



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง

Analysis and Design of Precision Edible-nest Swiftlet Farming Control System

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ หมั่นสกุล

TNI

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ตุลาคม 2563

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง

Analysis and Design of Precision Edible-nest Swiftlet Farming Control System

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพ หมั่นสกุล

TNI

สนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

บทคัดย่อ

สัญญาเลขที่: 2002/A004

ชื่อโครงการ: การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง

ชื่อนักวิจัย: รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ หมั่นสกุล

อีเมล: annop@tni.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 12 เดือน

การพัฒนา ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมให้เกิดเป็นฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูง (Precision Edible-nest Swiftlet Farming) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยในแง่ของการช่วยลดค่าใช้จ่ายในฟาร์มและเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตทางการเกษตร งานวิจัยนี้ได้เสนอการออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมของฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูงด้วยการใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบสภาพอุณหภูมิ และความชื้น เพื่อคำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นสัมบูรณ์และจุดไอน้ำกลั่นตัว ภายในฟาร์มที่เหมาะสมสำหรับการทำรังวางไข่ของนกแอ่นกินรัง ซึ่งอุปกรณ์ทำความชื้น และพัดลมระบายอากาศ จะทำงานแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติตามการประมวลผลของเครื่องแม่ข่ายภายใต้กระบวนการทำงานของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง ปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก ที่เกษตรกรสามารถบริหารจัดการผ่านเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองกับฟาร์มตัวอย่างส่งผลทำให้จำนวนรังนกเพิ่มได้ถึง 10 เท่าในระยะเวลา 6 เดือน และมีอัตราการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ

โดยทางผู้วิจัยได้ออกแบบการวิจัยสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ (กรณีศึกษา ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์มนกแอ่นกินรัง) ด้วยการทดลองการออกแบบและทดลองกับอาคารภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในฟาร์มนกแอ่นกินรังของศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ให้การสนับสนุนเงินทุนการวิจัยตลอดโครงการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณท่าน อาจารย์ ดร. ศราวุธ นนท์ศิริ, อาจารย์ ดร. ประมุข บุญเสียง, อาจารย์ กานดา ทิวพัฒนานนท์ และอาจารย์ Dr. Ferdin Joe John Joseph ที่ร่วมวิจัย รวมถึงขอขอบคุณคณาณานิธิศ มนต์บุรินทร์ที่ช่วยปฏิบัติการทดลองการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ หมั่นสกุล

หัวหน้าโครงการวิจัย

กุมภาพันธ์ 2564

TNI

ผลงานจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- Ferdin Joe John Joseph, Sarayut Nonsiri, Annop Monsakul, “Keras and TensorFlow - A Hands on Experience.” *Advanced Deep Learning for Engineers and Scientists: A Practical Approach*, Springer Nature, Switzerland, December 2020.
- Ferdin Joe John Joseph and Sarayut Nonsiri, “Region Specific Opinion Mining from Tweets in a Mixed Political Scenario.” *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer Verlag, Germany, October 2020.
- S. Nonsiri, P. Boonsieng, N. Vichaidis, S. Makdee, “The System Development of Real-Time Face Mask Detection.” *National Conference on Information Technology (NCIT2020)*, Chonburi, Thailand, October 2020.
- Pawared Cheacharoen, Monsicha Rattanakewmanee, Tanyaporn Kanignat, Sarayut Nonsiri, “The Development of reduce wasted for Thai-Nichi Institute of Technology.” *The 6th Thai-Nichi Institute of Technology Academic Conference (TNIAC2020)*, Bangkok, Thailand, May 2020.
- อรรถพร หมั่นสกุล, “ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มแม่นยำสูง ด้วยลอราส่วนบุคคล.” *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6 (TNIAC2020)*, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพฯ, 21-22 พ.ค. 2563.
- อรรถพร หมั่นสกุล, ปราณีสา อิศรเสนา, ณปภัช วิชัยดิษฐ์, “การออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูง.” *การประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (NCIT2020)*, บางแสน ชลบุรี, 21-22 ตุลาคม 2563.

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่)

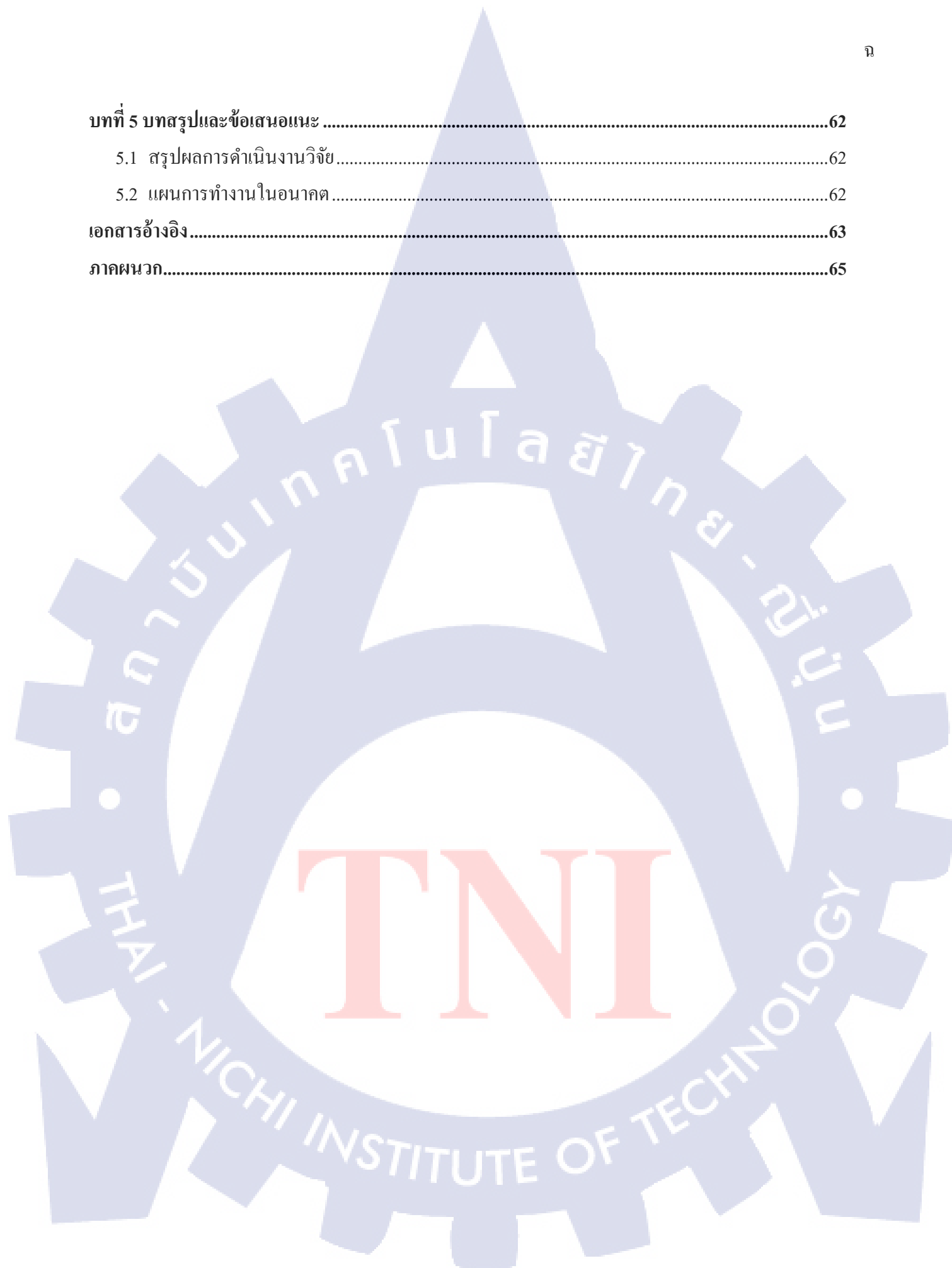
3. อื่นๆ:

