

รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

เงินงบประมาณแผ่นดิน

ระบบควบคุมความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้ระบบ XCS
Using XCS to Control Water Indicator for Marine Shrimp
Culture

หัวหน้าโครงการวิจัย: รศ.ดร. บุญวัฒน์ อัดชู
ที่ปรึกษาโครงการวิจัย: รศ.ดร. เอื้อน ปิ่นเงิน
นักวิจัย: นายพรเทพ ไรจนวสุ
นายไพฑูรย์ ศรีนิล
นายศรัทธัย อุดมธนาพงศ์
ผู้ช่วยวิจัย: นายสมบัติ ฝอยทอง

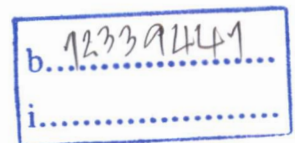
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กันยายน พ.ศ. 2551

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

September 2008

5H
380.62
T5



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
เลขที่.....
วันที่.....
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อนึ่ง หอสมุดฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เกิดจากแรงผลักดัน และคำแนะนำที่มีประโยชน์จากหัวหน้าและที่ปรึกษาโครงการวิจัย และผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology : ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 117,816 บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปย่อ

ห้องปฏิบัติการศาสตร์ข้อมูล กำลังพัฒนาระบบฐานความรู้และระบบสกัดความรู้จากประสบการณ์ของเอเจนต์โดยใช้หลักการทางปัญญาประดิษฐ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ และอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงการนี้ได้ประยุกต์ระบบการเรียนรู้ด้วยตนเองเพื่อใช้ควบคุมระบบความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบฟิชซี ในกระบวนการเรียนรู้ XCS ถูกใช้สำหรับสร้างกฎฟิชซีเพื่อให้ได้กฎที่เหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมวาล์วน้ำสำหรับถ่ายน้ำออกและน้ำเข้าบ่ออนุบาลเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการมีชีวิตรอดของลูกกุ้ง



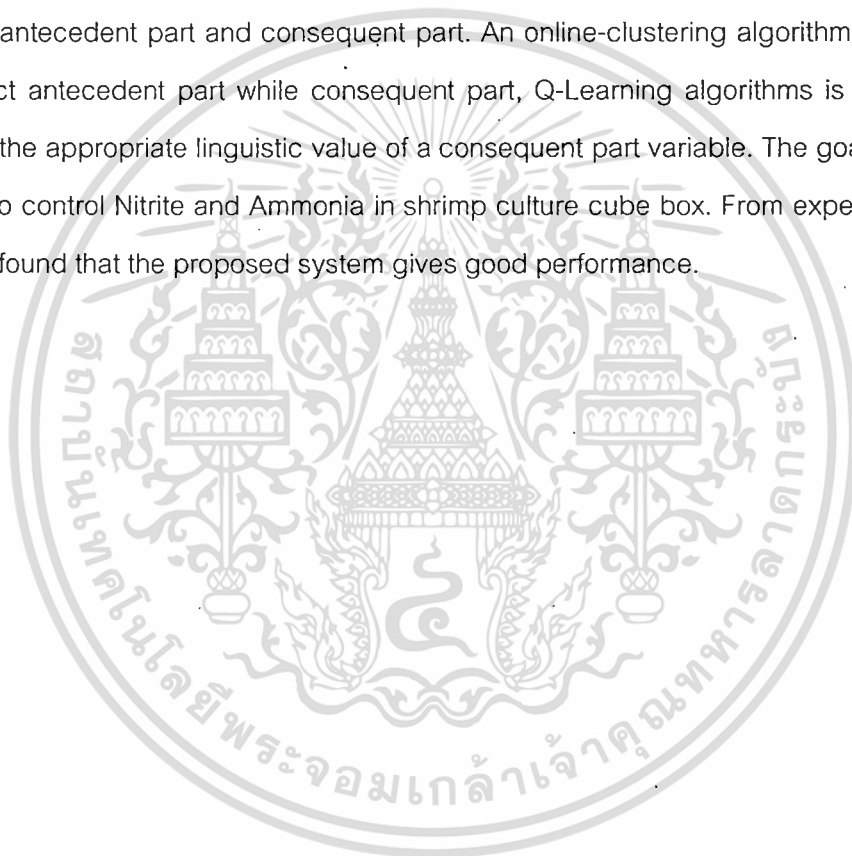
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบควบคุมและปรับความสมดุลของคุณสมบัติของน้ำในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ จุดประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของลูกกุ้ง ระบบที่นำเสนอใช้แนวคิดอ้างอิงจากระบบ XCS ในกระบวนการเรียนรู้ระบบจะรับสถานะจากสภาพแวดล้อมหรือปัญหาที่ระบบต้องการเรียนรู้ ระบบจะสร้างกฎขึ้นมาใหม่หากสถานะดังกล่าวไม่มีกฎใดๆในฐานความรู้ที่สามารถจัดการกับสถานะหรือสถานการณ์นั้นได้ โดยแต่ละกฎที่สร้างขึ้นมาจะมี 2 ส่วนคือ ส่วนเงื่อนไข(Antecedent part) และส่วนคอนซีควเอน(Consequent part) ส่วนคอนซีควเอนของแต่ละกฎจะมีหลายค่า ในกระบวนการเรียนรู้ระบบจะพยายามประเมินแต่ละค่าของส่วนคอนซีควเอนด้วยอัลกอริทึมแบบการเรียนรู้แบบคิว(Q-Learning) และเลือกค่าที่ดีที่สุดเมื่อกระบวนการเรียนรู้สิ้นสุด การทดลองกระทำบนสิ่งแวดล้อมจำลองซึ่งจำลองการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมโมเนียและไนไตรท์ โดยที่เอาพุทของ XCS ถูกนำไปควบคุมวาล์วน้ำถ่ายน้ำออกและปล่อยน้ำเข้าบ่ออนุบาล จากการทดลองพบว่าระบบสามารถควบคุมระบบระดับของแอมโมเนียและไนไตรท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This project proposed the water quality control system for Marine Shrimp Culture using X-FCS. The fuzzy rules that generated by proposed system are stored as rule-based systems. During the learning process, X-FCS perceives environment state and decides to create a new fuzzy rule. If the existing rules do not respond to the current state then a new fuzzy rule is created. Fuzzy rules generated by the system consist of two parts, antecedent part and consequent part. An online-clustering algorithm is used to construct antecedent part while consequent part, Q-Learning algorithms is used to determine the appropriate linguistic value of a consequent part variable. The goal of this project is to control Nitrite and Ammonia in shrimp culture cube box. From experimental results we found that the proposed system gives good performance.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทสรุปย่อ.....	II
บทคัดย่อ.....	III
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การเพาะเลี้ยงและการอนุบาลกุ้งทะเล.....	3
2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเลี้ยงกุ้ง.....	9
2.1.2 การเตรียมการก่อนการเพาะและอนุบาลกุ้งทะเล.....	9
2.1.3 การจัดการเพื่อเพิ่มคุณภาพของลูกกุ้ง.....	10
2.2 การเรียนรู้แบบรีอินโฟรเมนต์.....	12
2.2.1 ค่าตอบสนองระยะยาว.....	12
2.2.2 ฟังก์ชันค่า.....	13
2.2.3 ฟังก์ชันค่าเหมาะสม.....	16
2.2.4 Q-Learning.....	20
2.3 ระบบการเรียนรู้ตัวจำแนกประเภท (XCS).....	21
บทที่ 3 ระบบควบคุมความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้ระบบ XCS.....	25
3.1 โครงสร้างของระบบ.....	25
3.2 การเรียนรู้ของระบบ.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 องค์ประกอบของการเรียนรู้แบบวีดิทัศน์โฟลเมนต์	29
3.4 การกระจายค่าตอบสนองย้อนกลับ	30
บทที่ 4 การทดลองและข้อเสนอแนะ	32
4.1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่ออนุบาล.....	32
4.2 การทดลองและผลการทดลอง.....	33
4.3 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก	37
ก.1 ความต้องการของระบบ	32
ก.2 คู่มือโปรแกรม.....	33



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะและค่าตอบสนองของการกระทำ ณ สถานะต่างๆ	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบควบคุมแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ.....	34



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ไฮโดรมิเตอร์หรือปรอทวัดความเค็ม.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของการเรียนรู้แบบ Reinforcement.....	12
รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมของฟังก์ชันค่าของสถานะ $V(s)$ และ ฟังก์ชันค่าการกระทำ $Q(s,a)$	15
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนสถานะและค่าตอบสนองของการกระทำ ณ สถานะต่างๆ.....	18
รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานของระบบ XCS.....	22
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมคุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลด้วยตัวควบคุมฟuzzy.....	25
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ.....	28
รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการเรียนรู้ของระบบ.....	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **VIII** ศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของโลกเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานและการเกษตรโดยตรง ดังนั้นการเตรียมการป้องกันหรือจัดการกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการนำเครื่องจักรที่สามารถเรียนรู้และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาไปใช้ในการเกษตรเพื่อรับมือกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจึงเหมาะสมกว่าการจัดการโดยมนุษย์

การเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่ทำรายได้ให้เกษตรกรเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามแม้การเลี้ยงกุ้งจะให้ผลตอบแทนสูง แต่ความเสี่ยงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมอันจะทำให้กุ้งตายหรือผลผลิตได้ไม่เต็มที่ก็สูงเช่นกัน ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือการควบคุมคุณภาพและคุณสมบัติของน้ำในบ่อให้อยู่ในจุดที่เหมาะสมตลอดเวลาจะทำให้ลดความเสี่ยงดังกล่าวลงได้มาก โดยมีปัจจัยหลักๆ ที่ต้องดูแลให้อยู่ในสภาวะคงที่ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ระดับความเค็มของน้ำ ความเป็นกรดต่าง และปริมาณของน้ำ เป็นต้น

ในปัจจุบันระบบการควบคุมแบบฟuzzyถูกนำมาใช้ในระบบควบคุมอย่างแพร่หลาย แต่มีข้อเสียคือหากเป็นระบบที่ซับซ้อนหรือเงื่อนไขเยอะๆจะทำให้ออกแบบระบบทำได้ยากมากเนื่องจากต้องใช้ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญมาสร้างเป็นกฎ ดังนั้นโครงการนี้จึงนำเสนอการออกแบบระบบควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้ Learning Classifier System (XCS) ซึ่งสามารถเรียนรู้และสร้างกฎขึ้นได้เองโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยความรู้จากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างระบบควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งตามแนวคิดแบบ Artificial Intelligent Systems โดยนำระบบการเรียนรู้ของตัวจำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มคุณภาพการเพาะเลี้ยงกุ้งของเกษตรกร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีขอบเขตการวิจัยบนฐานการสร้างระบบควบคุมแบบฐานข้อมูลกฎ โดยกฎสร้างขึ้นจากความรู้ในรูปแบบระเบียบจากฐานข้อมูล นำข้อมูลดังกล่าวมาสกัดเป็นกฎและเก็บลงในฐานข้อมูลกฎเพื่อใช้เป็นฐานความรู้ในการควบคุมความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาปัจจัยของน้ำที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง
2. ออกแบบระบบควบคุมความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง
3. สร้างระบบจำลองของระบบควบคุมความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง
4. ทดสอบและแก้ไขระบบ
5. เผยแพร่ผลงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบระบบการเพาะเลี้ยงและอนุบาลลูกกุ้งที่เกษตรกรดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน และอธิบายถึงการประยุกต์นำระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์มาช่วยเพิ่มคุณภาพการเพาะเลี้ยงกุ้งและลดภาระในการอนุบาลลูกกุ้งของเกษตรกร

2.1 การเพาะและการอนุบาลกุ้งทะเล

การเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบันสามารถพัฒนาวิธีการและเทคนิคในการเพาะพันธุ์ไปสู่รูปแบบที่เหมาะสมมากขึ้น ทำให้ได้ลูกกุ้งที่แข็งแรง และมีอัตราการรอดตายสูง ลูกกุ้งทะเลที่มีการเพาะและอนุบาลกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ กุ้งกุลาดำ เป็นต้น

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีเปลือกหัวเกลี้ยงไม่มีขน ฟันกรีด้านบน 7-8 ซี่ ด้านล่าง 3 ซี่ ช่องข้างกรีดทั้งสองด้านแคบและยาวไม่ถึงฟันกรีดสุดท้าย ลำตัวมีสีน้ำตาลเข้มและมีแถบสีเข้มกับสีจางพาดขวางลำตัว ถิ่นอาศัยของกุ้งกุลาดำ ได้แก่ น่านน้ำแถบใต้ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และที่พบมากได้แก่ ไทย อินเดีย และออสเตรเลีย กุ้งชนิดนี้อยู่ในเขตร้อนสามารถทนอยู่ได้ตั้งแต่ความเค็มต่ำใกล้ศูนย์ ถึงความเค็มสูงสุดเกือบ 40 ส่วนในพัน

การพัฒนารังไข่ของกุ้งกุลาดำ

ระยะของรังไข่กุ้งกุลาดำ ภายหลังผสมพันธุ์สามารถมองเห็นได้จากด้านหลังของแม่กุ้ง ซึ่งระยะของรังไข่จะแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 เป็นระยะที่ไข่ยังไม่พัฒนา สีของรังไข่เมื่อมองจากด้านหลังจะเห็นเพียงเส้นจาง ๆ ขนานไปกับลำไส้

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่ไข่กำลังพัฒนา สีของไข่จะเข้มขึ้นมองเห็นเป็นแถบใหญ่ขึ้น

ระยะที่ 3 ระยะไข่เกือบแก่หรือเกือบสุก แถบของรังไข่จะขยายใหญ่ขึ้นมองเห็นชัดเจน โดยเฉพาะที่ปล้องแรกของลำตัวเริ่มแผ่ออก

ระยะที่ 4 ระยะไข่แก่หรือไข่สุก ไข่จะขยายใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะที่ปล้องแรกของลำตัว จะขยายแผ่ลงถึงด้านข้างตัว สีของไข่จะเข้มขึ้น พร้อมทั้งจะวางไข่ในคืนนั้น

การวางไข่ของแมงกิ้งในบ่อเพาะฟัก แมงกิ้งไข่แก่จะวางไข่ในเวลากลางคืน ระยะเวลาวางไข่เริ่มตั้งแต่ 20.00 น. - 04.00 น. โดยขณะที่วางไข่แมงกิ้งจะว่ายน้ำวนไปรอบ ๆ บ่อ และทำการปล่อยไข่ออกทางช่องเปิดบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 3 ขณะเดียวกันน้ำเชื้อของตัวผู้ที่เก็บไว้ที่ Thelycum ก็จะถูกปล่อยออกมาบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 4 การวางไข่จะใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

การพัฒนาของรังไข่ไปเป็นตัวอ่อน

ไข่กึ่งมีลักษณะกลม สีเหลืองอมเขียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.30-0.32 มิลลิเมตร (300-320 ไมครอน) ไข่ที่ได้รับการผสมจะเริ่มแบ่งเซลล์ และพัฒนาไปเป็นตัวอ่อน หรือฟักออกเป็นตัว โดยใช้เวลาประมาณ 12-14 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเค็ม ลูกกึ่งวัยอ่อนจะมีการพัฒนา และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจนกระทั่งเหมือนกับตัวเต็มวัย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ ได้ดังนี้

ตัวอ่อนระยะที่ 1 (Nauplius) รูปร่างคล้ายแมงมุม ยังไม่กินอาหาร เนื่องจากมีถุงอาหาร (Yolk sac) ติดอยู่กับตัว ตัวอ่อนระยะนี้จะผ่านการลอกคราบ 6 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1.5-2 วัน ก็จะเข้าสู่ตัวอ่อน

