



โครงการประดิษฐ์สมองกลฝังตัว

Smart Coral Guard: ระบบเฝ้าระวังและประเมินความเสี่ยงปะการังฟอกขาวด้วยสมองกลฝังตัว

(Smart Coral Guard: An Embedded System for Coral Bleaching Risk Monitoring and Assessment)

จัดทำโดย

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| 1. เด็กหญิงพลอยปภัส นวลแก้ว | มัธยมศึกษาปีที่ 2 |
| 2. นางสาวอรกานต์ แซ่จ้าว | มัธยมศึกษาปีที่ 3 |
| 3. นายธีรภัทร แสงจำนงค์ | มัธยมศึกษาปีที่ 3 |

ครูที่ปรึกษา

นางสาวภัทรรัฐพร	สุทธิพันธ์
นายชัยวุฒิ	กระวีพันธ์

โรงเรียนโรงเรียนโสตศึกษาจังหวัดนครศรีธรรมราช สำนักบริหารงานการศึกษาพิเศษ
สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ
รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการประกวดโครงงานสิ่งประดิษฐ์สมองกลฝังตัว

ชื่อเรื่องวิจัยภาษาไทย: Smart Coral Guard: ระบบเฝ้าระวังและประเมินความเสี่ยงปะการังฟอกขาวด้วยสมองกลฝังตัว

ชื่อภาษาอังกฤษ: Smart Coral Guard: An Embedded System for Coral Bleaching Risk Monitoring and Assessment

คณะผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| 1. เด็กหญิงพลอยปภัส นวลแก้ว | มัธยมศึกษาปีที่ 2 |
| 2. นางสาวอรกานต์ แซ่จ้าว | มัธยมศึกษาปีที่ 3 |
| 3. นายธีรภัทร แสงจำนงค์ | มัธยมศึกษาปีที่ 3 |

ครูที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. นางสาวภัทรีฐพร สุทธิพันธ์ | ตำแหน่ง ครู (pat.suttipan@gmail.com) |
| 2. นายชัยวุฒิ กระวีพันธ์ | ตำแหน่ง พนักงานราชการ (Chaiwut.fg@gmail.com) |

สังกัด โรงเรียนโสตศึกษาจังหวัดนครศรีธรรมราช **สำนักบริหารงานการศึกษาพิเศษ**

บทคัดย่อ

โครงการนี้พัฒนาระบบตรวจวัดและเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมทางทะเลเพื่อประเมินความเสี่ยงการเกิดปะการังฟอกขาว โดยบูรณาการเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวและปัญญาประดิษฐ์ ระบบใช้บอร์ด KidBright321A ควบคุมเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DS18B20) ความขุ่น (Turbidity) และความเข้มแสง (BH1750FVI) เพื่อจัดเก็บข้อมูลทุก 15 นาที ควบคู่กับการใช้กล้อง ESP32-CAM ร่วมกับโมเดล YOLO วิเคราะห์ภาพถ่ายปะการังเพื่อตรวจจับสัญญาณการฟอกขาวในระยะเริ่มต้น

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งและจัดเก็บผ่านภาษา PHP ลงในฐานข้อมูล MySQL เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงตามเกณฑ์ดัชนีชี้วัด ได้แก่ อุณหภูมิน้ำทะเลมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ความขุ่นของน้ำมากกว่า 10 NTU และความเข้มแสงมากกว่า 10,000 ลักซ์ โดยระบบสามารถแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ดที่พัฒนาด้วยภาษา Python และแจ้งเตือนสถานการณ์เสี่ยงแบบเรียลไทม์ นวัตกรรมดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการสนับสนุนการอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเล และเป็นต้นแบบสื่อการเรียนรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง ทั้งนี้ โครงการ Smart Coral Guard เป็นการพัฒนาระบบต้นแบบในระดับแนวคิด (Conceptual Prototype) โดยนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ภายใต้การให้คำปรึกษาและกำกับดูแลของครูที่ปรึกษา เพื่อแสดงศักยภาพในการบูรณาการเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวและปัญญาประดิษฐ์ในเชิงการเรียนรู้และนวัตกรรม