- รอบก่อนรองชนะเลิศ (Semi-Final) ของการแข่งขันรอบระดับนานาชาติในงาน Cisco Global Innovation Challenge 2020 ชื่อทีม Captain Thai-Nichi Team ในหัวข้อเรื่อง “IoT Solution for edible-nest swiftlet farming” เว็บไซต์อ้างอิง <https://cisco.innovationchallenge.com/cisco-global-problem-solver-challenge-2020>

สารบัญ

บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
ผลงานจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	ง
สารบัญ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	7
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิจัย.....	9
2.1 กรอบการวิจัย.....	9
2.2 อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง	9
2.3 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	10
2.4 เซ็นเซอร์	11
2.5 อุปกรณ์ Raspberry Pi	13
2.6 โพรโทคอลที่สี่ (Internet Protocol version 4, IPv4)	14
2.7 คลาวด์แพลตฟอร์ม Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)	14
บทที่ 3 การออกแบบและดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 เงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม	25
3.2 ออกแบบระบบและติดตั้งอุปกรณ์	26
3.3 เงื่อนไขในการตัดสินใจด้วยปัญญาประดิษฐ์	29
3.4 การดำเนินงานวิจัยภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง	30
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	33
4.1 ผลการทดลองจากระบบ	33
4.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรแม่นยำสูง.....	37
4.3 ประเมินความสำเร็จของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง	44

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	62
5.2 แผนการทำงานในอนาคต	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังนกแอ่นเป็นที่นิยมบริโภคมาเป็นเวลาช้านาน จากหลักฐานลายลักษณ์อักษร เรื่องเล่าและโบราณคดี ท้องถิ่นพบว่า กลุ่มชาติพันธุ์ในไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรรังนกหลักของโลก) ได้มีการเก็บใช้รังนกจากแหล่งธรรมชาติเป็นอาหารและยาอยู่กับชาติพันธุ์จีนมาไม่น้อยกว่า 500 ปี โดยมีความเชื่อว่า รังนกแอ่นเป็นอาหารและยาที่ช่วยบำรุงร่างกายรวมถึงการรักษาโรคต่างๆ ปัจจุบันจากผลการวิจัยพบว่า รังนกแอ่นมีโปรตีนและเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายหลายประการ จากประโยชน์ดังกล่าว การเก็บรังของนกแอ่นกินรัง (หรือมีชื่อเรียกสามัญโดยทั่วไปว่านกแอ่น หรือนกแอ่นกินรังตะโพกขาว) เพื่อการค้าเป็นที่นิยมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นับแต่อดีตกาล แม้ปรากฏว่ามีรังของนกแอ่นกินรังมากกว่าหนึ่งชนิดที่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ หากแต่นกแอ่นกินรังที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Aerodramus fuciphagus* Thunberg, 1812 (BirdLife International, 2016) หรือชื่อพ้อง *Germain's Swiftlet* : *Aerodramus germani* Oustalet, 1876 ถือได้ว่าเป็นชนิดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตของรังที่มีปริมาณการซื้อขายกันมากที่สุดในท้องตลาดของประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบกับนกแอ่นชนิดอื่นๆ กล่าวได้ว่าผลผลิตรังนกแอ่นกินรังในพื้นที่ธรรมชาติและพื้นที่ส่วนบุคคลเกือบทั้งหมดเป็นรังนกแอ่นกินรังตะโพกขาว ความเชื่อและความนิยมในการบริโภครังของนกแอ่นกินรังของชาวจีนทำให้เกิดมูลค่าทางการค้าที่สูงยิ่งในบรรดาประเทศที่มีการส่งออกรังนกแอ่นกินรังเป็นสินค้าออก อย่างไรก็ตามกำลังการผลิตรังของนกแอ่นกินรังจากธรรมชาติยังมีปริมาณไม่มากนัก เมื่อเทียบกับความต้องการในการบริโภค ส่งผลให้รังของนกชนิดดังกล่าวมีราคาแพงในท้องตลาด ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเลี้ยงนกแอ่นกินรังในพื้นที่ส่วนบุคคลของประเทศต่างๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่ปรากฏว่ามีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติของนกชนิดนี้อยู่ โดยเฉพาะในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม และได้เริ่มแพร่หลายเข้ามาในประเทศไทยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อุตสาหกรรมการเก็บรังนกแอ่นกินรังเพื่อการจำหน่ายนับได้ว่าเป็นธุรกิจการเกษตรประเภทหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้อย่างมากและต่อเนื่องให้กับประเทศไทย

อุตสาหกรรมฟาร์มนกแอ่นกินรังในประเทศไทย เริ่มต้นช่วงประมาณปี พ.ศ. 2530 ในหลายพื้นที่ทางตอนใต้ที่ติดกับชายแดนประเทศมาเลเซียขึ้นมาถึงจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีนกแอ่นเข้ามาอาศัยทำรังในบ้านเก่า อาคารร้าง โรงหนังที่ปิดกิจการ หรือแม้แต่ต้นตาลโตดในทุ่งนาก็มีนกแอ่นอาศัยทำรังอยู่ร่วมต้นเดียวกับค้างคาว โดยที่นกแอ่นมีการอพยพและขยายแหล่งหากินมาจากแหล่งเดิมและมียกแอ่นจำนวนมากที่

อพยพเข้ามาในพื้นที่ที่ไม่ใช่เขตสัมปทานหรือเกาะ/ถ้าเหมือนเช่นแต่ก่อน ในช่วงเวลานั้นจำนวนบ้านนกที่สร้างขึ้นถือว่ายังมีจำนวนน้อยมากและไม่เป็นที่แพร่หลาย เมื่อเทียบกับจำนวนนกแอ่นที่ต้องการที่อยู่อาศัย จวบจนถึงปัจจุบันได้มีเกษตรกรที่ดำเนินธุรกิจฟาร์มนกแอ่นกินรังในประเทศไทยในหลายภูมิภาค โดยส่วนใหญ่เป็นการสร้างฟาร์มนกในเขตเมืองจึงทำให้เกิดปัญหา เช่น มลพิษทางเสียง มลพิษทางอากาศ พาหะนำโรค บดบังทัศนียภาพ เป็นต้น ดังตัวอย่างเช่นในจังหวัดภูเก็ตที่ได้มีวิธีแก้ไขปัญหามา เช่น การกำหนดพื้นที่เลี้ยงนกแอ่นกินรัง การป้องกันโรคระบาด การใช้อาคารผิดประเภท เป็นต้น โดยการแบ่งพื้นที่ตามกฎหมายผังเมืองมีพื้นที่ 4 โซน กำหนดไว้ชัดเจนที่ไม่สามารถเลี้ยงนกนางแอ่นได้ เนื่องจากเป็นสัตว์ป่าคุ้มครองฯ ได้แก่ (1) โซนสีแดง เขตพาณิชยกรรมหนาแน่นมาก (2) โซนสีส้ม เขตพาณิชยกรรมหนาแน่นปานกลาง (3) โซนสีเหลือง ที่อยู่อาศัย (4) โซนสีเขียวอ่อน พื้นที่นันทนาการ หากเป็นพื้นที่นอกโซนดังกล่าวต้องไปพิจารณาตามกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายสาธารณสุข เรื่องก่อเหตุรำคาญ เป็นต้น ในส่วนของปัญหาคุณภาพของผลผลิตรังนกในปัจจุบันก็ยังประสบกับปัญหารังนกไม่ได้คุณภาพ จนทำให้เกษตรกรจำหน่ายได้ในราคาที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ไม่มีความเหมาะสมในแง่ของสภาพอุณหภูมิและความชื้น