ตัวอ่อนระยะที่ 2 (Zoea) รูปร่างลำตัวจะยาวขึ้น เริ่มกินอาหาร ตัวอ่อนระยะนี้ ลอกคราบ 3 ครั้ง มี 3 ระยะ ใช้เวลา 3-5 วัน ถึงจะเข้าสู่ตัวอ่อนระยะที่ 3

ตัวอ่อนระยะที่ 3 (Mysis) ตัวอ่อนระยะนี้แตกต่างจากระยะที่ 2 อย่างชัดเจน ทั้งรูปร่าง ทั้งการเคลื่อนไหว ตัวอ่อนระยะนี้ลอกคราบ 3 ครั้ง มี 3 ระยะ ใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน จึงเข้าสู่ตัวอ่อนระยะสุดท้าย

ตัวอ่อนระยะสุดท้าย (Post larva) ลูกกึ่งระยะนี้จะมีลักษณะเหมือนกับกึ่งวัยรุ่น มีอวัยวะต่าง ๆ เกือบครบทุกส่วน และจะพัฒนาการไปเรื่อย ๆ เมื่อเลี้ยงไปจนถึงช่วง Post larva 10-15 (P10-P15) ก็สามารถที่จะปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินได้

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเลี้ยงกึ่ง

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงกึ่ง(อนุบาล)ในปัจจุบันที่สำคัญได้แก่ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการตายสูงเนื่องจากขาดระบบการควบคุมป้องกันของเสียที่เกิดจากลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กึ่งจึงทำให้คุณภาพของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงมีคุณภาพต่ำ เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มอัตราการรอดตายของลูกกุ้งผู้เลี้ยงกุ้งจะต้องควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำดังนี้

1. ความเค็ม

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีความสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มในช่วงกว้างและถ้าความเค็มเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้า ๆ สามารถปรับตัวอยู่ที่ความเค็มเป็นศูนย์เป็นเวลานานพอสมควร หรือความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 พีพีทีแต่ความเค็มที่เหมาะสม และการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด กุ้งคืออยู่ระหว่าง 25-35 พีพีที การตรวจวัดความเค็มทำได้หลายวิธี เช่น วิธีไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด (AgNO₃) หรือใช้เครื่องมือวัดความเค็ม (Salinometer) และอีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีง่าย ๆ คือ ใช้ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า *ปรอทวัดความเค็ม* จุ่มลงในภาชนะใส่น้ำเค็มเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) แล้วเทียบหาค่าความเค็ม

รูปที่ 2.1 ไฮโดรมิเตอร์หรือปรอทวัดความเค็ม

2. พีเอช (pH)

ค่าพีเอชเป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่งที่สามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำว่าจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือไม่ค่า pH จะแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำนั้น แสดงช่วงค่า pH ซึ่งค่า pH จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H⁺) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และเกี่ยวข้องกับการแตกตัวของน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาเขียนสมการของ mass action law ได้ดังนี้

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-]/[\text{H}_2\text{O}] = K$$

ค่า K = ionization constant หรือ ion product ของน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1×10^{-14} ที่อุณหภูมิ 25 °c ดังนั้นค่า pH คือค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยแสดงอยู่ในรูป $-\log$ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

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

$$\text{และ } \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

พีเอชของน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของกุ้งกุลาดำมาก เนื่องจากพีเอชของน้ำมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำตัวอื่น ๆ อีกเช่นมีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียไนโตรทรีและไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น พีเอชของน้ำที่เหมาะสมแก่การอนุบาลกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 6.5-7.5

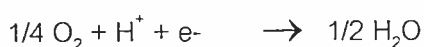
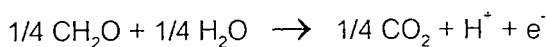
3. ค่าอัลคาไลน์ในน้ำหรืออัลคาไลน์ตี (Alkalinity)

โดยทั่วไปหมายถึงปริมาณหรือความสามารถในการเป็นด่างของน้ำ ซึ่งจะรวมปริมาณของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เรียกรวมว่า อัลคาไลน์รวม ค่านี้เป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้ง โดยจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างในน้ำเสียเป็นผลมาจาก OH^- , CO_3^{2-} และ HCO_3^- ของธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม หรือของแอมโมเนีย แต่ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ และ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ จะมียอยู่ในน้ำเสียมากกว่าสารอื่นๆ ค่าของความเป็นด่างจะมีความสัมพันธ์กับค่าของพีเอช คือ ถ้าพีเอชมีค่าต่ำที่น้อยกว่า 4.5 ค่าความเป็นด่างของน้ำเสียจะมีเท่ากับ 0 โดยจะมีค่าความเป็นกรดเท่านั้น หรือถ้าพีเอชมีค่าสูงมากๆ คือ มากกว่า 8.3 ค่าความเป็นกรดของน้ำเสียจะมีเท่ากับ 0 โดยจะมีแต่ค่าความเป็นด่างเท่านั้น

ค่าอัลคาไลน์จะเป็นตัวรักษาระดับพีเอชน้ำในบ่ออนุบาลให้คงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดและช่วยในการรักษาสีน้ำ ค่าอัลคาไลน์ในน้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือ 80-160 พีพีเอ็ม โดยทั่วไปการรักษาระดับอัลคาไลน์ให้คงที่นั้น จะใช้วัสดุปูนในกลุ่มคาร์บอเนต ส่วนการเพิ่มอัลคาไลน์อาจจะให้โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตแล้วแต่ระดับพีเอชของน้ำ

4. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เพราะต้องถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน โดยเฉพาะกระบวนการหายใจโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) ดังสมการ



ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อย ค่าการละลายจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศ และความเข้มข้นของเกลือต่าง ๆ ดังนั้นค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะคำนวณได้โดยใช้ Henry's law

$$P_{a,\text{oxygen}} = HC_{w,\text{oxygen}}$$

โดย $P_{a,\text{oxygen}}$ = Partial pressure ของก๊าซออกซิเจน
 H = ค่า Henry constant
 $C_{w,\text{oxygen}}$ = ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีผลต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตและสุขภาพกุ้งถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้กุ้งตายได้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในบ่อจะเปลี่ยนแปลงคล้ายกับพีเอชคือมีค่าต่ำสุดตอนเช้ามีดเนื่องจากการใช้ไปในการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในบ่อ หลังจากพลงก่ตอนพีชเริ่มมีการสังเคราะห์แสง ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในตอนบ่ายความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเค็ม น้ำที่มีความเค็มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นออกซิเจนละลายได้น้อยลง เช่นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จุดอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจืดเท่ากับ 7.54 พีพีเอ็ม (มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 35 พีพีที ออกซิเจนจะอิ่มตัวที่ 6.22 พีพีเอ็ม ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการอนุบาลกุ้งอยู่ระหว่าง 4.0 – 5.0 พีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารประกอบไนโตรเจน (แอมโมเนีย และไนไตรท์)

แอมโมเนีย (NH_3) และไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำ แหล่งของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำส่วนใหญ่มาจากสารอินทรีย์ ซึ่งอาจเกิดจากขบวนการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลือแพลงก์ตอนที่ตายเศษซากพืชซากสัตว์และสารอินทรีย์อื่น ๆ โดยจุลินทรีย์ แล้วปล่อยแอมโมเนียออกมาสู่แหล่งน้ำโดยตรงเช่นกัน ในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียจำพวกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับแอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำเช่นเดียวกับไนไตรท์ แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำจะอยู่ในสองรูปแบบคือ แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโมเนียอิออน (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในการวัดแอมโมเนียโดยทั่วไปจะวัดรวมทั้งสองรูป แอมโมเนียทั้งสองรูปแบบนี้จะเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาตามพีเอชของน้ำและอุณหภูมิของน้ำ โดยเฉพาะพีเอชของน้ำที่สูงขึ้นอัตราส่วนของแอมโมเนีย (NH_3) จะสูงขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีมากขึ้น แต่ถ้าพีเอชของน้ำลดลงแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียอิออนจะมีในอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง เมื่อแอมโมเนียในน้ำปริมาณสูงขึ้น จะมีผลให้การขับถ่ายแอมโมเนียของกุ้งทำได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้พีเอชของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอ็นไซม์ แอมโมเนียจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้น แอมโมเนียจะไปทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งออกซิเจนและทำให้กุ้งอ่อนแอติดโรคได้ง่าย ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์น้ำตายโดยปกติอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป NH_3 แต่สำหรับกุ้งมีงานวิจัยรายงานว่า แอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป NH_3 จะทำให้กุ้งตายได้ร้อยละ 50 ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

ค่าแอมโมเนียและไนไตรท์ที่เหมาะสมต่อการอนุบาลกุ้งจะต้องมีค่าต่ำกว่า 1.0 ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่ไนไตรท์ไปออกซิไดซ์เฮมoglobin ซึ่งเป็นองค์ประกอบฮีโมโกลบิน ทำให้กลายเป็นเมทฮีโมโกลบินซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ทำให้เกิดการตายเนื่องจากการขาดออกซิเจน และคาดว่าขบวนการเช่นเดียวกันนี้อาจเกิดกับฮีโมไซยานินของพวกกุ้งระดับความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) และค่าพีเอชน้ำลดลง นอกจากนี้ความเป็นพิษของไนไตรท์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมี คลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งที่ใช้น้ำทะเลโดยตรงนั้นปัญหาของความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อกุ้งจะน้อย แต่สำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งในระบบความเค็มต่ำซึ่งน้ำในบ่อมีปริมาณของคลอไรด์ในน้ำน้อย ปัญหาความเป็นพิษของไนไตรท์ในบ่อกุ้งจึงเกิดได้ง่ายกว่า การป้องกันหรือแก้ปัญหาระยะความเป็นพิษของแอมโมเนีย และไนไตรท์สูง ทำได้โดยการควบคุมการให้อาหาร การควบคุมค่า

ของพีเอชในบ่อให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.5 อีกทั้งมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและการให้อากาศที่พอเพียงปัญหาความเป็นพิษจากสารประกอบไนโตรเจนทั้งสองตัวนี้จะหมดไป

6. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (แก๊สไข่เน่า)

ในสภาพที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิดจะสามารถใช้กำมะถัน (ซัลเฟอร์) ในรูปซัลเฟต และสารประกอบกำมะถันตัวอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์และเปลี่ยนสาร (ซัลเฟอร์) ประกอบเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์ ซึ่งจะอยู่ในสามรูปแบบคือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S), HS⁻, HS⁼ และ S⁼ จะขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ น้ำที่มีพีเอชต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์ของ H₂S สูง แต่เมื่อพีเอชสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ H₂S จะลดลง แต่มี HS⁻ และ S⁼ มากขึ้นความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลงด้วย

2.1.2 การเตรียมการก่อนการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเล

การเตรียมน้ำทะเลที่จะใช้ในการเพาะฟักและอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อน ควรเป็นน้ำสะอาด โดยการนำน้ำทะเลที่มีความเค็มระหว่าง 28-32 ppt มาพักให้ตกตะกอน แล้วนำมาฆ่าเชื้อโดยใช้คลอรีน 20-30 กรัม/น้ำทะเล 1 ตัน (ppm) หรือในกรณีที่ไม่มียอดตกตะกอน สามารถนำน้ำมาฆ่าเชื้อโดยใช้คลอรีน 50-100 กรัม/น้ำทะเล 1 ตัน (ppm) ให้อากาศอย่างน้อย 1 วัน แล้วตรวจสอบน้ำว่ามีคลอรีนตกค้างหรือไม่ด้วยการหยดโพแทสเซียมไอโคไดด์ (KI) ลงไป ถ้าน้ำใสไม่เกิดสี แสดงว่าไม่มีคลอรีนตกค้าง แต่ถ้าน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงว่ามีคลอรีนตกค้างอยู่ ต้องรอให้คลอรีนตกค้าง แต่ถ้าน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงว่ามีคลอรีนตกค้างอยู่ ต้องรอให้คลอรีนสลายหมดก่อน หรือจะกำจัดคลอรีนที่เหลือด้วยโซเดียมไฮโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃ 5-10 กรัม/น้ำทะเล 1 ตัน ก็ได้ หลังจากการตกตะกอนและฆ่าเชื้อน้ำทะเลแล้ว ควรมีการตรวจสอบสภาพน้ำหรือคุณสมบัติของน้ำว่าเหมาะสมต่อการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเลหรือไม่ โดยคุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเลมีดังนี้

ความเค็ม 28-32 ส่วนในพัน (ppt)

อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส

พีเอช (pH) 7.8-8.3

อัลคาไลน์ ไม่ควรต่ำกว่า 100 mg/1 as CaCO₃

แอมโมเนีย ไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร

ไนโตรเจน ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร

ถ้าคุณภาพน้ำหรือคุณสมบัติของน้ำไม่เหมาะสมก็จะมีผลต่ออัตราการวางไข่ของแม่กุ้ง อัตราการฟักไข่ อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของลูกกุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การจัดการเพื่อเพิ่มคุณภาพของลูกกุ้ง

การจัดการด้านแม่กุ้ง

การจัดการด้านแม่กุ้งก่อนปล่อยลงถึงวางไข่ ทำได้โดยนำแม่กุ้งไข่แก่ (ระยะที่ 4) มาแช่ในฟอร์มาลิน 100 ppm นาน 10 นาที เพื่อฆ่าเชื้อโรคและโปรโตซัวที่ติดมากับแม่กุ้ง หลังจากแช่ฟอร์มาลินแล้วนำแม่กุ้งมาแช่ยาปฏิชีวนะออกซิเตตราไซคลิน (Oxytetracyclin) 50 ppm นาน 2-3 ชั่วโมง เพื่อลดการติดเชื้อของแม่กุ้ง เพราะบางครั้งแม่กุ้งที่ได้มาอาจมีระยะคืบบางส่วนของอวัยวะ หรือมีแผลตามตัว ซึ่งจะช่วยให้ลดการติดเชื้อไปสู่ลูกกุ้งได้ หลังจากนั้นนำแม่กุ้งปล่อยลงสู่ถังวางไข่

การล้างไข่

การล้างไข่มี 2 วิธีคือ ล้างด้วยน้ำทะเลสะอาด หรือล้างด้วยสารเคมี โดยใช้ฟอร์มาลิน 100 ppm การล้างไข่กระทำได้เมื่อแม่กุ้งวางไข่ออกแล้ว ให้แยกแม่กุ้งออกและดูไข่ออกจากถังวางไข่ โดยการลบน้ำออกและใช้สวิงที่มีขนาดตาเล็กกว่า 250 ไมครอน รองรับไข่กุ้ง โดยมีสวิงที่มีขนาดตาใหญ่กว่า 350 ไมครอน อยู่ข้างบน เพื่อรองรับคราบไขมันและไข่ที่ไม่ให้ปะปนมากับไข่กุ้ง (ไข่กุ้งกุลาดำมีขนาดประมาณ 300-320 ไมครอน) จากนั้นนำไข่กุ้งมาล้างทำความสะอาดเมื่อลูกกุ้งฟักออกเป็นตัวแล้วก่อนการลำเลียงลูกกุ้งระยะแรก (Nauplius) ลงสู่บ่ออนุบาล ควรทำการคัดคุณภาพลูกกุ้งก่อนหลักการพิจารณาคุณภาพของลูกกุ้งระยะแรก (Nauplius) มีดังนี้

