็น 6 58
3.16 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชของน้ำพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ปรับเป็น 8 58
3.17 ข้อมูลแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 59
3.18 ข้อมูลแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 59
3.19 ตารางแสดงการคำนวณหาค่า COG 63

3.20 ตารางแสดงการคำนวณหาค่า COG 68
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมค่าพีเอช 71
4.2 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 71
4.3 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 72
4.4 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 73
4.5 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 74
4.6 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 74
4.7 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 75
4.8 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย 75

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แถบสีมาตรฐานของค่าพีเอช 6
2.2 สารละลายบัฟเฟอร์กรดพีเอช 4 (ก) และสารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10 (ข) 8
2.3 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลินลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก) 9
2.4 ตัวอย่างตัวแปรภาษา 12
2.5 โครงสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซี 14
2.6 (ก) ระดับความเป็นสมาชิกของค่าความผิดพลาดที่ -0.67 องศาเซลเซียส
(ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงของ ค่าความผิดพลาดที่ +1.67 องศาเซลเซียส/นาที 17
2.7 การอนุมานแบบแมมดานิ 20
2.8 การประเมินค่าฟังก์ชันสมาชิก (ก) วิธีตัดยอด (ข) วิธีปรับขนาด 21
2.9 ผลการรวมกฎของ Error = -0.67°C และ ErrorRate = +1.67°C 21
2.10 การทำดีฟัซซีควบคุมอุณหภูมิ 22
2.11 โครงสร้างของบอร์ดอาดูโน่ 23
2.12 การทำงานของโวลต์มิเตอร์ 25
2.13 ส่วนประกอบของหัววัดพีเอชเซนเซอร์ 26
2.14 พีเอชเซนเซอร์รุ่น SEN0161 26
2.15 MINI AIR PUMP 12 V 28
3.1 ภาพรวมของวงจรเชื่อมต่อภายในตัวเครื่อง 30
3.2 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบปรับพีเอช 31
3.3 ตัวอย่างแสดงค่าเมื่อพีเอชที่วัดได้มากกว่าค่าที่กำหนด 32
3.4 ตัวอย่างแสดงค่าเมื่อพีเอชที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนด 32
3.5 โครงสร้างการปล่อยสารละลายเพื่อควบคุมค่าพีเอช 33
3.6 ตัวอย่างการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี 34
3.7 ตัวอย่างค่าพีเอชที่วัดได้แสดงผลในบอร์ดอาดูโน่ 36
3.8 เครื่องควบคุมค่าพีเอช 38
3.9 เครื่องควบคุมค่าพีเอชของน้ำ 38
3.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 40
3.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 41
3.12 การทดลองหาการไหลของสารด้วยปั๊มออกซิเจนกระแสตรง 42
3.13 ภาพรวมกระบวนการทำงานของฟัซซีลอจิก 43

3.14 การออกแบบอินพุตและเอาต์พุต 45
3.15 อินพุตของค่าพีเอชซึ่งเป็นค่าฐานพีเอช 46
3.16 อินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์ 47
3.17 กราฟพื้นที่ผิวการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ 49
3.18 ประมวลผลแบบกฎการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ 49

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

3.19 เอาต์พุตจำนวนหยดของสารละลายสำหรับปรับค่าพีเอช 50
3.20 การออกแบบอินพุตและเอาต์พุต 52
3.21 อินพุตของค่าพีเอชซึ่งเป็นค่าฐานพีเอช 53
3.22 อินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์ 54
3.23 กราฟพื้นที่ผิวการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ 56
3.24 ประมวลผลแบบกฎการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ 56
3.25 เอาต์พุตจำนวนหยดของสารละลายสำหรับปรับค่าพีเอช 57
3.26 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าพีเอชฐานค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ0.3333และ0.4 60
3.27 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าผลต่างพีเอชค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ0.4และ0.6 60
3.28 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ก) 61
การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ข) 62
3.29 การประเมิณค่าฟังก์ชันสมาชิกด้วยวิธีตัดยอด 63
3.30 การทำดีฟัซซีด้วยวิธีหาจุดศูนย์ถ่วงของระบบควบคุมค่าพีเอช 64
3.31 ผลการคำนวณจากโปรแกรมแมทแล็บ 64
3.32 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าพีเอชฐานค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ0.3333และ0.4 65
3.33 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าผลต่างพีเอชค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ0.4และ0.5917 65
3.34 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ก) 66
การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ข) 67
3.35 การประเมิณค่าฟังก์ชันสมาชิกด้วยวิธีตัดยอด 68
3.36 การทำดีฟัซซีด้วยวิธีหาจุดศูนย์ถ่วงของระบบควบคุมค่าพีเอช 69
3.37 ผลการคำนวณจากโปรแกรมแมทแล็บ 69
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมค่าพีเอช 71

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรงงานอุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่ม ได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพของสินค้าเป็นอย่างมาก โดยมีมาตรฐานของคุณภาพสินค้าที่ผลิตซึ่งค่าพีเอชก็เป็นหนึ่งในมาตรฐานการผลิต ไม่ควรที่จะมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ซึ่งจะทำให้รสชาติของเครื่องดื่มผิดเพี้ยนไปจากที่ควร และคงไม่เป็นที่น่าพอใจของผู้บริโภค ค่าพีเอชในเครื่องดื่มจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องควบคุมให้อยู่ในมาตรฐานของสินค้าที่ผลิต

การควบคุมค่าพีเอชเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นปัญหาในการควบคุมที่มีความยาก เนื่องจากค่าพีเอชมีความไม่เป็นเชิงเส้น และปัจจุบันตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากมีเสถียรภาพสูงและไม่มีข้อจำกัดของจำนวนอินพุตหรือเอาต์พุต การควบคุมค่าพีเอชด้วยเครื่องควบคุมรุ่นก่อน ซึ่งการควบคุมค่าพีเอชใช้เวลานาน จึงไม่เป็นที่น่าพอใจเท่าที่ควร อีกทั้งแก้วบรรจุสารอยู่ภายนอกของเครื่องและเป็นแก้วบรรจุสารแบบเปิด จึงไม่สะดวกเมื่อมีการเคลื่อนย้าย

ดังนั้นเพื่อลดปัญหาด้านระยะเวลาที่ใช้ในการหยดสารในควบคุมค่าพีเอช เราจึงใช้ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงมาช่วยในการหยดสารให้มีความเร็วยิ่งขึ้น และเพื่อให้พกพาได้สะดวกจึงใช้ขวดบรรจุสารแบบปิดเพื่อป้องกันสารรั่วไหลออกมาภายนอกได้ โดยได้ทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 6 ถึง 8 ทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดค่าพีเอชเพื่อส่งข้อมูลไปยังบอร์ดอาดูโน่ โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกประมวลผลและนำผลลัพธ์ที่ได้มาช่วยในการตัดสินใจเลือกเวลาและแรงดันที่เหมาะสมเพื่อจ่ายให้กับปั๊มออกซิเจนกระแสตรง และแสดงผลลัพธ์ที่ได้ออกทางหน้าจอแอลซีดี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

สร้างเครื่องควบคุมค่าพีเอชของน้ำโดยใช้ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงผ่านตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกร่วมกับบอร์ดอาดูโน่

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ออกแบบการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ ควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

2) ใช้เซนเซอร์วัดค่าพีเอช แล้วส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังบอร์ดอาดูโน่ สามารถวัดค่าพีเอชได้ในช่วง 0-14

3) การควบคุมค่าพีเอชจะทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำประปาปริมาณ 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.50-7.20

4) สารที่ใช้ควบคุมค่าพีเอชของน้ำได้แก่ สารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10 และสารละลายบัฟเฟอร์กรดพีเอช 4

5) การควบคุมค่าพีเอช จะทำการควบคุมค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 6 ถึง 8

6) ตัวควบคุมความเร็วการปล่อยสารได้แก่ปั๊มออกซิเจนกระแสตรง 5-12 โวลต์ ที่เชื่อมต่อกับโซลินอยด์วาล์วขนาดเล็กต่อกับไฟกระแสตรง 12 โวลต์

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1) ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับบอร์ดอาดูโน่และวิธีการควบคุมค่าพีเอช												
2) ออกแบบการทำงานของเครื่องควบคุมค่าพีเอช												
3) จัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงงาน												
4) เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน												
5) ทดสอบการทำงานของเครื่องควบคุมค่าพีเอช												
6) วิเคราะห์และสรุปผล												
7) จัดทำรูปเล่มโครงงาน												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เครื่องควบคุมค่าพีเอชมีขั้นตอนการใช้งานง่าย

2) การควบคุมค่าพีเอชมีความถูกต้องและมีความรวดเร็ว

3) เครื่องควบคุมค่าพีเอชสามารถพกพาได้สะดวก

1.6 งบประมาณ

1) ค่าอุปกรณ์ทางไฟฟ้า	
1.1) บอร์ดอาดูโน่	450 บาท
1.2) เซนเซอร์วัดค่าพีเอช	1,750 บาท
1.3) โซลินอยด์วาล์วขนาดเล็กกระแสตรง 12 โวลต์	426 บาท
1.4) หน้าจอแสดงผล แบบแอลซีดี 20X4 ตัวอักษร	220 บาท
1.5) บอร์ดรีเลย์ 5 โวลต์ 4 ช่อง	190 บาท
1.6) ปั๊มออกซิเจนกระแสตรง	150 บาท
1.7) อุปกรณ์ไฟฟ้า	265 บาท
1.8) ปุ่มกดคีย์แพด	40 บาท
2) ค่าอุปกรณ์โครงสร้าง	
2.1) แผ่นไม่อัด	100 บาท
2.2) แผ่นไม้สน	250 บาท
2.3) หูจับสแตนเลส	25 บาท
3) ค่าอุปกรณ์เคมี	
3.1) สารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10	400 บาท
3.2) สารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 4	380 บาท
4) ค่าถ่ายเอกสารและเข้ารูปเล่มปริญญานิพนธ์	500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิน (ห้าพันสองร้อยสิบหกบาทถ้วน)	5,216 บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทำโครงงานชุดควบคุมค่าพีเอชของน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก คือการสร้างเครื่องควบคุมค่าพีเอชของน้ำ โดยนำเทคโนโลยีมาช่วยอำนวยความสะดวกและรวดเร็วในการควบคุมค่าพีเอชได้แก่บอร์ดอาดูโน่ เซนเซอร์วัดค่าพีเอช ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงและเนื่องด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชมีความไม่แน่นอนยากต่อการควบคุม ด้วยเหตุนี้ผู้ดำเนินโครงงานจึงเลือกใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกเพื่อช่วยในการควบคุมค่าพีเอชให้มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด โดยผู้ดำเนินโครงงานได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งหัวข้อได้ดังนี้

1) มาตรฐานคุณภาพน้ำ
2) ความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอช
3) สารละลายที่ใช้ปรับปรุงค่าพีเอช
4) ทฤษฎีฟัซซีลอจิก
5) บอร์ดอาดูโน่
6) เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ
7) ปั๊มออกซิเจนกระแสตรง

2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในชีวิตมนุษย์ เพราะเราไม่สามารถที่จะขาดน้ำได้ในการดำรงชีวิต และในโลกนี้ยังมีปริมาณน้ำถึงสามในสี่ส่วนของพื้นที่ทั้งหมด แต่น้ำที่เราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ก็คือน้ำจืดที่มีอยู่ไม่ถึงร้อยละ 10 ของน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในโลก ซึ่งแหล่งน้ำที่เรานำมาใช้นี้ได้มาจาก 2 ส่วน คือ แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบที่เราสามารถผลิตน้ำประปาได้

เมื่อเราได้แหล่งน้ำดิบแล้ว ถึงแม้ว่าเราจะดูด้วยตาว่าน้ำดิบนี้สะอาดแต่แท้ที่จริงแล้วอาจมีสารปนเปื้อนที่ไม่ปลอดภัยในการนำมาอุปโภคบริโภคจึงควรที่จะมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเสียก่อนเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานน้ำบริโภค

คุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับการบริโภค ควรเป็นน้ำที่ปราศจากสี กลิ่น รส ความขุ่น สารพิษ เชื้อโรค และมีปริมาณเกลือแร่ที่เหมาะสม ดังนั้นการตรวจคุณภาพน้ำที่ใช้ในการบริโภคต้องตรวจลักษณะทางกายภาพ เคมี สารพิษ และแบคทีเรีย มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อบริโภคซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานต่างๆ ที่มีภารกิจเกี่ยวกับน้ำ

1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท

2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2521) เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2521)

3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2542) เรื่องมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้

คุณภาพน้ำมีความสำคัญเท่าๆ กับปริมาณหากมีปริมาณน้ำมากแต่คุณภาพไม่ดี จะไม่เกิดประโยชน์ คุณภาพไม่ดีจะเป็นโทษ เช่น น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจะมีผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง ดังนั้นก่อนนำน้ำมาใช้ต้องตรวจวิเคราะห์ก่อน ซึ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำจะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นเรามาดูกันว่าน้ำที่เราใช้ในปัจจุบันมีคุณภาพตามมาตรฐานหรือไม่
ซึ่งในโครงงานนี้ขอยกข้อมูลมาเพียงคุณภาพทางกายภาพเท่านั้น รายละเอียดตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (น้ำประปา)

คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย**	**มาตรฐาน**	
			เกณฑ์กำหนด สูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	**เกณฑ์อนุโลม สูงสุด (Maximum Allowable Concentration)**
ทางกายภาพ	1) สี (Colour)	ปลาตินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt)	5	15
	2) รส (Taste)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	3) กลิ่น (Odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	4) ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกา สเกล ยูนิต (Silica scale unit)	5	20
	5) ความเป็นกรด-เบส (pH)	-	6.5-8.5	9.2

<u>หมายเหตุ</u> เกณฑ์ที่อนุโลมให้สูงสุดเป็นเกณฑ์ที่อนุญาตให้สำหรับน้ำประปาหรือน้ำบาดาลที่มีความจำเป็นต้องใช้บริโภคเป็นการชั่วคราวและน้ำที่มีคุณลักษณะอยู่ในระหว่างเกณฑ์กำหนดสูงสุดกับเกณฑ์อนุโลมสูงสุดนั้นไม่ใช่น้ำที่ให้เครื่องหมายมาตรฐานได้

ที่มา : http://202.129.59.73/nana/standard/st1.htm

2.2 ความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอช

ค่า pH เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส ของสารที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นเบสหรือด่าง แต่ถ้าค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นกลางหรือที่เรียกว่า pH balance หรือไม่เป็นกรดหรือเบสไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง การหาค่า pH ในสารต่างๆ มีประโยชน์มากมายในด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างด้านอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง จนรวมไปถึงวงการการแพทย์ การเกษตร ฯลฯ

ของเหลวที่อยู่รอบๆ ตัวเรามักมีค่าใกล้เคียง 7 อาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าเล็กน้อย ถ้าเข้าไปดูในห้องปฏิบัติการเคมีหรือโรงงานบางแห่ง พบสารที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 หรือสูงกว่า 7 มากสารเคมีเหล่านี้มีอันตราย ต้องใช้งานด้วยความระมัดระวัง

การวัดพีเอช คือการตรวจวัดปริมาณของไฮโดรเจนอิออนหรือไฮดรอกไซด์อิออนในสารละลายนั่นเอง ถ้ามีปริมาณไอโดรเจนอิออนมากมีค่าพีเอชต่ำสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด แต่ถ้ามีไฮดรอกไซด์อิออนมากมีค่าพี่เอชสูงสารละลายมีฤทธิ์เป็นเบส

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าพีเอชเรียกว่า พีเอชมิเตอร์ ถ้าไม่มีพีเอชมิเตอร์อาจใช้กระดาษลิตมัสหรือกระดาษวัดค่าพีเอช เพื่อดูสีของกระดาษที่เปลี่ยนไปภายหลังที่จุ่มกระดาษวัดพีเอชลงในสารละลายที่ต้องการวัด โดยมีแถบสีมาตรฐานให้เทียบว่าสีกระดาษที่เปลี่ยนไปใกล้เคียงกับสีใดในแถบสีมาตรฐาน รูปที่ 2.1 เราจึงรู้ว่าสารละลายนั้นมีค่าพีเอชเท่ากับเท่าไร

รูปที่2.1 แถบสีมาตรฐานของค่าพีเอช
ที่มา : https://goo.gl/images/zQZ2RN

ค่าพีเอชของน้ำจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลาย และความพร้อมทางชีวภาพของสารเคมีเช่นสารอาหาร (ฟอสฟอรัสไนโตรเจนและคาร์บอน) และโลหะหนัก (ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม ฯลฯ)

ตัวอย่างความสำคัญของค่าความเป็นกรดและเบส

1) การทำน้ำให้บริสุทธิ์สำหรับน้ำดื่มขึ้นอยู่กับการปรับความเป็นกรดและเบสของการตกตะกอนในลำดับต่างๆ ในระบบการจัดสรรน้ำ

2) ความเป็นกรดและเบสร่วมกับค่าสภาพความเป็นเบสจะมีความสำคัญมากในการรักษาสภาพของท่อส่งน้ำให้อยู่ในสภาพที่ดี

3) ในการผลิตน้ำตาล ถ้ามีค่าความเป็นกรดและเบสไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดกรดที่ไม่ต้องการจำนวนมาก และได้น้ำตาลเพียงจำนวนน้อยเท่านั้น

4) ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง ต้องมีการปรับค่าความเป็นกรดและเบสให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ และไม่ทำลายหรือทำให้ระบบบำบัดเกิดการเสียหาย

5) นมจะเปรี้ยวที่ค่าความเป็นกรดและเบส 6.00 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมความเป็นกรดและเบสของน้ำนมในการผลิต

2.3 สารละลายที่ใช้ปรับปรุงค่าพีเอช

สารละลายที่ถูกนำใช้ในการปรับปรุงค่าพีเอชในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิด เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ ใช้ในการเพิ่มค่าพีเอช และกรดไนตริกหรือกรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดเกลือ ใช้ในการลดค่าพีเอช แต่ในโครงงานเล่มนี้เลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 และพีเอช 10 ในการปรับปรุงค่าพีเอช เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งานและสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

สารละลายบัฟเฟอร์ หมายถึงสารละลายที่ได้จากการผสมของกรดอ่อนกับคู่เบสของกรดนั้นหรือเบสอ่อนกับคู่กรดของเบสนั้น จะได้สารละลายที่มีไอออนร่วม เช่น CH3COOH กับ CH3COO- หรือ NH3 กับ NH4+ หน้าที่สำคัญของสารละลายบัฟเฟอร์ ใช้ควบคุมความเป็นกรดและเบสของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากเมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปเล็กน้อย นั่นคือเพื่อให้สารละลายสามารถรักษาระดับพีเอชไว้ได้เกือบคงที่เสมอแม้ว่าจะเติมน้ำหรือกรดหรือเบสลงไปเล็กน้อยก็ไม่ทำให้พีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปมากนัก เราเรียกความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชนี้ว่า ความจุบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity)

ดังนั้น จึงสามารถอาจเรียกได้ว่าสารละลายบัฟเฟอร์ คือสารละลายที่สามารถต่อต้านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสเมื่อเติมกรดหรือเบสปริมาณเล็กน้อยลงไป ซึ่งสารละลายบัฟเฟอร์ได้

จากการผสมของกรดอ่อนกับคู่เบสของกรดนั้นหรือเบสอ่อนกับคู่กรดของเบสนั้น จะได้สารละลายที่มีไอออนร่วม ชนิดของบัฟเฟอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1) บัฟเฟอร์กรด คือบัฟเฟอร์ที่เกิดจากกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน ที่มีพีเอชน้อยกว่า 7 ตัวอย่างบัฟเฟอร์ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 บัฟเฟอร์ที่เกิดจากกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน

กรดอ่อน	เกลือของกรดอ่อน	สารละลายบัฟเฟอร์
CH_3COOH	CH_3COONa	$CH_3COOH + CH_3COONa$
HCOOH	HCOONa	HCOOH + HCOONa
HF	KF	HF + KF
HCN	KCN	HCN + KCN

ที่มา : http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/chemistry5_2/lesson4/lesson4_3.php

2) บัฟเฟอร์เบส คือบัฟเฟอร์ที่เกิดจากเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน ที่มีพีเอชมากกว่า 7 ตัวอย่างบัฟเฟอร์ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 บัฟเฟอร์ที่เกิดจากเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน

เบสอ่อน	เกลือของเบสอ่อน	สารละลายบัฟเฟอร์
$NH_3(aq)$	NH_4Cl	$NH_3(aq) + NH_4Cl$
NH_4OH	NH_4NO_3	$NH_4OH + NH_4NO_3$
$Fe(HO)_2$	$FeCl_2$	$Fe(HO)_2 + FeCl_2$
$N_2H_4(aq)$	$N_2H_5^+(aq)$	$N_2H_4(aq) + N_2H_5^+(aq)$

ที่มา : http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/chemistry5_2/lesson4/lesson4_3.php

ตัวอย่าง สารละลายบัฟเฟอร์ ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์	สารละลายบัฟเฟอร์
CH_3COOH	CH_3COONa
H_3PO_4	NaH_2PO_4
H_2CO_3	$NaHCO_3$

ที่มา : http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/chemistry5_2/lesson4/lesson4_3.php

สารที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชของน้ำให้เป็นกรด คือสารละลายบัฟเฟอร์กรดพีเอช 4 ตามรูปที่ 2.2(ก) และสารที่ใช้ปรับค่าพีเอชของน้ำให้เป็นเบสคือสารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10 ตามรูปที่ 2.2(ข)

(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 สารละลายบัฟเฟอร์กรดพีเอช 4 (ก) และสารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10 (ข)

2.4 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และยังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานต่างๆ อีกมากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆซึ่งนับวันจะยิ่งมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดเยี่ยงมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์

สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ที่ยังไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เก่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี

ตรรกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ (completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลินลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)

ที่มา : นางสาววิลาวัณย์ ประสมทรัพย์. การพัฒนาหาแบบจำลองตำแหน่งเสี่ยงต่อการพังทลายตลิ่งโดยวิธีฟัซซี. วารสารวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร, 2554.

ความเป็นฟัซซี (fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (uncertainty)” ที่ไม่ใช่เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่าคนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่มีน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (linguistic) มากกว่าปริมาณ (quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากเกินกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากเกินกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ แต่

จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่าความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่วๆ ไป จะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set membership)

2.4.2 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Functions)

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 6 ชนิดดังนี้

1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ {a, b, c} สมการที่ 2.1

$$triangular(x:a,b,c)=\begin{cases}0 & x<a\\ (x-a)/(b-a) & a\le x\le b\\ (c-x)/(c-b) & b\le x\le c\\ 0 & x>c\end{cases} \quad (2.1)$$

2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ {a, b, c, d} สมการที่ 2.2

$$trapezoidal(x:a,b,c,d)=\begin{cases}0 & x<a\\ (x-a)/(b-a) & a\le x<b\\ 1 & b\le x<c\\ (d-x)/(d-c) & c\le x<d\\ 0 & x\ge d\end{cases} \quad (2.2)$$

3) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์ด้วยกันคือ {m, σ} ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สมการที่ 2.3

$$guassian(x:m,\sigma)=\exp\left(-\frac{(x-m^2)}{\sigma^2}\right) \quad (2.3)$$

4) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ {a, b, c} สมการที่ 2.4

$$bell-shaped(x:a,b,c)=\frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.4)$$

5) ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ {a, b} สมการที่ 2.5

$$S(x:a,b)=\begin{cases} 0 & x<a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a\le x\le\frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2}\le x\le b \\ 1 & x\ge b \end{cases} \quad (2.5)$$

6) ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function)

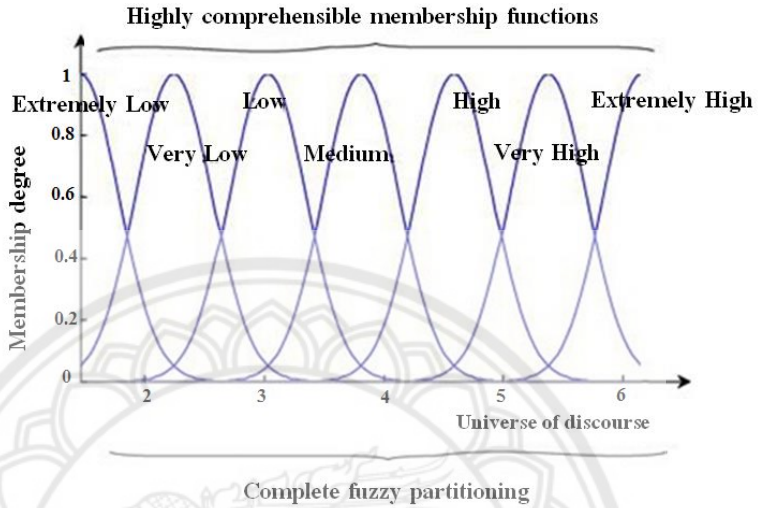
ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ {a, b} สมการที่ 2.6

$$Z(x:a,b)=\begin{cases} 1 & x<a \\ 1\text{-}2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a\le x\le\frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2}\le x\le b \\ 0 & x\ge b \end{cases} \quad (2.6)$$

2.4.3 ตัวแปรภาษา (linguistic variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นค่าที่ใช้ในการแสดงปริมาณอุณหภูมิในทางรูปนัย สามารถเขียนได้เป็นปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็น หรือ TemperatureQuantity is Cold ตัวแปร TemperatureQuantity เป็นตัวแปรภาษา (linguistic variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา

(linguistic term) และในรูปปริมาณ โดยการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ซึ่งแสดงความเป็นสมาชิกของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

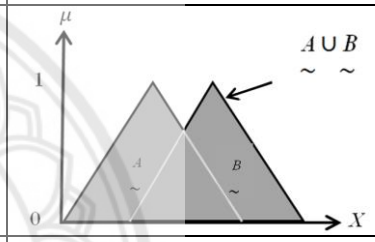
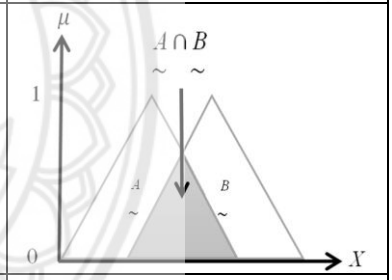
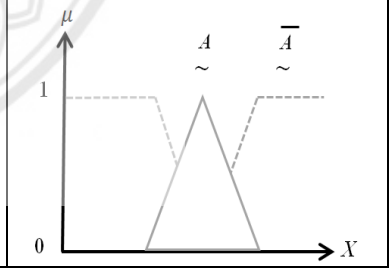
ที่มา : http://www.thapra.lib.su.ac.th/thesis/showthesis_th.asp?id=0000007431

ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (symbolic variable) และตัวแปรเชิงเลข (numerical variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่างเป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4') ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขางานด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่นๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

2.4.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (operation) คือ ยูเนียน (Union), อินเตอร์เซกชัน (Intersection) และ คอมพลีเมนต์ (Complement) รายละเอียดตามตารางที่ 2.5

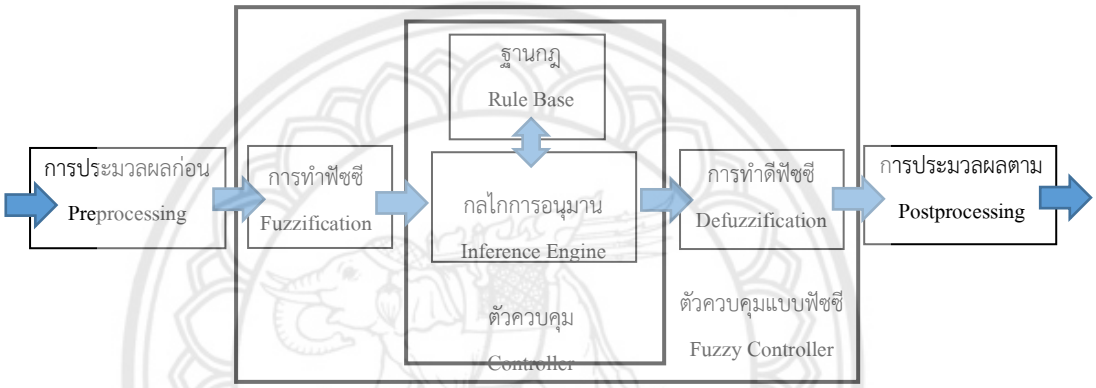
ตารางที่ 2.5 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

คุณสมบัติ / การดำเนินการ	Operation	สมการ	รูปแบบ
ยูเนียน (Union)	OR	$\mu_{A\cup B}(X)=\mu_A(X)\cup\mu_B(X)$ $=\max(\mu_A(X),\mu_B(X))$	
อินเตอร์เซกชัน (Intersection)	AND	$\mu_{A\cap B}(X)=\mu_A(X)\cap\mu_B(X)$ $=\max(\mu_A(X),\mu_B(X))$	
คอมพลีเมนต์ (Complement)	Subset	$\mu_{\bar{A}}(x)=1-\mu_A(X)$	

ที่มา : http://www.thapra.lib.su.ac.th/thesis/showthesis_th.asp?id=0000007431

2.4.5 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

รายละเอียดต่อไปนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบต่างๆ ของตัวควบคุมแบบฟัซซี ตามแนวทางสำหรับการออกแบบในเชิงวิศวกรรมตามรูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟัซซี องค์ประกอบในการประมวลผลก่อนและหลัง เป็นการปรับสภาพอินพุตและเอาต์พุตที่จะใช้กับตัวควบคุมแบบฟัซซีให้มีความเหมาะสมรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซี

ที่มา : https://www.academia.edu/7750667/บทที_18_ฟ_ซซี_ลอจิ_ก_Fuzzy_Logic

การประมวลผลก่อน (Preprocessing) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการเตรียม**อินพุตจากโลกจริงให้มีความ**เหมาะสมที่จะใช้กับตัวควบคุมในโลกของฟัซซี (ไม่รวมขั้นตอนการทำให้**เป็นฟัซซี)** โดยปกติแล้วอินพุตของระบบจะเป็นค่าเชิงตัวเลขที่วัดหรือออกมาจากเครื่องมือต่างๆ และไม่ได้มีค่าในรูปภาษา จึงจำเป็นจะต้องมีการประมวลผลก่อนเพื่อปรับค่าอินพุตเหล่านี้ให้มีความเหมาะสม ตัวอย่างของการประมวลผลก่อนเช่น

- แปลงค่าจากสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล
- ปัดค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปที่ระบบรอรับ (เช่นปัดเป็นจำนวนเต็ม)

การทำฟัซซี (Fuzzification) ค่าอินพุตที่ได้จากการประมวลผลก่อนจะถูกแปลงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกจากฟังก์ชันสมาชิกต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบ แล้วทำการรวมผลลัพธ์ของอินพุตนั้น ตามเงื่อนไข (ตัวแปรภาษา) ที่ถูกออกแบบไว้

ฐานกฎ (Rule Base) กฎในระบบฟัซซีถือเป็นหัวใจในการดำเนินการควบคุม กฎดังกล่าวสามารถมาจากเงื่อนไขที่หลากหลาย รวมไปถึงสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีได้มากกว่า 1 ผลลัพธ์ได้ ซึ่งตัวควบคุมที่มีอินพุตและเอาต์พุตมากกว่าหนึ่งจะเรียกว่า MIMO (Multi-Input Multi-Output) ในขณะที่ตัวควบคุมที่มีเพียงหนึ่งอินพุตและเอาต์พุตจะเรียกว่า SISO (Single-Input Single-Output) โดยปกติแล้ว ระบบที่เป็น SISO จะทำการควบคุมสัญญาณค่าความผิดพลาดเพียงอย่างเดียว ในบางกรณีอาจจะมีการใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าสะสมของค่าความผิดพลาดร่วมด้วย แต่จะยังคงเรียกว่าเป็นอินพุตเดียว เนื่องจากทั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าสะสมดังกล่าวนั้นมาจากอินพุตค่าความผิดพลาดเพียงค่าเดียว แนวคิดของการใช้ฐานกฎในฟัซซีลอจิกทำให้ระบบที่ได้มีความใกล้เคียงกับการทำงานจริงของมนุษย์ หรือกล่าวได้ว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญนั่นเอง

กลไกการอนุมาน (Inference Engine) กฎต่างๆ ที่กำหนดไว้จะถูกอนุมานเป็นผลลัพธ์ในการตัดสินใจของระบบ เมื่อระบบตัดสินใจได้แล้ว การดำเนินการที่สอดคล้องกับการตัดสินใจนั้นก็จะดำเนินต่อไป ยกตัวอย่างเช่น ระบบตรวจจับได้ว่าอุณหภูมิจากตัวตรวจจับที่ 1 กำลัง ‘ร้อนขึ้น’ อย่าง ‘รวดเร็ว’ ระบบจะทำการพิจารณาค่าอินพุตพร้อมกับตรวจสอบกับกฎการทำงานที่สอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าว แล้วทำการอนุมานหรือตัดสินใจว่าจะทำการเปิดเครื่องทำความเย็น‘แรงที่สุด’เป็นต้น ผลลัพธ์การตัดสินที่ได้ยังคงอยู่ในเทอมของค่าเชิงภาษา ที่ซึ่งจะถูกแปลงเป็นค่าที่ใช้งานจริงด้วยขั้นตอนต่อไป

การทำดีฟัซซี (Defuzzification) ผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากกลไกการอนุมานจะอยู่ในรูป เช่น เปิดเครื่องทำความเย็น ‘แรงที่สุด’ หรือลดเครื่องทำความร้อน ‘ลงพอประมาณ’ ผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกแปลงให้เป็นค่าที่สอดคล้องกับการทำงานจริงของระบบ เช่นเปิดเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

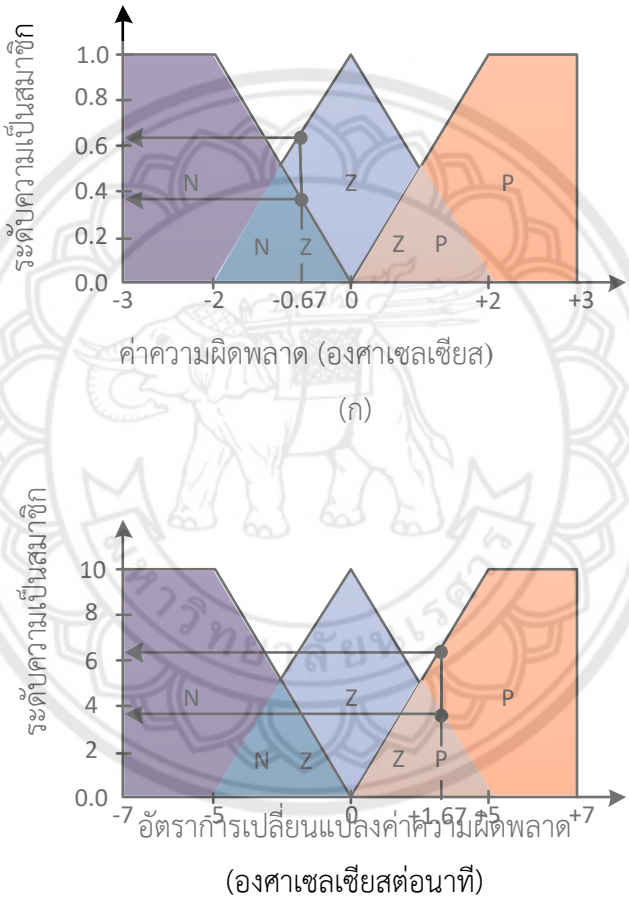
การประมวลผลตาม (Postprocessing) เอาต์พุตที่ได้จากระบบอาจจะต้องถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานไม่ว่าจะเป็นการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ในย่านที่ใช้งานจริง เช่นแปลงค่า 0-100 เปอร์เซ็นต์ เป็นแรงดันขนาด -5 ถึง +5 โวลต์สำหรับควบคุมให้เครื่องทำความเย็นเปิด-ปิดตามปริมาณที่ต้องการ

2.4.6 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (Mamdani)

การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิเป็นวิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่ง วิธีการอนุมานนี้นำเสนอเป็นครั้งแรกในปี 1975 โดยศาสตราจารย์มอมดานี (Ebrahim Mamdani) แห่งมหาวิทยาลัยลอนดอน ซึ่งในครั้งแรกที่นำเสนอนั้นได้ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรไอน้ำและหม้อต้มไอน้ำ (boiler) ในงานที่นำเสนอนั้นมีการประยุกต์ใช้กฎของฟัซซีที่สร้างจากผู้เชี่ยวชาญ ขบวนการอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิประกอบ

ไปด้วย 4 ขั้นตอน คือการทำฟัซซี, การประเมินกฎของฟัซซี, การรวมกฎ และการทำดีฟัซซีดังรายละเอียดต่อไปนี้ (พิจารณาระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวอย่างในการอธิบาย)

1) การทำฟัซซี (fuzzification) คือการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตค่าตัวแปรเชิงภาษาของตัวแปรในระบบ ในขั้นตอนแรกของการอนุมานฟัซซีจะต้องทำการหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตดังกล่าวของตัวแปรอินพุต ที่ซึ่งค่าของตัวแปรอินพุตที่เข้ามาสู่ในระบบ จะอยู่ในรูปของค่าเชิงตัวเลข หลังจากนั้นแล้วค่าของระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตค่านั้นๆ จะสามารถหาได้จากฟังก์ชันสมาชิกการทำฟัซซี



รูปที่ 2.6 (ก) ระดับความเป็นสมาชิกของค่าความผิดพลาดที่ -0.67 องศาเซลเซียส ให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของ ‘ลบ’ เท่ากับ 0.36 และระดับความเป็นสมาชิกของ ‘ศูนย์’ เท่ากับ 0.62 (ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงของ ค่าความผิดพลาดที่ +1.67 องศาเซลเซียส/นาที ให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของ ‘ศูนย์’ เท่ากับ 0.35 และระดับ ความเป็นสมาชิกของ ‘บวก’ เท่ากับ 0.64

ที่มา : https://www.academia.edu/7750667/บทที_18_ฟ_ซซี_ลอจิ_ก_Fuzzy_Logic

ของตัวแปรอินพุตจะขึ้นอยู่กับกฎของฟัซซีด้วยเช่นกัน เนื่องจากสำหรับอินพุตค่าหนึ่งๆ จะมีผลต่อกฎของฟัซซีบางข้อเท่านั้น พิจารณาการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุต จากรูปที่ 2.7 จากค่าความผิดพลาดที่ -0.67 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ทั้งเซต N (เซต ‘ลบ’) และเซต Z (เซต ‘ศูนย์’) นั่นคือสำหรับฟังก์ชันสมาชิกของค่าความผิดพลาดที่กำหนดค่า -0.67 องศาเซลเซียส มีทั้งความเป็นลบและความเป็นศูนย์ โดยที่มีระดับความเป็นสมาชิกของเซต N (หรือความเป็นลบ) เท่ากับ 0.36 และมีระดับความเป็นสมาชิกของเซต Z (หรือความเป็นศูนย์) เท่ากับ 0.62 ตัวอย่างนี้แสดงความเป็นฟัซซีของค่าความผิดพลาด -0.67 องศาเซลเซียส นี้อย่างชัดเจน นั่นคือค่าความผิดพลาดเป็นสมาชิกของทั้งความเป็นลบและความเป็นศูนย์ แต่มีระดับความเป็นศูนย์มากกว่าความเป็นลบ (จากค่าระดับความเป็นสมาชิก 0.36 และ 0.62) เช่นเดียวกันกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดที่ +1.67 องศาเซลเซียส/นาที ซึ่งจากฟังก์ชันสมาชิกที่กำหนด ค่านี้มีทั้งความเป็นศูนย์และความเป็นบวก คือเป็นค่าที่อยู่ทั้งในเซต Z (‘ศูนย์’) และเซต P (‘บวก’) ด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.35 และ 0.64 ตามลำดับ (ค่าระดับของความเป็นสมาชิกบ่งบอกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด +1.67 องศาเซลเซียส/นาที มีความเป็นบวกมากกว่าความเป็นศูนย์) สังเกตว่าตัวแปรค่าความผิดพลาดมีระดับความเป็นสมาชิกของ ‘บวก’ เท่ากับ 0.0 ซึ่งหมายความว่าไม่ได้มีความเป็นบวกเลยเนื่องจากมีค่าเป็นลบ ในทำนองเดียวกัน ตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดมีระดับความเป็นสมาชิกของ ‘ลบ’ เท่ากับ 0.0 ซึ่งหมายความว่าไม่ได้มีความเป็นลบเลยเนื่องจากมีค่าเป็นบวก สรุปค่าระดับความเป็นสมาชิกของทั้งสองอินพุตในรูปฟังก์ชันสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu(Error = N)(-0.67) = 0.36$$

$$\mu(Error = Z)(-0.67) = 0.62$$

$$\mu(Error = P)(-0.67) = 0.00$$

$$\mu(ErrorRate = N)(1.67) = 0.00$$

$$\mu(ErrorRate = Z)(1.67) = 0.35$$

$$\mu(ErrorRate = P)(1.67) = 0.64$$

2) การประเมินค่ากฎของฟัซซี (fuzzy rule evaluation) หลังจากคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้งหมดได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการประเมินค่าของตัวแปรที่ได้ในกฎของ

ฟัซซี การประเมินค่ากฎดังกล่าวจะเป็นส่วน IF จุดประสงค์เพื่อทำการประเมินว่าค่าเงื่อนไขจากอินพุตนั้นจะทำให้กฎใดต้องกระทำในส่วน THEN ต่อไป ซึ่งอาจจะมีกฎในเงื่อนไขดังกล่าวมากกว่าหนึ่งกฎพร้อมๆกัน เนื่องมาจากระบบมีอินพุตมากกว่าหนึ่ง (นั่นคือค่าความผิดพลาดและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด) เงื่อนไขของแต่ละอินพุตจะถูกประเมินค่าด้วยตัวกระทำของฟัซซีเซต เช่น AND หรือ OR เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นค่าตัวเลขที่สามารถนำไปประเมินค่าส่วน THEN ที่ซึ่งภายหลังจะถูกนำไปประเมินเพื่อหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตในขั้นตอนต่อไป พิจารณาตัวกระทำ OR จากทฤษฎีเซตจะได้ดังสมการที่ 2.7

$$\mu A \cup B(x) = max\left[\mu A(x), \mu B(x)\right] \tag{2.7}$$

อย่างไรก็ดี ตัวกระทำ OR สามารถมีนิยามได้หลายอย่าง ยกตัวอย่างเช่น ตัวกระทำ OR ในกล่องเครื่องมือของแมทแล็บฟัซซีลอจิก (MATLAB Fuzzy Logic Toolbox) จะมีทั้งการใช้ฟังก์ชัน max ข้างต้น และฟังก์ชันทางสถิติเรียกว่า probor หรือผลรวมเชิงพีชคณิต (algebraic sum) ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9

$$\mu A \cup B(x) = probor\left[\mu A(x), \mu B(x)\right] \tag{2.8}$$

$$= \mu A(x) + \mu B(x) - \mu A(x) \times \mu B(x) \tag{2.9}$$

เช่นเดียวกันกับตัวกระทำ AND ซึ่งในกล่องเครื่องมือของแมทแล็บฟัซซีลอจิก (MATLAB Fuzzy Logic Toolbox) มีทั้งการใช้ฟังก์ชัน min และ ฟังก์ชันผลคูณ (prod) ดังสมการที่ 2.10, 2.11 และ 2.12

$$\mu A \cap B(x) = min\left[\mu A(x), \mu B(x)\right] \tag{2.10}$$

หรือ

$$\mu A \cap B(x) = prod\left[\mu A(x), \mu B(x)\right] \tag{2.11}$$

$$= \mu A(x) \times \mu B(x) \tag{2.12}$$

ในบางกรณีการใช้ฟังก์ชันของตัวกระทำของเซตที่แตกต่างกัน อาจจะให้ผลเชิงตัวเลขที่แตกต่างกันได้ หลังจากประเมินค่าของแต่ละเงื่อนไขและรวมเงื่อนไขในกรณีที่มีมากกว่า 1 เงื่อนไขในส่วนของ IF แล้วผลที่ได้จะถูกนำไปประเมินผลว่ากฎข้อใดที่ต้องถูกพิจารณาในส่วน THEN ต่อไป พิจารณาตัวอย่างระบบ ควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีกฎของฟัซซีทั้งหมด 9 ข้อ เงื่อนไขของอินพุตตัวที่หนึ่งได้แก่ Error = -0.67 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของ N และ Z ที่ไม่เท่ากับศูนย์ เงื่อนไขดังกล่าวมีค่ามากกว่าศูนย์และอยู่ในส่วน IF ของกฎข้อ 1, 2, 4, 5, 7 และ 8 ในขณะที่เงื่อนไขของอินพุตตัวที่สองได้แก่ ErrorRate = +1.67 องศาเซลเซียส/นาที ซึ่งให้ค่าระดับความเป็นสมาชิก

ของ Z และ P ที่ไม่เท่ากับศูนย์และอยู่ในส่วน IF ของกฎข้อที่ 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 เมื่อทำการ AND (ใช้ฟังก์ชัน min) เงื่อนไขทั้งสองแล้วจะได้ว่าเงื่อนไขทั้งสองที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ก็คือเงื่อนไขในข้อ 4, 5, 7 และ 8 โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) IF $(Error = N)$ AND $(ErrorRate = N)$ THEN $Output$ = C

IF (0.36 AND 0.00) = 0.00 THEN $Output$ = C

(2) IF $(Error = Z)$ AND $(ErrorRate = N)$ THEN $Output$ = H

IF (0.62 AND 0.00) = 0.00 THEN $Output$ = H

(3) IF $(Error = P)$ AND $(ErrorRate = N)$ THEN $Output$ = H

IF (0.00 AND 0.00) = 0.00 THEN $Output$ = H

(4) IF $(Error = N)$ AND $(ErrorRate = Z)$ THEN $Output$ = C

IF (0.36 AND 0.35) = 0.35 THEN $Output$ = C

(5) IF $(Error = Z)$ AND $(ErrorRate = Z)$ THEN $Output$ = NC

IF (0.62 AND 0.35) = 0.35 THEN $Output$ = NC

(6) IF $(Error = P)$ AND $(ErrorRate = Z)$ THEN $Output$ = H

IF (0.00 AND 0.35) = 0.00 THEN $Output$ = H

(7) IF $(Error = N)$ AND $(ErrorRate = P)$ THEN $Output$ = C

IF (0.36 AND 0.64) = 0.36 THEN $Output$ = C

(8) IF $(Error = Z)$ AND $(ErrorRate = P)$ THEN $Output$ = C

IF (0.62 AND 0.64) = 0.62 THEN $Output$ = C

(9) IF $(Error = P)$ AND $(ErrorRate = P)$ THEN $Output$ = H

IF (0.00 AND 0.64) = 0.00 THEN $Output$ = H

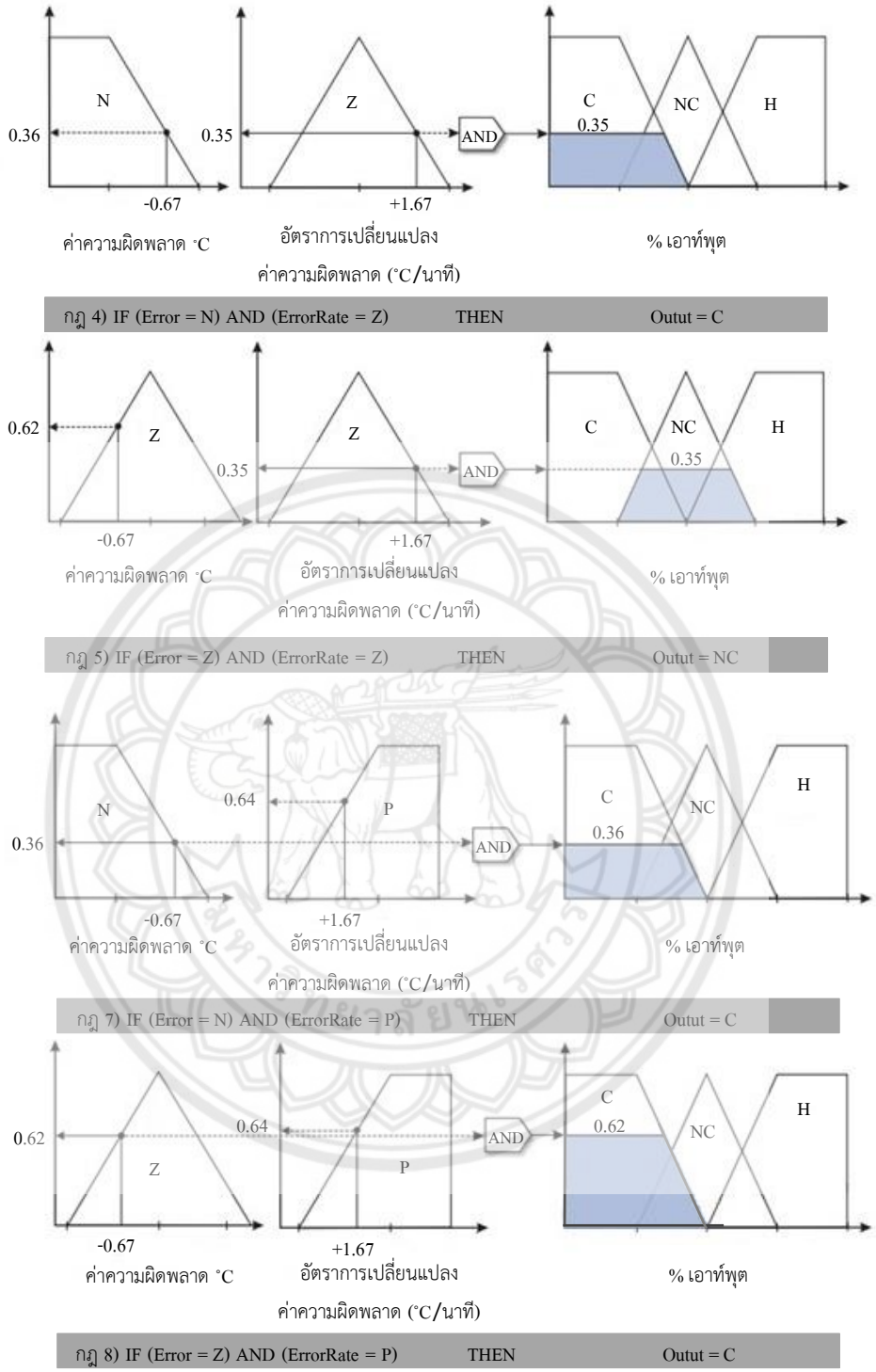
จากค่า Error = -0.67 องศาเซลเซียส และ ErrorRate = 1.67 องศาเซลเซียส/นาที มีผลให้ส่วน THEN ซึ่งก็คือตัวแปรเอาต์พุตของกฎข้อ 4, 5, 7 และ 8 ถูกประเมินค่าในขั้นตอนต่อไป ค่าระดับความเป็นสมาชิกจากเงื่อนไขอินพุตในส่วน IF จะเป็นตัวบอกว่าตัวแปรเอาต์พุตจะมีรูปร่างของระดับความเป็นสมาชิกอย่างไร โดยฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตจะถูกตัดยอด (clipped) หรือถูกปรับขนาด (scaled) ตามผลค่าระดับความเป็นสมาชิกของส่วนเงื่อนไขอินพุต IF นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถึงแม้ว่าการตัดยอดฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตจะทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลบางส่วน แต่

วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่เร็วและง่ายสำหรับการคำนวณ รวมไปถึงการนำไปใช้ประมวลผลในขั้นตอนต่อไปอีกด้วย รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการตัดยอดและวิธีการปรับขนาด

3) การรวมกฎ (aggregation) หลังจากกฎต่างๆ ถูกประเมินค่าแล้ว กฎที่มีผลไม่เท่ากับศูนย์จะถูกรวมเข้าด้วยกันโดยการรวมผลลัพธ์ของฟังก์ชันสมาชิกที่ผ่านการประเมินค่า (ถูกตัดยอดหรือปรับขนาด) ทั้งหมดเข้าด้วยกันเป็นเซตเดียวสำหรับแต่ละตัวแปรเอาต์พุต การรวมกฎจะใช้ตัวกระทำยูเนียน รูปที่ 2.10 แสดงการรวมกฎดังกล่าวจากระบบควบคุมอุณหภูมิที่ค่าความผิดพลาดเท่ากับ -0.67 องศาเซลเซียส และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดเท่ากับ +1.67 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนต่อไปจะนำผลการรวมกฎนี้ไปแปลงเป็นค่าตัวเลขเดี่ยวเพื่อนำเอาไปใช้ในการประมวลผลต่อไป

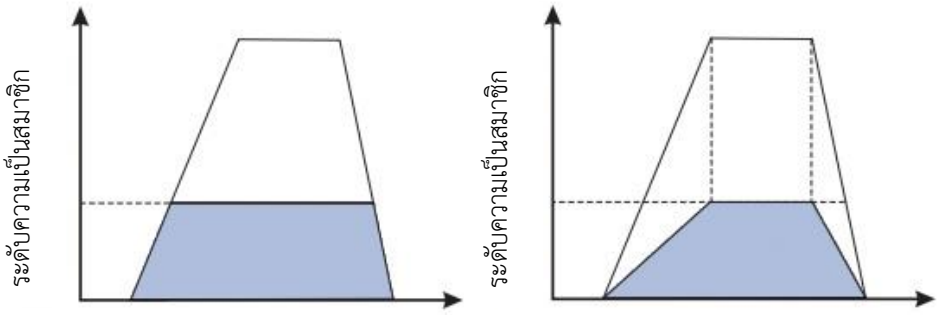
4) การทำดีฟัซซี (defuzzification) จากขั้นตอนแรกมาจนถึงขั้นตอนนี้ ค่าต่างๆ ในระบบเป็นค่าฟัซซีไม่ว่าจะเป็นอินพุต กฎต่างๆ หรือเอาต์พุต แต่ว่าสำหรับทุกระบบค่าของเอาต์พุตจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้งานได้จริงเช่น ค่าสัญญาณแรงดัน ค่าสัญญาณควบคุม ฯลฯ ซึ่งค่าเหล่านี้ไม่สามารถเป็นค่าฟัซซีได้ เพราะค่าฟัซซีจะเป็นที่เข้าใจภายในระบบฟัซซีเท่านั้น ดังนั้นค่าสุดท้ายจากเอาต์พุตของระบบจะต้องเป็นค่าชัดเจน (crisp value) การทำดีฟัซซีคือขั้นตอนในการแปลงค่าจากผลการรวมกฎให้อยู่ในรูปของค่าชัดเจนวิธีการทำดีฟัซซีนั้นมีหลายแบบ วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายคือวิธีหาจุดศูนย์ถ่วง (centroid or center of gravity, COG) ค่า COG ของฟัซซีเซต A ในช่วง [a, b] สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.13

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x)\, x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx} \qquad (2.13)$$



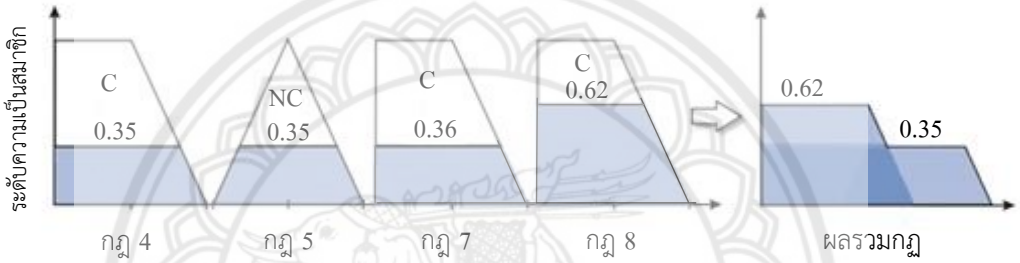
รูปที่ 2.7 การอนุมานแบบแมมดานิ

ที่มา : https://www.academia.edu/7750667/บทที_18_ฟ_ซซี_ลอจิ_ก_Fuzzy_Logic



รูปที่ 2.8 การประเมินค่าฟังก์ชันสมาชิก (ก) วิธีตัดยอด (ข) วิธีปรับขนาด

ที่มา : https://www.academia.edu/7750667/บทที_18_ฟ_ซซี_ลอจิ_ก_Fuzzy_Logic



รูปที่ 2.9 ผลการรวมกฎของ Error = -0.67°C และ ErrorRate = +1.67°C

ที่มา : https://www.academia.edu/7750667/บทที_18_ฟ_ซซี_ลอจิ_ก_Fuzzy_Logic

ในทางปฏิบัติ การคำนวณ COG สามารถหาได้จากข้อมูลการชักตัวอย่างดังสมการที่ 2.14

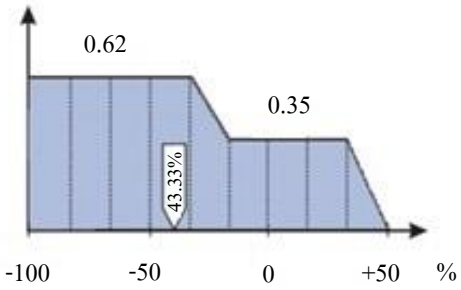
$$COG = \frac{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)\, x}{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)} \qquad (2.14)$$

พิจารณาเอาต์พุตของระบบควบคุมอุณหภูมิในรูปที่ 2.11 ค่า COG สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$COG = \frac{(-100-83.33-66.67-50-33.33)\times 0.62 + (-16.67+0+16.67+33.33)\times 0.35}{0.62+0.62+0.62+0.62+0.62+0.35+0.35+0.35+0.35} \qquad (2.15)$$

$$= -43.33$$

ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีเท่ากับ -43.33 เปอร์เซ็นต์ ให้ความหมายว่าระบบต้องเปิดเครื่องทำความเย็นที่ระดับ 43.33 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.10 การทำดีฟัซซีควบคุมอุณหภูมิ
ที่มา : https://www.academia.edu/7750667/บทที_18_ฟ_ซซี_ลอจิ_ก_Fuzzy_Logic

2.5 บอร์ดอาดูโน่

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ ตัวบอร์ดบอร์ดอาดูโน่ ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ดอาดูโน่ ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ดอาดูโน่ แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลยด้วย[6] สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้บอร์ดอาดูโน่ Mega 2560 R3เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานบนพื้นฐานของ ATmega2560 เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้พอร์ตอินพุตกับเอาต์พุตมากกว่าบอร์ดอาดูโน่ Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจากเซนเซอร์หรือควบคุมมอเตอร์เซอร์โวหลายๆตัว ทำให้พอร์ตอินพุตกับเอาต์พุตของบอร์ดอาดูโน่ Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ดอาดูโน่ Mega 2560 R3 ยังมีหน่วยความจำแบบแฟลชมากกว่าบอร์ดอาดูโน่ Uno R3 ทำให้สามารถเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่าในความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เท่ากัน