การทำธุรกิจฟาร์มนกแอ่นกินรังจะประสบความสำเร็จได้นั้นต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา คือ สภาพถิ่นที่อยู่อาศัยที่เป็นอาณาเขตหากิน และแหล่งที่อยู่อาศัยสำหรับทำรังวางไข่ของนกแอ่นกินรัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดำเนินการให้ได้บ้านนกตรงตามเงื่อนไขทางด้านชีววิทยาของนกแอ่นกินรัง เพื่อดึงดูดนกให้เข้าอยู่อาศัยในเวลาอันรวดเร็วให้ได้ผลผลิตรังนกแอ่นในเวลาที่เหมาะสมและได้รังนกแอ่นที่มีคุณภาพจำนวนมาก สภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรังที่พึงประสงค์ต้องประกอบด้วย เส้นทางบินที่เหมาะสม ช่องทางเข้า-ออกที่เหมาะสม ความมืดที่เหมาะสม ความปลอดภัยจากศัตรูรบกวน และการเปิดเสียงเรียกนกแอ่น และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสร้างสภาพอุณหภูมิ ความชื้นที่เหมาะสม การถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมให้เกิดขึ้นภายในอาคารและพื้นที่การสร้างรังวางไข่ ในหมู่ผู้ประกอบการฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลเป็นที่ทราบกันดีว่าสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ทำรังวางไข่ของนกแอ่นกินรังถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญต่อการผลิตรังนก ฟาร์มนกแอ่นกินรังที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างเหมาะสมสามารถผลิตรังนกที่เป็นที่ต้องการของตลาดและขายได้ในราคาสูงตลอดปี อย่างไรก็ตามประเด็นการจัดการสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง การตั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น และการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม ยังคงเป็นปัญหาหลักที่ยังไม่ได้ข้อยุติในแง่ของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่มักจะกำหนดสภาพแวดล้อมของอุณหภูมิและความชื้นที่คงที่ตามความเชื่อส่วนบุคคลหรือได้รับการแนะนำจากบุคคลอื่นสืบทอดกันมา โดยยังไม่ได้นิ่งถึงสภาพอากาศในระดับท้องถิ่นที่มีความผันแปรในแต่ละฤดูกาล จึงเป็นผลทำให้ทั้งจำนวนรังนกและผลผลิตไม่ประสบผลสำเร็จตามที่คาดหวัง

เกษตรกรและผู้ประกอบการไทยจำนวนมากพยายามหาวิธีควบคุมความชื้น ตั้งแต่การสร้างรางน้ำ บ่อน้ำ หรือภาชนะใส่น้ำไว้ภายในบ้านนกในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เพื่อให้อุณหภูมิและความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่ในบางฤดูกาลความชื้นอาจไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องผลิตความชื้นที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เช่น เครื่องปั่นหมอก เครื่องทำหมอกควั่น ชุดหัวพ่นหมอกแรงดันสูง แผ่นทำความเย็นแบบระเหย เป็นต้น โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ได้ควบคุมการทำงานด้วยการเปิดปิดด้วยสวิตช์ไฟฟ้าแบบตั้งเวลา (Timer) ซึ่งมักมีปัญหาในบางช่วงฤดูการที่มีความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน ตลอดจนความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพน้ำอุปโภคที่นำมาใช้ในการสร้างความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของฟาร์มนกแอ่นกินรังที่อยู่นอกเขตเทศบาลซึ่งมีต้นทุนในการบำบัดน้ำสูงกว่าบ้านนกในเขตเทศบาล ปัญหาดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ตามวิธีที่ได้ปฏิบัติตามกันมา ซึ่งเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นโดยยังไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับ กล่าวได้ว่าปัญหาการจัดการสภาพอุณหภูมิและความชื้นภายในฟาร์มนกแอ่นกินรังจึงเป็นปัญหาหลักประการสำคัญที่ยังไม่ได้ข้อยุติในแง่ของการจัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังมาโดยตลอด

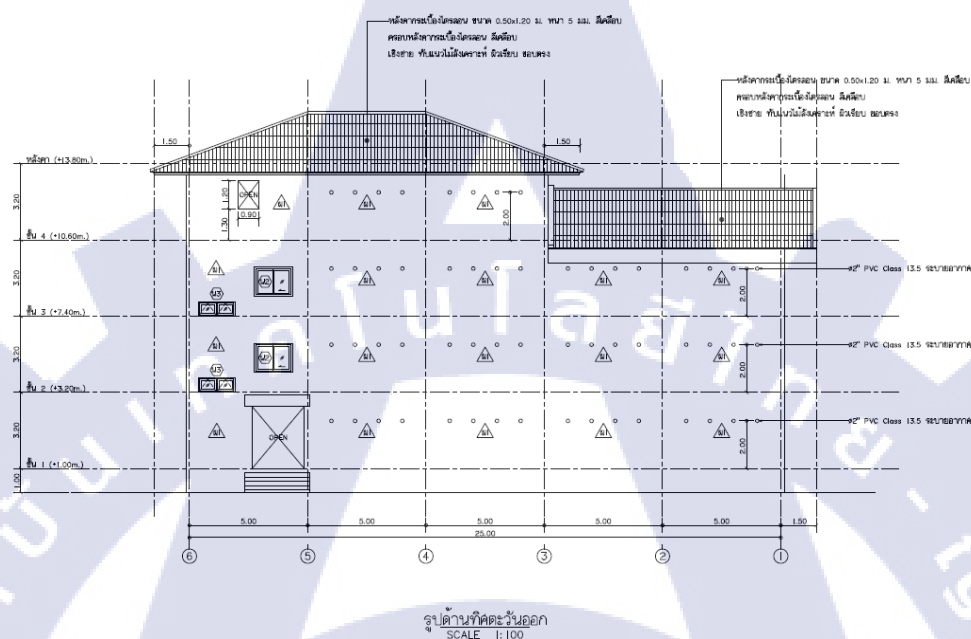
จากปัญหาการจัดการสภาพอุณหภูมิและความชื้นดังกล่าว กอปรกับแนวโน้มที่ฟาร์มนกแอ่นกินรังที่จะเกิดขึ้นอย่างถูกต้องตามกฎหมายในอนาคต มีแนวโน้มถูกจำกัดให้อยู่นอกเขตเมืองหรือนอกเขตเทศบาล คณะผู้วิจัยได้จึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมให้เกิดเป็นฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูง (Precision Edible-nest Swiftlet Farming) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยในแง่ของการช่วยลดค่าใช้จ่ายในฟาร์มและเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตทางการเกษตร ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการของการนำเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture) เพื่อนำไปใช้ในฟาร์มนกแอ่นกินรัง โดยนำเทคโนโลยีมาช่วยด้านการจัดการข้อมูลเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสงสว่าง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตลอดจนตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่กำหนดผ่านการขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) จากข้อมูลของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network, WSN) และเครือข่ายสื่อสารความเร็วสูง (High Speed Networks) ประสานการทำงานด้วยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ระบบอัตโนมัติ (Automation) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning, ML) มาใช้ควบคุมระบบฟาร์มจากข้อมูลมหภาค (Big Data) ที่ได้รับมาและประมวลผลความรู้ด้วยการทำวิทยาการข้อมูล (Data Science) และในท้ายที่สุดเกษตรกรไทยสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ (Data Analytics) วางแผน เพื่อบริหารจัดการฟาร์มได้ด้วยนวัตกรรมใหม่เหล่านี้ในหลายมิติต่อไป