1. ลำตัวมีสีเข้ม สีจะออกสีน้ำตาลอ่อน ลำตัวสะอาด ไม่มีเมือกเกาะ ลูกกุ้งที่อ่อนแอ สีของลำตัวจะออกสีขาวขุ่น ลำตัวไม่สะอาด มีเมือกเกาะ
2. เมื่อมีแสงส่อง ลูกกุ้งที่แข็งแรงจะเคลื่อนที่เข้าหาแสง ส่วนลูกกุ้งที่อ่อนแอจะจมอยู่บริเวณถังฟักไข่ ถังฟักไข่ที่เหมาะสมควรมีขนาดความจุน้ำ 200-500 ลิตร ในกรณีของกุ้งแชบ๊วย ส่วนถังฟักไข่ที่เหมาะสมของกุ้งกุลาดำควรมีขนาด 500 ลิตร และถังฟักไข่ที่ดีควรเป็นถังสีดำ เพราะจะสะดวกในการรวบรวมลูกกุ้ง และสะดวกต่อการตรวจสอบคุณภาพของลูกกุ้ง การอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำ และกุ้งแชบ๊วย เมื่อแม่กุ้งวางไข่แล้ว ประมาณ 12-14 ชั่วโมง ก็จะฟักเป็นตัวอ่อนระยะแรก (Nauplius) ซึ่งระยะนี้ยังไม่กินอาหาร เตรียมย้ายลูกกุ้งลงบ่ออนุบาล โดยควรปล่อยที่อัตราความหนาแน่นประมาณ 100,000 ตัว/น้ำ 1 ตัน หลังจากนั้นก่อนที่ลูกกุ้งจะเข้าสู่ตัวอ่อนระยะที่ 2 (Zoea) ซึ่งเป็นระยะที่เริ่มกินอาหารควรใส่แพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ได้แก่ *Chaetoceros* spp. หรือ *Skeletonema* sp. ให้เป็นอาหาร ควรให้อาหารทุก ๆ 4-6 ชั่วโมงต่อครั้ง ลูกกุ้งระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ก็จะเข้าสู่ระยะที่ 3 (Mysis) ลูกกุ้งระยะนี้ยังคงให้แพลงก์ตอนพืชอยู่แต่จะเสริมแพลงก์ตอนสัตว์ลงไปด้วย แพลงก์ตอนสัตว์ที่ให้ในระยะนี้ได้แก่ โรติเฟอร์ อาร์ทีเมียแรกฟัก แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ โรติเฟอร์ (ธิดา, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกกุ้งระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ก็จะเข้าสู่ระยะสุดท้าย (Post larva) ลูกกุ้งระยะนี้จะกินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นหลักได้แก่ อาร์ทีเมีย โคพีพอด ไรน้ำกร่อย ไรแดง เป็นต้น ลูกกุ้งระยะนี้จะทำการอนุบาลประมาณ 15 วัน (Post larva 15 หรือ P15) ก็จะนำไปเลี้ยงต่อไปในบ่อดิน เพื่อจำหน่ายต่อไป

การจัดการด้านคุณภาพน้ำ

การถ่ายน้ำจะสามารถทำได้ตั้งแต่ระยะไม่ซีส เพื่อป้องกันการสะสมของของเสียในบ่อ การเปลี่ยนถ่ายน้ำระยะนี้ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 30% ของปริมาตรน้ำที่มีอยู่ เมื่อกุ้งเข้าสู่ระยะ Post larva ควรทำการถ่ายน้ำและดูดตะกอนของเสียที่อยู่ตามพื้นบ่อ การเปลี่ยนถ่ายน้ำจะอยู่ในช่วง 20-50% ของปริมาตรน้ำทั้งหมด ควรเปลี่ยนน้ำวันเว้นวันหรือทุกวัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดการสะสมของของเสียต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้คุณภาพน้ำในบ่อไม่ดี ถ้าสภาพน้ำในบ่อไม่ดี จะส่งผลโดยตรงต่อการอนุบาลลูกกุ้ง เป็นผลให้กุ้งเครียด กินอาหารได้น้อยลง มีผลต่ออัตราการรอดของลูกกุ้ง และอาจทำให้เกิดโรคแทรกซ้อนได้ง่าย เพราะสาเหตุของการเกิดโรคจะมาจาก สิ่งแวดล้อม ตัวสัตว์น้ำ ตัวเชื้อโรค สิ่งแวดล้อมในที่นี้หมายถึง สภาพน้ำ ถ้าสภาพน้ำแย่มาก ไม่เหมาะสมต่อการอนุบาลลูกกุ้งก็จะอ่อนแอ โอกาสเกิดโรคมีสูง แต่ถ้ามีการจัดการคุณภาพน้ำที่ดี ลูกกุ้งก็จะแข็งแรง กินอาหารได้ดี โอกาสในการเกิดโรคจะลดลง

การจัดการด้านอาหาร

การให้อาหารควรให้เพียงพอและเหมาะสมต่อลูกกุ้ง เพราะจะช่วยให้ลูกกุ้งมีสุขภาพแข็งแรง การเจริญเติบโตดี และมีอัตราการรอดดี โอกาสในการเกิดโรคแทรกซ้อนก็จะมีน้อยลง

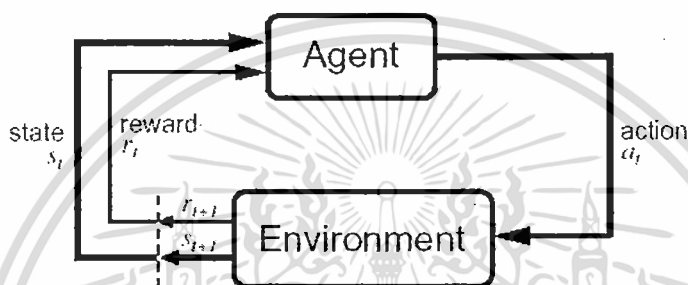
การเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเลที่อาศัยหลักการทางวิชาการ ควรมีการส่งเสริมมากยิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์แก่เกษตรกรที่เพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเล และเพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพของผู้ที่สนใจที่จะทำธุรกิจเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเล ซึ่งถ้านำหลักการทางวิชาการเข้ามาประยุกต์ผสมผสานกับประสบการณ์ที่มีอยู่จะทำให้อัตราการรอดตายของลูกกุ้งสูงยิ่งขึ้น และได้ลูกกุ้งที่ดีออกสู่ตลาด เหมาะสำหรับผู้ที่จะนำไปเลี้ยงจากกุ้งวัยอ่อนเป็นกุ้งโตเพื่อจำหน่ายให้กับตลาดที่ต้องการต่อไป

2.2 การเรียนรู้แบบ Reinforcement Learning

การเรียนรู้แบบ Reinforcement Learning (RL) [1] เป็นการเรียนรู้สถานการณ์ (situation) กับการกระทำตอบสนอง (action) เพื่อให้ได้ค่าตอบสนอง (reward) ที่มากที่สุด ผู้เรียนรู้หรือเอเจนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(agent) จะเรียนรู้โดยการลองผิดลองถูก (trial-and-error) หากการลองกระทำครั้งนั้นภายใต้สถานการณ์ปัจจุบันได้รับค่าตอบสนองที่ดีเอเจนท์ก็จะนำค่าตอบสนองดังกล่าวเพื่อไปปรับความรู้ของตัวเอง ดังนั้นการเรียนรู้แบบ RL จึงแตกต่างจากการเรียนรู้แบบอื่นๆ ใน machine learning นอกจากความแตกต่างดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วการเรียนรู้แบบ RL ยังมีลักษณะที่แตกต่างจากวิธีการอื่นๆ อีกคือมีการถ่วงดุลระหว่างการสำรวจค้นหาความรู้ใหม่ๆ (exploration) และการนำเอาความรู้ที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เป็นประโยชน์ (exploitation) เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองมากที่สุด



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของการเรียนรู้แบบ Reinforcement

โมเดลของการเรียนรู้ RL ดังแสดงตามรูปที่ 2.2 ซึ่งจะมีการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างเอเจนท์กับสภาพแวดล้อม (environment) ตามลำดับช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง $t = 0, 1, 2, \dots$ ในแต่ละช่วงเวลาเอเจนท์จะรับทราบ สถานะของสภาพแวดล้อม (state: S_t) และทำการเลือกการกระทำ (action: a_t) การกระทำดังกล่าวส่งผลให้สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก S_t เป็น S_{t+1} และเอเจนท์จะได้รับ ค่าตอบสนองทันทีทันใด (immediate reward: $r_{t+1} \in R$) จากสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นผลมาจากการกระทำครั้งล่าสุดเพื่อนำมาปรับปรุงความรู้ของตัวเอง

2.2.1 ค่าตอบสนองระยะยาว (Return)

ในกระบวนการเรียนรู้ของ RL เอเจนท์จะพยายามเลือกการกระทำที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้รับตอบสนองระยะยาว (return) หรือ ค่าตอบสนองทันทีทันใดรวม มากที่สุด โดยพิจารณาตั้งแต่ ณ. เวลาปัจจุบันไปจนกระทั่งครบรอบของเวลาในการเรียนรู้ สมการของค่าตอบสนองระยะยาวดังแสดงในสมการที่ (1)

$$R_t = r_{t+1} + r_{t+2} + \dots + r_T \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T คือเวลาสิ้นสุดของรอบการเรียนรู้ โดยแต่ละรอบการเรียนรู้เรียกว่า episode ตัวอย่าง เช่น เกมสึมหมากรุก จะมีรอบการเรียนรู้ที่เมื่อจบเกมสึ หรือมีผู้แพ้-ผู้ชนะ เกมสึฟุตบอลจะมีรอบการเรียนรู้เมื่อหมดเวลาการแข่งขัน เป็นต้น เรียกกระบวนการเรียนรู้แบบนี้ว่า *กระบวนการเรียนรู้ชนิดวนรอบ* (episode task) สถานะของสภาพแวดล้อมสุดท้ายของแต่ละรอบการเรียนรู้ S_T จะเรียกว่า *สถานะสุดท้าย* (final state) เมื่อไหร่ก็ตามที่สภาพแวดล้อมมีสถานะเป็น สถานะสิ้นสุด ระบบจะต้องตั้งค่าสภาพแวดล้อมใหม่ (reset) ให้เป็นค่าเริ่มต้น (starting state) เพื่อให้เอเจนต์ได้เริ่มต้นเรียนรู้ในรอบการเรียนรู้ใหม่ อย่างไรก็ตามในบางปัญหาหรือบางกรณีอาจจะไม่มีสถานะสิ้นสุดก็เป็นไปได้ ตัวอย่างเช่น การเรียนรู้ของหุ่นยนต์เลียนแบบมนุษย์ เรียกกระบวนการเรียนรู้แบบนี้ว่า *กระบวนการเรียนรู้ชนิดต่อเนื่อง* (continual task) กระบวนการเรียนรู้ชนิดต่อเนื่องนี้จะทำให้สภาพแวดล้อมไม่มีโอกาสที่สถานะปัจจุบันเป็นสถานะสิ้นสุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า T ในสมการที่ (1) จะมีค่าเป็นอนันต์ ($T = \infty$) ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าตอบสนองระยะยาวตามสมการที่ (1) มีค่าเป็นอนันต์ได้ (แต่ละ ณ. ขณะเวลา t ใดๆ เอเจนต์ได้รับค่าตอบสนองทันทีใดเป็น $+1$ เสมอๆ) ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว สมการที่ (1) จึงต้องมีการปรับปรุงโดยเพิ่มการพิจารณาค่าอัตราลดทอน (discounting rate) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$R_t = r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \quad (2)$$

เมื่อ γ คืออัตราลดทอน มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 1]$ ถ้าหากค่าอัตราลดทอนเท่ากับ 1 สมการที่ (2) จะเทียบเท่ากับสมการที่ (1) หรือใช้ได้กับการเรียนรู้ชนิดวนรอบ ถ้าหากค่าอัตราลดทอนเท่ากับ 0 นั่นก็หมายความว่า เอเจนต์ จะพิจารณาค่าตอบสนองระยะยาว R_t เฉพาะค่าตอบสนองทันทีทันใด r_{t+1} เท่านั้น

2.2.2 ฟังก์ชันค่า (Value Functions)

การเรียนรู้แบบ RL เป็นกระบวนการเรียนรู้บนพื้นฐานของการคาดหวังหรือพยากรณ์ด้วยฟังก์ชันต่างๆ เช่น ฟังก์ชันค่าประจำสถานะ s_t หรือฟังก์ชันค่าประจำคู่ลำดับ (สถานะ, การกระทำ) (state-action pair) จุดประสงค์เพื่อระบุค่าความดีของเอเจนต์เมื่ออยู่ภายใต้สถานะของสภาพแวดล้อม s_t (state value) หรือเพื่อระบุค่าความดีของการกระทำ a_t เมื่อเอเจนต์อยู่ภายใต้สถานะของสภาพแวดล้อม s_t (state-action value) เป็นต้น โดยค่าที่ได้รับจากฟังก์ชันดังกล่าวจะเป็นค่า

คาดหวังของค่าตอบสนองระยะยาว ณ. ขณะเวลา t ไปจน ณ. เวลาสิ้นสุดรอบการเรียนรู้ ฟังก์ชันค่าประจำสถานะดังแสดงในสมการที่ (3)

$$V(s) = E\{R_t | s_t = s\} = E\left\{\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s\right\} \quad (3)$$

เมื่อ $E\{\cdot\}$ คือฟังก์ชันคาดหวัง และ $V(s)$ คือค่าคาดหวังของค่าตอบสนองระยะยาวเมื่อเอเจนต์อยู่ภายใต้สถานะของสภาพแวดล้อม s ในกระบวนการเรียนรู้ RL จะพยายามปรับ $V(s)$ เพื่อสร้างนโยบาย (policy) ของเอเจนต์ตลอดเวลา โดยที่นโยบายคือกระบวนการตัดสินใจเลือกการกระทำ a_t ให้เหมาะกับสถานะของสภาพแวดล้อม s_t โดยนโยบายที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ทั้งหมดที่ได้จะถูกแยกเก็บไว้เพื่อทำให้สามารถเรียนรู้สถานะของสภาพแวดล้อมที่นอกเหนือจากการคาดเดาได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นอาจจะเรียกนโยบายนี้ว่า "universal plan" ในระบบปัญญาประดิษฐ์ "control law" ในระบบการ control หรือ "stimulus-response" ในระบบ psychology ดังนั้นจากสมการที่ (3) สามารถปรับปรุงเป็นค่าประจำสถานะ s ภายใต้นโยบาย π ดังแสดงในสมการที่ (4)

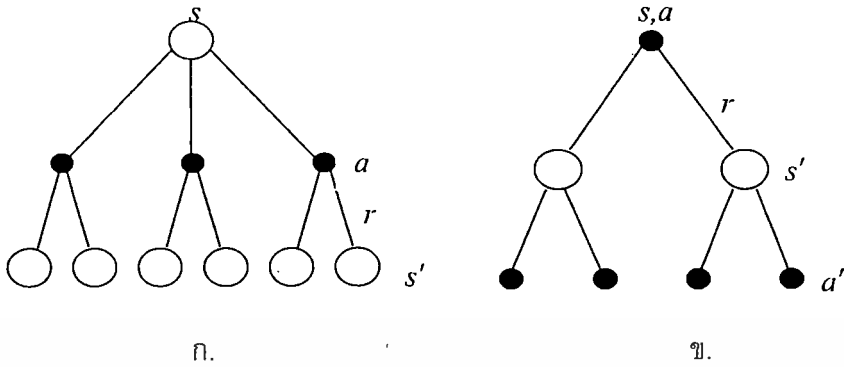
$$V^\pi(s) = E_\pi\{r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots | s_t = s\} \quad (4)$$