คำสำคัญ : ภาษาไทย: ปะการังฟอกขาว, สมองกลฝังตัว, ปัญญาประดิษฐ์

ภาษาอังกฤษ: Coral Bleaching, Embedded System, Artificial Intelligence

บทนำ (Introduction)

แนวปะการังเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความหลากหลายทางชีวภาพและเสถียรภาพของระบบนิเวศชายฝั่ง โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตทางทะเลจำนวนมาก และให้บริการระบบนิเวศที่มีคุณค่าทั้งด้านการประมง การป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง และการท่องเที่ยว แม้แนวปะการังจะครอบคลุมพื้นที่เพียงส่วนน้อยของมหาสมุทร แต่กลับมีบทบาทเชิงนิเวศและเศรษฐกิจในระดับสูง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันแนวปะการังทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาการเสื่อมโทรมอย่างรุนแรง โดยเฉพาะปรากฏการณ์ “ภาวะปะการังฟอกขาว” ซึ่งเป็นหนึ่งในสัญญาณสำคัญของความไม่สมดุลของสภาพแวดล้อมทางทะเล

ภาวะปะการังฟอกขาวเกิดจากความเครียดทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลให้ปะการังสูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลี ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของปะการัง ปัจจัยสำคัญที่ได้รับการยอมรับว่ามีผลต่อการเกิดภาวะดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงเกิน 30–31 องศาเซลเซียส ความขุ่นของน้ำที่ลดการส่องผ่านของแสง และความเข้มแสงที่สูงผิดปกติ โดยเฉพาะเมื่อหลายปัจจัยเกิดร่วมกันจะส่งผลแบบเสริมฤทธิ์ ทำให้กระบวนการฟอกขาวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง แม้จะมีเกณฑ์ทางวิชาการที่ชัดเจน แต่การเฝ้าระวังแนวปะการังในปัจจุบันยังคงพึ่งพาการสำรวจภาคสนามเป็นหลัก ซึ่งมีข้อจำกัดด้านต้นทุน ความต่อเนื่องของข้อมูล และการตอบสนองต่อสถานการณ์เสี่ยงในระยะเริ่มต้น

จากช่องว่างดังกล่าว คณะผู้จัดทำจึงพัฒนาโครงการ Smart Coral Guard: ระบบเฝ้าระวังและประเมินความเสี่ยงปะการังฟอกขาวด้วยสมองกลฝังตัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางทะเลแบบอัตโนมัติ วิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงจากข้อมูลเชิงบูรณาการ และแสดงผลการเฝ้าระวังในลักษณะที่เข้าใจง่ายและใกล้เคียงแบบเรียลไทม์ ระบบดังกล่าวบูรณาการเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว เซนเซอร์ตรวจวัด และปัญญาประดิษฐ์เพื่อช่วยยืนยันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปะการัง อันเป็นแนวทางในการยกระดับการเฝ้าระวังทรัพยากรทางทะเล และสะท้อนศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในบริบทของการเรียนรู้และการอนุรักษ์อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในการดำเนินโครงการ Smart Coral Guard คณะผู้จัดทำได้กำหนดวัตถุประสงค์หลักไว้ 4 ประการ ดังนี้:

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดดัชนีทางกายภาพของน้ำทะเลแบบอัตโนมัติ
2. เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการข้อมูลเชิงสถิติและวิเคราะห์แนวโน้มสถานะทางทะเล
3. เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อประเมินความเสี่ยง
4. เพื่อสร้างระบบแสดงผลอัจฉริยะและการแจ้งเตือนสถานการณ์เสี่ยงแบบเรียลไทม์