ตามที่สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (สนค.) กระทรวงพาณิชย์ แลงตัวเลขการส่งออกไทยเดือนตุลาคม 2562 ปรับลดลง 4.54 % โดยการส่งออกทั้งปี 2562 คาดว่าจะติดลบประมาณ 1.5-2 % ดังนั้น ทางภาครัฐจึงพยายามรีบผลักดันอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะทางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ร่วมกับสมาคมการค้าผู้ผลิตและ

คำร้งนกแอ่น (ประเทศไทย) ที่ได้มีการหาหรือเรื่องความต้องการร้งนกจากต่างประเทศ อาทิ จีน ฮองกง เป็นจำนวนมาก จึงส่งผลทำให้ราคา ร้งนกปรับตัวสูงขึ้นมากกว่า 50,000 บาท/กก. ทำให้เกษตรกรไทยหันมาประกอบอาชีพทำฟาร์มเพาะเลี้ยงนกแอ่นกินรัง (ร้งนกบ้าน) ทั่วทุกภาคของประเทศกว่า 46 จังหวัด จากอดีตมีเพียง 22 จังหวัด โดยปัจจุบันทั่วประเทศมีจำนวนบ้านร้งนกเพิ่มขึ้นกว่า 20,000 หลัง และมีจำนวนประชากรนกแอ่นประมาณ 10 ล้านตัว สามารถเก็บเกี่ยวร้งนกได้ประมาณ 5,000 กก./ต่อเดือน ซึ่งกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ดำเนินการส่งเสริมให้นกแอ่นกินรังเป็นสัตว์เศรษฐกิจตัวใหม่ของประเทศ และมีการผลักดันให้การทำฟาร์มนกแอ่นกินรังถูกต้องตามกฎหมาย ซึ่งปัจจุบัน พ.ร.บ.สงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2562 ฉบับแก้ไขใหม่ ได้ถูกประกาศในราชกิจจานุเบกษาแล้วเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม 2562 (ราชกิจจานุเบกษา, 2562) โดยจะมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 29 ธันวาคม 2562 นี้ และตามมาตรา 14 ระบุให้ผู้เลี้ยงร้งนกบ้านสามารถไปยื่นขอใบอนุญาตเก็บและครอบครองร้งนกบ้านหรือร้งนกคอนโดได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย โดยพระราชบัญญัติฉบับใหม่นี้จะส่งผลให้กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ได้ดำเนินการจัดทำอนุบัญญัติ (กฎหมายลูกอีก 3 ฉบับ) ได้แก่ พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522, พ.ร.บ.การสาธารณสุข พ.ศ.2561 และ พ.ร.บ.การผังเมือง พ.ศ.2562 ที่ควบคุมการสร้างบ้านร้งนกแอ่นกินรังอย่างถูกต้อง ปลอดภัย ไม่ก่อมลพิษรบกวนชาวชุมชนโดยรอบ และไม่ทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในแต่ละมาตราภายในเวลาไม่เกิน 2 ปี เพื่อให้เกิดการบังคับใช้กฎหมาย ตลอดจนการสร้างกฎระเบียบปฏิบัติของหน่วยงานราชการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้รวมถึงการกำหนดกฎระเบียบและแนวทางในการดำเนินการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลให้มีหลักปฏิบัติในการพัฒนาให้เป็นธุรกิจการเกษตรที่สำคัญของชาติต่อไป

จากการเล็งเห็นถึงความสำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคล ซึ่งถือได้ว่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มาจากศักยภาพของความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศ ในปี พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้สนับสนุนงบประมาณในการจัดสร้างอาคารบ้านนกแอ่นกินรังสำหรับใช้เป็นพื้นที่ “ศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง” สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยและการถ่ายทอดความรู้ไปสู่เกษตรกรและผู้สนใจในการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอนาคต โดยอาคารศูนย์ฯ ดังกล่าวเป็นคอนกรีตสูง 4 ชั้น มีพื้นที่อาคารสำหรับให้นกอาศัยและทำรังวางไข่ราว 480 ตารางเมตร ตั้งอยู่ ณ สถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์หาควนกร อำเภอบึงสามพัน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับแผนงานวิจัย “การพัฒนาต้นแบบการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรัง” เพื่อดำเนินการวิจัยโดยมีโจทย์วิจัยและเป้าหมายในการพัฒนาแนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังให้มีแนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจนและสามารถปฏิบัติได้สำหรับอาคารบ้านนกใหม่ จากการปฏิบัติงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการดำเนินการวิจัยตามแผนงานวิจัยในปี 2560-2561 สามารถดำเนินการวิจัยและทดลองปฏิบัติให้เห็นอย่างเป็นรูปธรรมได้เฉพาะระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นไป

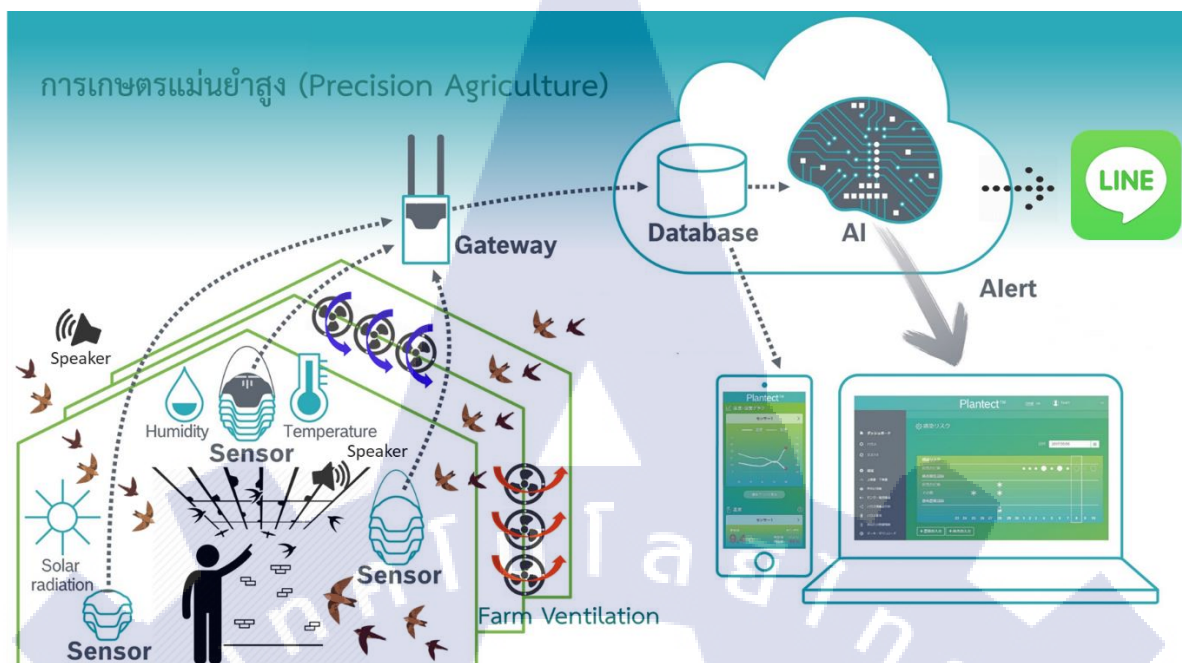
ตามธรรมชาติของการจัดการบ้านนกโดยทั่วไปในแง่ของการดึงดูดนกให้เข้ามาอาศัยและทำรังวางไข่ภายในบ้านนกพอสมควรแล้วนั้น ซึ่งเป็นลักษณะการเพาะเลี้ยงในฟาร์มที่เป็นอาคารส่วนบุคคล นอกเหนือจากการพัฒนาต้นแบบฟาร์มนกแอ่นกินรังที่มีการปฏิบัติที่ดีทางด้านการเกษตรที่ได้ดำเนินการในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาแล้วนั้น ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- แนวทางดำเนินการ