ค่า $V^\pi(s)$ จะถูกเก็บตามลำดับของนโยบาย โดยที่นโยบาย π' ดีกว่าหรือเท่ากับนโยบาย π ถ้า

$$V^{\pi'}(s) \geq V^\pi(s)$$

ในลักษณะเดียวกันสามารถนิยามฟังก์ชันค่าคาดหวังของคู่ลำดับ (s_t, a_t) ภายใต้นโยบาย π หรือเป็นการระบุความดีของการกระทำ a_t เมื่อเอเจนต์อยู่บนสถานะของสภาพแวดล้อม s_t ภายใต้นโยบาย π ได้ ดังแสดงตามสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} Q^\pi(s, a) &= E_\pi\{R_t | s_t = s, a_t = a\} \\ &= E_\pi\left\{\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s, a_t = a\right\} \end{aligned} \quad (5)$$



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมของฟังก์ชันค่าของสถานะ $V(s)$ และ ฟังก์ชันค่าการกระทำ $Q(s,a)$

รูปที่ 2.3 ก) ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $V(s)$ สถานะปัจจุบัน s , สถานะถัดไป s_{t+1} และการกระทำที่เป็นไปได้ ณ สถานะปัจจุบัน $a \in A(s_t)$ โดยที่สถานะของสภาพแวดล้อมแทนด้วยวงกลมโปร่งกลวง และการกระทำที่เป็นไปได้แทนด้วยวงกลมทึบดำ รูปที่ 2.3 ข) ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q(s,a)$ การกระทำ a ที่ถูกเลือกขณะที่เอเจนต์อยู่ ณ สถานะ s , สถานะถัดไปหลังจากเอเจนต์กระทำ a , และการกระทำที่เป็นไปได้ ณ สถานะถัดไป $b \in A(s_{t+1})$ จากรูปที่ 2 พบว่าค่าประจำสถานะ $V(s)$ จะเท่ากับค่าผลรวมของค่า $Q(s,a)$ ของทุกๆ $a \in A(s)$ เมื่อเวลาของการเรียนรู้ t เข้าสู่ค่าอนันต์

กำหนดให้ความน่าจะเป็นเมื่อกระทำ a ที่สถานะของสภาพแวดล้อมเป็น s แล้วสถานะถัดไปเป็น s' แสดงด้วย $P_{ss'}^a = \Pr\{s_{t+1} = s' | s_t = s, a_t = a\}$ และกำหนดให้ค่าคาดหวังตอบสนองทันทีทันทีของการกระทำ a ที่สถานะของสภาพแวดล้อมเป็น s แล้วสถานะถัดไปเป็น s' แสดงด้วย $R_{ss'}^a = E\{r_{t+1} | s_t = s, a_t = a, s' = s_{t+1}\}$ เมื่อ $E\{\cdot\}$ คือฟังก์ชันค่าคาดหวัง และความน่าจะเป็นของการเลือกการกระทำ a ที่สถานะของสภาพแวดล้อม s แสดงด้วย $\pi(s,a)$ ดังนั้นจึงสามารถนิยามฟังก์ชัน $V^\pi(s)$ ด้วยสมการ Bellman ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$\begin{aligned} V^\pi(s) &= E_\pi \{R_t | s_t = s\} \\ &= E_\pi \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s \right\} \\ &= E_\pi \left\{ r_{t+1} + \gamma \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} | s_t = s \right\} \\ &= \sum_a \pi(s,a) \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma E_\pi \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} | s_{t+1} = s' \right\}] \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \sum_a \pi(s, a) \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma V^\pi(s')] \quad (6)$$

และสามารถนิยามฟังก์ชัน $Q(s, a)$ ได้ดังแสดงในสมการที่ (7)

$$\begin{aligned} Q^\pi(s, a) &= E_\pi \{R_t | s_t = s, a_t = a\} \\ &= E_\pi \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s, a_t = a \right\} \\ &= E_\pi \left\{ r_{t+1} + \gamma \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} | s_t = s, a_t = a \right\} \\ &= \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma E_\pi \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} | s_{t+1} = s', a_{t+1} = b \right\}] \\ &= \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma Q^\pi(s', b)] \end{aligned} \quad (7)$$

2.2.3 ฟังก์ชันค่าเหมาะสม (Optimal Value Functions)

เป้าหมายของการเรียนรู้แบบ RL คือต้องการค้นหานโยบายสำหรับเลือกการกระทำ a ณ สถานะ s ใดๆ แล้วทำให้ค่าคาดหวังของค่าตอบสนองระยะยาวสูงที่สุด นั่นคือในกระบวนการเรียนรู้ จะต้องค้นหานโยบายต่างๆ แล้วเลือกนโยบายที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น กำหนดให้นโยบาย π และนโยบาย π' แล้วนโยบาย π ดีกว่าหรือเทียบเท่านโยบาย π' ก็ต่อเมื่อนโยบาย π ให้ค่าคาดหวังของค่าตอบสนองที่ดีกว่านโยบาย π' สำหรับทุกสถานะ s หรือ $\pi \geq \pi'$ ก็ต่อเมื่อ $V^\pi(s) \geq V^{\pi'}(s)$ สำหรับทุกสถานะ s และถ้าหากนโยบาย π ดีกว่าหรือเทียบเท่านโยบายอื่นๆ ทั้งหมดจะเรียกนโยบาย π ว่า นโยบายเหมาะสม (optimal policy) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ π^* ซึ่ง π^* อาจจะมีได้หลายนโยบายก็เป็นไปได้ โดยที่แต่ละ π ที่เป็น π^* จะมีฟังก์ชันค่าตัวเดียวกัน(ในสถานะ s จะมีหลาย $V^\pi(s)$) เรียกว่า ฟังก์ชันค่าเหมาะสม (optimal value function) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ V^* ดังแสดงในสมการที่ (8)

$$V^*(s) = \max_{\pi} V^\pi(s) \quad (8)$$

สำหรับทุกสถานะ $s \in S$

ในทำนองเดียวกันนโยบายเหมาะสม π^* จะมีฟังก์ชันของการกระทำ a ณ สถานะ s ร่วมกัน
 ด้วย เรียกว่า ฟังก์ชันค่าการกระทำเหมาะสม (optimal action-value function) ดังแสดงตามสมการที่
 (9)

$$Q^*(s, a) = \max_{\pi} Q^{\pi}(s, a) \quad (9)$$

สำหรับทุกๆสถานะ $s \in S$ และการกระทำ $a \in A(s)$

จากสมการที่ (9) เอเจนต์จะเลือกการกระทำ a จากนั้นเอเจนต์ก็จะดำเนินการไปตามนโยบายที่
 เหมาะสม นั่นก็หมายความว่าสามารถนิยาม Q^* ในรูปของ V^* ได้ดังแสดงในสมการที่ (10)

$$Q^*(s, a) = E\{r_{t+1} + \gamma V^*(s_{t+1}) | s_t = s, a_t = a\} \quad (10)$$

เนื่องจาก V^* เป็นฟังก์ชันค่าของนโยบายซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวเป็นจริงตามสมการ Bellman (6) ดังนั้น
 จึงสามารถนิยามฟังก์ชัน V^* ด้วยสมการ Bellman ได้โดยไม่มีอ้างอิงกับนโยบายใดนโยบายหนึ่ง
 แบบจำเพาะเจาะจง เรียกสมการนี้ว่า สมการเหมาะสม Bellman (Bellman optimality equation) ซึ่ง
 สมการดังกล่าวนี้จะนิยามโดยใช้พื้นฐานความจริงที่ว่า ค่าประจำสถานะ $V(s)$ ใดๆ ภายใต้ันโยบาย
 เหมาะสม (π^*) จำเป็นต้องเท่ากับค่าคาดหวังของค่าตอบสนองระยะยาวที่ได้จากการกระทำที่ดีที่สุด
 ณ สถานะนั้น ดังแสดงตามสมการที่ (11) และ (12)

$$\begin{aligned} V^*(s) &= \max_a Q^{\pi^*}(s, a) \\ &= \max_a E_{\pi^*}\{R_t | s_t = s, a_t = a\} \\ &= \max_{a \in A(s)} E_{\pi^*}\left\{\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s, a_t = a\right\} \\ &= \max_{a \in A(s)} E_{\pi^*}\left\{r_{t+1} + \gamma \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+2} | s_t = s, a_t = a\right\} \\ &= \max_{a \in A(s)} E_{\pi^*}\{r_{t+1} + \gamma V^*(s_{t+1}) | s_t = s, a_t = a\} \end{aligned} \quad (11)$$

$$= \max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma V^*(s')] \quad (12)$$

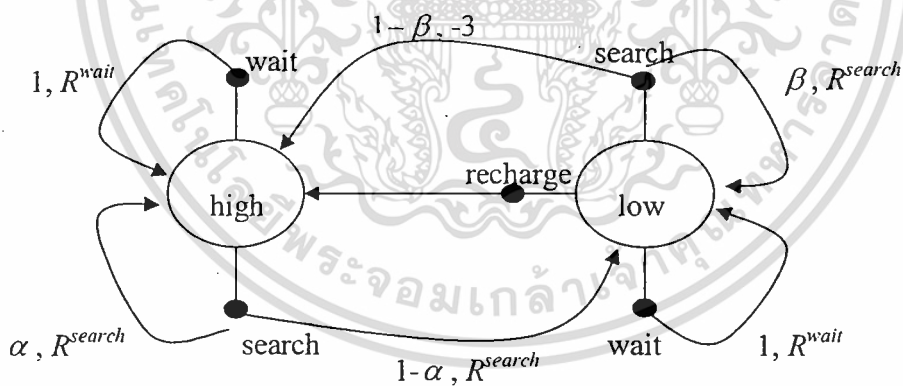
และสามารถนิยาม Q^* ในรูปสมการ Bellman ได้แสดงในสมการที่ (13) และ (14)

$$Q^*(s, a) = E\{r_{t+1} + \gamma \max_{a'} Q^*(s_{t+1}, a') \mid s_t = s, a_t = a\} \quad (13)$$

$$= \sum_s P_{ss'}^a [R_{ss'}^a + \gamma \max_{a'} Q^*(s', a')] \quad (14)$$

ตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นกรยกตัวอย่างเพื่อให้เข้าใจปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาแบบ RL โดยระบบจะสอนให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการตัดสินใจเพื่อกระทำการต่างๆที่เหมาะสมไปตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (ได้รับ) จากภายนอก (สภาพแวดล้อม) ในแต่ละ ณ ขณะเวลาที่หุ่นยนต์ทำงานมันสามารถตัดสินใจกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง คือ ค้นหากระป๋อง (searching) หยุดนิ่งเพื่อให้คนนำกระป๋องมาใส่ (ทิ้งลงถัง) (wait) และเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเริ่มต้นเพื่อประจุพลังงาน (recharge battery) หรือ $A = \{\text{searching, wait, recharge}\}$

กำหนดให้หุ่นยนต์ค้นหากระป๋องเป็นหนทางที่ดีที่สุดของการทำงาน แต่การเคลื่อนที่แต่ครั้งจะสิ้นเปลืองพลังงาน และหากหุ่นยนต์ใช้พลังงานจนหมดก่อนที่จะนำตัวเองเข้ามายังจุดเริ่มต้นเพื่อประจุพลังงานใหม่เป็นหนทางการทำงานที่แย่ที่สุด รูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.1 แสดงสถานะ การเปลี่ยนสถานะ และพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหา



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนสถานะและค่าตอบแทนของการกระทำ ณ สถานะต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะและค่าตอบสนองของการกระทำ ณ สถานะต่างๆ

$s = s_t$	$s' = s_{t+1}$	$a = a_t$	$P_{ss'}^a$	$R_{ss'}^a$
High	High	Search	α	R^{search}
High	Low	Search	$1-\alpha$	R^{search}
Low	High	Search	$1-\beta$	-3
Low	Low	Search	β	R^{search}
High	High	Wait	1	R^{wait}
High	Low	Wait	0	R^{wait}
Low	High	Wait	0	R^{wait}
Low	Low	Wait	1	R^{wait}
Low	High	Recharge	1	0
Low	Low	recharge	0	0

จากรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.1 หากพลังงานในแบตเตอรี่อยู่ในระดับสูง (high) แล้วหุ่นยนต์จะสามารถกระทำการค้นหา (searching) ได้อย่างปราศจากความเสี่ยง โดยที่ความน่าจะเป็นที่พลังงานจะยังคงระดับอยู่ที่ระดับสูงเท่ากับ α และความน่าจะเป็นที่พลังงานจะเปลี่ยนระดับเป็นระดับต่ำ (low) เท่ากับ $1-\alpha$ หากพลังงานในแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำแล้วหุ่นยนต์กระทำการค้นหา แล้วความน่าจะเป็นที่พลังงานจะยังคงระดับต่ำเท่ากับ β และความน่าจะเป็นที่ระดับพลังงานเปลี่ยนเป็นระดับสูง (ใช้พลังงานจนหมด แล้วมีคนหิ้วมันไปประจุพลังงานใหม่) เท่ากับ $1-\beta$ ส่วนการกระทำอื่นๆ (wait และ recharge) ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1

โดยใช้สมการที่ (12) สามารถฟังก์ชันค่าเหมาะ V^* สำหรับสถานะ s ใดๆ ได้ เมื่อ $S=\{high(h), low(l)\}$ $A=\{searching(s), wait(w), recharge(r)\}$ $A(h)=\{s, w\}$ $A(l)=\{s, w, r\}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 V^*(h) &= \max \left\{ \begin{array}{l} P_{hh}^s [R_{hh}^s + \gamma V^*(h)] + P_{hl}^s [R_{hl}^s + \gamma V^*(l)], \\ P_{hh}^w [R_{hh}^w + \gamma V^*(h)] + P_{hl}^w [R_{hl}^w + \gamma V^*(l)] \end{array} \right\} \\
 &= \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha [R^s + \gamma V^*(h)] + (1-\alpha) [R^s + \gamma V^*(l)], \\ 1 [R^w + \gamma V^*(h)] + 0 [R^w + \gamma V^*(l)] \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= \max \left\{ \begin{array}{l} R^s + \gamma[\alpha V^*(h) + (1-\alpha)V^*(l)], \\ R^w + \gamma V^*(h) \end{array} \right\} \\
V^*(l) &= \max \left\{ \begin{array}{l} P_{ll}^s[R_{ll}^s + \gamma V^*(l) + P_{lh}^s[R_{lh}^s + \gamma V^*(h)]], \\ P_{ll}^w[R_{ll}^w + \gamma V^*(l) + P_{lh}^w[R_{lh}^w + \gamma V^*(h)]], \\ P_{ll}^r[R_{ll}^r + \gamma V^*(l) + P_{lh}^r[R_{lh}^r + \gamma V^*(h)]] \end{array} \right\} \\
&= \max \left\{ \begin{array}{l} \beta[R^s + \gamma V^*(l)] + (1-\beta)[-3 + \gamma V^*(h)], \\ 1[R^w + \gamma V^*(l)] + 0[R^r + \gamma V^*(h)], \\ 0[0 + \gamma V^*(l)] + 1[0 + \gamma V^*(h)] \end{array} \right\} \\
&= \max \left\{ \begin{array}{l} \beta R^s - 3(1-\beta) + \gamma[(1-\beta)V^*(h) + \beta V^*(l)], \\ R^w + \gamma V^*(l), \\ \gamma V^*(h) \end{array} \right\}
\end{aligned}$$