2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC (reduced instruction set computer) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง โดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช์ โปรแกรมข้อมูลได้ในวงจรโดยไม่ต้องถอดชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ และในบางเบอร์ยังสามารถมีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่สร้างเป็นบูตโหลดเดอร์ (เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อ

กับคอมพิวเตอร์หรือไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถโปรแกรมให้กับตัวเองได้) มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัว

RISC คือการให้ซีพียูทำงานที่มีไซเกิลแน่นอน โดยลดจำนวนคำสั่งลงให้เหลือคำสั่งพื้นฐานมากที่สุด แล้วใช้หลักการไปป์ไลน์ (pipeline) คือการนำเอาคำสั่งมาเรียงการทำงานให้เป็นแบบขนานเหลื่อมกันหรือเข้าทำงานในแต่ละตำแหน่งตามลำดับเรียงกันไป ทุกตำแหน่งงานจะมีการงานทำงานตลอดเวลาจึงเป็นการลดจำนวนคำสั่งลงนั้นเอง ซึ่งเรียกการทำงานของซีพียูแบบนี้เป็นประเภท RISC ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมที่มีโครงสร้างเป็นแบบ RISC จึงทำงานได้เร็วและเป็นกลไกที่สามารถเพิ่มขีดความสามารถโดยรวมได้หนึ่งคำสั่งใช้เวลาหนึ่งลูกของสัญญาณ นั่นคือถ้าเป็น 10 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ทำได้ 10 ล้านคำสั่งในเวลา 1 วินาที ทำให้สามารถใช้คำสั่งง่ายขึ้น ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

เครื่องโปรแกรมแบบ ISP (In-System Programming) สามารถโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยตรงโดยไม่ต้องถอดไอซีออกจากบอร์ด มีวงจรที่ไม่ซับซ้อน การแก้ไขข้อมูลทำได้สะดวกและรวดเร็ว ดังนั้นการปรับปรุงข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ภายในตัวไอซีจึงทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

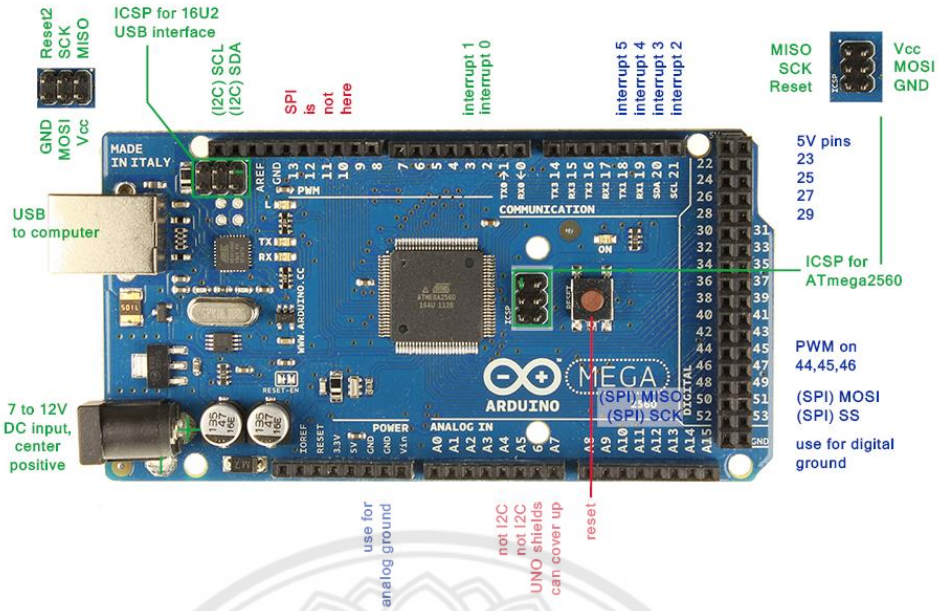
2.5.2 ข้อมูลทั่วไปของบอร์ด

บอร์ดอาดูโน่ Mega 2560 ที่เราใช้เป็นรุ่นปรับปรุงที่ 3 (Revition 3) หรือ R3 มีคุณสมบัติเพิ่มเติมจากรุ่นปรับปรุงที่ 2 ดังนี้

- พอร์ตเอาต์พุต 1.0 : เพิ่ม SDA และ SCL (อยู่ใกล้กับพอร์ต AREF) และอีกสองพอร์ตใหม่คือ IOREF เป็นพอร์ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับชีลด์เพื่อแปลงเป็นแรงดันที่ได้จากบอร์ด ส่วนอีก 1 พอร์ตที่เหลือมีไว้สำหรับใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนาคต

- วงจรรีเซ็ตที่ดีขึ้น

- ใช้ ATmega 16U2 แทน 8U2 ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของบอร์ดอาดูโน่

ที่มา : https://goo.gl/images/MpDdkB

- VIN เป็นพอร์ตแรงดันของบอร์ดอาดูโน่ โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก

- 5V เป็นพอร์ตเอาต์พุตที่ควบคุม 5 โวลต์จากบอร์ด

- 3V3 เป็นแหล่งพลังงาน 3.3 โวลต์ ที่สร้างขึ้นจากเรกกูเลเตอร์บนบอร์ดและให้กระแสได้สูงสุด 50 มิลลิแอมป์

- GND เป็นพอร์ตกราวด์

- IOREF เป็นพอร์ตที่ให้แรงดันอ้างอิงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเลือกค่าแรงดันให้กับชีลด์ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ด

- แหล่งพลังงาน

สามารถเชื่อมรับพลังงานโดยการเชื่อมต่อสายไมโครยูเอสบีหรือจากพาวเวอร์ซับพายจากภายนอกได้ โดยแหล่งพลังงานจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ แหล่งจ่ายจากภายนอกสามารถมาได้จากตัวแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงหรือจากแบตเตอรี่ โดยต่อเข้าปลั๊กขนาดเส้นผ่านเส้นศูนย์กลางขนาด 2.1 มิลลิเมตร ไปยังช่องเสียบแหล่งจ่ายและการต่อเข้ากับแบตเตอรี่สามารถทำได้โดยการต่อเข้ากับกราวด์และพอร์ตตัวนำของจุดเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟ

- หน่วยความจำ

มีหน่วยความจำ 256 กิโลไบต์ (8 กิโลไบต์ ใช้สำหรับอัปโหลดโปรแกรม) นอกจากนี้ยังมีอีก 8 กิโลไบต์ สำหรับหน่วยความจำแบบสแตติกแรม (SRAM) และ 4 กิโลไบต์ สำหรับหน่วยความจำ

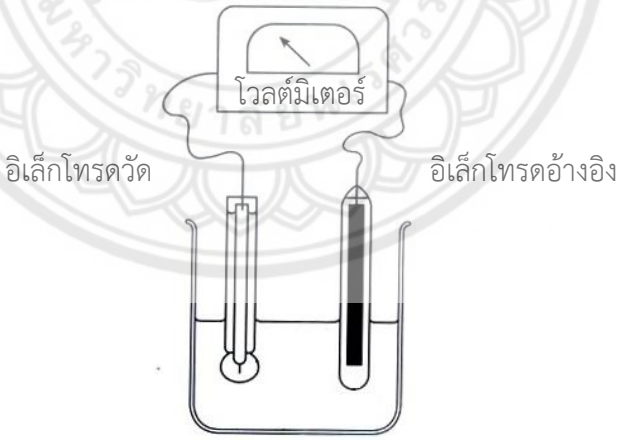
แบบอีอีพรอม (EEPROM) ในแต่ละดิจิตอลพอร์ตทั้ง 54 พอร์ต บนบอร์ดอาดูโน่ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต โดยจะสามารถทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ และให้กระแสสูงสุด 40 มิลลิแอมป์

- การติดต่อสื่อสาร

ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ดคือ ATmega32U4 จะให้การสื่อสารแบบอนุกรม UART TTL (5 โวลต์) ซึ่งมีอยู่ในพอร์ต 0 (Rx) และ 1 (Tx) นอกจากนี้ 32U4 สามารถใช้การสื่อสารแบบอนุกรมผ่านสายเชื่อมต่อยูเอสบีและจะปรากฏเป็นพอร์ตคอมเสมือนไปยังซอฟต์แวร์ แต่อย่างไรก็ตามต้องใช้ ไฟล์ .inf บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์แต่ แมคโอเอส และลีนุกซ์ สามารถรับรู้ได้โดยอัตโนมัติ

2.6 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ

การวัดพีเอช คือการวัดสภาพความเป็นกรดหรือเป็นเบสของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution)โดยใช้หลักการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้า โดยการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่ได้เกิดจากจำนวนของไฮโดรเจนอิออน (H+) ความต่างศักย์ที่เกิดจากอิออน (Ionic Potential) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (Potentiometer) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของโวลต์มิเตอร์

ที่มา : https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)

2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดค่าพีเอช

พีเอชมิเตอร์ คือเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าพีเอชของสารละลาย โดยหลักการวัดความต่างศักย์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ที่ทำให้เครื่องสามารถทำงานได้ครบวงจรส่วนประกอบทั้ง 2 คือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง

1) อิเล็กโทรด ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในสารละลายที่พีเอช 7 (Standard pH Buffer) ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 คือ อิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัด จะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์มิลลิโวลต์ ถ้าหากความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนเพิ่มขึ้นหรือลดลง ความต่างศักย์ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในสารละลายนั้น โดยมีอิเล็กโทรดเป็นตัวทำหน้าที่รับสัญญาณ

2) ตัวเครื่องพีเอชมิเตอร์ ก็คือโวลต์มิเตอร์ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

2.1) ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิง ให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

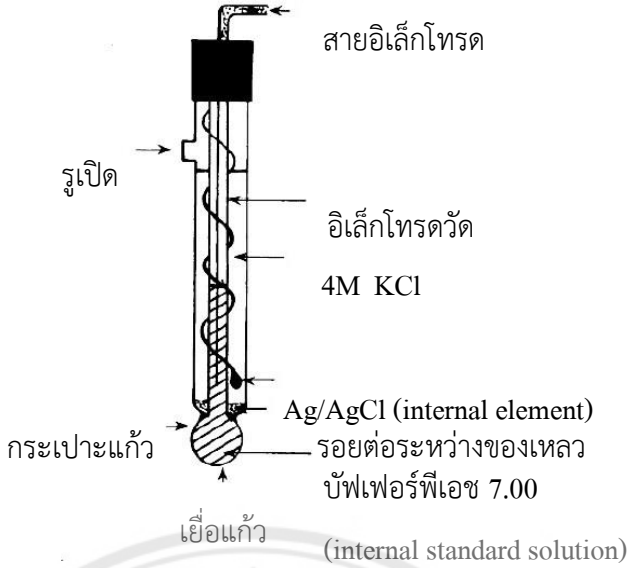
2.2) แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของอิออนของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

2.3) ขยายสัญญาณค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้แสดงผลที่มิเตอร์แบบเข็มหรือตัวเลข

อิเล็กโทรดปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นแบบอิเล็กโทรดรวม ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวมส่วนของอิเล็กโทรดอ้างอิงและอิเล็กโทรดตรวจวัดมาอยู่ด้วยกัน ตามรูปที่ 2.13

อิเล็กโทรดตรวจวัด ทำด้วยแก้วชนิดพิเศษที่ยอมให้เฉพาะไฮโดรเจนอิออนผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะ ภายในบรรจุบัฟเฟอร์เอาไว้แต่มีบางประเภทเป็นรูปอื่น เช่น รูปเข็ม ทุกชนิดจะเหมือนกันตรงบริเวณที่ไฮโดรเจนอิออนผ่านผิวแก้วจะบางมาก

อิเล็กโทรดอ้างอิง ทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเดินครบวงจร โดยโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็นสะพานไอออนหรือสะพานเกลือเชื่อมอิเล็กโทรดตรวจวัด



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของหัววัดพีเอชเซนเซอร์

ที่มา : https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)

2.6.2 เครื่องวัดพีเอช

พีเอชเซนเซอร์รุ่น SKU: SEN0161 นี้ออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับบอร์ดอาดูโน่ เนื่องจากไม่มีเครื่องวัดที่มีราคาถูกและมีเอาต์พุตเป็นแบบแอนะล็อกสำหรับใช้กับบอร์ดอาดูโน่ มีสายเคเบิลแอนะล็อกสำหรับใช้งานเชื่อมต่อกับบอร์ดอาดูโน่ เพื่ออ่านค่าพีเอชได้ง่ายขึ้นอีกด้วย ลักษณะของเซนเซอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.14

รูปที่ 2.14 พีเอชเซนเซอร์รุ่น SEN0161

ที่มา : https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)

1) ข้อมูลทั่วไปของพีเอชเซนเซอร์

1) แรงดันไฟฟ้า: 5 ± 0.2โวลต์

2) กระแสไฟฟ้า: 5-10 มิลลิแอมป์

3) ความเข้มข้นที่ตรวจพบช่วง: 0-14 พีเอช

4) อุณหภูมิในการทำงาน: 0-60 องศาเซลเซียส

5) เวลาตอบสนอง: ≤ 1 วินาที

6) ความแม่นยำ: ± 0.1 พีเอช (ที่ 25 องศาเซลเซียส)

7) ความชื้น: 95 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์

8) อายุการใช้งาน: 3 ปี

2) ลักษณะค่าที่วัดได้ของหัวโพรบพีเอชเซนเซอร์

เอาต์พุตที่วัดได้มีค่าเป็นมิลลิโวลต์และเปรียบเทียบเป็นค่าพีเอช แสดงค่าดังตารางที่ 2.6 โดยทำการวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.6 ลักษณะค่าที่วัดได้ของพีเอชเซนเซอร์

แรงดัน (มิลลิโวลต์)	ค่าพีเอช	แรงดัน (มิลลิโวลต์)	ค่าพีเอช
414.12	0.00*	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

หมายเหตุ ค่าพีเอชศูนย์ คือ ค่าพีเอชที่ใช้อ้างอิงของพีเอชเซนเซอร์เท่านั้น

ที่มา :https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)

2.7 ปั๊มออกซิเจนกระแสตรง

เครื่องปั๊มออกซิเจน คือ เครื่องให้อากาศ สามารถแบ่งได้เป็น 4 พวกใหญ่ๆ ได้แก่

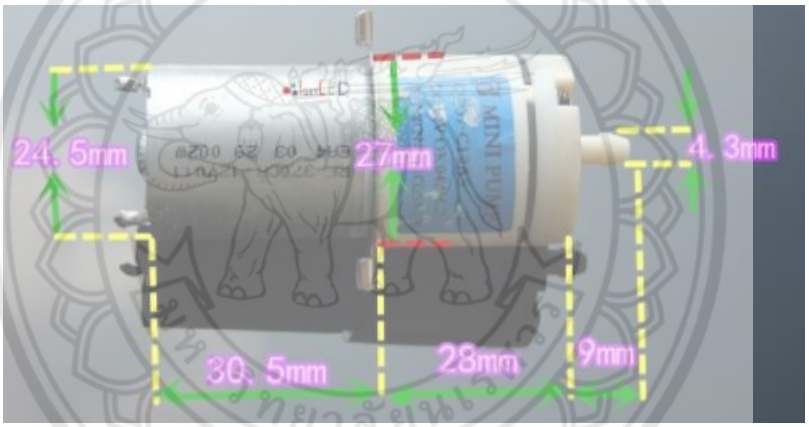
1) Thermal-Type เป็นเครื่องปล่อยอากาศออกมา 2-3 ครั้งต่อวินาที โดยมีระบบการทำงานเหมือนกับลักษณะของปืน

2) Vibrator-Type เป็นเครื่องใช้การสั่นสะเทือนจากพลังงานโดยกระแสไฟฟ้า เครื่องเพิ่มอากาศชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้ ราคาถูกมีประสิทธิภาพพอสมควร

3) Piston Pump เป็นเครื่องที่ใช้จักรทำการหมุนให้เกิดแรงดันอากาศขึ้น เครื่องเพิ่มอากาศชนิดนี้นับว่ามีกำลังทำงานดี เหมาะสำหรับใช้กับโรงเพาะขยายพันธุ์

4) Water Pump เป็นเครื่องที่ใช้การปั๊มน้ำมา ทำให้เกิดแรงดันอากาศ เครื่องเพิ่มอากาศชนิดนี้ นับว่าเหมาะสำหรับการเลี้ยงปลาในบ่อน้ำ

สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงแบบ MINI AIR PUMP 12 V เพราะมีขนาดกะทัดรัด และมีแรงดันใช้งานที่เหมาะสม



รูปที่ 2.15 MINI AIR PUMP 12 V

ที่มา : https://www.igetled.com/product/104

คุณสมบัติ : MINI AIR PUMP 12 V

1) มอเตอร์เส้นผ่านศูนย์กลาง : 24.2 มิลลิเมตร

2) หัวปั๊มเส้นผ่านศูนย์กลาง : 27 มิลลิเมตร

3) เต้าเสียบอากาศ : 4.2 มิลลิเมตร เสียบกับสายออกซิเจน

4) แรงดันไฟฟ้า : 12 โวลต์ (สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 5-12 โวลต์, 30 มิลลิแอมป์)

5) น้ำหนัก : 59 กรัม

6) ความดันอากาศสูงสุด : > 300 มิลลิเมตรปรอท

7) เสียง : <65 เดซิเบล

บทที่ 3
ขั้นตอนวิธีดำเนินงาน

หลังจากศึกษาเกี่ยวกับหลักการต่างๆ และรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบของการควบคุมค่าพีเอชของน้ำโดยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกแล้ว เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบโครงสร้างและระบบเครื่องควบคุมค่าพีเอชของน้ำ การทำงานของระบบ และการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1) การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานด้วยโฟลวชาร์ต (Flowchart)

2) การออกแบบโครงสร้างเครื่องควบคุมค่าพีเอช

3) การหาค่าที่เหมาะสมในการปล่อยสารละลาย

4) การออกแบบการทำงานตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

3.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน

ในส่วนของวงจรที่เชื่อมต่อภายในตัวเครื่องนั้นสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 3.1 ส่วนของขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมพีเอชสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 3.2 นั้นจะแบ่งการทำงานได้เป็นสามส่วนใหญ่ๆด้วยกัน ซึ่งจะแบ่งได้ดังนี้

1) เริ่มต้นการทำงานตั้งค่าพีเอชที่ต้องการ โดยค่าพีเอชที่ต้องการแทนด้วยตัวแปร (อินพุต 1) และค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าพีเอชแทนด้วยตัวแปร (อินพุต 2)

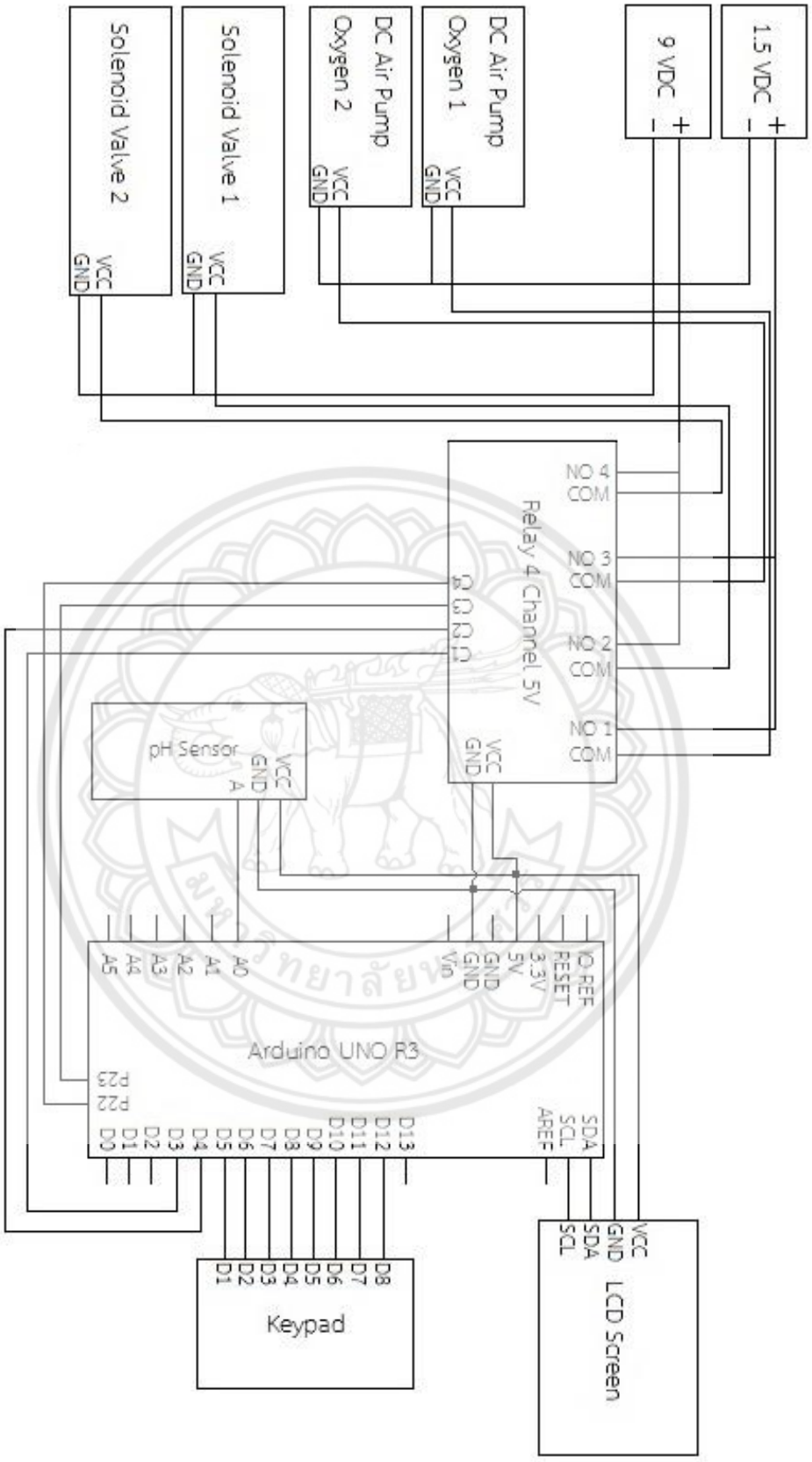
2) เมื่อบอร์ดอาดูโน่รับค่าที่เราต้องการ(อินพุต 1) และ ค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าพีเอช (อินพุต 2) ที่ได้ตามลำดับแล้ว นำไปใช้ในการทำงานแบบฟัซซีที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งมีบอร์ดอาดูโน่เป็นตัวควบคุมและประมวลผลข้อมูล

3) เมื่อบอร์ดอาดูโน่ประมวลผลเสร็จแล้วจะส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยฟัซซีโดยค่าที่ได้คือจำนวนหยดที่เหมาะสมที่ใช้ปรับค่าพีเอชที่ต้องการนำไปแสดงผลยังหน้าจอแสดงผลซึ่งจะประกอบด้วยค่าพีเอชที่วัดได้ในปัจจุบัน สารละลายที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช จำนวนหยดของสารละลายและค่าพีเอชที่ตั้งค่าไว้

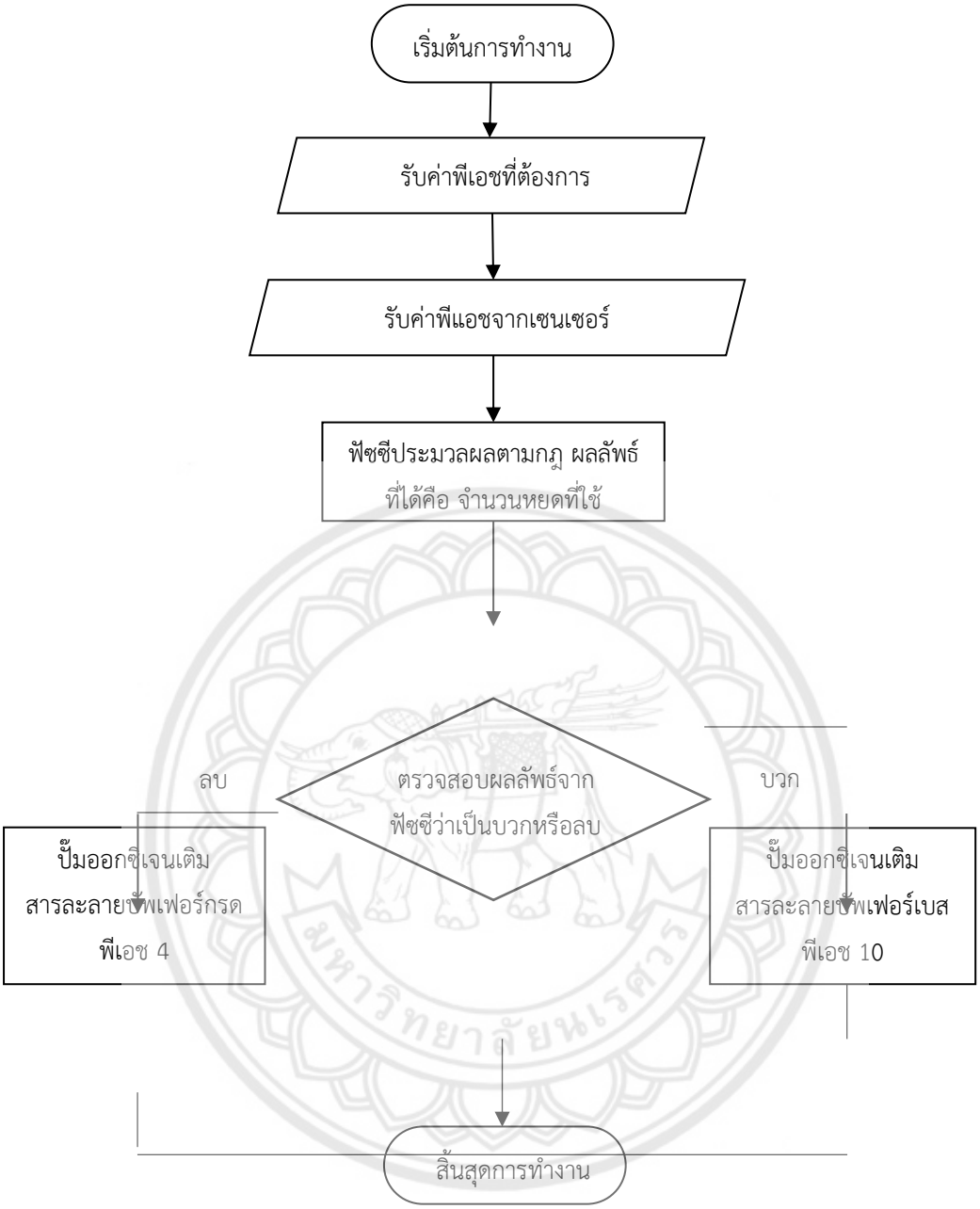
ส่วนของขั้นตอนการใช้งาน มีดังนี้

1) กดปุ่ม A จากนั้นป้อนค่าpHที่ต้องการ(อยู่ในช่วง6-8) โดยค่าที่ป้อนจะต้องคูณด้วย100 ตัวอย่าง เช่น หากต้องการปรับค่าpH ให้เป็น 7.00 ให้ป้อนค่าเป็น 700

2) เมื่อทำการป้อนค่าpHที่ต้องการเสร็จเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม # เพื่อเริ่มต้นการทำงาน



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของวงจรเชื่อมต่อภายในตัวเครื่อง



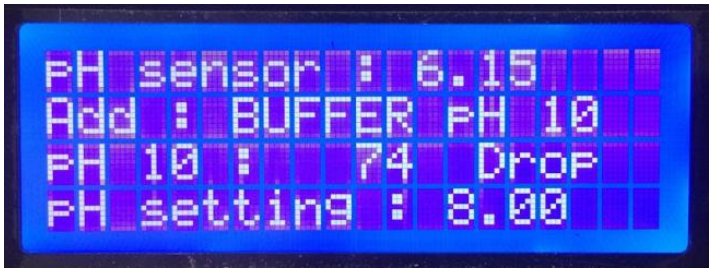
รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมพีเอช

ซึ่งการแสดงผลจะมีการทำงานด้วยกัน 3 กรณีด้วยกัน ดังนี้

กรณีที่ 1 ค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าพีเอชที่บอร์ดอาดูโน่รับข้อมูลจากเซนเซอร์มีค่าพีเอชมากกว่าค่าที่เราต้องการคือ ค่าพีเอชที่ต้องการ จึงกำหนดตัวแปรเพิ่มคือ ค่าพีเอช ที่มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างค่าพี่เอชที่ต้องการและค่าพีเอชจากเซนเซอร์ บอร์ดอาดูโน่จะสั่งให้ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงทำงานเพื่อปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เพื่อลดความเป็นเบสในน้ำ ซึ่งจะแสดงจำนวนหยดของสารละลายที่ฟัซซีได้คำนวณไว้ แสดงดังตัวอย่างในรูปแบบจำลอง รูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแสดงค่าเมื่อพีเอชที่วัดได้มากกว่าค่าที่กำหนด

กรณีที่ 2 ค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าพีเอชที่บอร์ดอาดูโน่รับข้อมูลจากเซนเซอร์มีค่าพีเอชน้อยกว่าค่าที่เราต้องการคือ ค่าพีเอชที่ต้องการ จึงกำหนดตัวแปรเพิ่มคือ ค่าพีเอช ที่มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างค่าพี่เอชที่ต้องการและค่าพีเอชจากเซนเซอร์ บอร์ดอาดูโน่จะสั่งให้ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงทำงานเพื่อปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 เพื่อเพิ่มความเป็นเบสในน้ำ ซึ่งจะแสดงจำนวนหยดของสารละลายที่ฟัซซีได้คำนวณไว้ แสดงดังตัวอย่างในรูปแบบจำลอง รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างแสดงค่าเมื่อพีเอชที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนด

3.2 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องควบคุมค่าพีเอช

การออกแบบโครงสร้างของเครื่องควบคุมค่าพีเอช แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

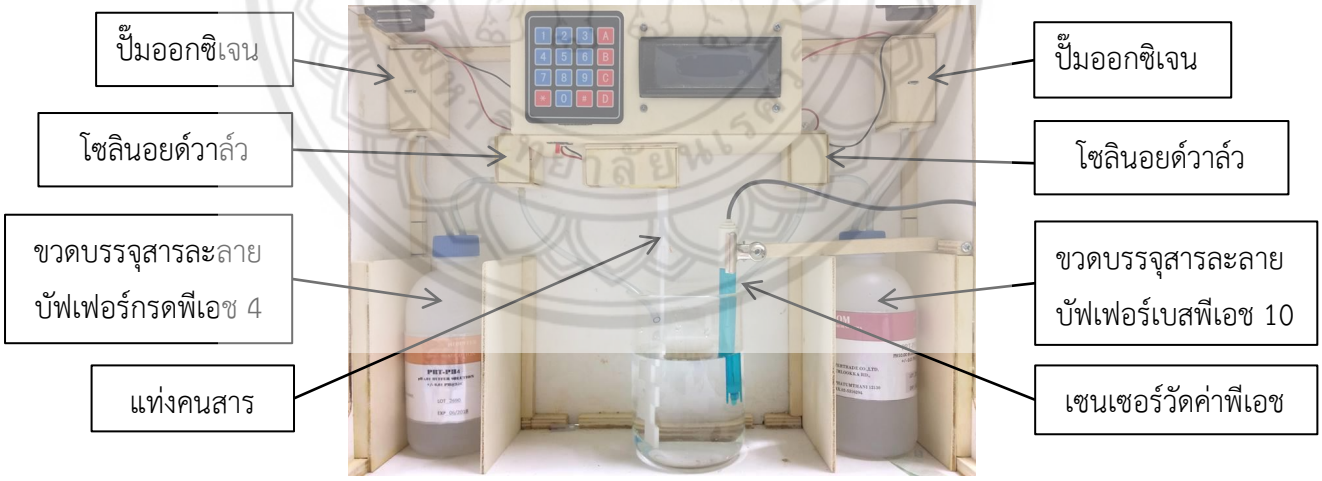
3.2.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของเครื่องควบคุมค่าพีเอช

เราจะแบ่งงานออกเป็น 3 ส่วน รายละเอียดมีดังนี้

1) การต่อที่บรรจุสารกับปั๊มออกซิเจนกระแสตรงเราใช้ขวดบรรจุสารขนาด 500 cc นำมาเจาะรูที่ฝาด้านบนจำนวน 2 รูให้มีขนาดพอดีกับสายยางที่ใช้เชื่อมต่อกับปั๊มออกซิเจน

2) โครงบอร์ดติดตั้งขวดบรรจุสาร เราใช้ไม้อัดขนาดกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น ขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น และขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร จำนวน 4แผ่น ทุกแผ่นมีความหนา 2.5 มิลลิเมตร เมื่อตัดไม้ได้ตามขนาดที่ต้องการ แล้วนำมาประกอบกับขวดบรรจุสารกับโซลินอยด์วาล์ว ดังรูปที่ 3.5

3) การประกอบแท่งคนสารละลาย เราใช้มอเตอร์ไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ ความเร็วรอบ 150 รอบ ส่วนแท่งคนสารเราใช้อะคริลิคเพื่อสะดวกต่อการออกแบบ



รูปที่ 3.5 โครงสร้างการปล่อยสารละลายเพื่อควบคุมค่าพีเอช

3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องควบคุมค่าพีเอช

การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องควบคุมค่าพีเอชประกอบด้วย การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ 6 ข้อหลัก ดังนี้

1) การเชื่อมต่อหน้าจอแอลซีดีกับบอร์ดอาดูโน่

ในการเชื่อมต่อหน้าจอแอลซีดีกับบอร์ดอาดูโน่ โดยทั่วไปจอแอลซีดีจะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้วสามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอแอลซีดี เช่นเดียวกันกับจอแอลซีดีแบบธรรมดา คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ซึ่งเราจะใช้หน้าจอแอลซีดีที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (I2C) ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อดังนี้

1) GND เป็นกราวด์ ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของบอร์ดอาดูโน่กับหน้าจอแอลซีดี

2) VCC เป็นไฟเลี้ยงรับจากบอร์ดอาดูโน่ป้อนให้กับหน้าจอแอลซีดี มีขนาด +5 โวลต์

3) SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลเชื่อมกับพอร์ต 20 ของบอร์ดอาดูโน่

4) SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูลเชื่อมต่อกับพอร์ต 21 ของบอร์ดอาดูโน่

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และตัวอย่างหน้าจอแสดงผลตามรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับหน้าจอแอลซีดี

บอร์ดอาดูโน่	หน้าจอแอลซีดี
GND	GND (พอร์ต 1)
+5VDC	VCC (พอร์ต 2)
SDA (พอร์ต 20)	SDA (พอร์ต 3)
SCL (พอร์ต 21)	SCL (พอร์ต 4)

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี

2) การเชื่อมต่อรีเลย์กับบอร์ดอาดูโน่

การเชื่อมต่อรีเลย์กับบอร์ดอาดูโน่เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดรีเลย์ได้ 2 ช่อง ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ส่งสัญญาณควบคุมแบบแอกทีฟต่ำ ถ้าต้องการให้รีเลย์ติดส่งสัญญาณ 0 ถ้าต้องการให้ดับส่ง

สัญญาณ 1 วงจรเป็นแบบแยกกราวด์ เพื่อความปลอดภัยของบอร์ดอาดูโนโดยจะใช้ขาในการเชื่อมต่อทั้งหมด 4 ขา ดังนี้

1) GND เป็นกราวด์ ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของบอร์ดอาดูโน่กับรีเลย์

2) IN1 เป็นขารับสัญญาณดิจิตอล (0 หรือ 1) อินพุต 1 เชื่อมกับพอร์ต 2 ของบอร์ดอาดูโน่

3) IN2 เป็นขารับสัญญาณดิจิตอล (0 หรือ 1) อินพุต 2 เชื่อมกับพอร์ต 3 ของบอร์ดอาดูโน่

4) VCC เป็นไฟเลี้ยงรับจากบอร์ดอาดูโน่ป้อนให้กับรีเลย์ มีขนาด +5 โวลต์

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับรีเลย์

บอร์ดอาดูโน่	รีเลย์
GND	GND (พอร์ต 1)
พอร์ต 2	IN1 (พอร์ต 2)
พอร์ต 3	IN2 (พอร์ต 3)
+5VDC	VCC (พอร์ต 4)

3) การเชื่อมต่อพีเอชเซนเซอร์กับบอร์ดอาดูโน่

การต่อวงจรเซนเซอร์วัดค่าพีเอชกับบอร์ดอาดูโน่ในการวัดค่าพีเอชของน้ำด้วยพีเอชเซนเซอร์ โดยบอร์ดอาดูโน่จะต่อเข้ากับตัวพีเอชเซนเซอร์โมดูลผ่านทางการสื่อสารแบบอนุกรมของบอร์ดส่วนการต่ออุปกรณ์เข้ากับพีเอชเซนเซอร์โมดูล การต่อนั้นต้องมีความระมัดระวังเพราะถ้าสลับสายอาจทำให้บอร์ดพังได้ เพราะตัวพีเอชเซนเซอร์โมดูลออกแบบไว้ให้ใช้กับไฟ 3.3 โวลต์ แต่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ของบอร์ดสามารถรับไฟได้ถึง 5 โวลต์ ดังนั้นจึงสามารถใช้กับบอร์ดอาดูโน่ได้ แต่ต้องต่ออุปกรณ์ตามที่แนะนำเท่านั้นโดยจะประกอบด้วยขาการเชื่อมต่อ 3 ขา ดังนี้

1) GND เป็นกราวด์ ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของบอร์ดอาดูโน่กับพีเอชเซนเซอร์โมดูล

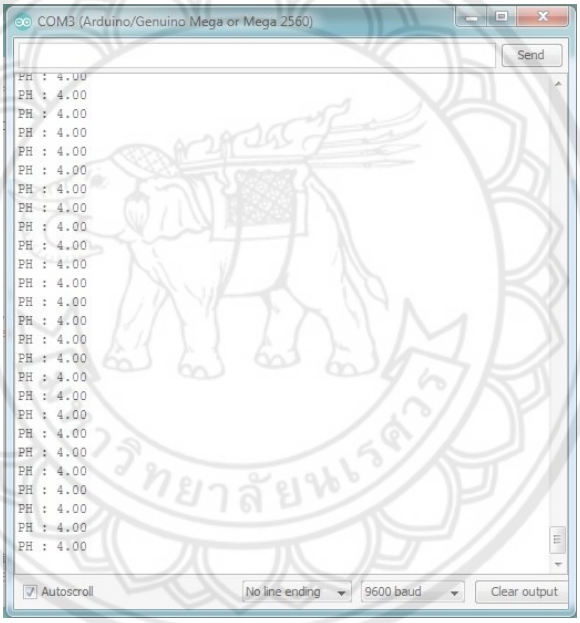
2) VCC เป็นไฟเลี้ยงจากบอร์ดอาดูโน่ป้อนให้กับพีเอชเซนเซอร์โมดูล มีขนาด +5 โวลต์

3) A ซึ่งเป็นขาส่งข้อมูล โดยจะส่งข้อมูลแอนะล็อก (0-1023) โดยเชื่อมต่อกับพอร์ต A0 ของบอร์ดอาดูโน่ซึ่งเป็นพอร์ตที่ใช้ในการรับข้อมูลแบบแอนะล็อกของบอร์ดอาดูโน่

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตาราง 3.3 และตัวอย่างการแสดงผลตามรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.3 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับเซนเซอร์วัดค่าพีเอช

บอร์ดอาดูโน่	เซนเซอร์
GND	GND (พอร์ต 1)
+5VDC	VCC (พอร์ต 2)
A0 (พอร์ตแอนะล็อก A0)	A (พอร์ต 3)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างค่าพีเอชที่วัดได้แสดงผลในบอร์ดอาดูโน่

4) การเชื่อมต่อปุ่มกดคีย์แพด

ปุ่มกดคีย์แพดมีลักษณะเป็นปุ่มกดหลายปุ่มจัดเรียงกันในลักษณะเป็นอาร์เรย์ แบ่งเป็นแถวแนวนอน (Rows) และแถวแนวตั้ง (Columns) โดยจะใช้เป็น 4X4 (16 ปุ่ม) มีสายเชื่อมต่อและคอนเนกเตอร์จำนวน 8 ขา แบบตัวเมียนับจากซ้ายไปขวาจะเป็นขาหมายเลข 1-8 ตามลำดับ โดยที่ขา 1-4 จะเป็นขาสำหรับแถว และขา 5-8 จะเป็นขาแนวตั้งในโดยจะทำการเชื่อมต่อเป็น

1) D2 เป็นขาแนวนอน (ขา 1) เชื่อมต่อกับพอร์ต 5 ของบอร์ดอาดูโน่

2) D3 เป็นขาแนวนอน (ขา 2) เชื่อมต่อกับพอร์ต 6 ของบอร์ดอาดูโน่

3) D4 เป็นขาแนวนอน (ขา 3) เชื่อมต่อกับพอร์ต 7 ของบอร์ดอาดูโน่

4) D5 เป็นขาแนวนอน (ขา 4) เชื่อมต่อกับพอร์ต 8 ของบอร์ดอาดูโน่

5) D8 เป็นขาแนวตั้ง (ขา 5) เชื่อมต่อกับพอร์ต 9 ของบอร์ดอาดูโน่

6) D9 เป็นขาแนวตั้ง (ขา 6) เชื่อมต่อกับพอร์ต 10 ของบอร์ดอาดูโน่

7) D10 เป็นขาแนวตั้ง (ขา 7) เชื่อมต่อกับพอร์ต 11 ของบอร์ดอาดูโน่

8) D11 เป็นขาแนวตั้ง (ขา 8) เชื่อมต่อกับพอร์ต 12 ของบอร์ดอาดูโน่

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 การเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับปุ่มกดคีย์แพด

บอร์ดอาดูโน่	**ปุ่มกดคีย์แพด**
พอร์ต 5	D2 (ขา 1)
พอร์ต 6	D3 (ขา 2)
พอร์ต 7	D4 (ขา 3)
พอร์ต 8	D5 (ขา 4)
พอร์ต 9	D8 (ขา 5)
พอร์ต 10	D9 (ขา 6)
พอร์ต 11	D10 (ขา7)
พอร์ต 12	**D11 (ขา 8)**

5) การเชื่อมรีเลย์กับปั๊มออกซิเจน

เราใช้ปั๊มออกซิเจนเพื่อช่วยเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายต่อกับรีเลย์ ควบคุมการจ่ายไฟให้กับปั๊มออกซิเจนทำงาน ซึ่งเราต่อรีเลย์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 1.5 โวลต์ก่อนที่จะจ่ายไฟให้กับปั๊มออกซิเจนโดยมีชาเชื่อมต่อ 2 ขาจากทั้งหมด 3 ขา ในที่นี้จะใช้เป็นแบบปกติปิด สามารถเชื่อมต่อได้ดังนี้

1) No ย่อมาจาก normal open หมายความว่าปกติเปิด ใช้ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 1.5 โวลต์

2) C ย่อมากจาก common ต่อเข้ากับขาบวกของปั๊มออกซิเจน

3) NC ย่อมาจาก normal close หมายความว่าปกติดปิด (ใช้ในกรณีที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา)

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การเชื่อมรีเลย์กับปั๊มออกซิเจน

รีเลย์	ปั๊มออกซิเจน
No	
C	ขาบวก
NC	

หมายเหตุ ขาลบของปั๊มออกซิเจนนั้นเราจะต่อกับขาลบของแหล่งจ่ายไฟ 1.5 โวลต์

6) การประกอบเครื่องควบคุมค่าพีเอช

เราใช้แผ่นไม้สนขนาดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 20.5 เซนติเมตร ลึก 9 เซนติเมตร นำมาเจาะเป็นช่องเพื่อติดตั้งหนาจอแอลซีดี ขนาดช่องที่เจาะกว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และเจาะรูสำหรับสอดสายไฟของปุ่มกดคีย์แพดด้วยขนาดพอดีกับสายไฟใช้งานสะดวก จากนั้นนำมาประกอบกัน จะได้ตามรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 เครื่องควบคุมค่าพีเอช

3.2.3 การประกอบทุกส่วนเข้าเป็นเครื่องควบคุมค่าพีเอช

หลังจากทำการประกอบส่วนย่อยของเครื่องควบคุมค่าพีเอชเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราจะทำการประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน เป็นเครื่องควบคุมตามรูปที่ 3.9 และทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบเครื่องควบคุมค่าพีเอชและปรับปรุงจนสมบูรณ์

รูปที่ 3.9 เครื่องควบคุมค่าพีเอชของน้ำ

3.3 การหาค่าที่เหมาะสมในการปล่อยสารละลาย

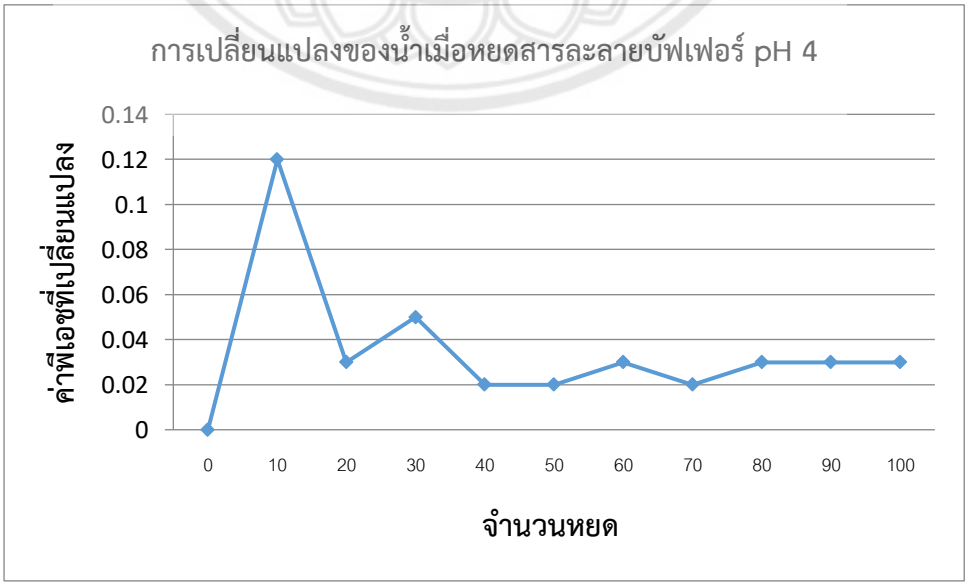
3.3.1 การทดลองปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์

การทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำต่อสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 จำนวน 1 หยด โดยทดลองกับน้ำปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวนครั้งที่ทดลองคือ 10 ครั้ง แต่ละครั้งหยดสารสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 จำนวน 10 หยด ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.6 และการทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำต่อสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 จำนวน 1 หยด โดยทดลองกับน้ำปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวนครั้งที่ทดลองคือ 10 ครั้ง แต่ละครั้งหยดสารสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 จำนวน 10 หยด ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 การทดสอบค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4

ค่าพีเอชเมื่อหยดสารลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 ในน้ำเปล่า400ml											
จำนวนหยด / ครั้งที่	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	6.60	6.49	6.45	6.40	6.38	6.35	6.32	6.30	6.27	6.25	6.22
2	6.63	6.51	6.47	6.43	6.40	6.38	6.35	6.32	6.29	6.26	6.24
3	6.56	6.45	6.43	6.38	6.36	6.34	6.32	6.30	6.27	6.25	6.21
ค่าเฉลี่ย	6.66	6.48	6.45	6.40	6.38	6.36	6.33	6.31	6.28	6.25	6.22
ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลง		0.13	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03

จากตารางที่ 3.6 สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.10 พบว่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงจะสังเกตได้ว่าในช่วง 10 หยดแรกมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมากพอสมควร และหลังจาก 60 หยดอัตราในการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชจะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากอาจจะเกิดการอิ่มตัวของสารละลายบัฟเฟอร์ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลงการทดลองนี้จึงออกแบบให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช โดยการหยดสารถึงแค่ 100 หยด เนื่องจากหลังจากหยดสาร 60 หยดไปแล้ว เกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ ปริมาณสาร 10 หยดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช 0.03 ดังรูปที่ 3.10



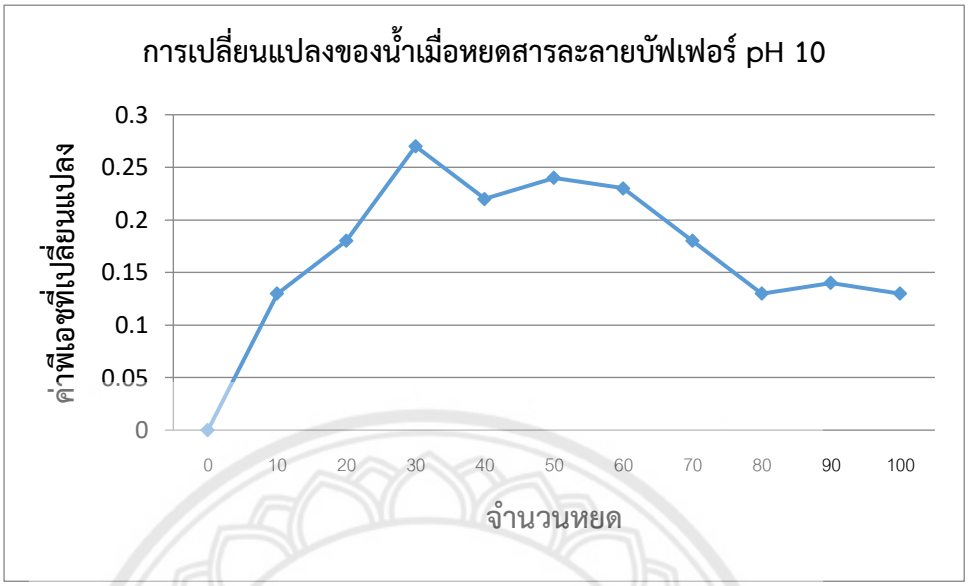
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4

ตารางที่ 3.7 การทดสอบค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10

ค่าพีเอชเมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ในน้ำเปล่า400ml											
จำนวนหยด / ครั้งที่	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	6.95	7.08	7.27	7.54	7.76	7.98	8.22	8.41	8.54	8.68	8.81
2	6.97	7.10	7.27	7.54	7.77	8.01	8.23	8.41	8.54	8.68	8.81
3	6.96	7.09	7.27	7.55	7.76	8.01	8.23	8.41	8.54	8.68	8.81
ค่าเฉลี่ย	6.96	7.09	7.27	7.54	7.76	8.00	8.23	8.41	8.54	8.68	8.81
ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลง		0.13	0.18	0.27	0.22	0.24	0.23	0.18	0.13	0.14	0.13

จากตารางที่ 3.7 สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.10 พบว่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงจะสังเกตได้ว่าในช่วง 10-50 หยดแรกมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ช่วง 80-100 หยดอัตราในการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชจะค่อนข้างคงที่และในช่วง 80-100 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชลดลงนิดหน่อยและค่อยๆคงที่ เนื่องจากอาจจะเกิดการอิ่มตัวของสารละลายบัฟเฟอร์ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลง การทดลองนี้จึงออกแบบให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชโดยการหยดสารถึงแค่

100 หยด เนื่องจากหลังจากหยดสาร 80 หยดไปแล้ว เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ ปริมาณสาร 10 หยดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช 0.13 ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช10

3.3.2 การทดสอบหาปริมาตรสารต่อจำนวนหยด

จากการทดสอบหาจำนวนหยดของสารละลายใน Syringe ขนาด 1 มิลลิลิตร จำนวนครั้งที่ทดลองคือ 10 ครั้ง ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การทดสอบหาจำนวนหยดของปริมาตรสารละลาย 1 มิลลิลิตร

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าเฉลี่ยของจำนวนหยด
จำนวนหยด	20	20	19	21	19	20	19	20	20	21	20

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสารละลาย 1 มิลลิลิตรเท่ากับ 20 หยด หรือ 1 หยดเท่ากับ 0.05 มิลลิลิตร

3.3.3 การหาเวลาหยดสารละลายด้วยปั๊มออกซิเจน

การทดลองหาเวลาที่ใช้หยดสารละลายเพื่อเลือกใช้เวลาที่สอดคล้องกับจำนวนหยดที่ทำให้การควบคุมค่าพีเอชมีประสิทธิภาพที่สุด โดยจะทดลองปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์ทั้ง 2 ชนิด โดยได้ใช้ค่าจากการทดลองในตารางที่ 3.6 และตารางที่ 3.7 มาใช้ในการคำนวณ เพื่อหาเวลาที่ปั๊มออกซิเจนทำงานที่แรงดัน 1.5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.12 ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.9

รูปที่ 3.12 การทดลองหาอัตราการไหลของสารด้วยปั๊มออกซิเจนกระแสตรง

ตารางที่ 3.9 การหาเวลาที่ปั๊มออกซิเจนกระแสตรงทำงานที่แรงดัน 1.5 โวลต์

ทดสอบปั๊มด้วยแรงดัน 1.5 โวลต์		
จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
1	50	66.87
2	50	70.12
3	50	69.35
4	50	72.23

5	50	71.47
ค่าเฉลี่ย	50	70.01

การหาค่าเฉลี่ย

ถ้ากำหนดให้ $\sum x$ เป็นค่าผลบวกของข้อมูลทุกค่า และ n เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด ค่าเฉลี่ยหาได้ตามสมการที่ 3.1

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = \frac{\sum x}{n} \qquad (3.1)$$

จากตารางเมื่อเทียบบัญญัติไตรยางศ์จากค่าเฉลี่ยจะได้อัตราส่วนดังนี้

ปริมาตรสารละลาย 50 มิลลิลิตร ใช้เวลา 35.73 วินาที

ปริมาตรสารละลาย 1 มิลลิลิตร จะใช้เวลา $\frac{1 \times 35.73}{50} = 0.71$ วินาที

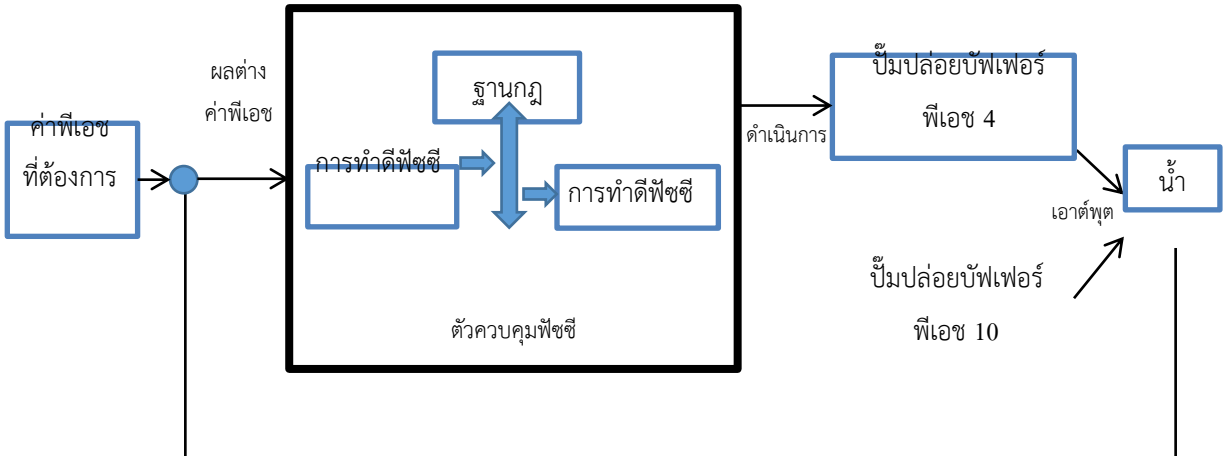
และจากการทดสอบหาปริมาตรสายต่อจำนวนหยด จะได้ 1 มิลลิลิตร ได้สารเฉลี่ยที่ 20 หยด ดังนั้น สามารถทำการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ได้ดังนี้

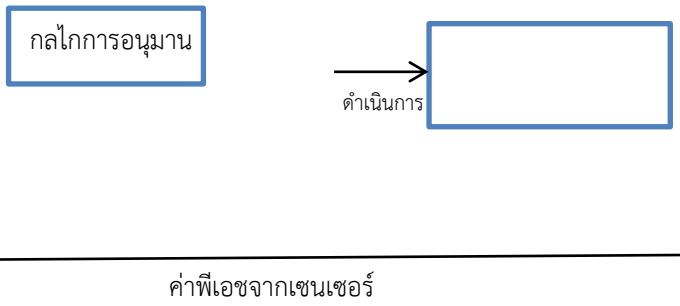
ปริมาตรสารละลาย 20 หยด ใช้เวลา 0.71 วินาที

ปริมาตรสารละลาย 1 หยด จะใช้เวลา $\frac{1 \times 0.71}{20} = 0.036$ วินาที

3.4 การออกแบบการทำงานตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ในส่วนของการออกแบบฟัซซีลอจิก เราจะใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมค่าพีเอชผ่านบอร์ดอาดูโน่ เพื่อตัดสินใจว่าจะปล่อยสารละลายเป็นระยะเวลาเท่าใดเพื่อควบคุมค่าพีเอชให้ได้ค่าตามที่เราต้องการ ซึ่งภาพรวมกระบวนการทำงานของฟัซซีลอจิกดูได้จากรูปที่ 3.13





รูปที่ 3.13 ภาพรวมกระบวนการทำงานของฟัซซีลอจิก

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี

ระบบ	ความหมาย	ค่าตัวแปร	ความหมาย
อินพุตตัวที่ 1 PHN (PH Need)	อินพุตของค่าพีเอช ฐาน	**HAcid** (High Acid)	กรดแก่
		LAcid (Low Acid),	กรดอ่อน
		Neutral	กลาง
		LBase (Low Base)	เบสอ่อน
		HBase (High Base)	เบสแก่
อินพุตตัวที่ 2 PHD (PH Difference)	อินพุตค่าผลต่าง ของพีเอช	**NL** (Negative Large)	กำลังเป็นกรดมากขึ้น
		NS (Negative Small),	กำลังเป็นกรด
		Z (Zero),	ไม่เปลี่ยนแปลง
		PS (Positive Small)	กำลังเป็นเบส
		PL (Positive Large)	กำลังเป็นเบสมากขึ้น
เอาต์พุต (Drop)	จำนวนหยด	**LDBase** (Large Drop Base)	หยดเบสมากๆ
		MDBase (Mideam Drop Base)	หยดเบสปานกลาง
		SDBase (Small Drop Base)	หยดเบสน้อยๆ
		NoDrop	ไม่หยดสาร
		SDAcid (Small Drop Acid)	หยดกรดน้อย
		MDAcid (Mideam Drop Acid)	หยดกรดปานกลาง