การวิจัยโครงการนี้ผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับคือระบบควบคุมสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการถ่ายเทอากาศตามหลักการการเกษตรแบบแม่นยำ ซึ่งสามารถสนับสนุนให้เกิดการปฏิบัติที่ดีทางการเกษตรสำหรับฟาร์มนกแอ่นกินรัง ขณะที่ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้คือการจดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร จากการออกแบบเครื่องควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง ทั้งผลผลิตและผลลัพธ์ที่ได้นี้เป็น การสร้างนวัตกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์เศรษฐกิจ รวมไปถึงการบริหารจัดการข้อมูลมหภาค (Big Data) อย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของกรอบงานวิจัยด้านการจัดการผลผลิตและผลิตภัณฑ์สัตว์เศรษฐกิจตามประกาศของสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน ในประเด็น “การเกษตรสร้างมูลค่า” และ “อุตสาหกรรมและบริการแห่งอนาคต” ตลอดจนสามารถนำไปต่อยอดในด้านการสนับสนุนผู้ประกอบการยุคใหม่และเกษตรกรไทยในยุค 4.0 และเป็นงานวิจัยเพื่อพัฒนาการเกษตรในประเทศไทยให้เป็นการเกษตรแบบแม่นยำสูง (Precision Agriculture) ซึ่งจะกลายเป็นหัวใจสำคัญในการทำการเกษตรยุคใหม่ของประเทศไทยในอนาคตอันใกล้ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture)

ดังนั้น โครงการวิจัย “ต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต” จึงได้ออกแบบการพัฒนากรอบแนวคิดการวิจัยขึ้น โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้เกิดการดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่องของอาคารศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการวิจัยนี้มีเป้าหมายในการสร้างต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูงในทุกพื้นที่ภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง โดยคำนึงถึงผลผลิตรังนกที่มีคุณภาพสูง เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยในการบริหารจัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด ภายในเวลาอันจำกัด ตลอดจนส่งเสริมเครื่องมือและเทคโนโลยีสำหรับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลใหม่ที่จำเป็นต้องอยู่ภายใต้การจัดการของหน่วยงานราชการ และเป็นแนวทางการเกษตรสมัยใหม่ที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังของเกษตรกรไทยและเพื่อให้ได้มาตรฐานการจัดการบ้านนกเพื่อการส่งออก ทั้งนี้ผลสัมฤทธิ์ที่ได้จะนำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทำบ้านนกแอ่นกินรัง ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักของศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ต่อไป

- ผลที่คาดว่าจะได้รับที่สามารถวัดได้และระยะเวลาที่จะเกิดผล

ขอบเขตด้านเนื้อหา ขอบเขตด้านเวลา และขอบเขตด้านสถานที่

1) ขอบเขตด้านเนื้อหา: การวิจัยจะครอบคลุมเฉพาะการปรับสภาพอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการหมุนเวียนอากาศภายในอาคารต้นแบบของศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทั้งนี้อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการวิจัยสามารถหาได้ตามท้องตลาดในประเทศไทย

2) ขอบเขตด้านเวลา: ระยะเวลาการวิจัย 24 เดือน ที่ครอบคลุมอย่างน้อย 4 ฤดูกาลในรอบปี

3) ขอบเขตด้านสถานที่: การวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ตอนบน ณ อาคารศูนย์การเรียนรู้ฯ ซึ่งเป็นตัวแทนฟาร์มนกแอ่นกินรังที่อยู่นอกเขตเมืองหรือนอกเขตเทศบาล

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

- (1) เพื่อพัฒนานวัตกรรมต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบแม่นยำสูงสำหรับฟาร์มนกแอ่นกินรัง
- (2) เพื่อพัฒนาโปรแกรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรแม่นยำสูงที่เกี่ยวข้องกับฟาร์มนกแอ่นกินรังให้กับเกษตรกรไทย
- (3) เพื่อสามารถประเมินความสำเร็จของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังภายในอาคารส่วนบุคคล

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- (1) ขอบเขตด้านเนื้อหา: การวิจัยจะครอบคลุมเฉพาะการปรับสภาพอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการหมุนเวียนอากาศภายในอาคารต้นแบบของศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทั้งนี้อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการวิจัยสามารถหาได้ตามท้องตลาดในประเทศไทย
- (2) ขอบเขตด้านเวลา: ระยะเวลาการวิจัย 12 เดือน ที่ครอบคลุมอย่างน้อย 2 ฤดูกาลในรอบปี
- (3) ขอบเขตด้านสถานที่: การวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ตอนบน ณ อาคารศูนย์การเรียนรู้ฯ ซึ่งเป็นตัวแทนฟาร์มนกแอ่นกินรังที่อยู่นอกเขตเมืองหรือนอกเขตเทศบาล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) มีต้นแบบของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารแบบแม่นยำสูง สามารถควบคุมตัวแปรสภาพแวดล้อมแม่นยำสูง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น เสียงนก มวลน้ำในอากาศ การไหลเวียนอากาศ ให้เหมาะสมกับการทำรังวางไข่ของนกแอ่นกินรังในทุกฤดูกาล และสามารถผลิตรังนกคุณภาพสูง
- (2) มีโปรแกรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทำบ้านนกแอ่นกินรังให้กับเกษตรกร นักวิชาการ นักวิจัย และประชาชนผู้สนใจ สำหรับอาคารศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- (3) มีแนวทางในการประเมินความสำเร็จของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังภายในอาคารส่วนบุคคล ซึ่งจะให้ผู้ลงทุนหรือเกษตรกรสามารถประเมินสถานภาพของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังภายในอาคารส่วนบุคคลว่ามีประสิทธิภาพและความสำเร็จในระดับใดและลดความเสี่ยงในการลงทุนในการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลให้กับผู้ลงทุน
- (4) มีการจดอนุสิทธิบัตร/สิทธิบัตร ระหว่างสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้ทรงสิทธิบัตรร่วม

บทที่ 2

กรอบการวิจัย ทฤษฎี และเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 กรอบการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ ได้มีการกำหนดกรอบแนวคิดของการวิจัยสำหรับการศึกษาวิจัยและพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบแม่นยำสูง สำหรับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังเพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต ประกอบไปด้วยกิจกรรมหลัก ได้แก่

1) การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมฯ และทำการทดลองปฏิบัติสำหรับการเลี้ยงนกแอ่นกินรังในอาคารศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้เทคโนโลยีข้อมูลมหภาค (Big Data) อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง (Internet of Things) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) วิทยาการข้อมูล (Data Science) ระบบอัตโนมัติ (Automation) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์การวิจัย

2) การตรวจสอบติดตามและประเมินการทำงานของระบบควบคุมฯ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาสู่กระบวนการพัฒนาและปรับปรุงสภาพแวดล้อมแบบแม่นยำสูง การใช้งานระบบควบคุมฯ สำหรับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในบ้านกใหม่ให้มีความเหมาะสมสำหรับการดำเนินการปฏิบัติจริงในอาคารศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