เมื่อ $0 \leq \gamma < 1$ $0 \leq \alpha$ และ $\beta \leq 1$

2.2.4 Q-Learning

จากทฤษฎีของ RL นั้นมีหลายอัลกอริทึมที่สามารถใช้ implement การเรียนรู้แบบ RL ได้ เช่น Dynamic Program, Monte Carlo, TD เป็นต้นโดยที่ Q-learning (QL) [2] เป็นอัลกอริทึมในการเรียนรู้อย่างง่ายแบบหนึ่ง กระบวนการทำงานของ QL คือจะมีการปรับค่าที่อยู่ในตาราง(table) ตามประสบการณ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสภาพแวดล้อมในแต่ละครั้ง ตารางดังกล่าวเรียกว่า ตาราง Q และค่าที่อยู่ในตารางคือค่า $Q(s,a)$ คู่อันดับของสถานะ s และการกระทำ a ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นตัวระบุความดีของการกระทำ a ภายใต้สถานะ s โดยที่ค่า $Q(s,a)$ จะมีการปรับปรุงทุกครั้งที่ได้รับค่าตอบสนอง r_{t+1} ดังแสดงในสมการที่ (15)

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha \left[r_{t+1} + \gamma \max_{b \in A(s_{t+1})} Q(s_{t+1}, b) - Q(s_t, a_t) \right] \quad (15)$$

เมื่อ α คืออัตราการเรียนรู้ และ γ คืออัตราการลดทอน

2.3 ระบบเรียนรู้ตัวจำแนกประเภท (Learning Classifier Systems: XCS)

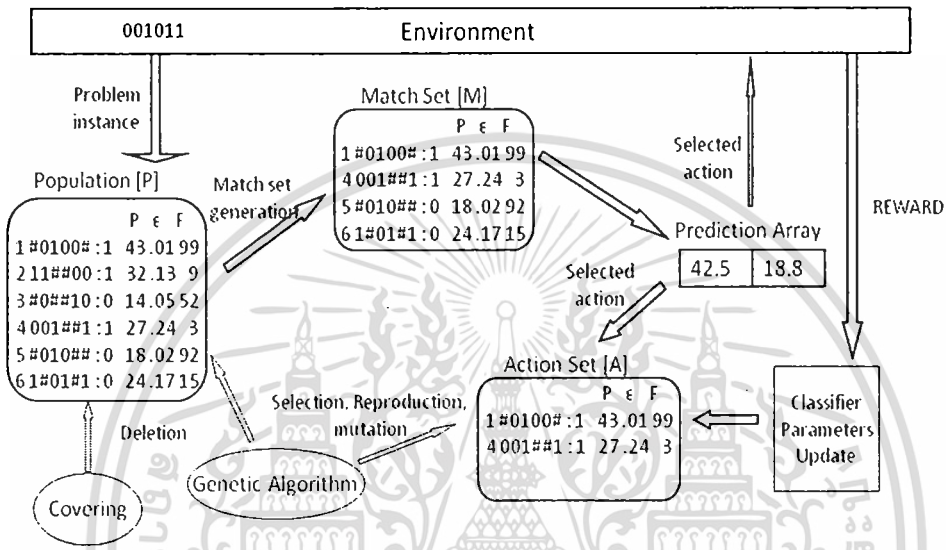
ระบบการเรียนรู้ของตัวจำแนกประเภท (Learning Classifier Systems: LCS) เป็นระบบการเรียนรู้ของเครื่องจักรกลรูปแบบหนึ่งที่ได้ผสมผสาน Reinforcement Learning (RL) และ Genetic Algorithms (GAs) เข้าไว้ในระบบเดียว ในระบบนี้จะมีการทำงานบนฐานข้อมูลของกฎ (Rule-Based Systems) ซึ่งประกอบด้วยกฎ (rule) หรือตัวจำแนกประเภท (classifier) หลายตัว โดยที่ตัวจำแนกประเภทสามารถที่จะปรับตัวเองเพื่อทำการเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รับ จนกระทั่งตัวจำแนกประเภทเหล่านั้นสามารถจดจำลักษณะของข้อมูล และสามารถกำหนดการกระทำใดๆ เพื่อตอบสนองกับข้อมูลที่เข้ามาในระบบได้อย่างสอดคล้อง ต้นแบบของ LCS ซึ่งนำเสนอโดย John Holland ในปี 1976 [3] หลังจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาระบบให้มีความซับซ้อนน้อยลง และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเรื่อยมา จนกระทั่ง Wilson ได้นำเสนอระบบที่ XCS ในปี 1995 [4] ซึ่งถือว่าเป็นระบบ LCS ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน มีรายงานผลการวิจัยการนำระบบ LCS ไปประยุกต์ใช้ในงานการจำแนกประเภทข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของระบบนี้ไม่ด้อยกว่าระบบอื่นที่มีการนำเสนอมาก่อนหน้า

การเรียนรู้ของระบบตัวจำแนกประเภทแบบ accuracy-based XCS โดยการทำงานของ XCS จะอยู่บนฐานข้อมูลของกฎ โดยที่แต่ละกฎหรือตัวจำแนกประเภทแต่ละตัวจะประกอบด้วยสองส่วนหลัก ส่วนแรกคือ condition : action โดยแทน condition ด้วยชุดของตัวอักษรที่เป็นเทอনারี (ternary) ของ '0', '1' หรือ '#' และ action จะถูกแทนด้วยชุดของตัวอักษรที่เป็นไบนารี (binary) ของ '0' หรือ '1' และในส่วนที่สองคือพารามิเตอร์ (parameter) ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของตัวจำแนกประเภท มีดังต่อไปนี้

1. payoff prediction (p) คือค่าตัวเลขทำนายผลตอบแทนที่จะได้รับเมื่อระบบเลือก action ของตัวจำแนกประเภทนั้น
2. error (ϵ) เป็นค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการทำนาย
3. fitness (F) เป็นค่าส่วนกลับของ error และ
4. niche size estimate (σ) บ่งบอกจำนวนตัวจำแนกประเภทที่มีส่วนร่วมในแต่ละนิช (niches) โดยกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับทุกพารามิเตอร์เป็นค่าคงที่

การทำงานในแต่ละรอบของการเรียนรู้ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เริ่มจากข้อมูลถูกส่งผ่านเข้าไปในระบบ ตัวจำแนกประเภททั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูลของกฎหรือเซตของประชากรของกฎแทนด้วยสัญลักษณ์ [P] จะถูกตรวจสอบทีละตัว ถ้าในส่วนของ condition ของตัวจำแนกประเภทตัวใดสอดคล้อง (match) กับข้อมูลที่เข้ามา ระบบจะกำหนดให้เป็นสมาชิกของ match set [M] จากนั้นทำการเลือก action ที่เหมาะสม โดยจะเลือกจาก action ของตัวจำแนกประเภทที่อยู่ใน [M] ตัวจำแนก

ประเภทตัวใดใน [M] ที่มี action ตรงกับ action ที่เลือกจะถูกกำหนดให้เป็นสมาชิกของ action set [A] โดยกระบวนการเลือก action นั้นระบบ XCS จะใช้รูปแบบของ explore/exploit นั่นคือระบบจะทำการเลือก action แบบสุ่มในขั้นตอนของการเรียนรู้ และในขั้นตอนการใช้งานจะทำการเลือก action โดยพิจารณาจากผลตอบแทนที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานของระบบ XCS

ในระบบ XCS ได้นำเทคนิคการเรียนรู้แบบ RL มาใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ payoff prediction(p) error(ϵ) และ niche size estimate(σ) ของตัวจำแนกประเภททุกตัวที่เป็นสมาชิกใน [A] โดยปรับตามรูปแบบของ Widrow-Hoff delta ด้วยค่า learning rate (β) ดังนี้:

$$p_j = p_j + \beta(R - p_j) \tag{16}$$

$$\epsilon_j = \epsilon_j + \beta(|R - p_j| - \epsilon_j) \tag{17}$$

$$as_j = as_j + \beta(|A| - as_j) \tag{18}$$

การปรับค่า Fitness(F) ในแต่ละตัวจำแนกประเภทต้องคำนวณค่า accuracy (κ_j) และคำนวณค่า relative accuracy (κ'_j) ดังสมการ

$$\kappa_j = \begin{cases} \alpha(\varepsilon_j/\varepsilon_0)^{-\nu} & \text{if } \varepsilon_j > \varepsilon_0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

$$\kappa'_j = \frac{\kappa_j}{\sum_{j \in [M]} \kappa_j} \quad (20)$$

และปรับค่า F ด้วยค่า ดังสมการ

$$F_j \leftarrow F_j + \beta(\kappa'_j - F_j) \quad (21)$$

โดยที่ ε_0 เป็นตัวกำหนดให้ accuracy เท่ากับ 1 ถ้าหากค่า ε น้อยกว่าค่า ε_0 และตัว ν เป็นตัวกำหนด อัตราการลดลงของค่า accuracy เมื่อ ε มากกว่า ε_0 และ β และ α เป็นค่า learning rate

กระบวนการค้นหาตัวจำแนกประเภท 2 วิธี วิธีแรกคือการใช้ niche genetic algorithm (GAs) [5] จะมีการใช้ GAs ก็ต่อเมื่อค่าเฉลี่ยของรอบการทำงาน (time-stamp) ที่มีการกระทำกระบวนการ GAs เกิดขึ้นหลังสุด มากกว่าค่า threshold (θ_{th}) หลังจากกระทำกระบวนการ GA เรียบร้อยแล้วก็จะ กำหนดรอบการทำงานใหม่ให้แต่ละตัวจำแนกประเภท ให้มีค่าเท่ากับรอบการทำงานของระบบ ปัจจุบัน กระบวนการทำงานของ GAs จะทำการเลือกตัวจำแนกประเภทมาสองตัวจากทั้งหมดที่อยู่ใน [A] โดยใช้ roulette wheel เลือกตามสัดส่วนของค่า F นำมาเป็นโครโมโซมพ่อและแม่ ตัวจำแนกประเภทใหม่ที่ได้จากกระบวนการ GAs ผ่านกระบวนการ mutation (probability, μ) และกระบวนการ crossover (probability, χ) โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของตัวจำแนกประเภทตัวใหม่(ถ้ามีกระบวนการ crossover เกิดขึ้น) จะกำหนดจากค่าเฉลี่ยของโครโมโซมพ่อและแม่ ส่วนวิธีที่สองคือการใช้ กระบวนการ covering ระบบจะใช้กระบวนการ covering ก็ต่อเมื่อไม่มีตัวจำแนกประเภทใดเลย สอดคล้องกับข้อมูลที่เข้ามา ระบบจะทำการสร้างตัวจำแนกประเภทขึ้นมาใหม่ โดยกำหนดในส่วนของ condition ให้สอดคล้องกับข้อมูล เมื่อได้ตัวจำแนกประเภทที่ได้จากการค้นหาทั้งสองวิธีแล้ว ระบบจะ เพิ่มตัวจำแนกประเภทดังกล่าวเข้าไปใน [P] โดยในกระบวนการเพิ่มตัวจำแนกใหม่เข้าไปในระบบจะมี ตัวจำแนกประเภทที่ถูกแทนที่ในฐานะข้อมูลของกฎ XCS โดยใช้ roulette wheel เลือกตามสัดส่วนของ niche size estimate เพื่อกำหนดตัวจำแนกประเภทที่จะถูกลบออก ด้วยวิธีการนี้จะทำให้จำนวนตัว จำแนกประเภทที่อยู่ใน [A] ในแต่ละรอบการทำงานมีขนาดใกล้เคียงกันหรือสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่ง ได้ว่าด้วยวิธีนี้เป็นารคัดเลือกตัวจำแนกประเภททั้งหมดที่อยู่ใน [P] ให้มีคุณสมบัติที่ไม่จำเพาะ เจาะจง (Generalization) ได้

กฎที่ได้จากระบบ XCS จะมีส่วน condition เป็นลักษณะไบนารีซึ่งทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ความรู้มีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นในปี 2004 Casillas [xx] ได้นำทฤษฎีฟuzzy มาทำงานร่วมกับระบบ XCS โดยปรับส่วน condition ของ XCS จากค่าไบนารีเป็นค่าตัวแปรภาษา(Linguistic value) เรียกระบบใหม่นี้ว่า Learning Fuzzy Classifier Systems (X-FCS) โดยที่ระบบนี้สามารถจัดการกับปัญหาที่มีข้อมูลแบบ real-valued ที่มีค่าหลายๆ ค่าได้ ทำให้กฎที่ได้จากระบบเป็นกฎฟuzzy หรือกล่าวได้ว่าระบบ X-FCS เป็นระบบฐานข้อมูลของกฎฟuzzy (Fuzzy Rule-Based Systems)



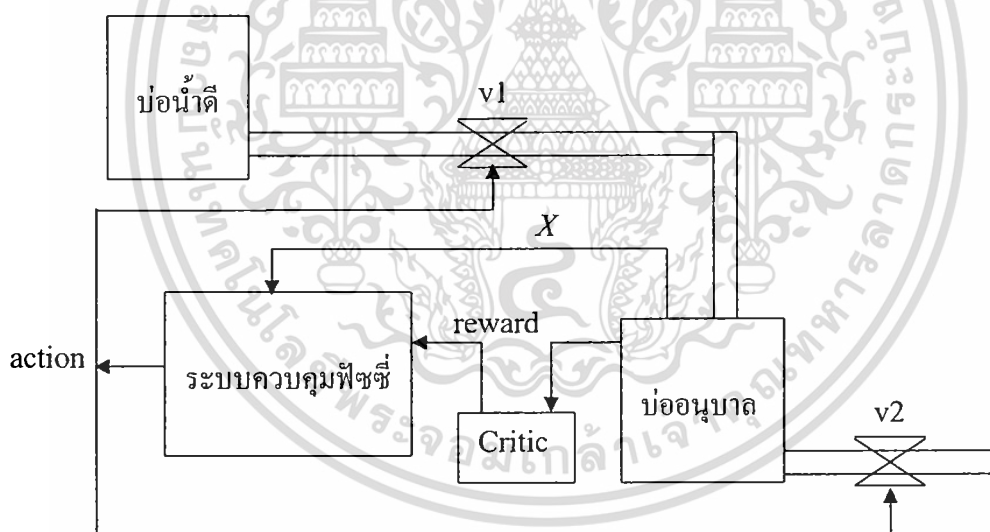
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบควบคุมความสมดุลของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้ระบบ XCS

3.1 โครงสร้างของระบบ

ระบบที่นำเสนอเป็นระบบควบคุมคุณภาพของน้ำในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำเพื่อรักษาคุณสมบัติของน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อลูกกุ้งให้คงที่ตลอดเวลาแม้ว่าจะมีปัจจัยต่างๆเข้ามากระทบ เช่น เศษอาหารที่เหลือในบ่อ ชีวจุลินทรีย์ ฯลฯ จากรูปที่ 2 มีกระบวนการควบคุมคุณภาพน้ำโดยการปล่อยน้ำจากบ่ออนุบาล (น้ำเสีย) ที่จำนวน c ลิตร จากนั้นก็ปล่อยน้ำจากบ่อน้ำดีเข้าสู่บ่ออนุบาลจำนวน c ลิตร โดยที่ระบบฟัซซี่คอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมวาล์วน้ำ $v1$ และ $v2$ เพื่อปล่อยน้ำในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้คุณภาพของน้ำในบ่ออนุบาลเข้าสู่คุณสมบัติที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมคุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลด้วยตัวควบคุมฟัซซี่

การทำงานของระบบสามารถแสดงเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่1 เตรียมน้ำในบ่อน้ำดี (บ่อ A) ให้มีคุณสมบัติดังนี้

ความเค็ม 28-32 ส่วนในพัน (ppt)

อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส

พีเอช (pH) 7.8-8.3

อัลคาไลน์ ไม่ควรต่ำกว่า 100 mg/1 as CaCO₃

แอมโมเนีย ไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร

ไนโตรท์ ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร

ขั้นตอนที่2 เนื่องจากปัจจัยที่ไวต่ออัตราการรอดชีวิตของลูกกุ้งมากที่สุดคือค่าของแอมโมเนียและไนโตรท์ ดังนั้นในการทดลองจึงใช้การตรวจจับค่าการผิดปกติของแอมโมเนียและไนโตรท์ในบ่ออนุบาล (บ่อ B) เท่านั้น