ขอบเขตการวิจัย (Scope of Research)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบสำหรับการเฝ้าระวังและประเมินความเสี่ยงการเกิดภาวะปะการังฟอกขาว โดยบูรณาการการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความขุ่นของน้ำ และความเข้มแสง ร่วมกับการวิเคราะห์ภาพปะการังด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ระบบใช้สมองกลฝังตัวเป็นหน่วยประมวลผลหลัก และดำเนินการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมและสถานการณ์จำลอง เพื่อยืนยันความถูกต้องของกระบวนการตรวจวัด การประมวลผลข้อมูล และการประเมินระดับความเสี่ยง ทั้งนี้ การดำเนินโครงการมุ่งเน้นการพัฒนาระบบต้นแบบในระดับแนวคิดและการสาธิตการทำงานของระบบ (Prototype / Conceptual Model) โดยนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ภายใต้การกำกับดูแลของครูที่ปรึกษา เพื่อทดสอบหลักการทำงาน ความเป็นไปได้ของระบบ และศักยภาพในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมองกลฝังตัวร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ โดยยังไม่ครอบคลุมการติดตั้งหรือการนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมทางทะเลในระยะยาว

การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

ในการพัฒนาโครงการ Smart Coral Guard คณะผู้จัดทำได้ศึกษาทฤษฎี หลักการทางวิทยาศาสตร์ทางทะเล และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังปะการังฟอกขาว ดังนี้

นิเวศวิทยาปะการังและปรากฏการณ์ฟอกขาว (Coral Bleaching)

ปะการังดำรงชีวิตผ่านความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัย (Symbiosis) กับสาหร่าย Zooxanthellae ซึ่งอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อและทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อมอบสารอาหารให้แก่ปะการัง เมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง ปะการังจะเกิดความเครียดและขับสาหร่ายออก ส่งผลให้เนื้อเยื่อใสจนมองเห็นโครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตสีขาว (CaCO_3) ซึ่งหากสภาวะผิดปกติยืดเยื้อปะการังจะตายในที่สุด (Hoegh-Guldberg, 1999)

การวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อสุขภาพปะการัง

จากการศึกษาเอกสารและเกณฑ์มาตรฐานการเฝ้าระวัง สามารถระบุดัชนีชี้วัดวิกฤตที่นำมาใช้ในนวัตกรรมได้ดังนี้

- อุณหภูมิ น้ำทะเล (Water Temperature): เป็นปัจจัยหลักที่กระตุ้นการฟอกขาว โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า 30 °C จะเริ่มทำให้ปะการังเครียด และหากสูงถึง 31 °C ติดต่อกันหลายวัน จะถือเป็นจุดวิกฤตที่ส่งผลให้เกิดการฟอกขาวอย่างรุนแรง
- ความขุ่นของน้ำ (Turbidity): ตะกอนแขวนลอยในน้ำส่งผลต่อการส่องผ่านของแสง โดยเกณฑ์การวัดในหน่วย NTU ระบุว่าค่าที่ มากกว่า 10 NTU (ขุ่นมาก) จะบดบังแสงแดด ทำให้ปะการังสังเคราะห์แสงได้น้อยลงและเพิ่มความเสี่ยงต่อการตาย
- ความเข้มแสง (Light Intensity): แสงมีผลต่อการทำงานของสาหร่าย Zooxanthellae ค่าความเข้มแสงที่มากกว่า 10,000 Lux ร่วมกับสภาวะอุณหภูมิสูง จะกลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Synergistic effect) ทำให้เกิดสภาวะเครียดออกซิเดชันและเร่งกระบวนการฟอกขาวให้เร็วขึ้น

เทคโนโลยีสมองกลฝังตัวและ Internet of Things (IoT)

- **KidBright32IA** เป็นบอร์ดสมองกลฝังตัวที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มีความสามารถในการเชื่อมต่อเซนเซอร์ผ่านพอร์ต I2C และ Input/Output ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่ส่วนหน้า (Edge Computing) เพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์ DS18B20 (อุณหภูมิ), Turbidity Sensor (ความขุ่น) และ BH1750 (แสง)
- **การบริหารจัดการข้อมูล** การส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล HTTP โดยใช้ภาษา PHP เพื่อบันทึกข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล MySQL ช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลย้อนหลังเพื่อวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการสังเกตการณ์ด้วยมนุษย์เพียงอย่างเดียว