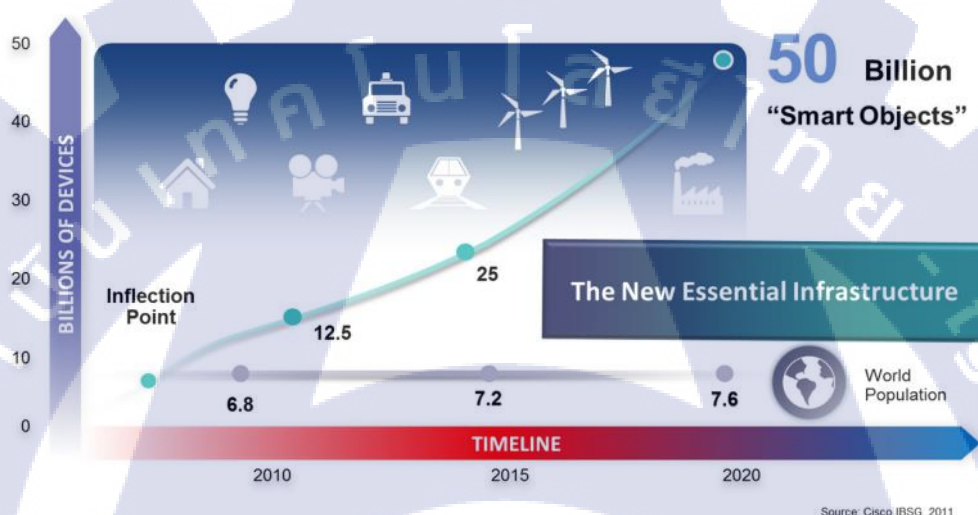
3) การศึกษาเพื่อพัฒนาระบบควบคุมฯ และปรับปรุงมาตรฐานการปฏิบัติงานการเพาะเลี้ยงนกแอ่นกินรัง มีการติดตามตรวจสอบความสำเร็จของบ้านนกแอ่นกินรังในแง่ของศักยภาพผลผลิตรังนกที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด ประกอบไปด้วยกิจกรรมการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบควบคุมฯ และการทดลองประเมินความสำเร็จตามตัวชี้วัดและเกณฑ์ที่กำหนด ตลอดจนการประเมินความเหมาะสมของตัวชี้วัดและเกณฑ์การประเมินความสำเร็จโดยใช้กระบวนการสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) ให้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และก่อให้เกิดความสำเร็จในการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจากผลผลิตรังนกต่อไป

2.2 อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง

อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่งด้วยไอพีรุ่นที่หก (Internet of Things) สร้างขึ้นบนเครือข่ายที่ซับซ้อนเชื่อมต่ออุปกรณ์กว่าพันล้านชิ้นและมนุษย์ เพื่อเข้าใช้งานหลากหลายเทคโนโลยี หลายโปรโตคอล หลายแพลตฟอร์ม โดยจุดประสงค์หลักของ IoT คือ การสร้างโลกอัจฉริยะที่ทั้ง ภายภาพ ดิจิทัลและโลกเสมือน สร้าง

สภาพแวดล้อมอัจฉริยะที่จะทำให้เกิดการกระตุ้น ด้านสุขภาพ การขนส่ง เมือง อุตสาหกรรม ตึกอาคาร และสิ่งต่างๆนอกเหนือจากชีวิตประจำวัน

ความคาดหวังต่อการเชื่อมต่อของเครือข่ายอัจฉริยะ เพื่อให้เข้าถึงสารสนเทศได้ไม่ใช่เพียงแค่ทุกเวลาและทุกสถานที่ แต่ยังครอบคลุมถึงทุกสิ่งและทุกคนผ่าน เส้นทาง เครือข่าย บริการต่างๆ ซึ่งจะประสบความสำเร็จโดยมีเป้าหมายที่จะจัดการชีวิตประจำวัน เครื่องมือตรวจวัด ระบุตัวตน อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง โดยสร้างขึ้นด้วยที่อยู่ไอพีเพื่อให้กลายเป็นอุปกรณ์อัจฉริยะ ที่สามารถทำการสื่อสารได้ไม่ใช่เพียงอุปกรณ์อื่นๆแต่ยังเชื่อมต่อกับมนุษย์ได้ด้วย โดยคาดหวังที่จะเข้าไปถึงพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงถ้าไม่มีการพัฒนาสร้างการตรวจวัดและการใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่ง



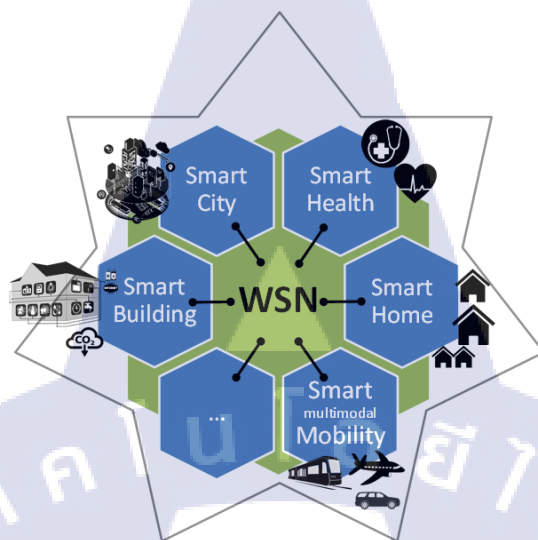
รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในอนาคต

2.3 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensors Network, WSN) คือ โหนดเซ็นเซอร์ขนาดเล็กสามารถตั้งค่าเครือข่ายด้วยตัวเองได้ (เรียกว่า Motes) สื่อสารกันด้วยสัญญาณวิทยุ และถูกนำไปใช้ตรวจจับได้จริง เซ็นเซอร์โหนดเป็นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ทำงานได้หลากหลาย ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลที่มีการประมวลผลที่ถูกจำกัด และหน่วยความที่ถูกจำกัด สื่อสารผ่านอุปกรณ์วิทยุ ใช้พลังงาน และเซ็นเซอร์หนึ่งอย่างหรือมากกว่านั้น

โหนด (Motes) จะมีรูปทรงและรูปร่างที่ต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานสามารถให้มีขนาดเล็กมาก ซึ่งหากถูกปล่อยให้ใช้งานมากจะต้องมีผลกระทบน้อย สามารถที่จะชาร์จพลังงานเพื่อใช้งานในห้องทดลองหลากหลายอุปกรณ์ขนาดเล็กที่แตกต่างกัน ในสถานการณ์ที่มีความหลากหลายมากที่สุด เพื่อให้แน่ใจ

หลากหลายของการใช้งาน บางแอปพลิเคชันสามารถตรวจสอบ สิ่งแวดล้อม สถาปัตยกรรม สุขภาพและความปลอดภัย



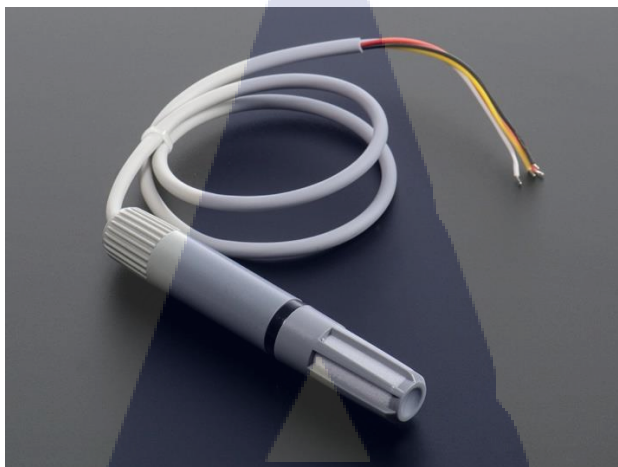
รูปที่ 2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.4 เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์คือตัวแปลงสัญญาณโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับหรือวิเคราะห์ลักษณะของสภาพแวดล้อม โดยให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่วัด