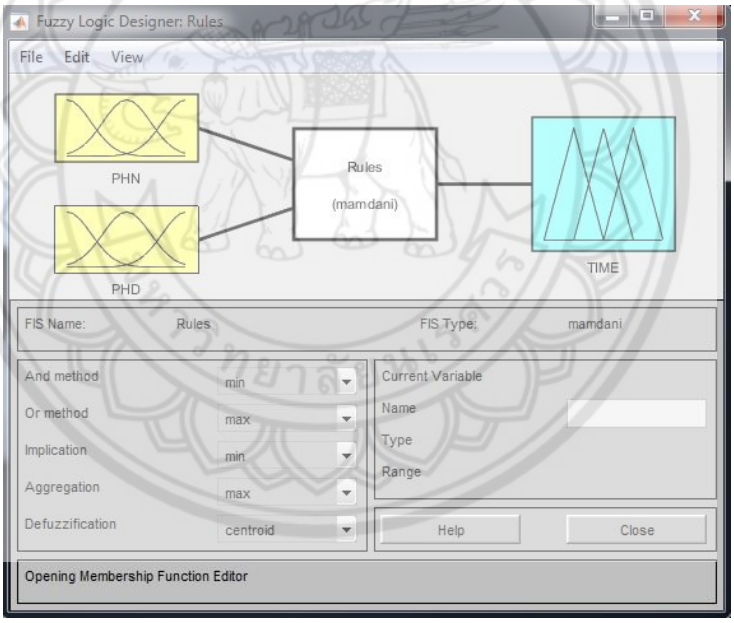
		LDAcid (Large Drop Acid)	หยดกรดมากๆ

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลการออกแบบฟัซซี

3.4.1 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี แบบที่ 1

1) การทำฟัซซี

ทำการออกแบบอินพุตและเอาต์พุตของระบบ โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บเพื่อช่วยในการออกแบบและคำนวณแบบฟัซซี ซึ่งได้ทำการออกแบบระบบโดยมีอินพุตทั้งหมด 2 ตัว คือ อินพุตของค่าพีเอช กับ อินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์ และเอาต์พุต 1 ตัว คือ จำนวนหยดที่ใช้ในการเติมสารละลาย ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การออกแบบอินพุตและเอาต์พุต

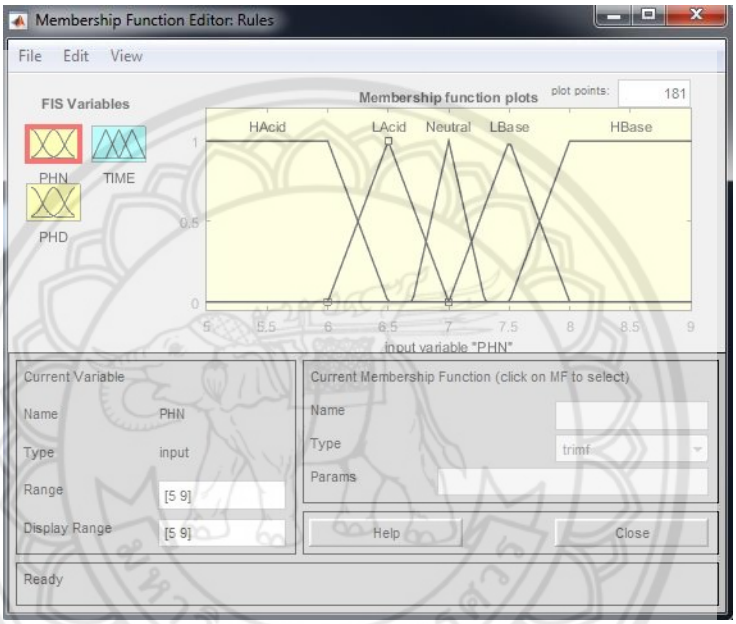
หัวข้อนี้อธิบายค่าอินพุตของค่าพีเอชฐาน แบ่งฟัซซีเซตออกเป็น HAcid (High Acid), LAcid (Low Acid), Neutral, LBase (Low Base), และ HBase (High Acid) มีขอบเขตอยู่ระหว่างช่วง 5 พีเอช ถึง 9 พีเอช โดยได้ออกแบบค่าพีเอชฐานเป็นดังนี้

HAcid กำหนดพารามิเตอร์ [5 5 6 6.5]

LAcid กำหนดพารามิเตอร์ [6 6.5 6.5 7]

Neutral	กำหนดพารามิเตอร์	[6.7	7	7	7.3]
LBase	กำหนดพารามิเตอร์	[7	7.5	7.5	8]
HBase	กำหนดพารามิเตอร์	[7.5	8	9	9]

ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.15

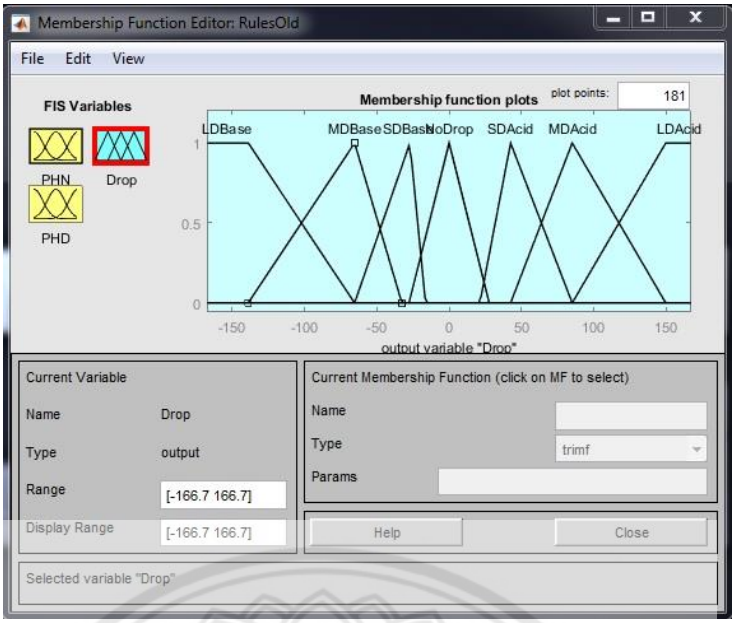


รูปที่ 3.15 อินพุตของค่าพีเอชซึ่งเป็นค่าฐานพีเอช

ส่วนของอินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์ แบ่งฟัซซีเซตออกเป็น NL (Negative Large), NS (Negative Small), Z (Zero), PS (Positive Small) และ PL (Positive Large) มีขอบเขตอยู่ระหว่างช่วง -2 พีเอช ถึง 2 พีเอช โดยได้ออกแบบค่าอินพุตผลต่างดังนี้

NL	กำหนดพารามิเตอร์	[-2	-2	-1	-0.5]
NS	กำหนดพารามิเตอร์	[-1	-0.5	-0.5	0]
Z	กำหนดพารามิเตอร์	[-0.5	0	0	0.5]
PS	กำหนดพารามิเตอร์	[0	0.5	0.5	1]
PL	กำหนดพารามิเตอร์	[0.5	1	2	2]

ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 อินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์

2) การสร้างฐานกฎ

เมื่อทราบอินพุตทั้งหมดแล้ว จะทำการสร้างกฎของฟัซซีเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตไปยังเอาต์พุตได้ เขียนอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้ “IF (x is A) AND (y is B) THEN (z is C)” ซึ่งได้ออกแบบกฎของฟัซซีดังต่อไปนี้ และเอาต์พุตที่มีความเป็นไปได้แสดงตามตารางที่ 3.11

1. IF (PHN is HAcid) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDAcid)
2. IF (PHN is HAcid) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid)
3. IF (PHN is HAcid) AND (PHD is Z) THEN (Drop s NoDrop)
4. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDAcid)
5. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid)
6. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop)
7. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)
8. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase)
9. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDAcid)
10. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid)
11. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop)

12. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)

13. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase)

14. IF (PHN is LBase) AND (PHD is NL) THEN (Drop is SDAcid)

15. IF (PHN is LBase) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid)

16. IF (PHN is LBase) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop)

17. IF (PHN is LBase) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)

18. IF (PHN is LBase) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase)

19. IF (PHN is HBase) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop)

20. IF (PHN is HBase) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)

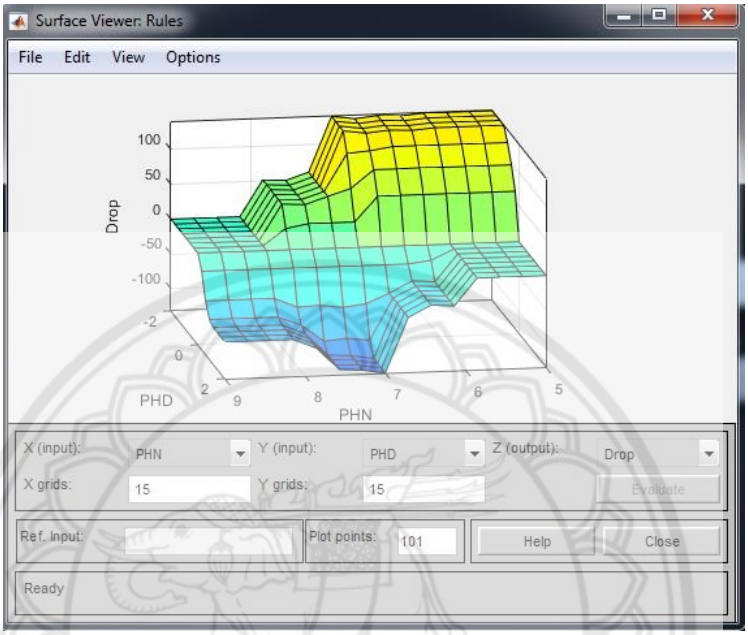
21. IF (PHN is HBase) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDBase)

ตารางที่ 3.11 กฎการควบคุมค่าพีเอช

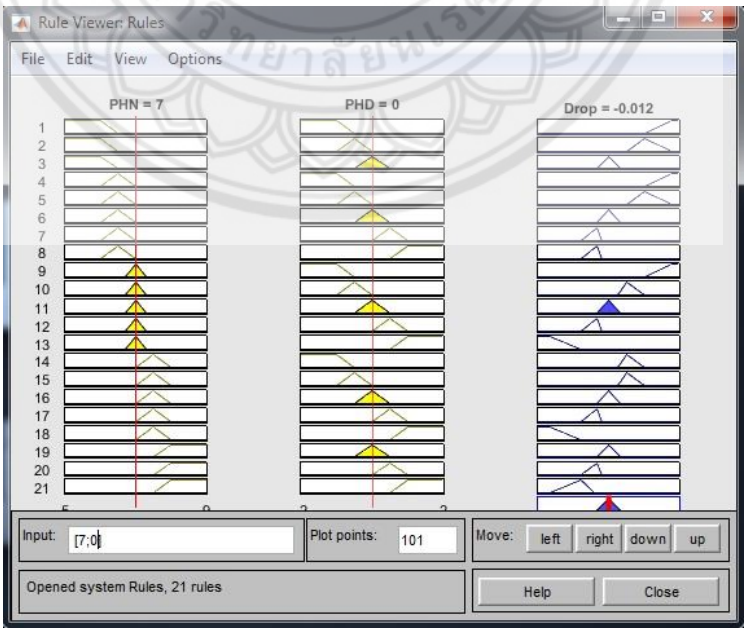
	NL	NS	Z	PS	PL
HAcid	LDAcid	MDAcid	NoDrop		
LAcid	LDAcid	MDAcid	NoDrop	SDBase	SDBase
Neutral	LDAcid	SDAcid	NoDrop	SDBase	LDBase
LBase	SDAcid	SDAcid	NoDrop	SDBase	LDBase
HBase			NoDrop	SDBase	MDBase

3) กลไกการอนุมาน

กฎต่างๆที่กำหนดไว้จะถูกอนุมานเป็นผลลัพธ์ในการตัดสินใจของระบบในการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ เราสามารถเรียกดูกราฟพื้นที่ผิวได้ดังรูป 3.17 และผลลัพธ์ในการตัดสินใจได้ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 กราฟพื้นที่ผิวการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ



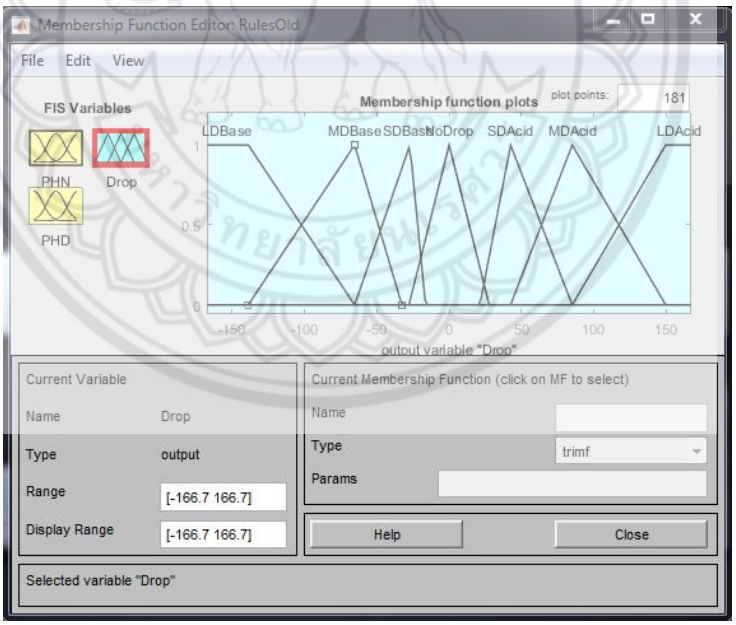
รูปที่ 3.18 ประมวลผลแบบกฎการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ

4) การทำดีฟัซซี

จากขั้นตอนแรกมาถึงขั้นตอนนี้ คือขั้นตอนในการแปลงค่าเอาต์พุตจากผลการรวมกฎให้อยู่รูปของระยะเวลาปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อปรับค่าพีเอช แบ่งฟัซซีเซต LDBase (Large Drop Base), MDBase (Mideam Drop Base), SDBase (Small Drop Base), NoDrop, SDAcid (Small Drop Acid), MDAcid (Mideam Drop Acid) และ LDAcid (Large Drop Acid) มีขอบเขตในช่วง -6 วินาที ถึง 6 วินาที ออกแบบเอาต์พุตเพื่อเพิ่มและลดค่าพีเอชช่วง 6 ถึง 8 โดยออกแบบไว้ดังนี้

LDBase	กำหนดพารามิเตอร์	[-166.8	-166.8	-139	-65.40]
MDBase	กำหนดพารามิเตอร์	[-139	-65.4	-65.4	-32.69]
SDBase	กำหนดพารามิเตอร์	[-65.4	-27.13	-27.13	-16.36]
NoDrop	กำหนดพารามิเตอร์	[-27.78	0	0	27.78]
SDAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[21.28	42.54	42.54	85.18]
MDAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[42.54	85.18	85.18	149.9]
LDAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[85.18	149.9	166.7	166.7]

แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เอาต์พุตจำนวนหยดของสารละลายสำหรับปรับค่าพีเอช

ตารางที่ 3.12 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชของน้ำพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.03 ปรับเป็น 6

ครั้งที่	ค่าพีเอช ที่ต้องการ (อินพุต1)	ค่าพีเอช จาก เซนเซอร์ (อินพุต2)	จำนวนหยด (เอาต์พุต)	ค่าพีเอชจาก เซนเซอร์หลังจาก ปล่อยสารละลาย	ค่าความ ผิดพลาด (ร้อยละ)
1	6	7.03	139	6.65	9.77
2	6	6.65	101	6.30	4.76
3	6	6.30	67	6.15	2.44
4	6	6.15	50	6.07	1.15

การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ถ้ากำหนดให้ S เป็นค่าปริมาณฟิสิกส์มาตรฐาน และ E เป็นค่าปริมาณฟิสิกส์เดียวกับ S แต่ได้จากการทดลอง เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้ตามสมการที่ 3.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{|E-S|}{S} \times 100\% \quad (3.2)$$

จากการทดลองปรับค่าพีเอชจาก 7.03 ให้เป็นพีเอช 6 แสดงได้ดังตารางที่ 3.12 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าระบบสามารถปรับค่าพีเอชให้มีค่าเข้าใกล้พีเอช 6 ได้จริง แต่ต้องกดให้ระบบทำงานถึง 4 ครั้ง โดยจะเห็นว่าค่าความผิดพลาดมีการลู่เข้าใกล้ 0 มากขึ้นทุกครั้ง ค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 9.77 แต่การออกแบบนี้ยังคงมีปัญหาคือค่าพีเอชที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามที่เราต้องการ ซึ่งในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละช่างมีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน เพราะมีการอิ่มตัวของสารละลายทำให้ต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มมากขึ้น การออกแบบเอาต์พุตนี้จึงยังไม่สอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง

ตารางที่ 3.13 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชโดยพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.03 ปรับเป็น 8

ครั้งที่	ค่าพีเอช ที่ต้องการ (อินพุต1)	ค่าพีเอช จาก เซนเซอร์ (อินพุต2)	จำนวนหยด (เอาต์พุต)	ค่าพีเอชจาก เซนเซอร์หลังจาก ปล่อยสารละลาย	ค่าความ ผิดพลาด (ร้อยละ)
1	8	7.03	78	7.62	4.99

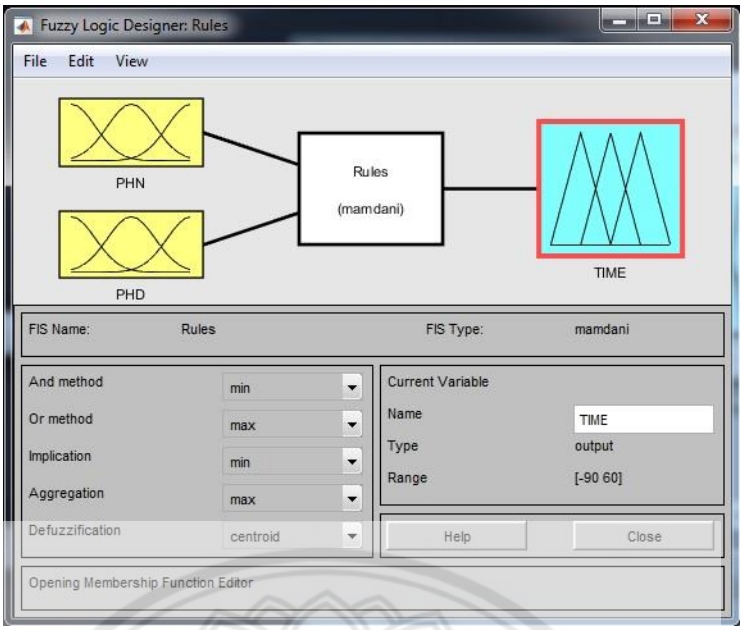
2	8	7.62	25	7.76	3.10
3	8	7.76	17	7.84	2.04
4	8	7.84	13	7.90	1.27

จากการทดลองปรับค่าพีเอชจาก 7.03 ให้เป็นพีเอช 8 แสดงได้ดังตารางที่ 3.13 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าระบบสามารถปรับค่าพีเอชให้มีค่าเข้าใกล้พีเอช 8 ได้จริง แต่ต้องกดให้ระบบทำงานถึง 4 ครั้ง โดยจะเห็นว่าค่าความผิดพลาดมีการลู่เข้าใกล้ 0 มากขึ้นทุกครั้ง ค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 4.99 แต่การออกแบบนี้ยังคงมีปัญหาคือค่าพีเอชที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามที่เราต้องการ ซึ่งในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละช่างมีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน เพราะมีการอิ่มตัวของสารละลายทำให้ต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มมากขึ้น การออกแบบเอาต์พุตนี้จึงยังไม่สอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง

3.4.2 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี แบบที่ 2

1) การทำฟัซซี

ทำการออกแบบอินพุตและเอาต์พุตของระบบ โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บเพื่อช่วยในการออกแบบและคำนวณแบบฟัซซี ซึ่งได้ทำการออกแบบระบบโดยมีอินพุตทั้งหมด 2 ตัว คือ อินพุตของค่าพีเอช กับ อินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์ และเอาต์พุต 1 ตัว คือ จำนวนหยดของสารละลายที่ใช้ในการเติมสารละลาย ตามรูปที่ 3.20

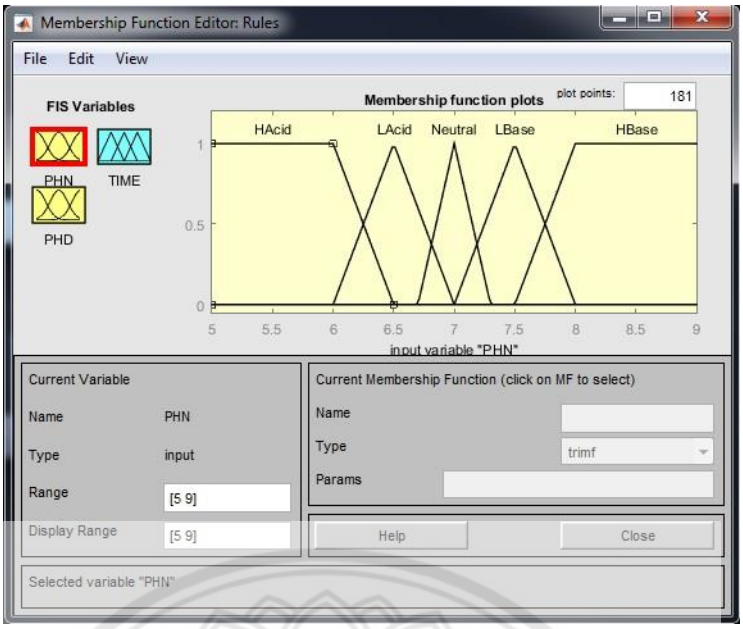


รูปที่ 3.20 การออกแบบอินพุตและเอาต์พุต

หัวข้อนี้อธิบายค่าอินพุตของค่าพีเอชฐาน แบ่งฟัซซีเซตออกเป็น HAcid (High Acid), LAcid (Low Acid), Neutral, LBase (Low Base), และ HBase (High Acid) มีขอบเขตอยู่ระหว่างช่วง 5 พีเอช ถึง 9 พีเอช โดยได้ออกแบบค่าพีเอชฐานเป็นดังนี้

HAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[5 5 6 6.5]
LAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[6 6.5 6.5 7]
Neutral	กำหนดพารามิเตอร์	[6.7 7 7 7.3]
LBase	กำหนดพารามิเตอร์	[7 7.5 7.5 8]
HBase	กำหนดพารามิเตอร์	[7.5 8 9 9]

ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.21

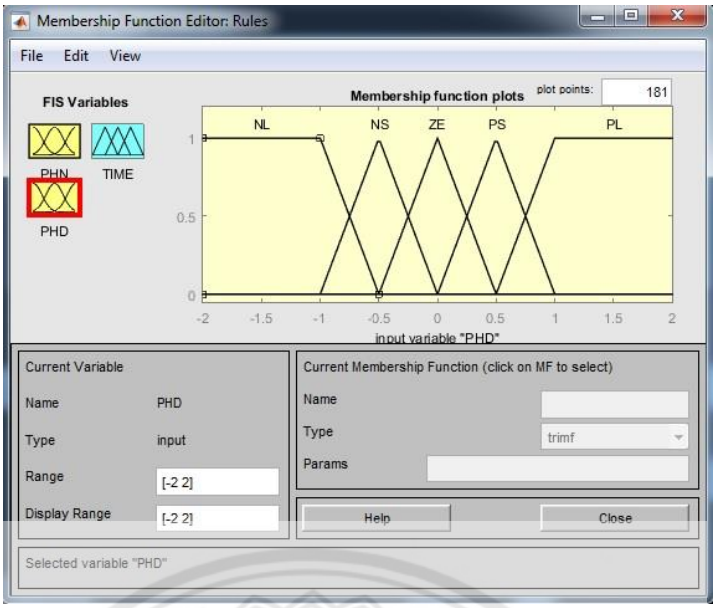


รูปที่ 3.21 อินพุตของค่าพีเอชซึ่งเป็นค่าฐานพีเอช

ส่วนของอินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์ แบ่งฟัซซีเซตออกเป็น NL (Negative Large), NS (Negative Small), Z (Zero), PS (Positive Small) และ PL (Positive Large) มีขอบเขตอยู่ระหว่างช่วง -2 พีเอช ถึง 2 พีเอช โดยได้ออกแบบค่าอินพุตผลต่างดังนี้

NL	กำหนดพารามิเตอร์	[-2	-2	-1	-0.5]
NS	กำหนดพารามิเตอร์	[-1	-0.5	-0.5	0]
Z	กำหนดพารามิเตอร์	[-0.5	0	0	0.5]
PS	กำหนดพารามิเตอร์	[0	0.5	0.5	1]
PL	กำหนดพารามิเตอร์	[0.5	1	2	2]

ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 อินพุตค่าผลต่างของพีเอชจากเซนเซอร์

2) การสร้างฐานกฎ

เมื่อทราบอินพุตทั้งหมดแล้ว จะทำการสร้างกฎของฟัซซีเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตไปยังเอาต์พุตได้ เขียนอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้ “IF (x is A) AND (y is B) THEN (z is C)” ซึ่งได้ออกแบบกฎของฟัซซีดังต่อไปนี้ และเอาต์พุตที่มีความเป็นไปได้แสดงตามตารางที่ 3.14

1. IF (PHN is HAcid) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDAcid1)
2. IF (PHN is HAcid) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid1)
3. IF (PHN is HAcid) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop1)
4. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDAcid1)
5. IF PHN is LAcid) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid1)
6. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop1)
7. IF PHN is LAcid) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)
8. IF (PHN is LAcid) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase1)
9. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is NL) THEN (Drop is LDAcid)
10. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid)
11. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop1)

12. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)

13. IF (PHN is Neutral) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase1)

14. IF (PHN is LBase) AND (PHD is NL) THEN (Drop is SDAcid)

15. IF (PHN is LBase) AND (PHD is NS) THEN (Drop is SDAcid)

16. IF (PHN is LBase) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop)

17. IF (PHN is LBase) AND (PHD is PS) THEN (Drop is SDBase)

18. IF (PHN is LBase) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase)

19. IF (PHN is HBase) AND (PHD is Z) THEN (Drop is NoDrop)

20. IF (PHN is HBase) AND (PHD is PS) THEN (Drop is MDBase)

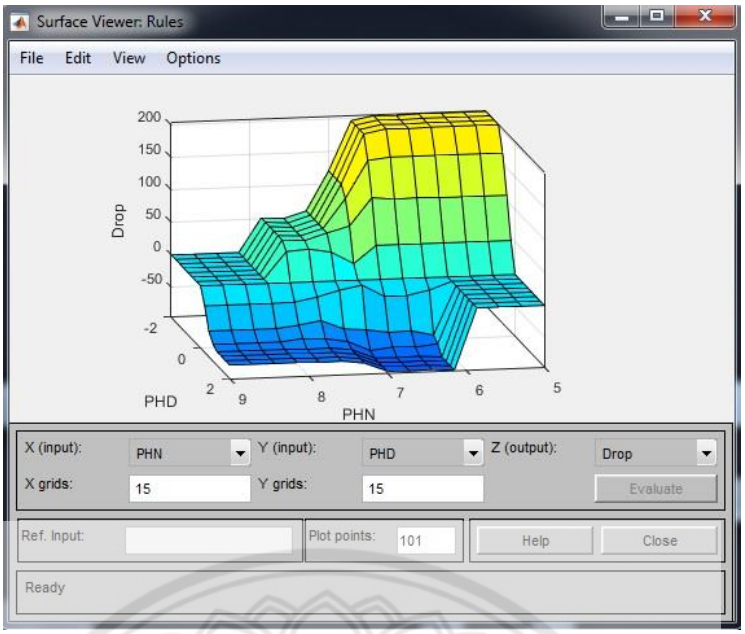
21. IF (PHN is HBase) AND (PHD is PL) THEN (Drop is LDBase)

ตารางที่ 3.14 กฎการควบคุมค่าพีเอช

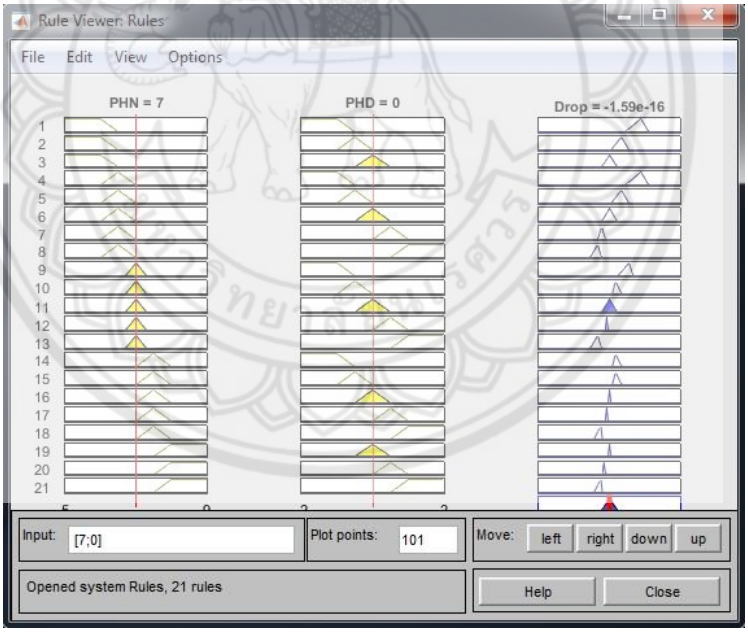
	NL	NS	Z	PS	PL
HAcid	LDAcid1	SDAcid1	NoDrop1		
LAcid	LDAcid1	SDAcid1	NoDrop1	SDBase	LDBase1
Neutral	LDAcid	SDAcid	NoDrop1	SDBase	LDBase1
LBase	SDAcid	SDAcid	NoDrop	MDBase	LDBase
HBase			NoDrop	MDBase	LDBase