ปัญญาประดิษฐ์และการประมวลผลภาพ (Computer Vision)

YOLO (You Only Look Once) เป็นอัลกอริทึมในกลุ่ม Deep Learning ที่มีความเร็วในการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ โครงการนี้ได้นำ YOLO มาประยุกต์ใช้ร่วมกับกล้อง ESP32-CAM เพื่อจำแนกสถานะทางกายภาพของปะการัง โดยเน้นการตรวจจับสัญญาณสีซีดจาง (Paling) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความเสี่ยงก่อนที่ปะการังจะเข้าสู่ภาวะฟอกขาวสมบูรณ์

การแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือนอัจฉริยะ

Data Visualization: การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลผ่าน Dashboard ที่พัฒนาด้วยภาษา Python ช่วยให้การตีความข้อมูลที่มีความซับซ้อน (Multi-sensor data) กลายเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น กราฟแสดงแนวโน้มและสถานะความเสี่ยง (ปกติ/เริ่มเสี่ยง/เสี่ยงสูง) ช่วยให้การแจ้งเตือนสถานการณ์ผิดปกติทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

การเชื่อมโยงกับนวัตกรรม Smart Coral Guard:

บทสรุปจากการทบทวนวรรณกรรมชี้ให้เห็นว่า การเฝ้าระวังที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยการวิเคราะห์แบบ "บูรณาการหลายปัจจัย" นวัตกรรม Smart Coral Guard จึงถูกออกแบบมาให้ทำงานประสานกันระหว่าง การตรวจวัดเชิงตัวเลข (Sensors) และ การยืนยันเชิงกายภาพ (AI Camera) เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของระบบตรวจวัดทั่วไปที่อาจเกิดความผิดพลาดจากตัวแปรเดียว ทำให้ระบบนี้เป็นเครื่องมือที่แม่นยำสำหรับการอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลในยุคดิจิทัล

วิธีดำเนินการวิจัย

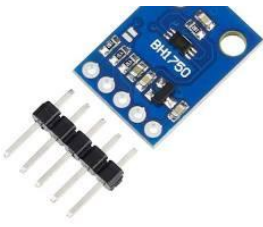
1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

โครงการนี้ใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์หลากหลายชนิดเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์แต่ละชิ้นได้รับการคัดเลือกอย่างรอบคอบโดยพิจารณาจากความเหมาะสมกับงาน ความแม่นยำ ราคา และความพร้อมใช้งานในท้องตลาด

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์สำหรับโครงการ Smart Coral Guard

รายการอุปกรณ์	คุณสมบัติ / สเปกสำคัญ	หน้าที่ในระบบ
1. บอร์ด KidBright32IA จำนวน 1 ชุด  ที่มา: KidBright. (2567). KidBright32IA Board [ภาพประกอบ]. สืบค้นจาก https://www.kid-bright.org	MCU ESP32, รองรับ Wi-Fi/Bluetooth, มีจอ LED Dot Matrix, พอร์ต USB-C	เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Main Controller) และส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT
2. โมดูลกล้อง ESP32-CAM พร้อมเลนส์ จำนวน 1 ชุด  ที่มา: AI-Thinker. (2567). ESP32-CAM Module [ภาพประกอบ]. สืบค้นจาก https://www.ai-thinker.com	กล้อง 2MP, รองรับ MicroSD Card, มีไฟแฟลชในตัว, เลนส์มุมกว้าง M12	บันทึกภาพปะการังเพื่อวิเคราะห์สีและตรวจจับการฟอกขาวด้วย AI
3. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 แบบกันน้ำ จำนวน 1 ชุด  ที่มา: Maxim Integrated. (2567). DS18B20 Waterproof Probe [ภาพประกอบ]. สืบค้นจาก https://www.maximintegrated.com	ช่วงวัด -55 ถึง 125 องศาเซลเซียส, ความแม่นยำ +/- 0.5, สายกันน้ำ 1 เมตร	ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำทะเลที่เป็นปัจจัยหลักของการฟอกขาว
4. เซนเซอร์วัดความขุ่น Turbidity Sensor รุ่น SEN0189 จำนวน 1 ชุด 	แรงดันไฟ 5V DC, เอาต์พุต Analog/Digital, ช่วงการวัด 0-3000 NTU	วัดความโปร่งแสงของน้ำที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของปะการัง

รายการอุปกรณ์	คุณสมบัติ / สเปกสำคัญ	หน้าที่ในระบบ
ที่มา: DFRobot. (2569). <i>Analog Turbidity Sensor</i> [ภาพประกอบ]. สืบค้นจาก https://www.dfrobot.com		
5. เซนเซอร์แสง BH1750FVI จำนวน 1 ชุด  ที่มา: Rohm Semiconductor. (2569). <i>BH1750FVI Digital Light Sensor</i> [ภาพประกอบ]. สืบค้นจาก https://www.rohm.com	ความละเอียด 1-65535 lx, อินเทอร์เฟซ I2C, ความไวแสงใกล้เคียงดวงตามนุษย์	วัดค่าความเข้มแสงแดดสะสม (UV/Light Intensity) ในพื้นที่

2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินโครงการ Smart Coral Guard แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและทบทวนวรรณกรรม ศึกษาข้อมูลด้านนิเวศวิทยาปะการัง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปะการังฟอกขาว และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สมอกลฝั่งตัว ระบบ Internet of Things และการประมวลผลภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดตัวแปร เกณฑ์ประเมินความเสี่ยง และแนวทางการออกแบบระบบ

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบระบบและโครงสร้างการทำงาน ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบโดยแบ่งเป็นส่วนตรวจวัด (Sensors & Camera) ส่วนประมวลผล (Embedded System & AI) และส่วนจัดเก็บและแสดงผลข้อมูล (Database & Dashboard) พร้อมกำหนดการไหลของข้อมูลตั้งแต่การอ่านค่าจากเซนเซอร์ การบันทึกภาพปะการัง ไปจนถึงการประเมินระดับความเสี่ยงแบบบูรณาการ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบ พัฒนาโปรแกรมควบคุมบนบอร์ดสมอกลฝั่งตัวเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสงทุก 15 นาที ควบคู่กับการพัฒนาระบบประมวลผลภาพด้วยอัลกอริทึม YOLO สำหรับจำแนกสภาพปะการัง ดำเนินการสอบเทียบและทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ รวมถึงทดสอบความเสถียรของการส่งข้อมูลและการประมวลผลภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุม

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย นำข้อมูลจากเซนเซอร์และผลการวิเคราะห์ภาพด้วย AI มาประมวลผลร่วมกันเพื่อประเมินระดับความเสี่ยงการเกิดปะการังฟอกขาว วิเคราะห์ความถูกต้อง ความเสถียร และประสิทธิภาพของระบบ จากนั้นสรุปผล อภิปรายข้อค้นพบ และเสนอแนวทางการพัฒนาต่อยอดในอนาคต

ผลการวิจัย (Results)

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบ **Smart Coral Guard** สามารถพัฒนาเป็นระบบต้นแบบที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย โดยระบบสามารถบูรณาการการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพของสภาพแวดล้อมทางทะเลร่วมกับการวิเคราะห์ภาพปะการังด้วยปัญญาประดิษฐ์ได้อย่างเป็นระบบ จากการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมเป็นระยะเวลา 7 วัน ระบบมีความเสถียรในการทำงานสูง โดยสามารถส่งและจัดเก็บข้อมูลได้สำเร็จคิดเป็นร้อยละ 99.55 ซึ่งสะท้อนถึงความพร้อมของระบบในเชิงโครงสร้างและการจัดการข้อมูลแบบอัตโนมัติ

1. ผลการทดลองการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพของสภาพแวดล้อมทางทะเล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำทะเล DS18B20 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำ (MAE = 0.32°C) และสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงวิกฤตที่สัมพันธ์กับการเกิดภาวะปะการังฟอกขาวได้อย่างเหมาะสม ขณะที่เซนเซอร์วัดความขุ่นและความเข้มแสงสามารถตรวจวัดค่าได้อย่างเสถียรและครอบคลุมช่วงค่าที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูแซนเทลลี รายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพของสภาพแวดล้อมทางทะเล

ปัจจัยที่ตรวจวัด	อุปกรณ์ที่ใช้	ช่วงค่าที่วัดได้จากการทดลอง	เกณฑ์ประเมินความเสี่ยง	ผลการทดลอง
อุณหภูมิในน้ำทะเล (°C)	DS18B20	27.8 – 32.4	> 30–31°C	ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ต่อเนื่อง มีความคลาดเคลื่อนต่ำ (MAE = 0.32°C)
ความขุ่นของน้ำ (NTU)	Turbidity Sensor	2.1 – 18.6	> 10 NTU	ตรวจวัดได้แม่นยำในช่วงที่มีผลต่อปะการัง
ความเข้มแสง (Lux)	BH1750FVI	350 – 12,800	> 10,000 Lux	วัดค่าได้เสถียรในช่วงแสงวิกฤต
การส่งข้อมูล	ระบบ IoT	สำเร็จ 99.55%	≥ 95%	ระบบมีความเสถียรและกู้คืนข้อมูลได้อัตโนมัติ

ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าชุดเซนเซอร์และระบบสื่อสารข้อมูลมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมทางทะเลในระดับระบบต้นแบบเชิงวิจัย

2. ผลการประเมินความเสี่ยงแบบบูรณาการ (Integrated Risk Assessment)

เมื่อพิจารณาผลการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพร่วมกับการวิเคราะห์ภาพปะการังด้วยปัญญาประดิษฐ์ พบว่าระบบสามารถจำแนกระดับความเสี่ยงได้อย่างเป็นลำดับและสอดคล้องกับหลักการทางนิเวศวิทยาปะการัง โดยระบบไม่อาศัยตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่ใช้การประมวลผลข้อมูลจากหลายแหล่งร่วมกัน เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการประเมินความเสี่ยง ผลการประเมินความเสี่ยงแบบบูรณาการแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความเสี่ยงแบบบูรณาการ (Integrated Risk Assessment Results)

เงื่อนไขจากเซนเซอร์	ผลการวิเคราะห์ภาพด้วย AI	ระดับความเสี่ยงที่ระบบ ประเมิน	การแสดงผลของ ระบบ
ค่าปกติทุกตัวแปร	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	ปกติ (Normal)	สีเขียว
อุณหภูมิสูง > 30°C	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	เฝ้าระวัง (Warning)	สีเหลือง
อุณหภูมิสูง + แสงสูง	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	เสี่ยงสูง (High Risk)	สีแดง
อุณหภูมิสูง + ความขุ่น สูง	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	เสี่ยงสูง (High Risk)	สีแดง
อุณหภูมิสูง + แสงสูง	พบการขีดขาวของปะการัง	เสี่ยงสูงมาก (Critical Risk)	สีแดง พร้อมแจ้งเตือน
ค่าปกติ แต่ภาพผิดปกติ	พบการเปลี่ยนแปลง	เฝ้าระวัง (Warning)	แจ้งเตือนตรวจสอบซ้ำ

จากผลการประเมินพบว่า การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ภาพปะการังทำหน้าที่เป็นกลไกยืนยันเชิงกายภาพ (Physical Validation) ของการประเมินความเสี่ยงจากข้อมูลเชิงตัวเลข ส่งผลให้ไม่พบการแจ้งเตือนผิดพลาดในสภาวะปกติ และช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย (Conclusion and Discussion)