2.4.1 อนาล็อกเซ็นเซอร์

อนาล็อกเซ็นเซอร์โดยทั่วไปจะเชื่อมต่อไปยัง ADC (Analogue to Digital Converter) เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ต่อเนื่องให้อ่านค่าเป็นดิจิทัลในมิลลิโวลต์ คุณภาพและผลลัพธ์ในการวัดจะขึ้นอยู่กับทั้ง ADC และ Sampling Frequency เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ สำหรับ Arduino แบบ analog Sensor สำหรับใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นออกมาเป็นค่า Analog สำหรับป้อนให้กับ Arduino มีข้อดีเช่น ใช้พลังงานต่ำ มีขนาดเล็ก สามารถวัดอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปติดตั้งได้ง่ายมีตัวยึดจับ ใช้งานง่าย สามารถ calibration ได้อย่างที่ต้องการแม่นยำมากที่สุด มีความไวในการวัดสูง ใช้แรงดัน DC5V อัตราการกินกระแสต่ำเพียงแค่ 2mA (Max 5mA) สามารถวัดอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสามารถวัดได้ตั้งแต่ 20 ถึง 95% และค่าความชื้นผิดพลาดที่ $\pm 5\%$ RH



รูปที่ 2.3 เซ็นเซอร์ความชื้น



รูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์อุณหภูมิจาน

2.4.2 ดิจิทัลเซ็นเซอร์

ดิจิทัลเซ็นเซอร์โดยทั่วไปจะจัดการผ่าน Digital communication protocol เช่น I2C, SPI, 1-Wire, Serial หรือขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โปรโตคอลที่เป็นกรรมสิทธิ์ โดยทั่วไปตามสัญญาอนุญาต ดิจิทัลเซ็นเซอร์นั้นจะมีคำสั่งที่เพิ่มเข้ามา เช่น เปิด ปิด หรือจัดการข้อผิดพลาด

Z1 mote มีดิจิทัลเซ็นเซอร์ 2 อย่างติดตั้งมาแล้วคืออุณหภูมิและความเร่ง 3 แกน

ADXL345 ใช้วัดความเร่งมีตัวอย่างที่ชื่อ test-adxl345.c ใน examples/zolertia/z1 ที่แสดงถึงการทำงานของเซ็นเซอร์

TMP102 เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบดิจิทัล ซึ่งติดตั้งมาบน Z1 แพลตฟอร์มมีความแม่นยำ ± 5 เซลเซียส และสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่จาก -25 เซลเซียส ถึง 85 เซลเซียส ซึ่งตัวอย่าง examples/zolertia/z1/test-102.c จะแสดงถึงการทำงานของเซ็นเซอร์

External digital sensor สามารถเชื่อมต่อกับ Z1 ได้

SHT25 Humidity and Temperature ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซ็นเซอร์ตัวเดียว

2.5 อุปกรณ์ Raspberry Pi



<https://www.raspberrypi.org/weekly/connected/>

รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ Raspberry Pi

Raspberry Pi เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถทำงานได้เหมือนกับคอมพิวเตอร์เกือบทุกอย่าง รองรับ HDMI มีช่องต่อยูเอสบี สำหรับการนำเมาส์และคีย์บอร์ดมาต่อเพิ่ม และระบบการจ่ายไฟใช้หัว Mini-USB เหมือนกับสายชาร์จมือถือ และมีพอร์ต General-purpose input/output (GPIO) สำหรับการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion sensor)

ระบบปฏิบัติการที่ Raspberry Pi รองรับมีหลากหลาย เช่น Raspbian, Ubuntu MATE, Windows 10 IoT Core, OSMC, LIBREELEC, PiNET, Weather Station, Snappy Ubuntu, RISC OS เป็นต้น ซึ่งแต่ละระบบปฏิบัติการก็จะมีข้อดีแตกต่างกันไป ซึ่งที่ใช้นี้คือ Raspbian

Raspbian เป็นระบบปฏิบัติการที่มาจากผู้ผลิตเอง ซึ่งจะมาพร้อมกับโปรแกรมเขียนโค้ดภาษาต่างๆ เช่น ภาษา Python, ภาษา Java, โปรแกรม Scratch และ โปรแกรม Sonic Pi เป็นต้น

2.6 ไอพีรุ่นที่สี่ (Internet Protocol version 4, IPv4)

ไอพีรุ่นที่สี่ เป็นอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol, IP) รุ่นที่สี่ โดยไอพีจะอยู่ในระดับเน็ตเวิร์กเลเยอร์ (Network Layer) ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับแอดเดรสและข้อมูล และควบคุมการส่งข้อมูลที่ใช้ในการหาเส้นทางของแพ็กเก็ต (Package) ซึ่งการหาเส้นทางของไอพี จะทำการหาเส้นทางที่ดีที่สุด และสามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางของข้อมูลในระดับดาต้าลิงก์เลเยอร์ (Data Link Layer)

การเชื่อมต่อไอพี เพื่อทำการส่งข้อมูลจะเป็นแบบ connectionless หรือเกิดเส้นการเชื่อมต่อข้อมูลในทุกๆ ครั้งของการส่งข้อมูล 1 ดาต้าแกรม (datagram) โดยจะไม่ทราบถึงข้อมูลดาต้าแกรมที่ส่งก่อนหน้าหรือส่งตามมา แต่การส่งข้อมูลใน 1 ดาต้าแกรม อาจเกิดการส่งได้หลายครั้งในกรณีที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ (fragmentation) และจะถูกนำไปรวมเป็นดาต้าแกรมเดิมเมื่อถึงปลายทาง

ไอพีแอดเดรสของไอพีรุ่นที่สี่ เป็นระบบ 32 บิต หรือสามารถระบุตัวเลขได้ตั้งแต่ 0.0.0.0 ถึง 255.255.255.255 ไอพีแอดเดรสของไอพีรุ่นที่สี่ จะเขียนโดยใช้เลขฐานสิบจำนวนจำนวนสี่หลักโดยใช้จุดคั่นระหว่างแต่ละหลัก โดยไอพีรุ่นที่สี่ทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นคลาสชนิดต่างๆ เพื่อจุดประสงค์การใช้งานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ไอพีแอดเดรสและโฮสต์ในแต่ละคลาส

คลาส	ไอพีเริ่มต้น	ไอพีสิ้นสุด	เน็ตไอดี(บิต)	โฮสต์ไอดี(บิต)
A	0.0.0.0	127.255.255.255	8	24 = 16777216
B	128.0.0.0	191.255.255.255	16	16 = 65536
C	192.0.0.0	223.255.255.255	24	8 = 256
D	224.0.0.0	239.255.255.255	-	มัลติแคสต์
E	240.0.0.0	247.255.255.255	-	สำรอง

2.7 คลาวด์แพลตฟอร์ม Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)



<http://www.signiant.com/fast-file-transfer-to-amazon-s3/>

รูปที่ 2.6 โลโก้ Amazon Simple Storage Services

Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) คือที่เก็บข้อมูลที่อยู่บนอินเทอร์เน็ต คุณสามารถใช้ Amazon S3 ในการจัดเก็บและเรียกกลับข้อมูลขนาดใดก็ได้ตลอดเวลา จากที่ไหนก็ได้ที่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต คุณสามารถทำสิ่งเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการที่เรียบง่ายและเข้าใจได้กับหน้าเว็บอินเทอร์เน็ตหน้าเดียว การจัดการของ AWS และคู่มือนี้จะเป็นการทำความรู้จักกับ Amazon S3 และวิธีการใช้หน้าเดียวการจัดการของ AWS ให้สำเร็จด้วยการแสดงขั้นตอนการทำงานดังนี้