3) กลไกการอนุมาน

กฎต่างๆที่กำหนดไว้จะถูกอนุมานเป็นผลลัพธ์ในการตัดสินใจของระบบในการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ เราสามารถเรียกดูกราฟพื้นที่ผิวได้ดังรูป 3.23 และผลลัพธ์ในการตัดสินใจได้ ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.23 กราฟพื้นที่ผิวการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ



รูปที่ 3.24 ประมวลผลแบบกฎการควบคุมค่าพีเอชของน้ำ

4) การทำดีฟัซซี

จากขั้นตอนแรกมาถึงขั้นตอนนี้ คือขั้นตอนในการแปลงค่าเอาต์พุตจากผลการรวมกฎให้อยู่รูปของระยะเวลาปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อปรับค่าพีเอช แบ่งฟัซซีเซตออกเป็น LDBase (Large Drop Base), MDBase (Mideam Drop Base), SDBase (Small Drop Base), NoDrop, SDAcid

(Small Drop Acid), MDAcid (Mideam Drop Acid), LDAcid (Large Drop Acid), LDAcid1 (Large Drop Acid 1), SDAcid (Small Drop Acid 1), NoDrop1, SDBase1 (Small Drop Base1) และ LDBase1 (Large Drop Base1) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารละลายจากกลางไปเป็นกรดและกลางไปเป็นเบส จึงต้องออกแบบเอาต์พุตสองชุดดังนี้

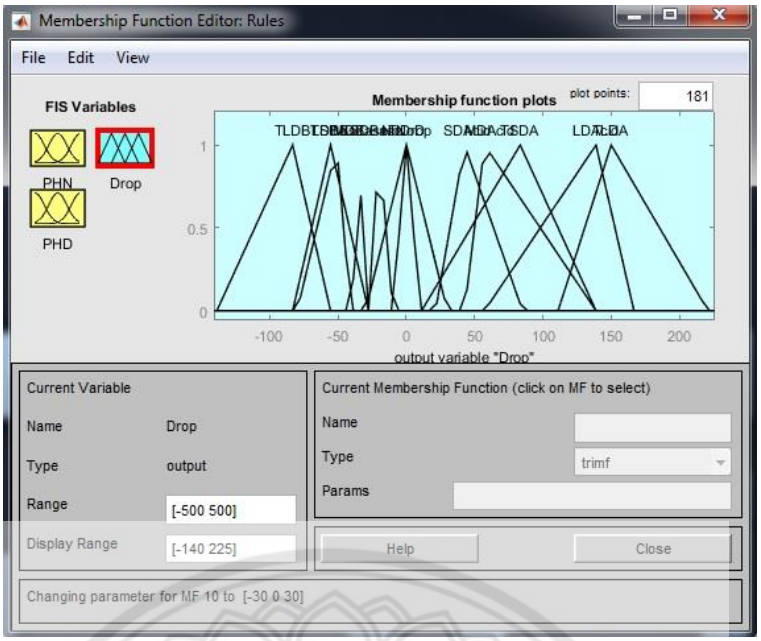
ส่วนแรกจะเป็นการออกแบบเอาต์พุตเพื่อเพิ่มและลดค่าพีเอชช่วง 6 ถึง 7 เนื่องจากอัตราการอิ่มตัวของสารละลายที่ใช้ในช่วงความเป็นกรดและเบสไม่เท่ากัน โดยออกแบบไว้ดังนี้

LDBase	กำหนดพารามิเตอร์	[-80	-51.12	-51.12	-40]
MDBase	กำหนดพารามิเตอร์	[-40	-30	-30	-27.78]
SDBase	กำหนดพารามิเตอร์	[-27.78	-20	-20	-10]
NoDrop	กำหนดพารามิเตอร์	[-10	0	0	10]
SDAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[21.11	42.50	42.50	57.22]
MDAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[42.50	57.22	57.22	138.89]
LDAcid	กำหนดพารามิเตอร์	[57.22	138.89	138.89	166.67]

ส่วนที่สองจะเป็นการออกแบบเอาต์พุตเพื่อเพิ่มและลดค่าพีเอชค่าพี่เอช 7 ถึง 8 ดังนี้

LDBase1	กำหนดพารามิเตอร์	[-138.9	-83.34	-83.34	-55.56]
SDBase1	กำหนดพารามิเตอร์	[-83.34	-55.56	-55.56	-27.78]
NoDrop1	กำหนดพารามิเตอร์	[-30	0	0	30]
SDAcid1	กำหนดพารามิเตอร์	[11.11	83.34	83.34	138]
LDAcid1	กำหนดพารามิเตอร์	[111.11	150	150	220.78]

แสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 เอาต์พุตจำนวนหยดของสารละลายสำหรับปรับค่าพีเอช

ตารางที่ 3.15 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชของน้ำพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.91 ปรับเป็น 6

ครั้งที่	ค่าพีเอช ที่ต้องการ (อินพุต1)	ค่าพีเอช จาก เซนเซอร์ (อินพุต2)	จำนวนหยด (เอาต์พุต)	ค่าพีเอชจาก เซนเซอร์หลังจาก ปล่อยสารละลาย	**ค่าความ ผิดพลาด (ร้อยละ)**
1	6	6.91	110	6.07	1.15
2	6	7.00	121	5.97	0.50
3	6	7.01	121	5.96	0.67

จากการทดลองปรับค่าพีเอชจาก 6.91, 7.00 และ 7.01 ให้เป็นพีเอช 6 แสดงได้ดังตารางที่ 3.15 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าระบบสามารถปรับค่าพีเอชให้มีค่าเข้าใกล้พีเอช 6 ได้จริง โดยจะเห็นว่ามีค่าความผิดพลาดมากสุดร้อยละ 1.15 ซึ่งถือว่าค่าเอาต์พุตที่ได้เป็นที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3.16 ข้อมูลแสดงการปรับค่าพีเอชโดยพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ปรับเป็น 8

ครั้งที่	ค่าพีเอชที่ต้องการ (อินพุต1)	ค่าพีเอชจากเซนเซอร์ (อินพุต2)	จำนวนหยด (เอาต์พุต)	ค่าพีเอชจากเซนเซอร์หลังจากปล่อยสารละลาย	ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)
1	8	7.00	57	8.07	0.87
2	8	7.02	56	8.08	1.00
3	8	7.06	54	8.12	1.47

จากการทดลองปรับค่าพีเอชจาก 7.00, 7.02 และ 7.06 ให้เป็นพีเอช 8 แสดงได้ดังตารางที่ 3.16 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าระบบสามารถปรับค่าพีเอชให้มีค่าเข้าใกล้พีเอช 8 ได้จริง โดยจะเห็นว่าค่าความผิดพลาดมมากสุดร้อยละ 1.47 ซึ่งถือว่าค่าเอาต์พุตที่ได้เป็นที่ยอมรับได้

3.4.3 การเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลาย

ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลายระหว่างจำนวนหยดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 และ พีเอช 10 ที่ได้จากการคำนวณฟัซซีที่ออกแบบกับจำนวนหยดของสารละลายที่นับได้จริง แสดงในตารางที่ 3.17 และตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.17 ข้อมูลแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 4

ครั้งที่	ค่าพีเอชที่ต้องการ	ค่าพีเอชจากเซนเซอร์	ค่าที่ได้จากฟัซซี		ค่าจริงที่วัดได้		ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)
			จำนวนหยด	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	จำนวนหยด	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	
1	6	6.38	65	3.25	70	3.50	7.14
2	6	6.38	65	3.25	68	3.40	4.41
3	6	6.38	65	3.25	67	3.35	2.98

ตารางที่ 3.18 ข้อมูลแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหยดของสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 10

ครั้งที่	ค่าพีเอชที่ต้องการ	ค่าพีเอชจากเซนเซอร์	ค่าที่ได้จากฟัซซี		ค่าจริงที่วัดได้		ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)
			จำนวนหยด	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	จำนวนหยด	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	
1	8	6.38	57	2.85	62	3.10	8.06
2	8	6.38	57	2.85	59	2.95	3.38
3	8	6.38	57	2.85	60	3.00	5.00

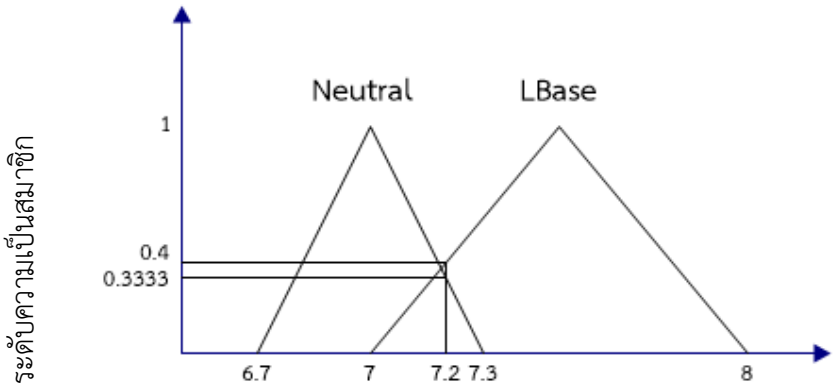
จากตารางที่ 3.17 และตารางที่ 3.18 ที่ทำการปรับค่าพีเอชจาก 6.38 ให้เป็นพีเอช 6 และพีเอช 8 โดยจำนวนหยดของสารละลายที่ได้จากการคำนวนนั้นคือ 65 หยดและ 57 หยด ตามลำดับ แต่เมื่อทำการนับหยดของสารละลายจริงพบว่าสารละลายที่ได้ตามจริงนั้นมีจำนวนหยดที่ไม่เท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณพบว่ามีจำนวนหยดมากกว่าและมีค่าผลต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.25 มิลลิลิตร หรือ 5 หยด มีค่าความคาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 8.06

3.4.4 ตัวอย่างการคำนวณ

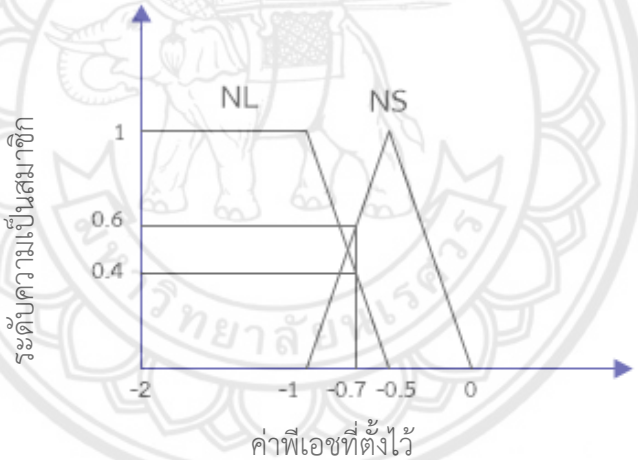
ตัวอย่างที่ 1 2 ปรับให้เป็นกรดมากขึ้น

เมื่อตั้งค่าพีเอชฐานเท่ากับ 7.2 แล้วค่าที่พีเอชเซนเซอร์วัดได้คือ 7.9 โดยจะได้ค่าผลต่างของพีเอชคือ -0.7

1) การทำฟัซซี (Fuzzification) คือการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7.2 ซึ่งจะประกอบด้วยอินพุตสองค่าคือค่าพีเอชฐานดังรูปที่ 3.26 และค่าผลต่างของพีเอชดังรูปที่ 3.27



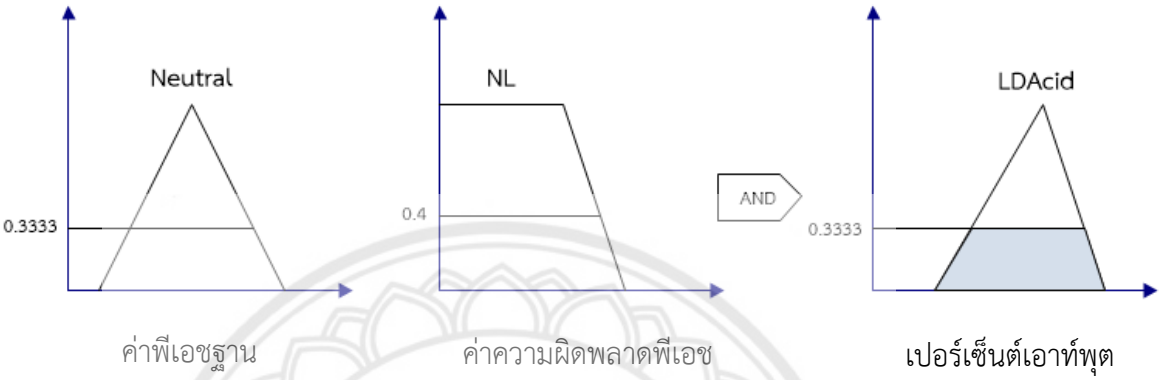
รูปที่ 3.26 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าพีเอชฐานค่าระดับความเป็นส**มาชิก**เท่ากับ 0.3333 และ 0.4



รูปที่ 3.27 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าผลต่างพีเอชค่าความเป็นสมา**ชิกเท่ากับ 0.4** และ 0.6

2) การประเมินค่ากฎของฟัซซี (Fuzzy rule evaluation) โดยฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตจะตัดยอด (clipped) หรือถูกปรับขนาด (scaled) ตามผลค่าระดับความเป็นสมาชิกของส่วนเงื่อนไขอินพุตใน “ถ้า” ดังแสดงในรูปที่ 3.28(ก) และ 3.28(ข)

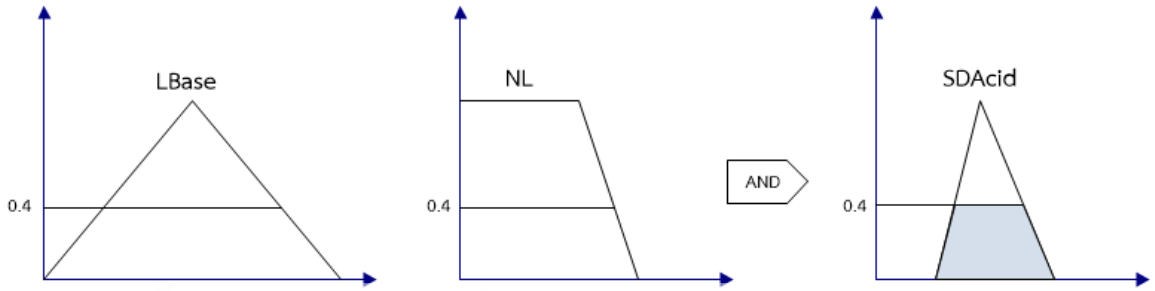
กฎ 9) IF (**PHN** is **Neutral**) and (**PHD** is **NL**) then (**Dorp** is **LDAcid**)



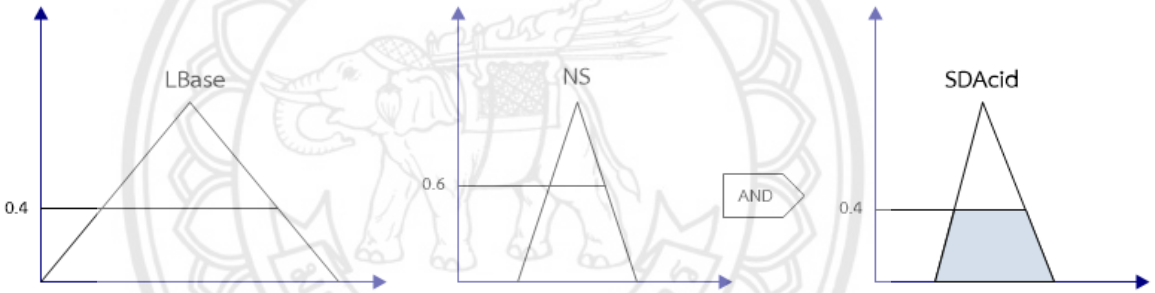
กฎ 10) IF (**PHN** is **Neutral**) and (**PHD** is **NS**) then (**Dorp** is **SDAcid**)

รูปที่ 3.28 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ก)

กฎ 14) IF (**PHN** is **LBase**) and (**PHD** is **NL**) then (**Dorp** is **SDAcid**)

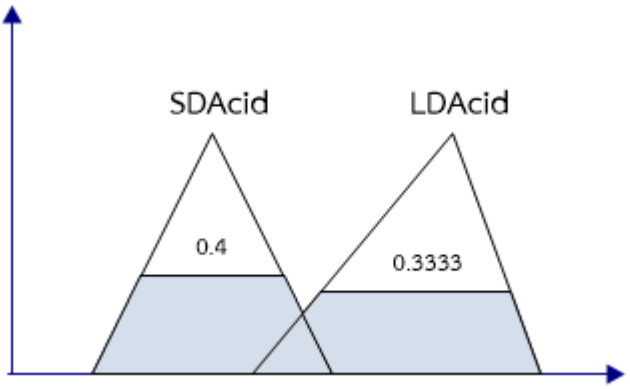


กฎ 15) IF (PHN is **LBase**) and (**PHD** is **NS**) then (**Dorp** is **SDAcid**)



รูปที่ 3.28 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ข)

3) การรวมกฎ (aggregation) หลังจากกฎต่างๆ ถูกประเมินค่าแล้ว กฎที่มีผลไม่เท่ากับศูนย์จะถูกรวมเข้าด้วยกันโดยการรวมผลลัพธ์ของฟังก์ชันสมาชิกที่ผ่านการประเมินค่า (โดยวิธีการตัดยอดหรือการปรับขนาด) ทั้งหมดเข้าด้วยกันเป็นเซตเดียวสำหรับแต่ละตัวแปรเอาต์พุต โดยการรวมกฎจะใช้ตัวกระทำยูเนียนดูได้ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การประเมินค่าฟังก์ชันสมาชิกด้วยวิธีตัดยอด

4) การทำดีฟัซซี (defuzzification) ซึ่งใช้วิธีหาจุดศูนย์ถ่วง (centroid หรือ center of gravity, COG) สามารถหาได้จากสมาการที่ 3.3

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)} \tag{3.3}$$

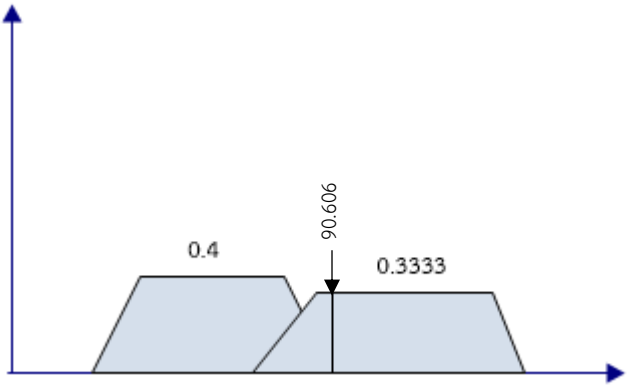
พิจารณาเอาต์พุตของระบบปรับค่าพีเอชในรูปที่ 3.29 สามารถดูข้อมูลได้จากตารางที่ 3.19 และคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3.19 ตารางแสดงค่าการคำนวณหา COG

X	29.270	45.4289	61.587	77.746	93.905	110.064	126.223	142.382	158.541
Y	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333

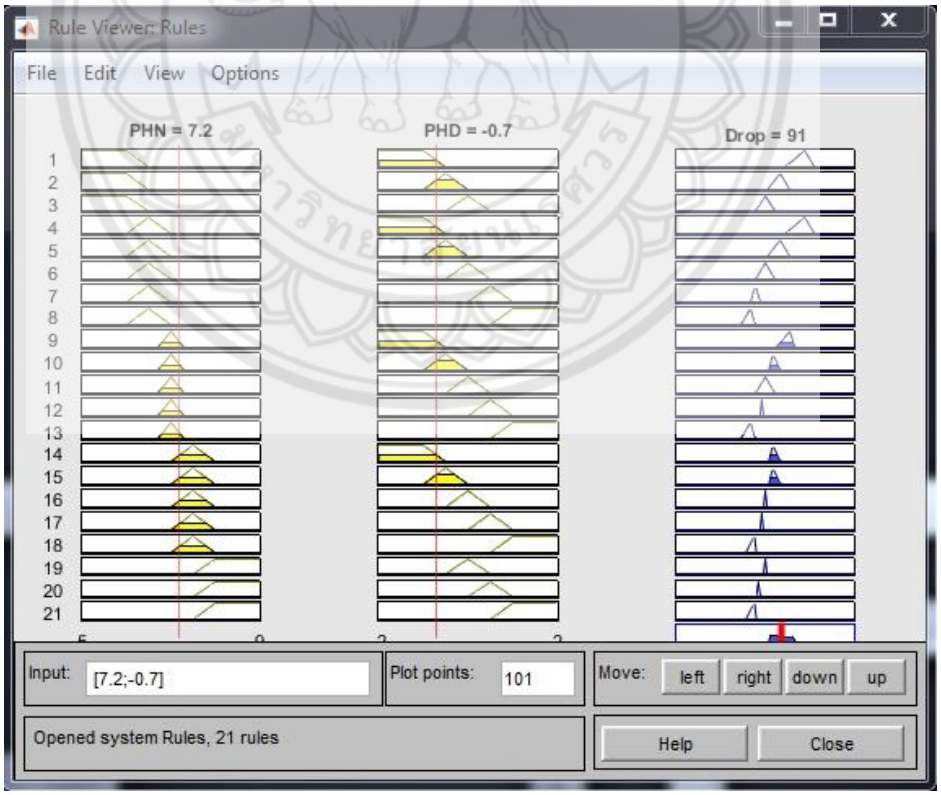
$$COG = \frac{((29.27+45.4289+61.587+77.746)\times 0.4)+((93.905+110.064+126.223+142.382+158.541)\times 0.3333}{0.4+0.4+0.4+0.4+0.3333+0.3333+0.3333+0.3333+0.3333}$$

COG = 90.606 หยด



รูปที่ 3.30 การทำดีฟัซซีด้วยวิธีหาจุดศูนย์ถ่วงของระบบควบคุมพีเอช

ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีเท่ากับ 91 ซึ่งหมายความว่าระบบจะทำการหยดสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับค่าเอาต์พุตที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการใช้โปรแกรมแมทแล็บในการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยังมีความผิดพลาดเนื่องจากการนำจุดจากการตัดยอดมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากโปรแกรมจึงทำให้เกิดความผิดพลาด เปรียบเทียบค่าจากโปรแกรมคำนวณจากรูปที่ 3.31

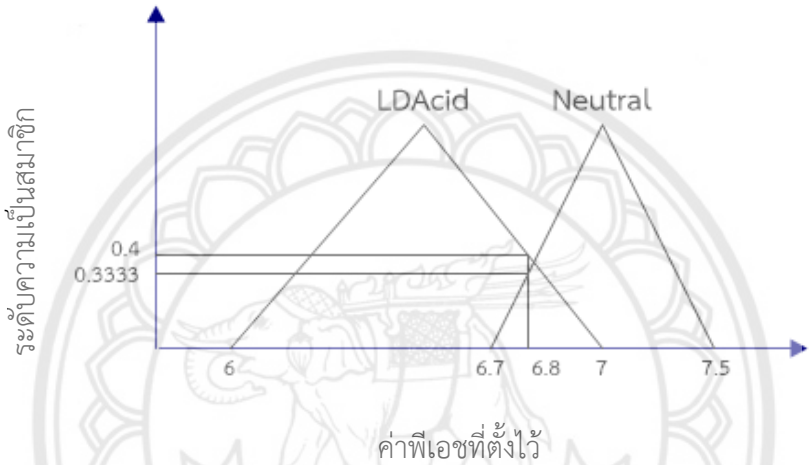


รูปที่ 3.31 ผลการคำนวณจากโปรแกรมแมทแล็บ

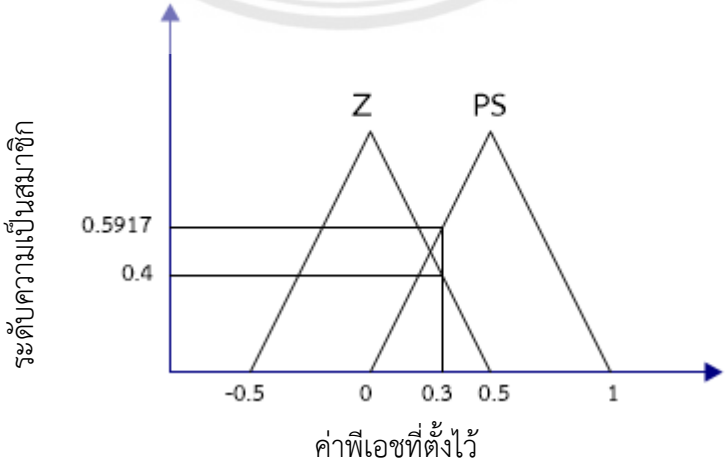
ตัวอย่างที่ 2 ปรับให้เป็นเบสมากขึ้น

เมื่อตั้งค่าพีเอชฐานเท่ากับ 6.8 แล้วค่าที่พีเอชเซนเซอร์วัดได้คือ 6.5 โดยจะได้ค่าผลต่างของพีเอชคือ 0.3

1) การทำฟัซซี (Fuzzification) คือการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 6.8 ซึ่งจะประกอบด้วยอินพุตสองค่าคือค่าพีเอชฐานดังรูปที่ 3.32 และค่าผลต่างของพีเอชดังรูปที่ 3.33



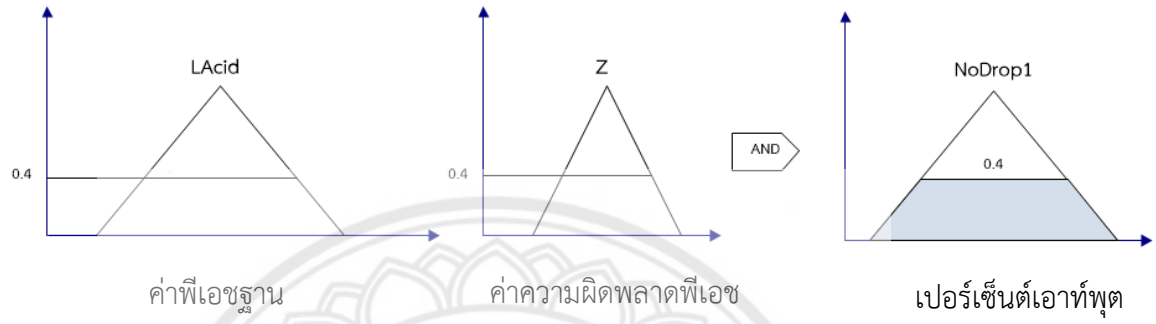
รูปที่ 3.32 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าพีเอชฐานค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.3333 และ 0.4



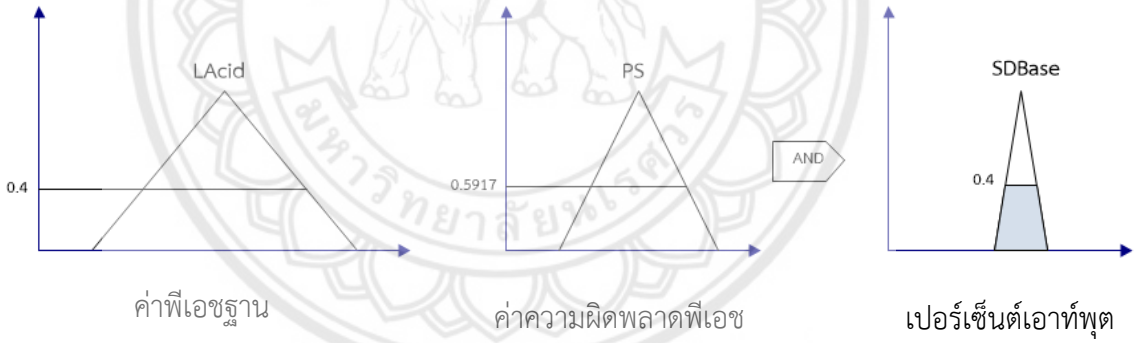
รูปที่ 3.33 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าผลต่างพีเอชค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.4 และ 0.5917

2) การประเมินค่ากฎของฟัซซี (Fuzzy rule evaluation) โดยฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตจะตัดยอด (clipped) หรือถูกปรับขนาด (scaled) ตามผลค่าระดับความเป็นสมาชิกของส่วนเงื่อนไขอินพุตใน “ถ้า” ดังแสดงในรูปที่ 3.34(ก) และ 3.34(ข)

กฎ 6) IF (**PHN** is **LDAcid**) and (**PHD** is **Z**) then (**Dorp** is **NoDrop1**)

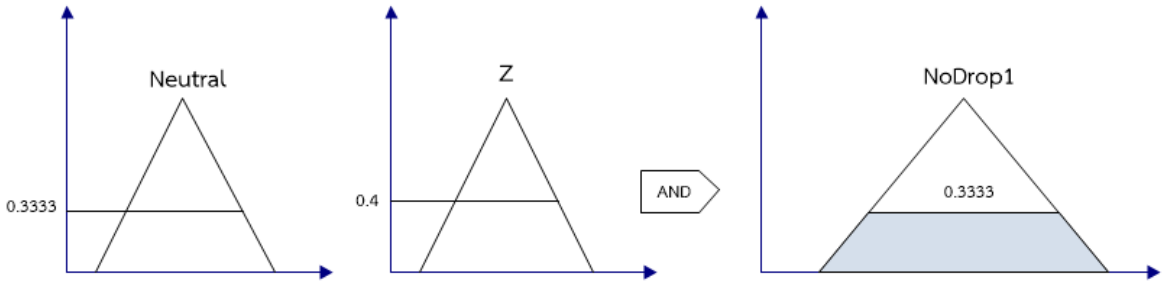


กฎ 7) IF (**PHN** is **LAcid**) and (**PHD** is **PS**) then (**Dorp** is **SDBase**)