ขั้นตอนที่3 เมื่อใดก็ตามที่ค่าแอมโมเนียหรือค่าไนโตรท์ในบ่ออนุบาลมีค่ามากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวควบคุมฟัซซี่จะต้องตัดสินใจในการปรับวาล์วน้ำ v1 และ v2 เพื่อปล่อยน้ำในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อปรับค่าแอมโมเนียในบ่ออนุบาลให้มีค่าต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 การเรียนรู้ของระบบ

จุดประสงค์ของระบบที่นำเสนอคือต้องการค้นหาชุดของกฎฟัซซี่ที่สามารถสร้างเป็นฐานความรู้เพื่อใช้แก้ปัญหาที่ต้องการได้ โดยกฎฟัซซี่จะอยู่ในรูปแบบของ Sugeno Fuzzy Rule ดังนี้

$$\begin{aligned}
 R_j : & \text{ IF } x_1 \text{ is } S_{1j} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } S_{nj} \\
 & \text{ THEN } a_j \text{ is } f_{j1}(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ with } q_{j1} \\
 & \quad \text{ or } f_{j2}(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ with } q_{j2} \\
 & \quad \vdots \\
 & \quad \text{ or } f_{jk}(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ with } q_{jk}
 \end{aligned}$$

เมื่อ x_i คือสมาชิกในเวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า $X' = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ a_j คือตัวแปรคอนซีควน $f_{jk}(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$ คือฟังก์ชันเชิงเส้นลำดับที่หนึ่ง โดย b_n คือค่าของจำนวนจริง q_{jk}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือค่าความเหมาะสมของ $f_{jk}(\cdot)$ และ S_{ij} คือฟังก์ชันเชิร์ท ของกฎฟัซซี่ที่ j ซึ่งแทนด้วยฟังก์ชันเกาส์เขียนดังแสดงในสมการที่ (22)

$$S_{ij}(x_i) = \exp\left\{-\frac{(x_i - m_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right\} \quad (22)$$

เมื่อ m_{ij} คือจุดศูนย์กลาง และ σ_{ij} คือความกว้าง (ค่าเบี่ยงเบนจากศูนย์กลาง) ของฟังก์ชันเกาส์เขียนดังนั้นค่าความแข็งแรง (firing strength) ของกฎฟัซซี่ j ที่มีต่ออินพุต X' สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (23) หรือ (24)

$$w_j(X') = \prod_{i=1}^n S_{ij}(x_i) = \exp\left\{-\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - m_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right\} \quad (23)$$

$$= \exp(Md_j^2(X')) \quad (24)$$

เมื่อ $Md = ([X' - M_j]^T \Sigma_j^{-1} [X' - M_j])^{1/2}$ คือ Mahalanobis Distance โดยที่ $M_j = [m_{1j}, m_{2j}, \dots, m_{nj}]^T$ และ

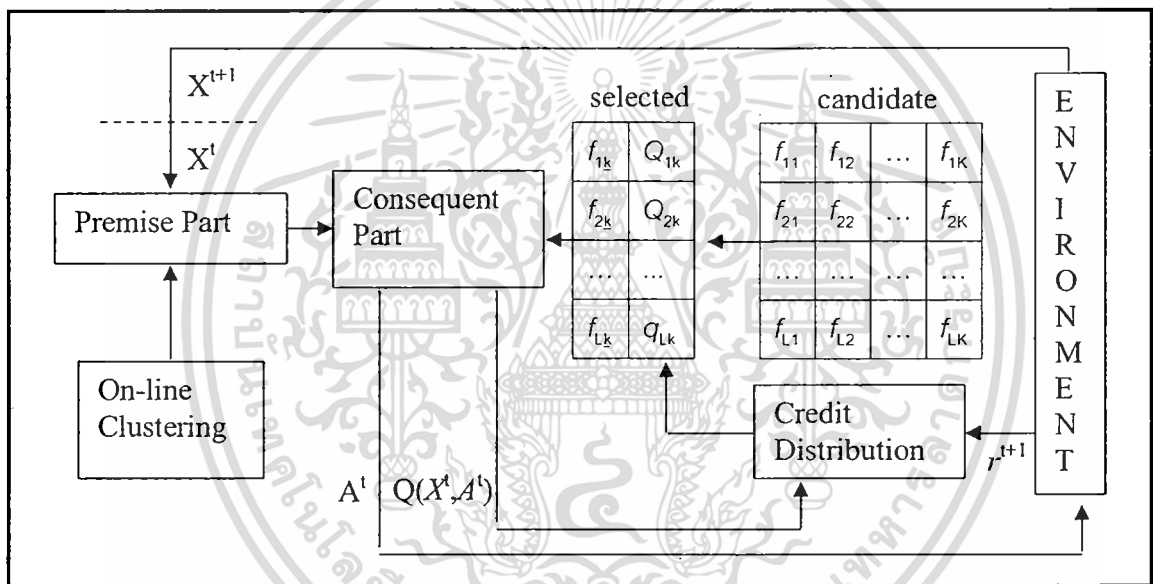
$$\Sigma_j^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{1j}^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{2j}^2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_{nj}^2 \end{bmatrix}$$

โครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อมีอินพุตเข้ามายังระบบระบบจะเลือกฟังก์ชัน $f_{jk}(\cdot)$ ที่เหมาะสมแล้วสร้างเอาท์พุท A' ปล่อยไปยังสิ่งแวดล้อม จากนั้นรับค่ารีวูดจากสิ่งแวดล้อมนำมาคำนวณค่า credit distribution เพื่อใช้ปรับค่า q_{jk} ตามฐานอัลกอริทึม QL เมื่อกระบวนการดังกล่าวดำเนินไประยะหนึ่งจนเงื่อนไขของการเรียกใช้จิ้นติกอัลกอริทึมเป็นจริง ระบบจะเรียกใช้จิ้นติกอัลกอริทึมสร้างฟังก์ชัน $f_{jk}(\cdot)$ ตัวใหม่ๆ เพื่อใช้แทนฟังก์ชันรุ่นเก่า

สำหรับแต่ละ X' ตัวแปรคอนซีควนของแต่ละกฎฟัซซี่จะถูกกำหนดค่าเป็น $a_j = f_{jk}(\cdot)$ เมื่อ k คือลำดับของฟังก์ชันที่ถูกเลือกด้วยอัลกอริทึม e-greedy บนฐานของค่า $Q(X', A')$ ตามนิยามในสมการที่ (28) เมื่อค่าของตัวแปรคอนซีควนของทุกกฎฟัซซี่ถูกกำหนดแล้ว เอเจนต์สามารถสร้างเอาท์พุท A' ของระบบได้ดังนิยามตามสมการที่ (27) หลังจากเอเจนต์ปล่อยเอาท์พุทที่ได้ไปยังสิ่งแวดล้อมและรับค่ารี

วอร์ดกลับมาแล้วค่า Credit Distribution จะถูกคำนวณตามนิยามในสมการที่ (30) เพื่อใช้ปรับค่า q_{jk} สำหรับทุก $j = 1 \dots L$ และ $k = k$ ตามนิยามในสมการที่ (31) กระบวนการเรียนรู้จะดำเนินไปเรื่อยๆจนกว่าระบบจะบรรลุตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

เพื่อให้การเรียนรู้บรรลุตามจุดประสงค์ เอเจนต์จะต้องมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมพลวัตโดยที่ในขั้นปฏิสัมพันธ์เอเจนต์จะต้องตัดสินใจว่าควรจะสร้างกฎฟuzzyขึ้นมาใหม่หรือใช้ความรู้จากกฎฟuzzyเดิมที่มีอยู่แล้วในฐานข้อมูลกฎ นั่นคือ ณ เวลาเริ่มต้นของการเรียนรู้เอเจนต์จะไม่มีความรู้ใดๆเลยหรือไม่มีกฎฟuzzyใดๆเลยอยู่ในฐานข้อมูลกฎ จากนั้นเมื่อมีอินพุตตัวแรกเข้ามาในระบบเอเจนต์ก็จะสร้างกฎฟuzzyที่กฎแรกขึ้นมาโดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆดังนี้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ

$$\begin{aligned}
 m_{i1} &= x_i \\
 \sigma_{i1} &= \sigma_{i1} \\
 f_{ik}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \text{ สำหรับทุก } k = 1 \dots K
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

เมื่อ $b_n = \text{random}(-10, +10)$ คือค่าที่ได้จากการสุ่มเลขในช่วง $[-10, 10]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่มิกฎพีชชี่อยู่แล้วในฐานข้อมูลกฎแต่ไม่มีกฎพีชชี่ใดๆที่สามารถตอบสนองต่ออินพุท X' ได้หรือค่าความแข็งแรงที่มีต่อ X' มีค่าน้อยกว่า w_0 นั่นคือ $w_j(X') < w_0$ หรือ $Md_j(X') > (\ln(1/w_0))^{1/2}$ แล้วเอเจนท์จะสร้างกฎพีชชี่ขึ้นมาใหม่โดยกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆดังนี้

$$\begin{aligned} m_{i(L+1)} &= x_i \\ \sigma_{i(L+1)} &= \beta Md_j(X') \\ f_{(L+1)k}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad \text{สำหรับทุก } k = 1 \dots K \end{aligned} \quad (26)$$

เมื่อ L คือจำนวนกฎพีชชี่ทั้งหมดในฐานข้อมูลกฎ β คือจำนวนจริงบวกในช่วง $(0,1]$ ใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อควบคุมอัตราความเลื่อมล้ำกันของกฎพีชชี่ J กับ $L+1$ โดยที่ $J = \arg \max(w_j(X'))$ สำหรับ $j = 1 \dots L$ คือกฎพีชชี่ในฐานข้อมูลกฎที่มีค่าความแข็งแรงต่อ X' มากที่สุด

Initialize the system environment.
Repeat (trial-and-error)
 Perceive the environment state
 If (no rules good enough response)
 Create a new rule
 Choose consequent part of each rule using e-greedy
 Calculate the system action and Q-function
 Take action to environment
 Observe reward and calculate credit distribution
 For (each rules)
 Update q-value according the credit distribution
 If (enough experience of trial-and-error)
Take ES
Until (the goal is met)

รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการเรียนรู้ของระบบ

3.3 องค์ประกอบของการเรียนรู้แบบรีอินโฟซเมนต์

สำหรับแต่ละ X' ถ้ากำหนดให้ระบบมีกฎพีชชี่อยู่ในฐานข้อมูลกฎจำนวน 2 กฎ และ $f_{jk}(\cdot)$ คือค่าของตัวแปรคอนซีควนต์ที่ถูกเลือกแล้ว เอเจนท์สามารถคำนวณค่าเอาท์พุท A' และค่า $Q(X', A')$ ของระบบ ณ เวลา t ได้ดังสมการที่ (27) และ (28)

$$A' = \frac{\sum_{j=1}^L w_j(X') f_{jk}(X')}{\sum_{j=1}^L w_j(X')} \quad (27)$$

และ

$$Q(X') = \frac{\sum_{j=1}^L w_j(X') q_{jk}}{\sum_{j=1}^L w_j(X')} \quad (28)$$

3.4 การกระจายค่าตอบสนองของย่อนกลับ (Credit Distribution)

หลังจากระบบได้ปล่อยเอาท์พุทที่ได้จาก (27) ไปยังสิ่งแวดล้อมและรับค่ารีวอดกลับมาแล้ว ค่า $Q(s,a)$ ตามอัลกอริทึม QL จะต้องถูกปรับค่าไปตามสมการที่ (31) แต่เนื่องจากในระบบที่นำเสนอ นี้มีการคำนวณค่า $Q(\cdot)$ เป็นไปตาม (28) ดังนั้นระบบจากต้องปรับค่า $Q(\cdot)$ ทางอ้อมนั่นก็คือระบบ จะต้องปรับค่า q_{jk} ใน (28) สำหรับทุก $j = 1..L$ หรืออาจกล่าวได้ว่า $Q(\cdot)$ ก็จะถูกปรับค่าโดยนัย ด้วย เหตุนี้งานวิจัยนี้เลยนำเสนออัลกอริทึมสำหรับปรับค่า $Q(\cdot)$ โดยอ้างอิงตาม TD บนฐานของ Steepest Descent Method ดังแสดงในสมการที่ (29)

$$\begin{aligned} E &= (1/2)(\Delta Q(X', A'))^2 \\ &= (1/2)(r^{t+1} + \gamma Q(X^{t+1}) - Q(X', A'))^2 \end{aligned} \quad (29)$$

ในขั้นตอนการเรียนรู้จะพยายามลดค่า $\Delta Q(X', A')$ หรืออาจจะมองเป็นค่า Error ของระบบให้เข้าใกล้ ศูนย์ค่าศูนย์ ซึ่งจาก (29) ถ้าหากใส่ partial difference ทั้งสองข้างเทียบกับ q_{jk} ก็เท่ากับเป็นการลดค่า Error ของระบบด้วยการปรับ q_{jk} นั้นเอง ดังแสดงในสมการที่ (30)

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial q'_{jk}} &= \Delta Q(X', A') \frac{\partial}{\partial q'_{jk}} \Delta Q(X', A') \\ &= \Delta Q(X', A') \frac{\partial}{\partial q'_{jk}} (r^{t+1} + \gamma \max_{b \in \mathcal{B}(X^{t+1})} Q(X^{t+1}, b) - Q(X', A')) \\ &= \Delta Q(X', A') \frac{\partial}{\partial q'_{jk}} (-Q(X', A')) \\ &= \Delta Q(X', A') \frac{\partial}{\partial q'_{jk}} \left(\sum_{i=1}^L w_i(X') q'_{ik} / \sum_{i=1}^L w_i(X') \right) \\ &= \Delta Q(X', A') (w_j / \sum_{i=1}^L w_i(X')) \end{aligned} \quad (30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 q'_{jk}{}^{+1} &= q'_{jk} - \alpha \frac{\partial E}{\partial q'_{jk}} \\
 &= q'_j + \alpha (\Delta Q(x', a')) (w_j(x') / \sum_{i=1}^L w_i(X'))
 \end{aligned}
 \tag{31}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลการเลี้ยงกุ้ง ณ สถานีฟาร์ม อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบสูงที่สุดต่ออัตราการรอดชีวิตของลูกกุ้งคือค่าแอมโมเนียและค่าไนโตรทรีนบ่ออนุบาล ดังนั้นถ้าหากต้องการควบคุมคุณภาพของน้ำในบ่ออนุบาลโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากบ่อน้ำดีเข้าสู่บ่ออนุบาลสามารถทำได้โดยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนโตรทรีนก็เพียงพอ

4.1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียและไนโตรทรีนบ่ออนุบาล

เนื่องจากการเรียนรู้ของระบบควบคุมพืชซึ่งจากสิ่งแวดล้อมจริงๆ คือบ่ออนุบาลกุ้งจริงๆ นั้นต้องใช้ต้นทุนค่อนข้างสูง เพราะอาจจะทำให้ลูกกุ้งตายในช่วงของการเรียนรู้ของระบบฯ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองคุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมโมเนียเพียงและค่าไนโตรทรีน ภายใต้ข้อกำหนดมีการถ่ายน้ำในบ่ออนุบาลออกก่อน d ลิตรก่อนที่จะปล่อยน้ำจากบ่อน้ำดีเข้ามาในบ่ออนุบาล c ลิตรเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและไนโตรทรีนบ่ออนุบาลได้ดังสมการที่ (32) และ (33)

$$DB_{t+1} = dA + (D-d)B_t \quad (32)$$

$$B_{t+1} = d(A-B_t)/D + B_t$$

และ

$$DC_{t+1} = dN + (D-d)C_t \quad (33)$$

$$C_{t+1} = d(N-C_t)/D + C_t$$

เมื่อ D คือ ปริมาตรของน้ำในบ่ออนุบาล

A คือ ปริมาณแอมโมเนียในบ่อน้ำดี

N คือ ปริมาณไนโตรทรีนบ่อน้ำดี

B_t คือ ปริมาณแอมโมเนียในบ่ออนุบาลก่อนมีการปล่อยน้ำเสียออกและปล่อยน้ำดีเข้า

B_{t+1} คือ ปริมาณแอมโมเนียในบ่ออนุบาลหลังปล่อยน้ำเสียออกและปล่อยน้ำดีเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_t คือ ปริมาณไนโตรเจนในบ่ออนุบาลก่อนมีการปล่อยน้ำเสียออกและปล่อยน้ำดีเข้า