การวิจัยเรื่อง Smart Coral Guard: ระบบเฝ้าระวังและประเมินความเสี่ยงปะการังฟอกขาวด้วยสมองกลฝังตัว มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบสำหรับตรวจวัดและประเมินความเสี่ยงการเกิดภาวะปะการังฟอกขาว โดยบูรณาการการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพของสภาพแวดล้อมทางทะเลร่วมกับการวิเคราะห์ภาพปะการังด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และมีศักยภาพในการใช้เป็นต้นแบบของระบบเฝ้าระวังทรัพยากรทางทะเล

ผลการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมพบว่า ระบบสามารถตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำทะเล ความขุ่น และความเข้มแสงได้อย่างต่อเนื่องและมีความเสถียร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยด้านนิเวศวิทยาปะการังที่ระบุว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวกระตุ้นสำคัญของการเกิดภาวะปะการังฟอกขาว (Hoegh-Guldberg, 1999; Fabricius, 2005; Lesser, 2006) นอกจากนี้ การประเมินความเสี่ยงแบบบูรณาการซึ่งผสานข้อมูลจากเซนเซอร์หลายประเภทกับการวิเคราะห์ภาพปะการังด้วยปัญญาประดิษฐ์ ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน และลดข้อจำกัดของการสำรวจภาคสนามโดยมนุษย์ (Hill & Wilkinson, 2004; Marwedel, 2010)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบต้นแบบและการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมและสถานการณ์จำลอง ผลลัพธ์ที่ได้จึงสะท้อนศักยภาพเชิงแนวคิดและเชิงเทคนิคของระบบในระยะเริ่มต้น ยังไม่ครอบคลุมการติดตั้งหรือการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงใต้ทะเลในระยะยาว ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาประเด็นด้านความทนทานของอุปกรณ์ ความเสถียรของระบบ และการบำรุงรักษาในระยะยาวเพิ่มเติม ทั้งนี้ โครงการ Smart Coral Guard สามารถใช้

เป็นฐานความรู้และแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบเฝ้าระวังปะการังฟอกขาวในอนาคต และเป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการเรียนรู้และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน โดยพัฒนาระบบดังกล่าวเป็นการดำเนินงานในระดับต้นแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Prototype) ซึ่งนักเรียนเป็นผู้เรียนรู้และลงมือพัฒนาภายใต้การกำกับดูแลของครูที่ปรึกษา ผลการวิจัยที่ได้จึงสะท้อนศักยภาพด้านการเรียนรู้ การคิดเชิงระบบ และการบูรณาการเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวและปัญญาประดิษฐ์ มากกว่าการมุ่งเน้นการนำไปใช้งานจริงในเชิงภาคสนามหรือเชิงพาณิชย์ในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

จากผลการวิจัยเรื่อง Smart Coral Guard สามารถสรุปข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อยอดได้ดังนี้

1. ควรขยายการทดสอบระบบไปสู่การใช้งานภาคสนามในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อประเมินความทนทานของอุปกรณ์ ความเสถียรของระบบ และประสิทธิภาพการทำงานในระยะยาว
2. ควรเพิ่มตัวแปรด้านคุณภาพน้ำอื่น ๆ เช่น ค่า pH ความเค็ม และออกซิเจนละลายน้ำ เพื่อเพิ่มความครอบคลุมและความแม่นยำในการประเมินความเสี่ยงการเกิดปะการังฟอกขาว
3. ควรพัฒนาระบบป้องกันอุปกรณ์และโครงสร้างทางกายภาพให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมทางทะเล เช่น การป้องกันการกัดกร่อนและแรงดันน้ำ
4. ควรพัฒนาระบบแสดงผลและการแจ้งเตือนให้สามารถเข้าถึงได้ผ่านอุปกรณ์พกพา เพื่อสนับสนุนการเฝ้าระวังและการตัดสินใจเชิงปฏิบัติได้อย่างทันท่วงที

เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2566). รายงานสถานการณ์ปะการังไทย ปี พ.ศ. 2566. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- Anderson, C. W. (2005). Turbidity. In *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260.
<https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: Review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125–146. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.028>
- Glynn, P. W. (1993). Coral reef bleaching: Ecological perspectives. *Coral Reefs*, 12(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1007/BF00303779>