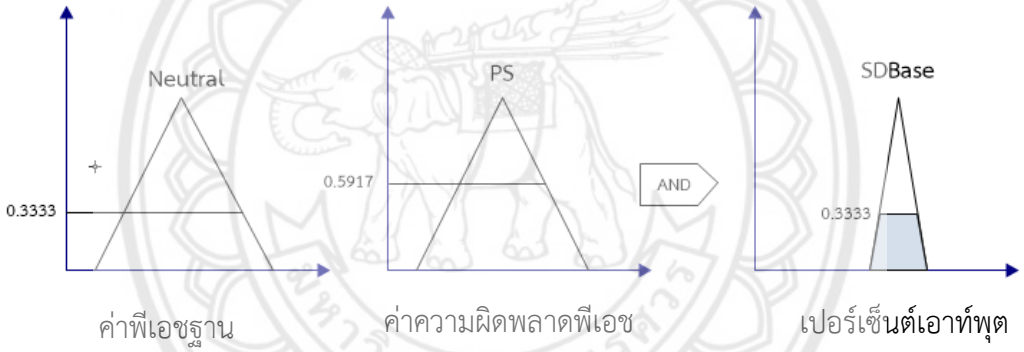


รูปที่ 3.34 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิ (ก)

กฎ 11) IF (**PHN** is **Neutral**) and (**PHD** is **Z**) then (**Dorp** is **NoDrop1**)

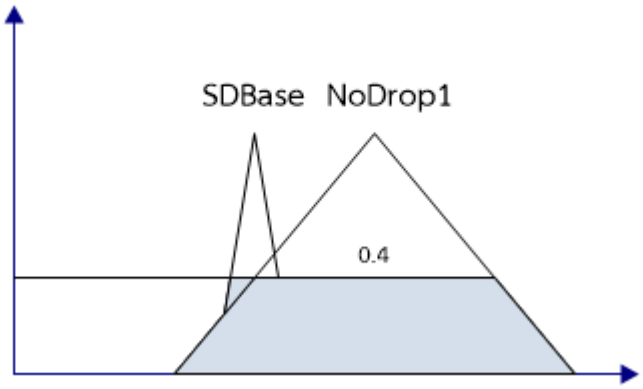


กฎ 12) IF (PHN is **NeuTral**) and (**PHD** is **PS**) then (**Dorp** is SDBase)



รูปที่ 3.34 การอนุมานฟัซซีแบบแมมดานี (ข)

3) การรวมกฎ (aggregation) หลังจากกฎต่างๆ ถูกประเมินค่าแล้ว กฎที่มีผลไม่เท่ากับศูนย์จะถูกรวมเข้าด้วยกันโดยการรวมผลลัพธ์ของฟังก์ชันสมาชิกที่ผ่านการประเมินค่า (โดยวิธีการตัดยอดหรือการปรับขนาด) ทั้งหมดเข้าด้วยกันเป็นเซตเดียวสำหรับแต่ละตัวแปรเอาต์พุต โดยการรวมกฎจะใช้ตัวกระทำยูเนียนดูได้ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 การประเมินค่าฟังก์ชันสมาชิกด้วยวิธีตัดยอด

4) การทำดีฟัซซี (defuzzification) ซึ่งใช้วิธีหาจุดศูนย์ถ่วง (centroid หรือ center of gravity, COG) สามารถหาได้จากสมาการที่ 3.3

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)}$$

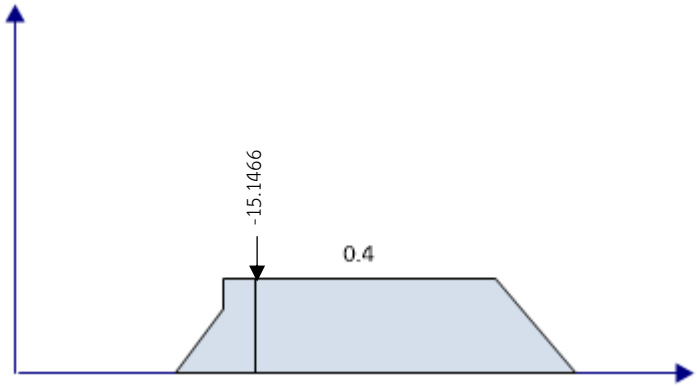
พิจารณาเอาต์พุตของระบบปรับค่าพีเอชในรูปที่ 3.36 สามารถดูข้อมูลได้จากตารางที่ 3.20 และคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3.20 ตารางแสดงค่าการคำนวณหา COG

X	-63.55	-51.205	-38.861	-26.516	-14.172	-1.828	10.5164	22.8608	35.2052
Y	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

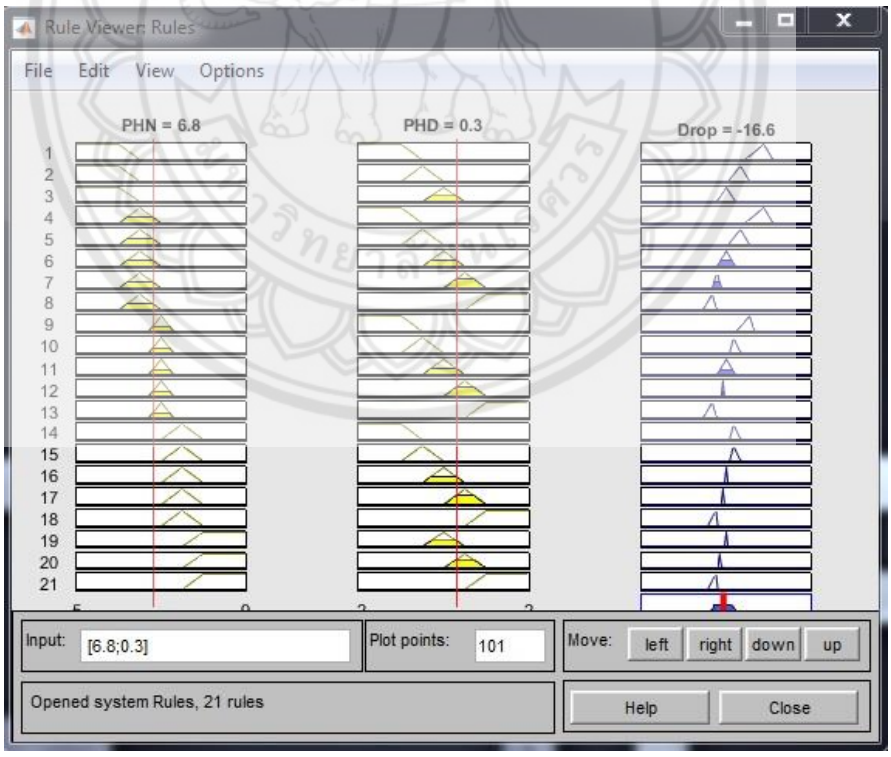
$$COG = \frac{((-63.55-51.205-38.861-26.516-14.172-1.828+10.5164+22.8608+35.2052)\times 0.4)}{0.4+0.4+0.4+0.4+0.4+0.4+0.4+0.4+0.4}$$

COG = 15.1466 หยด



รูปที่ 3.36 การทำดีฟัซซีด้วยวิธีหาจุดศูนย์ถ่วงของระบบควบคุมพีเอช

ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีเท่ากับ 16.6 ซึ่งหมายความว่าระบบจะทำการหยดสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับค่าเอาต์พุตที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการใช้โปรแกรมแมทแล็บในการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยังมีความผิดพลาดเนื่องจากการนำจุดจากการตัดยอดมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากโปรแกรมจึงทำให้เกิดความผิดพลาด เปรียบเทียบค่าจากโปรแกรมคำนวณจากรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ผลการคำนวณจากโปรแกรมแมทแล็บ

บทที่ 4
การทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของการควบคุมค่าพีเอชของน้ำโดยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก จากคุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ที่รักษาระดับความเป็นกรดและเบสของสารละลายให้คงที่ ทำให้ใช้ปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 6, 7 และ 8 มีปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมค่าพีเอช โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็น 2 การทดลองหลักดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นเบสมากขึ้น

การทดลองที่ 2 ทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นกรดมากขึ้น

4.1 การทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นเบสมากขึ้น

สำหรับการทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นเบสมากขึ้น จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 เราจะปรับค่าพีเอช 6 ไปเป็นค่าพีเอช 7 และการทดลองที่ 2 เราจะปรับค่าพีเอช 7 ไปเป็นค่าพีเอช 8 เพื่อดูปริมาณหยดของสารละลายที่ใช้ในการควบคุมค่าพีเอช และค่าความผิดพลาดของทั้ง 2 การทดลองว่ามากน้อยเพียงใด และการทดลองไหนมีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะเหตุใด

4.1.1 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 6 ไปเป็นพีเอช 7

ในการทดลองนี้เราจะใช้น้ำที่มีพีเอชประมาณ 6 แล้วจึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 7 เพื่อความแม่นยำเราจึงทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เตรียมน้ำสำหรับการทดลองปริมาตร 400 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ตามรูปที่ 4.1

2) เปิดเครื่องควบคุมค่าพีเอช แล้วทำการวัดค่าพีเอชของน้ำที่จะทดลอง

3) ทำการจดบันทึกค่าพีเอชก่อนการทดลอง จากนั้นเรากดปุ่ม A แล้วใส่ค่าพีเอช 7 ลงไป จากนั้นกดปุ่ม # เพื่อเริ่มการควบคุม

4) สังเกตการทดลองแล้วบันทึกผลในแต่ละรอบลงในตารางที่ 4.1 ทำซ้ำข้อ 1-4 ทั้งหมด 5 ครั้ง

5) คำนวณค่าความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมค่าพีเอช

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	พีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชที่ตั้งไว้	ระบบทำการปล่อยสารละลาย	
			จำนวนหยด	ค่าพีเอชที่วัดได้
1	5.93	7.00	92	6.81
2	5.97	7.00	92	6.88
3	6.04	7.00	91	6.91
4	6.02	7.00	91	6.85
5	6.07	7.00	90	7.02

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	ค่าพีเอชที่ตั้งไว้	ระบบทำการปล่อยสารละลาย	
		ค่าพีเอชที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)
1	7.00	6.81	2.80
2	7.00	6.88	1.74
3	7.00	6.91	1.30
4	7.00	6.85	2.20
5	7.00	7.02	0.28

มหาวิทยาลัยนเรศวร

จากผลการทดลองพบว่าการควบคุมค่าพีเอชจากค่าพีเอช 6 ไปค่าพีเอช 7 มีค่าผิดพลาดจากการทดลองสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 2.80 เหตุผลที่เกิดความคาดเคลื่อนเพราะน้ำที่เราใช้มีค่าพีเอชเป็นกลางทำให้เราต้องปรับน้ำให้มีค่าพีเอชเป็นกรดขึ้น คือพีเอช 6 นั้นคือเราต้องเติมสารละลายบัฟเฟอร์กรดลงไปในน้ำก่อน และเมื่อเราจะปรับจากพีเอช 6 มาเป็นค่าพีเอช เราจึงต้องปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์เบสลงไปซ้ำกับสารละลายบัฟเฟอร์กรดในบีกเกอร์เดียวกัน จากคุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ที่พยายามรักษาค่าพีเอชให้คงที่ ทำให้น้ำเกิดการต้านการเปลี่ยนค่าพีเอชนั้นเอง น้ำจึงเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้น้อยจึงใช้จำนวนหยดของสารละลายในการควบคุมมาก ปล่อยสารหลายครั้งและมีค่าผิดพลาดสูง

4.1.2 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 7 ไปหาพีเอช 8

ในการทดลองนี้เราจะใช้น้ำที่มีพีเอชประมาณ 7 แล้วจึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 8 เพื่อความแม่นยำเราจึงทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เตรียมน้ำสำหรับการทดลองปริมาตร 400 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ตามรูปที่ 4.1

2) เปิดเครื่องควบคุมค่าพีเอช แล้วทำการวัดค่าพีเอชของน้ำที่จะทดลอง

3) ทำการจดบันทึกค่าพีเอชก่อนการทดลอง จากนั้นเรากดปุ่ม A แล้วใส่ค่าพีเอช 8 ลงไป จากนั้นกดปุ่ม # เพื่อเริ่มการควบคุม

4) สังเกตการทดลองแล้วบันทึกผลในแต่ละรอบลงในตารางที่ 4.3 ทำซ้ำข้อ 1-4 ทั้งหมด 5 ครั้ง

5) คำนวณค่าความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	พีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชที่ตั้งไว้	ระบบทำการปล่อยสารละลาย	
			จำนวนหยด	ค่าพีเอชที่วัดได้
1	7.10	8.00	54	8.12
2	7.02	8.00	56	8.08
3	7.08	8.00	54	8.14
4	7.24	8.00	50	7.85
5	7.18	8.00	52	7.98

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	ค่าพีเอชที่ตั้งไว้	ระบบทำการปล่อยสารละลาย	
		ค่าพีเอชที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)
1	8.00	8.12	1.48
2	8.00	8.08	1.00
3	8.00	8.14	1.72
4	8.00	7.85	1.91
5	8.00	7.98	0.25

จากผลการทดลองพบว่า การควบคุมค่าพีเอชจากค่าพีเอช 7 ไปค่าพีเอช 8 มีค่าผิดพลาดจากการทดลองสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 1.91 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชเกินค่าที่เราต้องการ เพราะว่าสารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 ดังตารางที่ 3.10 และตารางที่ 3.11 จึงทำให้การควบคุมค่าพีเอชใช้เวลาน้อยและมีค่าผิดพลาดที่มากกว่าในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทดลอง

4.2 การทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นกรดมากขึ้น

สำหรับการทดสอบควบคุมค่าพีเอชของน้ำกรณีปรับให้มีความเป็นกรดมากขึ้น เราจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เราจะปรับค่าพีเอชจากพีเอช 7 ไปค่าพีเอช 6 และการทดลองที่ 2 เราจะปรับค่าพีเอชจากพีเอช 8 ไปค่าพีเอช 7 เพื่อดูระยะเวลาในการควบคุม และจำนวนครั้งที่ควบคุมของทั้ง 2 การทดลองว่าเท่ากันหรือไม่ และการทดลองไหนมีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะเหตุใด

4.2.1 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 7 ไปหาพีเอช 6

ในการทดลองนี้เราจะใช้น้ำที่มีพีเอชประมาณ 7 แล้วจึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 6 เพื่อความแม่นยำเราจึงทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เตรียมน้ำสำหรับการทดลองปริมาตร 400 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ตามรูปที่ 4.1

2) เปิดเครื่องควบคุมค่าพีเอช แล้วทำการวัดค่าพีเอชของน้ำที่จะทดลองก่อน 1 ครั้ง

3) ทำการจดบันทึกค่าพีเอชก่อนการทดลอง จากนั้นเรากดปุ่ม A แล้วใส่ค่าพีเอช 6 ลงไป จากนั้นกดปุ่ม # เพื่อเริ่มการควบคุม

4) สังเกตการทดลองแล้วบันทึกผลในแต่ละรอบลงในตารางที่ 4.5 ทำซ้ำข้อ 1-4 ทั้งหมด 5 ครั้ง

5) คำนวณค่าความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	**พีเอชเริ่มต้น**	**ค่าพีเอชที่ตั้งไว้**	**ระบบทำการปล่อยสารละลาย**	
			จำนวนหยด	**ค่าพีเอชที่วัดได้**
1	7.01	6.00	121	6.04
2	7.00	6.00	121	5.98
3	7.02	6.00	121	6.06
4	7.01	6.00	121	6.03
5	7.03	6.00	121	6.08

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	**ค่าพีเอชที่ตั้งไว้**	**ระบบทำการปล่อยสารละลาย**	
		ค่าพีเอชที่วัดได้	**ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)**
1	6.00	6.04	0.67
2	6.00	5.98	0.33
3	6.00	6.06	1
4	6.00	6.03	0.50
5	6.00	6.08	1.32

จากผลการทดลองพบว่า การควบคุมค่าพีเอชจากค่าพีเอช 7 ไปค่าพีเอช 6 ใช้การปล่อยสารละลายเพื่อปรับค่าพีเอชเพียงรอบเดียว และมีค่าผิดพลาดจากการทดลองสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 1.32 ถือว่าค่าความผิดพลาดต่ำเพราะน้ำที่เราใช้มีค่าพีเอชใกล้เคียง 7 จึงใช้สารละลายบัฟเฟอร์ปรับในปริมาณที่น้อยจึงไม่ค่อยส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชที่เกิดขึ้น

4.2.2 การทดลองควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 8 ไปหาพีเอช 7

ในการทดลองนี้เราจะใช้น้ำที่มีพีเอชประมาณ 8 แล้วจึงทำการทดลองปรับค่าพีเอชของน้ำให้มีค่าพีเอช 7 เพื่อความแม่นยำเราจึงทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เตรียมน้ำสำหรับการทดลองปริมาตร 400 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ตามรูปที่ 4.1

2) เปิดเครื่องควบคุมค่าพีเอช แล้วทำการวัดค่าพีเอชของน้ำที่จะทดลองก่อน 1 ครั้ง

3) ทำการจดบันทึกค่าพีเอชก่อนการทดลอง จากนั้นเรากดปุ่ม A แล้วใส่ค่าพีเอช 7 ลงไป จากนั้นกดปุ่ม # เพื่อเริ่มการควบคุม

4) สังเกตการทดลองแล้วบันทึกผลในแต่ละรอบลงในตารางที่ 4.6 ทำซ้ำข้อ 1-4 ทั้งหมด 5 ครั้ง

5) คำนวณค่าความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงจำนวนหยดที่ใช้ปรับพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	พีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชที่ตั้งไว้	ระบบทำการปล่อยสารละลาย	
			จำนวนหยด	ค่าพีเอชที่วัดได้
1	7.92	7.00	113	7.05
2	7.94	7.00	115	7.20
3	8.03	7.00	121	6.96
4	8.01	7.00	121	6.92
5	7.95	7.00	115	7.18

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความผิดพลาดและค่าพีเอชในแต่ละครั้งที่ระบบปล่อยสารละลาย

การทดลองครั้งที่	ค่าพีเอชที่ตั้งไว้	ระบบทำการปล่อยสารละลาย	
		ค่าพีเอชที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด (ร้อยละ)
1	7.00	7.05	0.71
2	7.00	7.20	2.78
3	7.00	6.96	0.57
4	7.00	6.92	1.16
5	7.00	7.18	2.50

จากผลการทดลองพบว่า การควบคุมค่าพีเอชจากค่าพีเอช 8 ไปค่าพีเอช 7 ใช้การปล่อยสารละลายเพื่อปรับค่าพีเอช และมีค่าผิดพลาดจากการทดลองสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 2.78 เหตุผลมาจากคุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ที่พยายามรักษาค่าพีเอชให้คงที่ ทำให้น้ำเกิดการต้านการเปลี่ยนค่าพีเอชนั้นเอง ดังนั้นจึงเกิดค่าผิดพลาดขึ้นได้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงงาน สามารถสรุปผล และชี้แจงปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน รวมทั้งข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ และให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้ได้ออกแบบและสร้างชุดควบคุมค่าพีเอชของน้ำ โดยต้องการควบคุมค่าพีเอชของน้ำให้ได้ค่าพีเอช 6-8 โดยออกแบบให้บอร์ดอาดูโน่รับค่าพีเอชจากเซนเซอร์วัดค่าพีเอชและอาศัยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกในการประมวลผล สั่งการให้ปั๊มออกซิเจนปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์กรดและเบสในการปรับปรุงค่าพีเอช

จากผลการทดสอบเครื่องควบคุมค่าพีเอช สามารถวัดค่าพีเอชได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดที่ได้มาตรฐาน มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเล็กน้อยไม่เกินร้อยละ 1 เหตุที่มีความคลาดเคลื่อนเพราะเซนเซอร์วัดค่าพีเอชที่เราใช้นั้นไม่มีตัวชดเชยอุณหภูมิภายในหัวโพรบ ในการหาอัตราการไหลนั้นเราใช้แรงดัน 1.5 โวลต์จ่ายให้ปั๊มออกซิเจนทำงานค่าอัตราการไหลสำหรับสารละลายบัฟเฟอร์กรดพีเอช 4 และสารละลายบัฟเฟอร์เบสพีเอช 10 คือประมาณ 28 หยดต่อวินาที สำหรับการทดลองปล่อยสารละลายเพื่อดูการเปลี่ยนของค่าพีเอชนั้นเพื่อนำไปสร้างกฎของฟัซซีลอจิกในการประมวลผลต่อไป ผลการทดลองคือเมื่อเราปล่อยสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าใกล้กับค่าที่เราต้องการควบคุมมากเท่าไร ก็จะต้องใช้จำนวนหยดของสราละลายและเวลามากขึ้นตามไปด้วย สารละลายทั้ง 2 ชนิดจะเริ่มอิ่มตัวและหากเรายังเติมสารไปเรื่อยๆค่าพีเอชก็จะไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองสารโดยเปล่าประโยชน์

ผลการทดสอบชุดควบคุมค่าพีเอช สามารถควบคุมค่าพีเอชให้ได้ใกล้เคียงตามค่าที่เราต้องการ ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 2.80 ผลการทดสอบที่ได้คือการควบคุมค่าพีเอช 7 ไปพีเอช 6 มีประสิทธิภาพมากสุดคือสามารถควบคุมการปล่อยสารโดยมีความผิดพลาดสูงสุดร้อยละ 1.32 และรองลงมา คือการทดสอบการควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 7 ไปหาพีเอช 8 และพีเอช 8 ไปหาพีเอช 7 มีความผิดพลาดสูงสุดร้อยละ 1.91 และ 2.50 ตามลำดับ สุดท้ายเป็นการทดสอบการควบคุมค่าพีเอชของน้ำจากพีเอช 6 ไปหาพีเอช 7 ซึ่งมีค่าความผิดพลาดสูงสุดร้อยละ 2.80 เนื่องมาจากคุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์เบสที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อหยดมากกว่าสารละลายบัฟเฟอร์กรดจึงทำให้ยากต่อการควบคุม

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) เนื่องจากหัวโพรบของเราไม่มีการชดเชยอุณหภูมิและมีอายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี เนื่องจากมีราคาถูกขณะที่วัดจึงส่งผลต่อค่าพีเอชและวัดค่าพีเอชได้ช้า จึงควรใช้หัวโพรบที่มีการชดเชยอุณหภูมิซึ่งมีราคาสูงแต่ประสิทธิภาพดีกว่า

2) ในการลำเลียงสารละลายเนื่องจากเราใช้สายยางขนาดเล็กเป็นช่องทางการลำเลียงสารที่ห้อยลงมายังบิ๊กเกอร์ และมีสารละลายคาสายอยู่ อาจรั่วไหลลงมาตามแผ่นไม้ข้างๆได้ ถ้าหากเป็นสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง อาจเกิดอันตรายเมื่อไปสัมผัสได้

3) สารละลายที่ใช้ในการควบคุมค่าพีเอช มีค่าพีเอช 4 และพีเอช 10 จึงไม่สามารถปรับให้น้อยกว่าพีเอช 4 หรือมากกว่าพีเอช 10 ได้ และเมื่อปรับเข้าใกล้มากๆจะทำให้เกิดการอิ่มตัวของสารละลาย ส่งผลให้ต้องใช้สารละลายในปริมาณมากขึ้นด้วย

4) ปริมาณสารในขวดที่เหลือน้อยๆ อาจมีผลต่ออัตราการไหลของสารละลาย อาจส่งผลให้อัตราการไหลช้าลง ทำให้จำนวนหยดของสารละลายไม่เป็นไปตามที่ควรจะเป็น

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

1) ควรใช้เครื่องวัดเซนเซอร์ ที่มีการออกแบบให้มีการชดเชยอุณหภูมิที่หัวโพรบและวัดค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงได้เร็ว จะทำให้เราวัดค่าพีเอชได้สะดวก รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น

2) หลังจากการใช้งานควรใช้จุ๊บปิดเพื่อป้องกันสารละลายเปื้อนบริเวณรอบๆ

3) สารละลายที่ใช้ควบคุมค่าพีเอชสามารถใช้สารละลายชนิดอื่นได้ สำหรับระบบใหญ่ที่ปรับน้ำในปริมาณมากๆควรใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ

4) ควรหมั่นเติมสารละลายอยู่สม่ำเสมอ ควรรักษาระดับให้อยู่ในช่วง 150-350 ไม่ควรใช้สารละลายจนหมด

เอกสารอ้างอิง

นางสาววิลาวัณย์ ประสมทรัพย์. (2554). **การพัฒนาหาแบบจำลองตำแหน่งเสี่ยงต่อการพังทลายตลิ่งโดยวิธีฟัซซี**. วารสารวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร

ดร.พยุง มีสัจ. **FUZZY LOGIC**. สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2561, จาก gsila.cs.buu.ac.th/~phong/Fuzzy/fuzzylogic.pdf

สุทธิณี น้อยเหลือ. **มาตรฐานคุณภาพน้ำ**. สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2561, จาก http://202.129.59.73/nana/standard/st1.htm.

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). **ค่า pH คืออะไร ?.** สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2561, จาก https://www.nstda.or.th/th/Vdo-nstda/sci-day-techno/4101.

ไพฑูรย หมายมั่นสมสุข. **ประโยชน์ของกรด-ด่าง**. สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2561, จาก http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/3-Temp-pH-w.pdf.

ทัศนพล บุณยรัตนสุนทร. **สารละลายบัฟเฟอร์**. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2561, จาก http://www.119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/chemistry5_2/lesson4_3.php.

เรณู โนแก้ว. **กรด-เบส**. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2561, จาก. https://reanooanirut.wordpress.com.

David Cuartielles, David Mellis, Gianluca Martino, Massimo Banzi and Tom Igoe. (2548). **Arduino**. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2561, จาก https://www.arduino.cc.

ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4

มหาวิทยาลัยนเรศวร

RCI Labscan

RCI Labscan Limited

Buffer Solution pH 4.0 (Red)

Code GN1017

Specifications

Appearance	Clear, red solution
pH at 25°C	pH 4.00 ± 0.02

Traceable to NIST

Deviations of pH (ΔpH) at various temperatures :

	ΔpH
5°C	- 0.01
10°C	- 0.01
15°C	- 0.01
20°C	- 0.01
25°C	± 0
30°C	+ 0.01
35°C	+ 0.02
40°C	+ 0.02
50°C	+ 0.03

ภาคผนวก ข

รายละเอียดข้อมูลของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10

H360 - May damage fertility or the unborn child

Precautionary Statements
P201 - Obtain special instructions before use
P202 - Do not handle until all safety precautions have been read and understood
P264 - Wash face, hands and any exposed skin thoroughly after handling
P280 - Wear eye protection/ face protection
P302 + P352 - IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water
P305 + P351 + P338 - IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing
P308 + P313 - IF exposed or concerned: Get medical advice/ attention
P332 + P313 - If skin irritation occurs: Get medical advice/ attention
P362 - Take off contaminated clothing and wash before reuse
P403 - Store in a well-ventilated place
P501 - Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant

Other information
No information available

Section 3 - Composition and Information on Ingredients

Component	CAS-No	Weight %
Water	7732-18-5	>60
Borates, tetra, sodium salts, decahydrate	1303-96-4	<10
Sodium hydroxide	1310-73-2	<1
C.I. Acid blue 9, disodium salt	3844-45-9	<0.0005

Section 4 - First Aid Measures

Inhalation Move to fresh air. Get medical attention immediately if symptoms occur.

Ingestion Clean mouth with water and drink afterwards plenty of water. Get medical attention if symptoms occur.

Skin Contact Wash off immediately with plenty of water for at least 15 minutes. Get medical attention immediately if symptoms occur.

Eye Contact Rinse immediately with plenty of water, also under the eyelids, for at least 15 minutes. Obtain medical attention.

Protection of First-aiders No special precautions required.

First Aid Facilities Eyewash, safety shower and washroom.

Most important symptoms/effects None reasonably foreseeable.

Notes to Physician Treat symptomatically.

Section 5 - Fire Fighting Measures

Suitable Extinguishing Media
Use extinguishing measures that are appropriate to local circumstances and the surrounding environment.

Extinguishing media which must not be used for safety reasons
No information available.