C_{t+1} คือ ปริมาณไนโตรเจนในบ่ออนุบาลหลังปล่อยน้ำเสียออกและปล่อยน้ำดีเข้า

d คือ ปริมาตรของน้ำที่ปล่อยออกและปล่อยเข้าบ่ออนุบาล

โดยที่ค่า d คำนวณได้จาก

$$d = QVT$$

เมื่อ $Q = (20)^{1/2} * H * P$ คืออัตราการไหลของน้ำในท่อ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

H คือค่าความต่างระดับของบ่อน้ำดีและบ่ออนุบาล (เมตร)

P คือค่าพื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ (ตารางเมตร)

V คือค่าตำแหน่งของวาล์ว v_1 และ v_2

T คือค่าช่วงเวลา (วินาที)

4.2 การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองจะกระทำบนสิ่งแวดล้อมจำลองโดยพิจารณาเฉพาะค่าแอมโมเนียและไนโตรเจนเท่านั้น อินพุตของระบบจะเป็นค่าแอมโมเนียและไนโตรเจนในบ่ออนุบาล ณ เวลาใดๆ $X = (NH_3, NO_2)$ หรือจากสมการ (...) และ () จะได้ $X = (B, C)$ ในการทดลองจะปรับค่า B และ C ให้เข้าสู่ค่ามาตรฐานโดยการหารด้วย 4.0 และออกแบบให้มีค่า reward (r^t) ที่ตอบกลับจากสิ่งแวดล้อมเป็นลักษณะไบนารีคือ

$$r^t = \begin{cases} 0 & \text{if } 0.8 \leq B \leq 1.0 \text{ and if } 0.8 \leq C \leq 1.0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

นั่นคือ $r^t = 0$ สำหรับ "success" และ $r^t = -1$ สำหรับ "failure" ในการทดลองได้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบดังนี้ $\alpha = 0.1$ $\gamma = 0.9$ $w_0 = 0.5$ $\sigma_w = 0.2$ $K = 20$ $E_0 = 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบควบคุมแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ

ลำดับ	น้ำในบ่ออนุบาลก่อนปรับ		น้ำที่ถ่ายออก		น้ำในบ่ออนุบาลหลังปรับ	
	แอมโมเนีย	ไนโตร	ลิตร	ร้อยละ	แอมโมเนีย	ไนโตร
1	3.5	3.5	842.9777	84.29	0.8867	0.8867
2	3.5	3.0	842.9777	84.29	0.8867	0.8082
3	3.5	2.5	842.9777	84.29	0.8867	0.7297
4	3.5	2.0	842.9777	84.29	0.8867	0.6512
5	3.5	1.5	842.9777	84.29	0.8867	0.5727
6	3.5	1.0	842.9777	84.29	0.8867	0.4942
7	3.0	3.0	790.2916	79.02	0.9452	0.9452
8	2.5	2.5	737.6055	73.76	0.9510	0.9510
9	2.0	2.0	632.2333	63.22	0.9884	0.9884
10	1.5	1.5	474.1749	47.41	0.9784	0.9784
11	1.0	1.0	52.6861	5.26	0.9683	0.9683
				ค่าเฉลี่ย	0.9228	0.8158

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการปรับคุณสมบัติแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ โดยทำการทดลองจำนวน 11 ครั้ง เมื่อกำหนดความต้องการเป็น ค่าแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่ออนุบาลอยู่ในช่วง [0.8,1.0] ความจุของบ่ออนุบาล (D) เป็น 1000 ลิตร และค่า TAU เป็น 60 วินาที จากผลการทดลองพบว่าระบบจะปรับคุณสมบัติของน้ำในบ่ออนุบาลโดยอ้างอิงปัจจัย(แอมโมเนียและไนโตร)ตัวที่มีค่าสูงที่สุดเป็นหลักในการตัดสินใจปล่อยน้ำเสียทิ้งและปล่อยน้ำดีเข้ามา ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียและไนโตรหลังจากปรับสภาพน้ำแล้วเข้าใกล้ค่า 0.9 ซึ่งเป็นค่าที่กุ้งสามารถมีชีวิตรอดได้ ถ้าหากค่าของแอมโมเนียและไนโตรที่น้อยกว่าค่านี้จะส่งผลให้มีอัตราการรอดชีวิตในร้อยละที่สูงกว่าแต่กระบวนการจะต้องสิ้นเปลืองน้ำดีที่จะถ่ายเข้าไปยังบ่ออนุบาลมาก ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงเหตุผลทางธุรกิจแล้วเกษตรกรจึงเลือกจุดเหมาะสมของค่าแอมโมเนียและไนโตรที่อยู่ที่ค่าน้อยกว่า 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการชีวิตรอดของลูกกุ้ง โดยที่คุณสมบัติของน้ำในบ่ออนุบาลมีหลายปัจจัย เช่น ความเค็ม อุณหภูมิ พีเอช (pH) อัลคาไลน์ แอมโมเนีย และ ไนโตรท์ เป็นต้น แต่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการรอดชีวิตของลูกกุ้งและไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าที่สุดคือ แอมโมเนียและไนโตรท์ ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้จะมีความสัมพันธ์สามารถเปลี่ยนรูปกลับไปมากันได้ ดังนั้นในการควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่ออนุบาลจึงสามารถอ้างอิงจากค่าแอมโมเนียและไนโตรท์ก็เพียงพอ กระบวนการควบคุมแอมโมเนียและไนโตรท์ในบ่ออนุบาลทำได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่ออนุบาลในระดับที่เหมาะสมเพื่อควบคุมค่าแอมโมเนียและไนโตรท์ให้มีค่าต่ำกว่า 1.0 เสมอ

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ระบบควบคุมพีชชีแบบเรียนรู้ได้มาใช้ควบคุมระดับแอมโมเนียและไนโตรท์ในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ จุดเด่นของระบบที่นำเสนอคือระบบสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง โดยที่ระบบควบคุมพีชชีปกติจำเป็นต้องอาศัยความรู้จากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์นำมาแทนอยู่ในรูปพีชชีที่เซตจึงทำให้การออกแบบระบบควบคุมพีชชีเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเมื่อระบบใหญ่ขึ้น อีกทั้งความรู้ที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญบางครั้งก็อาจจะมีความซ้ำซ้อนหรือขัดแย้งกันได้ ซึ่งเป็นเหตุให้ระบบควบคุมพีชชีดังกล่าวทำงานผิดพลาดได้ แต่ระบบที่ได้นำเสนอนี้สามารถสร้างกฎพีชชีได้เองแบบอัตโนมัติเพื่อลดความซับซ้อนในขั้นตอนการออกแบบ ลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น และเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน ในเชิงพาณิชย์ และอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามในการนำไปประยุกต์ในการใช้งานจริงนั้นจำเป็นต้องนำระบบนี้ไปทำงานบนอุปกรณ์ Embedded Systems ซึ่งบนอุปกรณ์เหล่านี้จะมีข้อจำกัดในเรื่องทรัพยากรค่อนข้างมาก เช่น ความเร็วของหน่วยประมวลผลกลาง หรือหน่วยความจำ เป็นต้น ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้ผู้วิจัยจะได้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาระบบควบคุมดังกล่าวให้สามารถทำงานบนอุปกรณ์ประเภท Embedded Systems ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sutton, R. & Barto, R. (1998) Reinforcement Learning. MIT Press.
- [2] Watkins C.J. C.H., and Dayan P. ,(1992) Q-learning, Machine Learning. vol. 3, pp. 279-292.
- [3] Holland, J.H. (1976) Adaptation. In Rosen & Snell (eds) Progress in Theoretical Biology.
- [4] Wilson, S.W. (1995) Classifier Fitness Based on Accuracy. Evolutionary Computation 3(2):149-76.
- [5] Booker, L.B. (1989) Triggered Rule Discovery in Classifier Systems. In J.D. Schaffer (ed) Proceeding of the Third International Conference on Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann, pp265-274



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ก.1 ความต้องการของระบบ

ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98SE, Me, Xp, Win2000, Unix, Linux, Mac

หน่วยความจำ 256 MB หรือสูงกว่า

Java Virtual Machine(JVM) 1.4 หรือสูงกว่า

ก.2 คู่มือโปรแกรม

โปรแกรมระบบที่นำเสนอเขียนด้วยภาษาจาวา โดยใช้เครื่องมือ JBuilder9.0 โครงสร้างของโปรแกรมแบ่งออกเป็น package ต่างๆดังนี้

application.fuzzyshower

FuzzyShowerControl.java

MainFrame.java

environment.shower

ShowerEnv.java

fuzzy

FuzzyRule.java

GaussianFunction.java

graphics.graph

Graph2D.java

gui

OpenFile.java

SaveFile.java

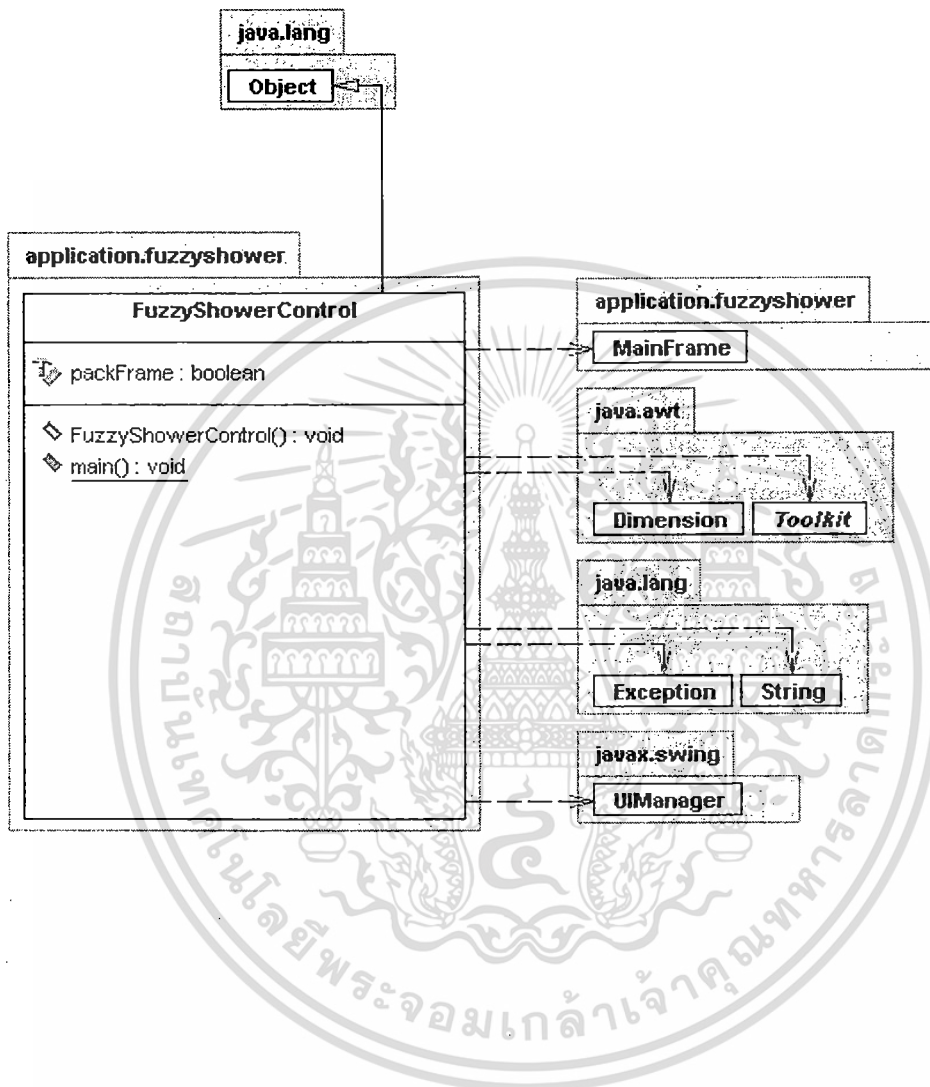
xcs

XCS_Shower_Control.java

รายละเอียดโครงสร้างของแต่ละคลาสแสดงดังนี้

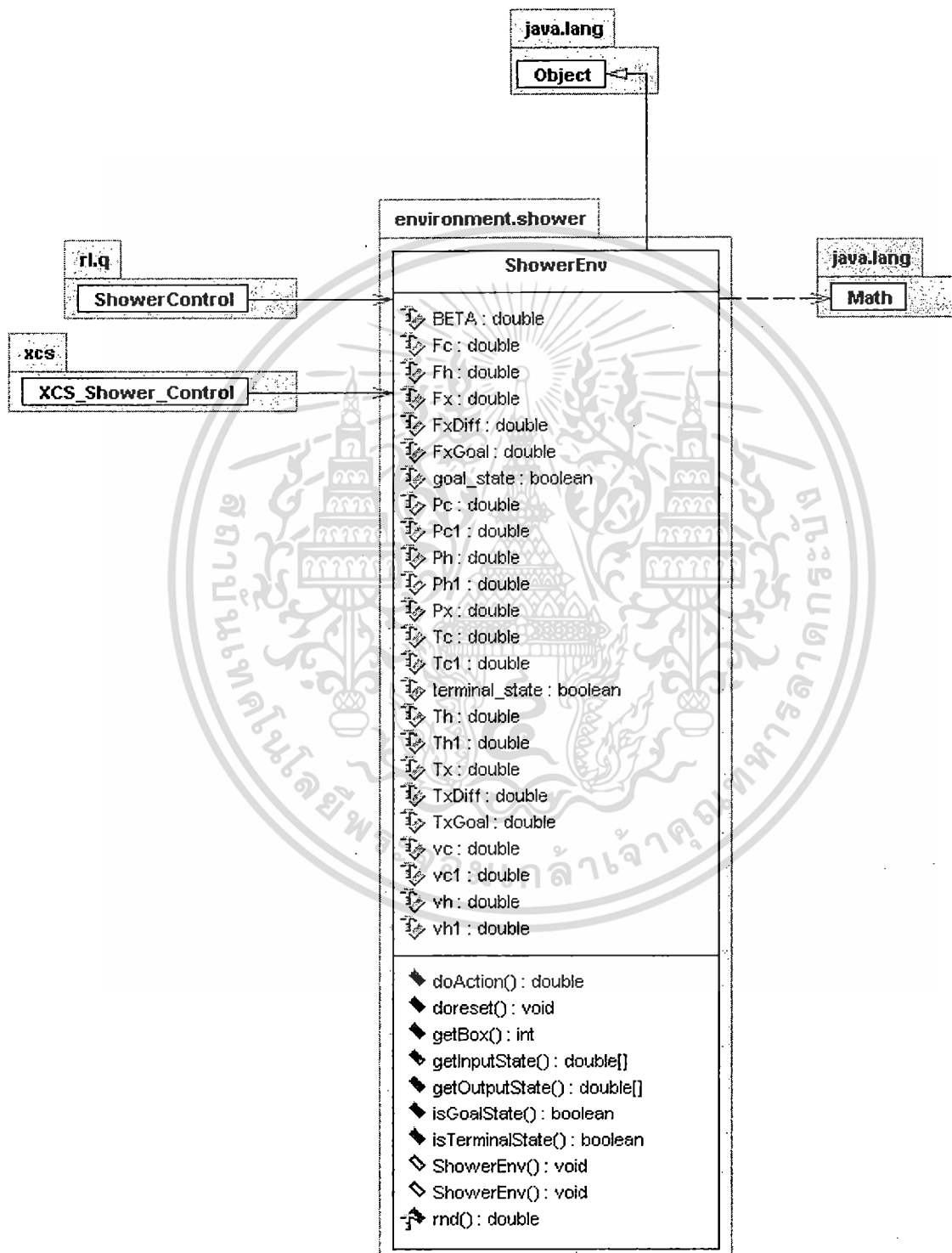
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