Specific Hazards Arising from the Chemical
Thermal decomposition can lead to release of irritating gases and vapors.
Special protective equipment and precautions for fire fighters

ภาคผนวก ค

รายละเอียดข้อมูลของบอร์ดอาดูโน่

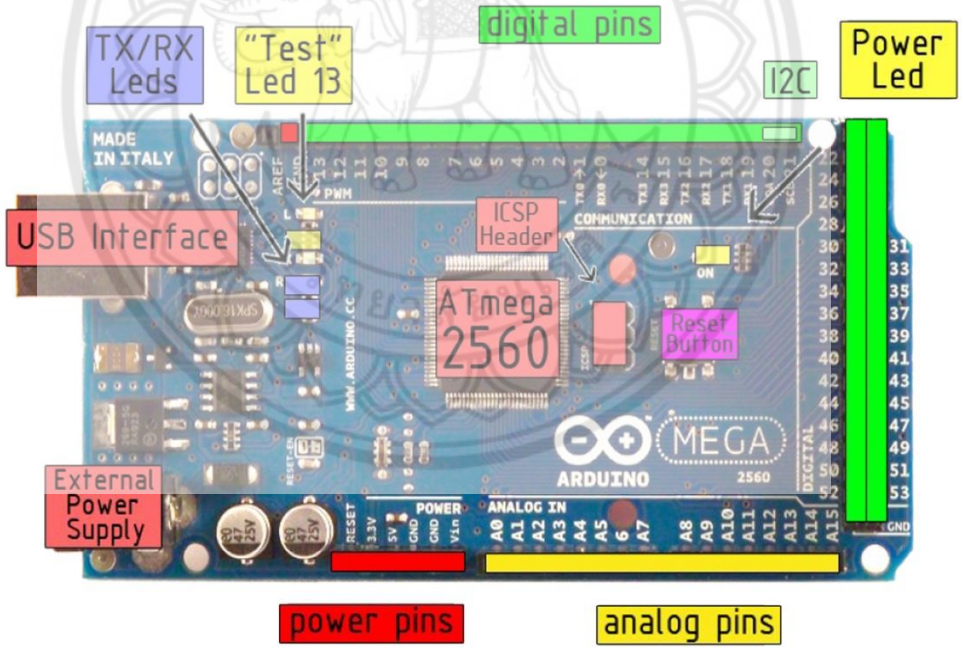
Technical Specification

EAGLE files: arduino-mega2560-reference-design.zip Schematic: arduino-mega2560-schematic.pdf

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



ภาคผนวก ง

รายละเอียดข้อมูลของเซนเซอร์วัดค่าพีเอช

The Theory of pH Measurement

pH measurement has a wide variety of industrial applications in virtually every industry. These range from water conditioning to specific process related measurements to waste treatment.

WHAT IS pH?

pH is a measure of the acidity or alkalinity of a water solution. The acidity or alkalinity of a water solution is determined by the relative number of hydrogen ions (H^+) or hydroxyl ions (OH^-) present. Acidic solutions have a higher relative number of hydrogen ions, while alkaline (also called basic) solutions have a higher relative number of hydroxyl ions. Acids are substances which either dissociate (split apart) to release hydrogen ions or react with water to form hydrogen ions. Bases are substances that dissociate to release hydroxyl ions or react with water to form hydroxyl ions.

In water solutions, the product of the molar concentrations[1] of hydrogen and hydroxyl ions is equal to a dissociation constant (K_w). Knowing the value of the constant and the concentration of hydrogen ions makes it possible to calculate the concentration of hydroxyl ions, and vice versa. At 25°C, the value of K_w is 10^{-14} (see Figure 1).

Acids: $HA \rightarrow H^+ + A^-$
acid — hydrogen ion — anion

Bases: $MOH \rightarrow OH^- + M^+$
base — hydrogen ion — cation

$(H^+) \times (OH^-) = K_w = 10^{-14}$ (25°C)

FIGURE 1. Acids and Bases

The concentration of hydrogen and hydroxyl ions can vary over 15 orders of magnitude in water solutions. Even common household items can reflect this wide variation (Figure 2).

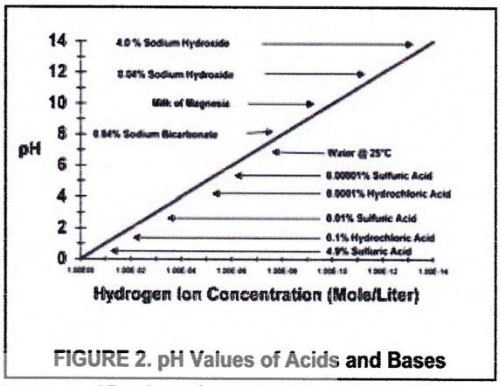


FIGURE 2. pH Values of Acids and Bases

pH is strictly defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity (a_H):

$$pH = -\log_{10} a_H$$

The hydrogen ion activity is defined as the molar concentration of hydrogen ions multiplied by an activity coefficient, which takes into account the interaction of hydrogen ions with other chemical species in the solution.

In practice, pH is often assumed to be the negative logarithm of the hydrogen ion concentration:

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

In this form, the usefulness of pH as a convenient shorthand for expressing hydrogen ion concentration can be seen on page 2, Figure 3:

At 25°C, a neutral solution has a pH of 7.0, while solutions with pH < 7 are acidic and solutions with pH > 7

[1] Molar concentration is a measurement of the number of atoms, molecules or ions in a solution.

	pH	[H+]	[OH−]
↑ ACIDIC	0	1.0	.00000000000001
	1	0.1	.0000000000001
	2	0.01	.000000000001
	3	0.001	.00000000001
	4	0.0001	.0000000001
	5	0.00001	.000000001
	6	0.000001	.00000001
Neutral	7	0.0000001	.0000001
	8	0.00000001	.000001
	9	0.000000001	.00001
	10	0.0000000001	.0001
BASIC ↓	11	0.00000000001	.001
	12	0.000000000001	.01
	13	0.0000000000001	0.1
	14	0.00000000000001	1.0

ION CONCENTRATION, MOL/L

FIGURE 3. Ion Concentration, MOL/L

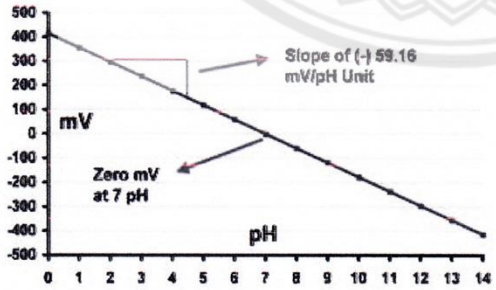
are alkaline. The normal overall pH range is 0 to 14 pH, although solutions containing non-water solvents can have pH values outside this range.

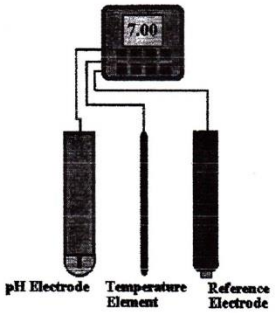
THE MEASUREMENT OF pH

pH measurement is based on the use of a pH sensitive electrode (usually glass), a reference electrode, and a temperature element to provide a temperature signal to the pH analyzer.

The pH electrode uses a specially formulated, pH sensitive glass in contact with the solution, which develops a potential (voltage) proportional to the pH of the solution. The reference electrode is designed to maintain a constant potential at any given temperature, and serves to complete the pH measuring circuit within the solution. It provides a known reference potential for the pH electrode. The difference in the potentials of the pH and reference electrodes provides a millivolt signal proportional to pH.

Most pH sensors are designed to produce a 0 mV signal at 7.0 pH, with a (theoretically ideal) slope (sensitivity) of -59.16 mV / pH at 25°C.

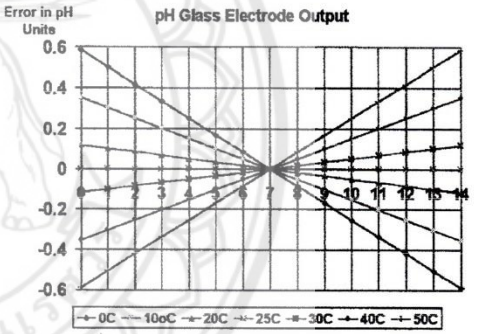




pH and reference electrode combination exhibits an isopotential point, which is a pH and millivolt potential at which the potential is constant with temperature changes. The isopotential point is most frequently designed to be at 7.0 pH and 0 mV. Using the isopotential point with a theoretical knowledge of electrode behavior makes it possible to compensate (correct) the pH measurement at any temperature to a reference temperature (usually 25°C), using a temperature signal from the temperature element. This makes the pH measurement independent of changes in the electrodes' output with temperature.

pH MEASUREMENT IN PROCESS SOLUTIONS

The potential effects of process solutions on pH sensors



will require a more detailed look at the construction of pH and reference electrodes. But first, some basic properties of the pH of water solutions need to be examined.

pH IN AQUEOUS SOLUTIONS

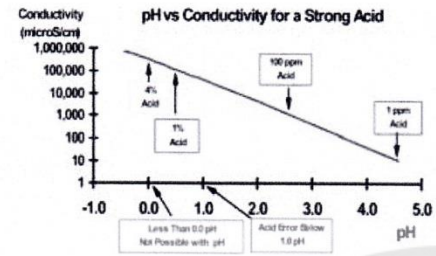
Practical pH Measurement Range

Although the range of pH measurements is defined to be 0 to 14 pH, solutions with pH values near the extremes of this range are often better measured using conductivity.

At pH values below 1.0 pH, the glass pH electrode can be subject to acid errors, and the sensor can be

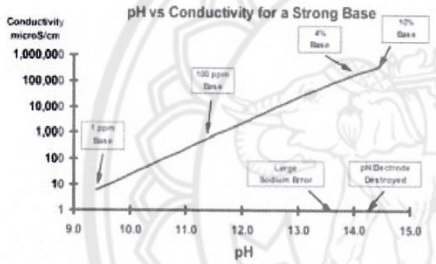
subject to chemical attack. Solutions with a pH in this range have an acid concentration at, or approaching the percent by weight range, which will have conductivity likely to be large in comparison to other electrolytes in the solution. A toroidal conductivity measurement, with a read-out in percent acid, can often be successfully applied in these cases and will be a far more accurate measurement of acid concentration than pH.

In the case of high pH, the reason for switching to a



conductivity measurement is more compelling: highly alkaline solutions quickly destroy glass pH electrodes. If the nominal pH is expected to be above 13 pH, a conductivity measurement should be considered.

Solution pH Changes with Temperature



The pH of a solution can change with temperature, due to the effect of temperature on the dissociation of weak acids and bases, and the dissociation of water itself. In fact, any solution with a pH of 7 or above will have some degree of temperature dependence. How much this will affect the measurement will depend upon the composition of the solution and how high the nominal process temperature is above 25°C. This behavior is frequently the explanation for discrepancies between laboratory and on-line pH measurements.

Modern pH analyzers allow their temperature compensation routines to be modified to take into account solution pH changes with temperature as well as changes in the millivolt output of the electrodes. Simply entering the temperature coefficient of the solution (pH change per degree C) into the analyzer does this. While the temperature coefficient can be calculated for simple cases, it is often necessary to measure it in the laboratory by noting the pH at various temperatures. If the composition of a process changes, the temperature coefficient can also change; therefore, the final product composition should be used for determining the solution coefficient.

Processes with Mixed Solvents

The conventional pH analyzer and sensor are designed to measure the pH in water solutions. When a non-water solvent is present in appreciable quantities, the pH reading will be shifted from the expected value by effects of the non-water solvent on the pH and reference electrodes, and effects on the activity of hydrogen ion itself. Since pH sensor components are designed for use in water, the non-water solvent may attack seals and O-rings.

There are a few mixed solvent cases that can be considered:

(1) A solvent that is miscible with (mixes with) water may cause a shift in the pH reading, but if the solvent's concentration is above 15% by weight, it may dry the pH electrode, requiring periodic rewetting of the sensor by water.

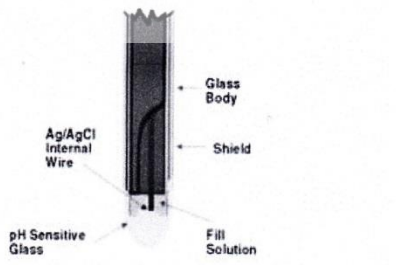
(2) A solvent that is non-miscible with water will likely not have an appreciable concentration of hydrogen ions; most will be in the water phase. It is better to make the measurement in a place in the process where the water and solvent phases separate and keep the pH sensor in the water phase.

(3) Completely non-water process measurements may only be possible with periodic rewetting of the pH sensor with water, and may also require a specially designed reference electrode.

In all of the above cases, pH measurement of the mixed solvent solution should be studied in the laboratory before going on-line, and the study should include prolonged exposure of the pH sensor to the process sample.

PROCESS EFFECTS ON THE GLASS pH ELECTRODE

A glass pH electrode consists of an inert glass tube with a pH sensitive glass tip, either hemispherical (bulb) or flat in shape, blown onto it. The tip contains a fill solution with a known pH, and it is the influence of this solution on the inside of the glass tip versus the influence of the process solution on the outside that gives rise to its millivolt potential. Ideally, the pH electrode will have a slope (response) of -59.16 mV/pH, but in practice, a new electrode may only have a slope



of -57 to -58 mV/pH. As the electrode ages, its slope decreases.

Temperature Effects

In addition to changing millivolt output of the pH electrode, elevated temperatures accelerate the aging of the electrode. Extremely high or low temperatures can alternatively boil the fill solution or freeze it, causing the electrode tip to break or crack. Elevated temperatures can also affect the interior and exterior of the pH electrode differently, giving rise to asymmetry potential, which shifts the zero point of the pH electrode and changes its temperature behavior, which leads to temperature compensation errors.

Sodium Error

More correctly called alkali ion error, sodium ion error occurs at high pH, where hydrogen ion concentration is very low in comparison to sodium ion concentration. The sodium ion concentration can be so high relative to hydrogen ion contration that the electrode begins to respond to the sodium ion. This results in a reading that is lower than the actual pH. Depending on the pH glass formulation, this can occur as low as 10 pH. Where accurate high pH readings are required, the upper pH limit of the pH electrode should be checked and a specially formulated, high pH electrode used if necessary. Compared to sodium, lithium ions will produce a larger error, while the effect of potassium ions is negligible.

Components Attacking pH Electrodes
Caustic

As noted earlier, high concentrations of hydroxyl ions shorten the life of pH electrodes. Solutions, that reach a pH in excess of 14 pH (equivalent to 4% caustic soda) can destroy a pH electrode in a matter of hours. There is nothing that can be done to prevent this, short of simply avoiding pH measurements in these solutions and using conductivity instead.

Hydrofluoric Acid

Hydrofluoric acid (HF) also dissolves pH glass, but there are pH glass formulations designed to resist destruction by HF, which when used within their limits can give satisfactory electrode life.

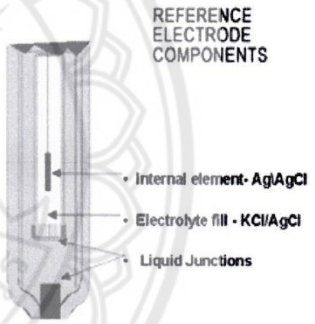
It is important to note that, while only hydrofluoric acid (HF) attacks glass and not fluoride ion (F-), hydrofluoric acid is a weak acid. Therefore, a solution can contain a relatively high concentration of fluoride ion at a high pH and do no damage to the electrode. But if the pH of the solution decreases, the fluoride ion will combine with hydrogen ion to form HF, which will damage the electrode. So, it is important to look at the extremes of the pH measurement (even in process upset conditions) and the total concentration of fluoride in the solution to determine what the maximum concentration of HF will be.

PROCESS EFFECTS ON REFERENCE ELECTRODES

The common reference electrode used in pH measurements consists of a silver wire coated with silver chloride in a fill solution of potassium chloride. The purpose of the potassium chloride is to maintain a reproducible concentration of silver ions in the fill solution, which in turn, results in a reproducible potential (voltage) on the silver-silver chloride wire. For the reference electrode to maintain a reproducible potential, the fill solution must remain relatively uncontaminated by certain components in the process solution.

At the same time, the reference electrode must be in electrical contact with the pH electrode through the process solution. A porous liquid junction of ceramic, wood, or plastic, which allows ions to pass between the fill solution and the process, typically does this. This passage of ions between the reference electrode and the process is necessary to maintain electrical contact, but also creates the potential for contamination of the reference fill solution by components in the process solution.

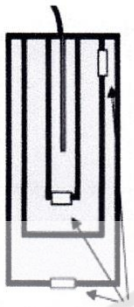
Reference Poisoning



The mechanism of reference poisoning is a conversion of the reference from a silver-silver chloride based electrode to an electrode based on a different silver compound. The ions, which typically cause this form less soluble salt with silver than does chloride. These ions include bromide, iodide, and sulfide ions. When these ions enter the fill solution, they form insoluble precipitates with the silver ions in the fill solution. But there is no initial effect on the potential of the reference, because the silver ions lost to precipitation are replenished by silver ions dissolving off the silver chloride coating of the silver wire. It is not until the silver chloride coating is completely lost that a large change in the potential (and temperature behavior) of the reference occurs. At this point, the reference electrode must be replaced.

Poisoning can also occur by reducing agent (bisulfite) or complexing agents (ammonia), which reduce the concentration of silver ion in the fill solution by reducing it to silver metal or complexing it.

To counter this effect, multiple junction reference electrodes are used, which consist of two or more liquid junctions and fill solutions to slow the progress of the poisoning ions. Gelling of the reference fill solution is also used to prevent the transport of poisoning ions by convection.



Liquid Junctions

A new approach is the use of a reference with a long tortuous path to the silver-silver chloride wire, along with gelling of the fill solution.

Plugging of the Liquid Junction

To maintain electrical contact between the reference electrode and the pH electrode, there must be a relatively free diffusion of ions between the reference fill solution and the process solution. In some cases, large concentrations of an ion that forms an insoluble precipitate with silver ion (most notably sulfide ion) will precipitate within the liquid junction and plug it. Metal ions that form insoluble salts with chloride ion (typically the heavy metals: silver, lead, and mercury) will also precipitate in the liquid junction.

When the liquid junction is closed to migration, the pH reading will drift aimlessly.

To counter these effects, multiple junction reference electrodes have been used with the outermost fill solution containing potassium nitrate, rather than potassium chloride.This lowers the concentration of chloride available for precipitation by heavy metals, as well as lowers the concentration of free silver ion, which can precipitate with sulfide.

Liquid Junction Potential

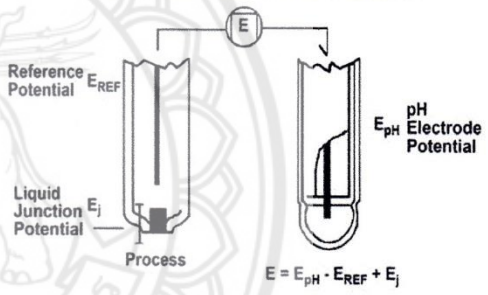
Potassium chloride is chosen for the fill solution not only for its ability to solubilize silver ion, but also because it is equitransferent. Equitransferent means that the positive potassium ion and the negative chloride ion diffuse through a water solution at nearly the same rate. When diffusing through the liquid junction of a reference electrode, both the positive and negative ions tend to move together and maintain a net zero charge at all points within the liquid junction.

However, not all solutions are equitransferent, and when the process solution is not, a liquid junction potential can result. When a positive ion diffuses through the liquid junction faster than a negative ion, or vice versa, a charge imbalance will result. This gives rise to an opposing potential, which is liquid junction potential. The magnitude of this potential depends upon the composition and concentrations in the process solution and the design of the liquid junction.

This potential gets added to the potentials of the pH and reference electrodes and causes an offset to the pH measurement of typically a few tenths of a pH. This phenomenon normally takes 15 to 20 minutes to develop after the pH sensor is put on line. pH buffer solutions, used to calibrate pH measurements, are by and large equitransferent, so returning a freshly buffer-calibrated pH sensor to a buffer solution from the process will show an offset in the buffer until the liquid junction potential subsides.

The remedy for liquid junction potential is to standardize the pH measurement after the sensor has been put on-line and has stabilized.

LIQUID JUNCTION POTENTIAL



pH SENSOR COATING AND CLEANING

Undissolved solids and liquids in a process can coat a pH sensor, drastically increasing its response time or even plugging the liquid junction of the reference electrode. Depending upon rate of fouling, the sensor can either be cleaned manually or on-line.

Manually cleaning the sensor should be done with the mildest effective cleaning solution possible. Alkaline deposits can be removed with weak acid solutions (5% HCl or vinegar), while acid deposits may be removed with mild caustic (1% caustic soda). Organic deposits (oil and grease) can often be removed with a detergent solution, but a more tenacious coating may require the use of a solvent. The solvent used should be carefully chosen to avoid attack on the sensor's O-rings and seals.

In all cases, the exposure to the cleaning solution should be minimized to limit the amount of cleaning

solution entering the liquid junction. Cleaning solution that enters the liquid junction can create a liquid junction potential, which will persist until the cleaning solution components diffuse out of the liquid junction.

On-line cleaning reduces maintenance in processes that quickly foul the sensor. Ultrasonic cleaning was the first approach to on-line cleaning, but was ineffective on soft or gelatinous coating, and only marginally effective with hard crystalline coatings, which it was designed to address. It has, for the most part, been abandoned as a cleaning method.

One of the most fruitful methods for on-line cleaning has been the jet spray cleaner. This method directs a spray of water or cleaning solution at the face of the pH sensor at timed intervals or based on a high reference impedance alarm (see Reference Electrode Impedance [next page]).

A new liquid junction design, the hydrolysis reference junction (TUpH™), has proved effective in avoiding the effects of severe coating. The TUpH junction uses extremely small pores, difficult to penetrate by most particulates and suspensions, over a relatively wide area. Use of this junction can drastically reduce the required frequency of manual cleaning and, in most cases, eliminates the need for on-line cleaning.

CALIBRATION

Buffer Calibration

Buffers are standard solutions formulated to maintain a known pH in spite of small amounts of contamination. Buffer calibrations use two buffer solutions, usually at least 3 pH units apart, which allows the pH analyzer to calculate a new slope and zero value to be used for deriving pH from the millivolt and temperature signals.

The slope and zero value derived from a buffer calibration provide an indication of the condition of the glass electrode from the magnitude of its slope, while the zero value gives an indication of reference poisoning or asymmetry potential. Overall, the buffer calibration can demonstrate how well the pH sensor responds to pH.

Buffer Calibration Errors

Buffer solutions have a stated pH value at 25°C, but when that value is 7 pH or above, the actual pH of the buffer will change with temperature. The values of the buffer solution at temperatures other than 25°C are usually listed on the bottle. The pH value at the calibration temperature should be used or errors in the slope and zero values, calculated by the calibration, will result. An alternative is to use the "buffer recognition" feature on modern pH analyzers, which automatically corrects the buffer value used by the analyzer for the temperature.

Another type of calibration error can be caused by buffer calibrations done in haste, which may not allow the pH sensor to fully respond to the buffer solution. This will cause errors, especially in the case of a warm pH sensor not being given enough time to cool down to the temperature of the buffer solution. Current pH analyzers have a "buffer stabilization" feature, which prevents the analyzer from accepting a buffer pH reading that has not reached a prescribed level of stabilization.

Grab Sample Standardization of pH

Standardization is a simple zero adjustment of a pH analyzer to match the reading of a sample of the process solution made using a laboratory or portable pH analyzer. It is most useful for zeroing out a liquid junction potential, but some caution should be used when using the zero adjustment. A simple standardization does not demonstrate that the pH sensor is responding to pH, as does a buffer calibration. In some cases, a broken pH electrode can result in a believable pH reading, which can then be standardized to a grab sample value.

A sample can be prone to contamination from the sample container or even exposure to air; high purity water is a prime example. A reaction occurring in the sample may not have reached completion when the sample was taken, but will have completed by the time it reaches the lab. Discrepancies between the laboratory measurement and an on-line measurement at an elevated temperature may be due to the solution pH being temperature dependent; adjusting the analyzer's temperature compensation (not a zero adjustment) is the proper course of action. Finally, it must be remembered that the laboratory or portable analyzer used to adjust the on-line measurement is not a primary pH standard, as is a buffer solution, and while it is almost always assumed that the laboratory is right, this is not always the case.

pH Diagnostics

The most straightforward way to validate the accuracy of a pH analyzer and sensor is by a buffer calibration. This is not possible during on-line operation, and, in general, the only clue to an on-line problem is a pH reading that is clearly impossible, given what is known about the process.

Over the years, on-line pH diagnostics came into use with the advent of the microprocessor driven analyzers. But these early diagnostics were restricted to the pH analyzer only. They provided self-checking of the analyzer and detection of electrode and temperature sensor inputs that were out of range due to shorts or open circuits.

™ TUpH is a trademark of Rosemount Analytical.

pH Sensor Impedance Diagnostics

The pH sensor is the most maintenance intensive part of the pH measurement, and with the widespread use of disposable pH sensors, it is likely to fail after 6 to 12 months of use, or even sooner in severe applications. Failures can occur slowly, such as the gradual loss of pH electrode slope or poisoning of the reference electrode. Or they can occur suddenly or catastrophically, as in the case of pH electrode breakage or coating and plugging of a reference electrode. In either case, failure might go undetected until the next routine buffer calibration. The purpose of impedance diagnostics is to detect these problems in real time.

Glass pH Electrode Impedance

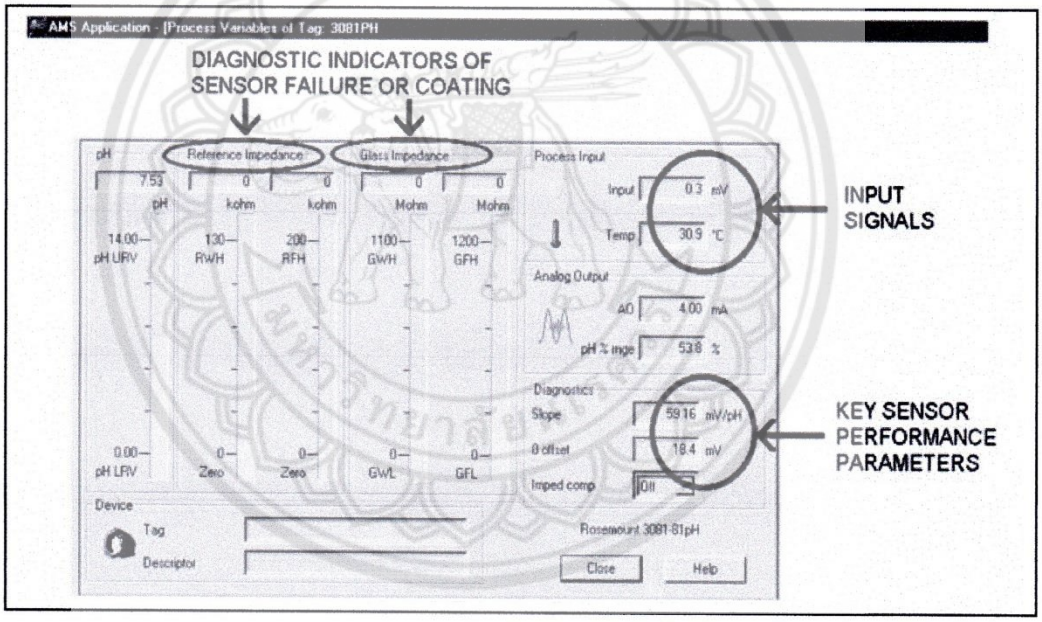
Glass pH electrode impedance is in the range of 10's to 100's of megOhms and is strongly temperature dependent. A crack or break in the glass electrode creates a short, which results in an impedance of 1 megOhm or less. Detecting broken or cracked pH electrodes requires impedance measurement circuitry with temperature compensation and the simple setting of a low impedance alarm.

Reference Electrode Impedance

The overall impedance of a reference electrode is a sum of the resistances of its components with the largest being the liquid junction. This is due to the limited volume of current carrying electrolyte within the liquid junction. Coating or blockage of the liquid junction further increases the impedance of the liquid junction. Detection of coating or blockage involves setting a high reference impedance alarm.

SUMMARY

pH measurements are based on the response of a pH sensor to the logarithmic concentration of hydrogen ions in solution and are a measure of the acidity or alkalinity of a solution. There are a number of factors that should be considered for on-line pH measurements. These involve the temperature behavior of the solution pH, the composition of the process solution, and the potential for fouling of the sensor by undissolved material in the process. Contemporary pH analyzers offer the user calibration routines to improve the accuracy of calibrations, as well as diagnostics to detect pH sensor failure on-line.



Emerson's Asset Management Solutions software is an excellent tool for tracking changes in the condition of the pH sensor. The Windows-based software can continuously display live values of sensor diagnostic variables when used with a compatible HART device. For more information, see Application Data Sheet 43-017.

INSTRUMENTATION

Model 54e pH Microprocessor Analyzer

- NEMA 4X (IP65) weatherproof, corrosion-resistant enclosure.
- Comprehensive pH glass and reference diagnostics.
- Fully descriptive diagnostic messages.
- Two independent outputs.
- Back-lit dot-matrix display.
- HART and AMS aware.
- Optional TPC relays and PID current outputs.

Model 396P pH/ORP TUpH Sensor

- Polypropylene reference junction and helical pathway mean longer sensor life in process solutions containing heavy solids.
- Disposable, one-piece construction is convenient and economical where minimal troubleshooting and maintenance downtime are of prime importance.
- Versatile. Can be used in numerous loop configurations with all Rosemount Analytical and other manufacturers' instruments.

Model 5081 pH/ORP Smart Two-Wire Transmitter

- Hand-held infrared remote control link to activate all the transmitter functions.
- Large custom LCD display.
- NEMA 4X (IP65) weatherproof, corrosion-resistant enclosure.
- Comprehensive pH glass and reference diagnostics.
- Non-volatile EEPROM memory to hold data in event of power failure.
- Compatible with FOUNDATION fieldbus and HART communication protocol and AMS software.

Model 396R Retractable pH/ORP TUpH Sensor

- Rugged titanium and polypropylene construction for maximum chemical resistance.
- Longer sensor life and reduced maintenance.
- Retractable version for greater insertion depths.

Emerson Process Management
2400 Barranca Parkway
Irvine, CA 92606 USA
Tel: (949) 757-8500
Fax: (949) 474-7250
http://www.raihome.com

© Rosemount Analytical Inc. 2010

EMERSON.
Process Management