application.fuzzyshower.FuzzyShowerControl.java



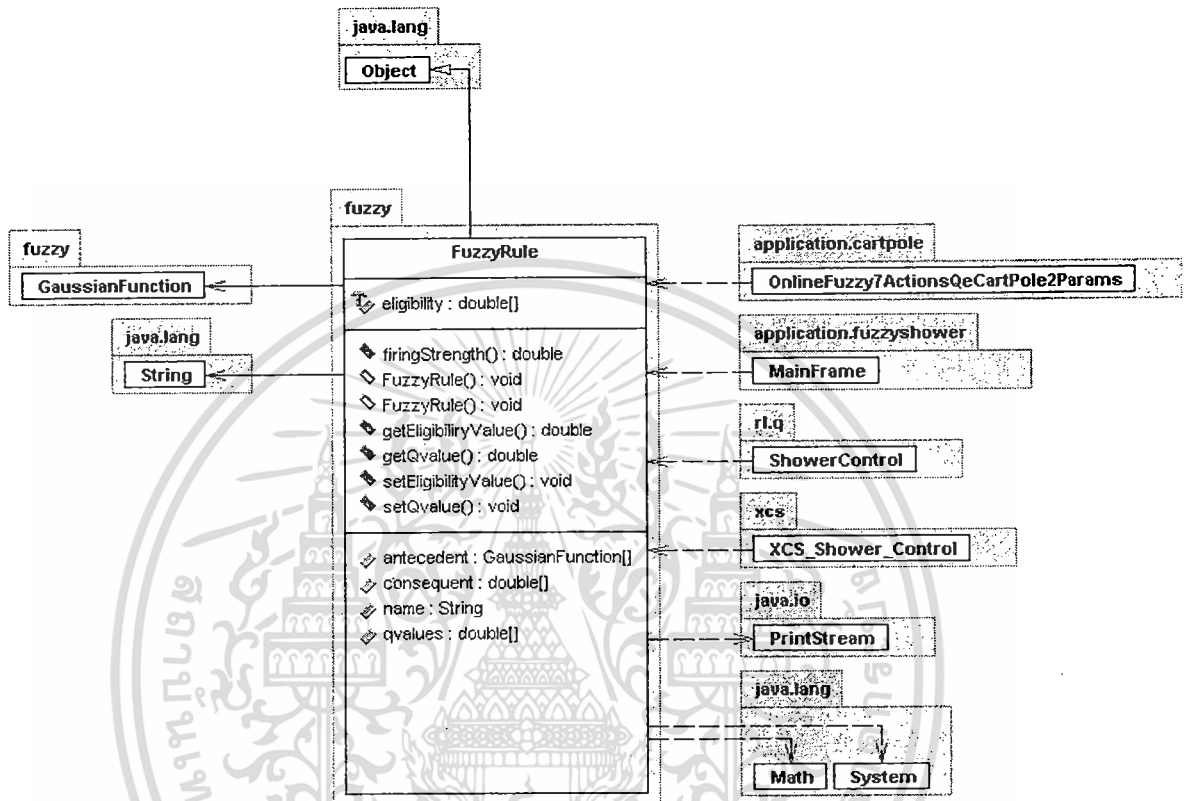
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

environment.shower.ShowerEnv.java



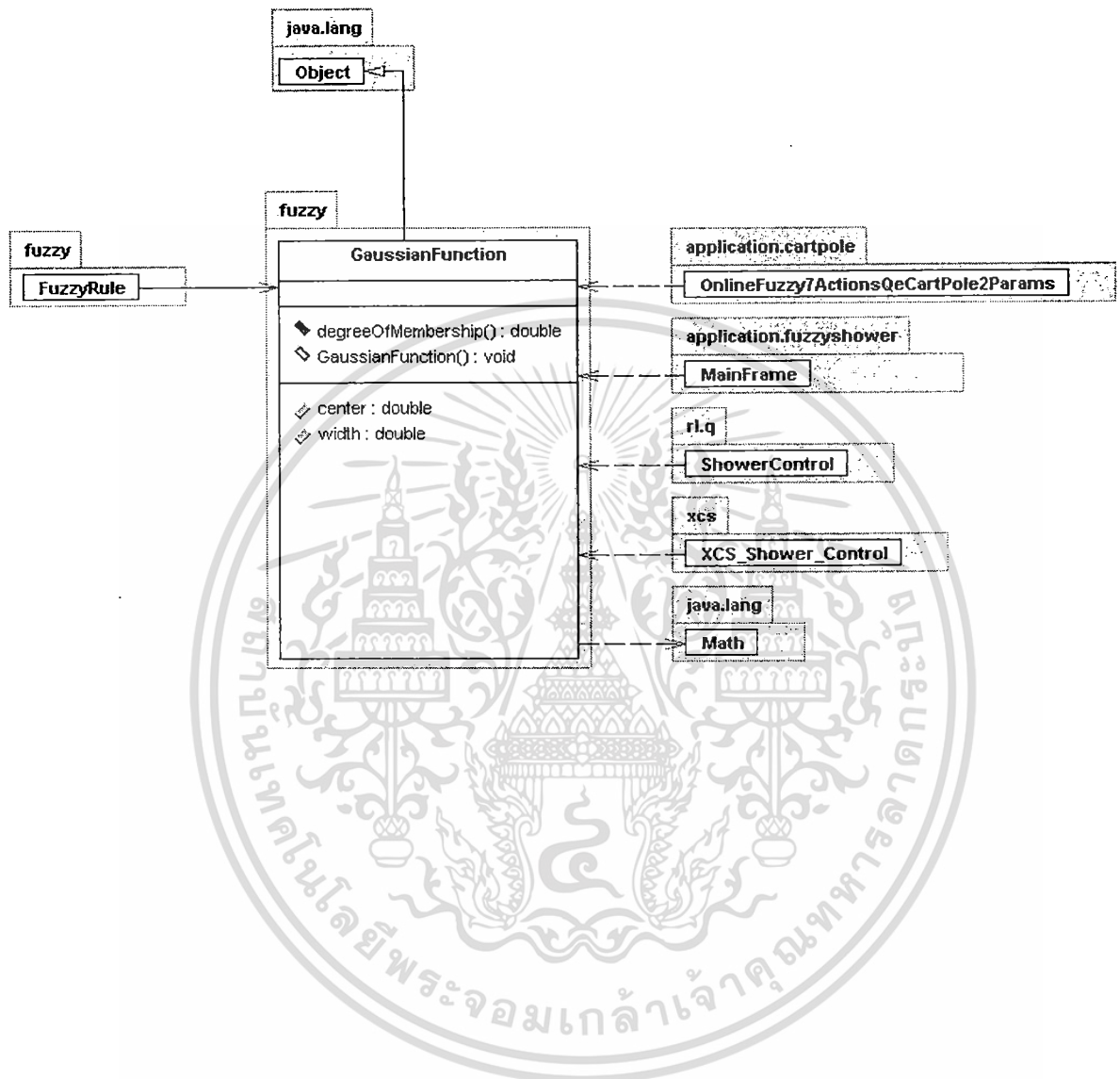
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fuzzy.FuzzyRule.java



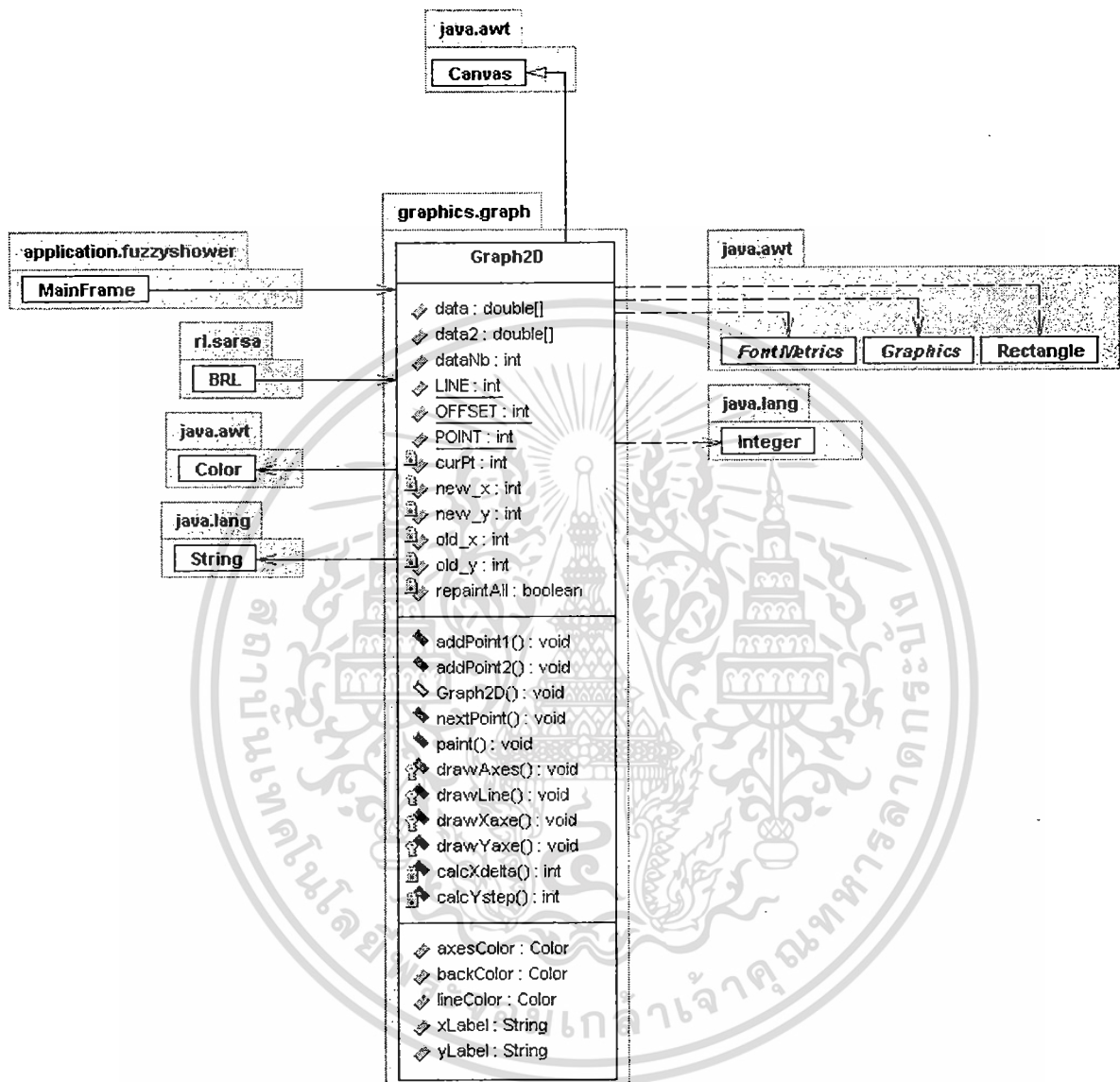
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fuzzy.GaussianFunction.java



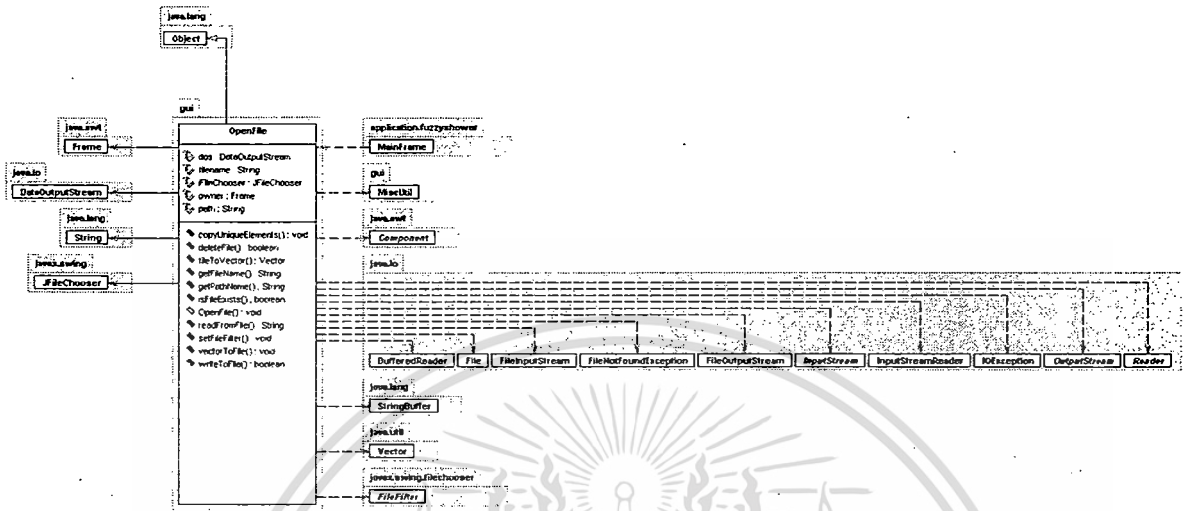
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

graphics.graph.Graph2D.java

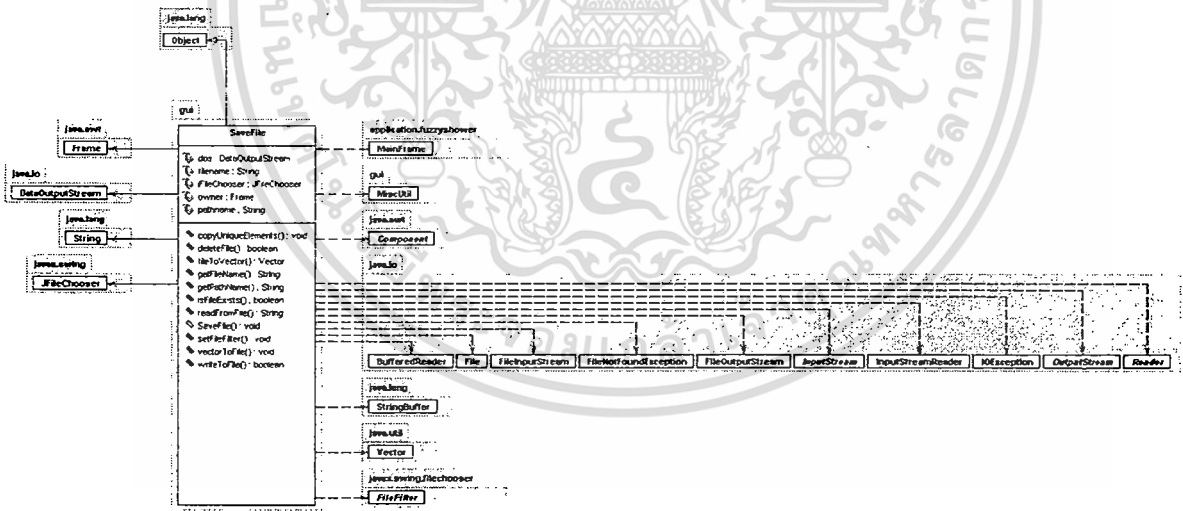


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gui.OpenFile.java



gui.SaveFile.java



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้