<http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/gsg/GetStartedWithS3.html>

รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการทำงานของ Amazon S3

- (1) สมัครเข้าใช้งาน Amazon S3
- (2) สร้างคลังเก็บข้อมูล
- (3) เพิ่มข้อมูลเข้าไปในคลัง
- (4) เรียกดูข้อมูลได้
- (5) สามารถเคลื่อนย้ายข้อมูลได้
- (6) สามารถข้อมูลหรือลบคลังออกได้

2.7.1 ESP32

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน โดยราคา ณ ที่เขียนบทความอยู่นี้ มีราคาไม่เกิน 500 บาท (บอร์ดพัฒนาสำเร็จรูป) โดยตัวไอซี ESP32 มีสเปกโดยละเอียด ดังนี้

- ชิพใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz
- มีแรมในตัว 512KB
- รองรับการเชื่อมต่อรวมภายนอกสูงสุด 16MB
- มาพร้อมกับ WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station-SoftAP และ Wi-Fi direct
- มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6V ถึง 3V

- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C

อุปกรณ์รองรับการเชื่อมต่อคลิสตอล 32.768 kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะใช้งานต่าง ๆ ของ ESP32 รองรับการทำงานต่อบัสต่าง ๆ ดังนี้

- มี GPIO จำนวน 32 ช่อง
- รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ I2C จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง
- รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ I2S จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ PWM / Timer ทุกช่อง
- รองรับการทำงานต่อกับ SD-Card

2.7.2 Raspberry Pi

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดย Raspberry Pi Foundation มีคุณสมบัติเด่น คือ ติดต่อและสามารถควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ลักษณะทั่วไปของ Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการใช้งานทั่วไป เช่น ใช้เพื่อทำงานเอกสาร, ดูหนัง ฟังเพลง, ใช้เพื่อการคำนวณต่าง ๆ หรือจะทำงานเป็น Web Server ก็ย่อมได้เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก สามารถรับรู้สถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ว่ากำลังทำงานอยู่หรือไม่ และยังสามารถสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานหรือหยุดทำงานก็ได้

บอร์ด Pi 4 ไม่ได้ต่างกับ Pi 3 Model B+ มากนัก แต่มีการอัปเกรดฮาร์ดแวร์ที่น่าสนใจดังนี้

- CPU ARM Cortex-A72 1.5 GHz Quad-core 64 bit และ รองรับ H.265 Hardware Video Decode
- ตัวเปลือกของ Ram คือ 1, 2 และ 4 GB (ราคา 35\$, 45\$ และ 55\$ คอลลาสำหรับรุ่นตามลำดับ)
- 1 พอร์ต Gigabit Ethernet
- Bluetooth 5.0
- USB 3.0 x 2 พอร์ต
- USB 2.0 x 2 พอร์ต
- Micro-HDMI x 2 พอร์ต ความละเอียดได้ระดับ 4K

2.7.3 Arduino

Arduino (อาดูโน้ หรือ อาดูยอีโน้) คือ โครงการที่นำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไคลบารีของ Arduino ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยตัวโครงการได้ออกบอร์ดทดลองมาหลายรูปแบบ เพื่อใช้งานกับ IDE ของตนเอง สาเหตุหลักที่ทำให้ Arduino เป็นนิยมนมาก เป็นเพราะซอฟต์แวร์ที่ใช้งานร่วมกันสามารถโหลดได้ฟรี และตัวบอร์ดทดลองยังถูกแจกเปลี่ยน ทำให้ผู้ผลิตจินนำไปผลิตและขายออกตลาดมาในราคาที่ถูกมาก

Arduino Board เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่าบอร์ด Arduino, โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

2.7.4 Arduino IDE

Arduino IDE เป็นเครื่องมือการเขียนโปรแกรมที่มีใช้งานได้กับ Arduino ได้ทุกรุ่น โดยภายในจะมีเครื่องมือที่จะเป็นสำหรับติดต่อ Arduino เช่น การค้นหา Arduino ที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การเลือกรุ่น Arduino ที่ต่ออยู่เพื่อนตรวจสอบว่าขนาดของโปรแกรมที่เขียน หรือไคลบารีต่าง ๆ ที่ซัปพอร์ตกับ Arduino รุ่นนั้น ๆ อีกทั้งยังมีโปรแกรมติดต่อผ่านซีเรียลโดยตรงสำหรับคอมพิวเตอร์

2.7.5 ภาษา C Programming Language

เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมทั่วไป ถูกพัฒนาโดยเดนนิส ริตชี (Dennis Ritchie) เมื่อประมาณต้นปีค.ศ. 1970 เพื่อใช้งานบนระบบปฏิบัติการ UNIX แทนภาษา Assembly ซึ่งเป็นภาษาระดับต่ำที่สามารถกระทำในระบบฮาร์ดแวร์ได้ด้วยความรวดเร็ว แต่จุดอ่อนของภาษา Assembly ก็คือความยุ่งยากในการโปรแกรม ความเป็นเฉพาะตัวและความแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่อง ต่อมาถูกนำไปใช้ในระบบปฏิบัติการต่าง ๆ จนถูกใช้เป็นภาษาพื้นฐานสำหรับภาษาอื่น เช่น ภาษาจาวา Java ภาษาพีเอชพี (PHP) ภาษาซีชาร์ป C# ภาษาซีพลัสพลัส C++ ภาษาเพิร์ล (Perl) ภาษาไพทอน (Python) หรือภาษารูบี้ (Ruby) ภาษาซีเป็นภาษาเขียนโปรแกรมระบบเชิงคำสั่ง (หรือเชิงกระบวนการ) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้แปลด้วยตัวแปลโปรแกรมแบบการเชื่อมโยงที่ตรงไปตรงมา สามารถเข้าถึงหน่วยความจำในระดับล่าง ภาษา C แม้จะเป็นภาษาระดับสูง แต่ก็สามารถใช้เป็นภาษาเครื่องได้เป็นอย่างดี

ข้อดีของ ภาษา C

1. ภาษา C สามารถนำไปใช้ได้บนเครื่องทุก platform ไม่ว่าจะเป็น Intel PC ที่วิ่ง Windows 95 หรือ Windows NT, Windows XP, Windows 7 หรือ แม้แต่ Linux ทั้งเครื่อง Macintosh และ เครื่องเวอร์คสเตชัน ตลอดจน เมนเฟรม เนื่องจากมี compiler ของภาษาซี อยู่ทั่วไป

2. ภาษา C เป็นภาษาที่ง่าย ๆ คือมีแต่ข้อกำหนดในการใช้งานหรือ Syntax แต่ไม่มีฟังก์ชันสำเร็จรูป (Built-in Function) ใด ๆ ดังนั้นหากผู้ใช้ต้องการทำอะไรก็ตาม ต้องเขียนทุกอย่างขึ้นเอง หรือ อาจเรียก Library Functions มาใช้งานโดยฟังก์ชันที่เป็นงานที่ซ้ำบ่อย ๆ จะถูกรวบรวมไว้ใน Library Functions เช่น การจัดการข้อความ การดำเนินการเกี่ยวกับ Input/Output (I/O) การจองหน่วยความจำ (Memory Allocation) และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน (เช่น GUI เป็น X-Windows หรือ Direct X) การทำเช่นนี้จะทำให้ภาษาซี เป็นภาษาที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย (portable)

เมื่อภาษาซีได้รับความนิยมมากขึ้น จึงมีผู้ผลิต compiler ภาษาซีออกมาแข่งขันกันมากมาย ทำให้เริ่มมีการใส่ลูกเล่นต่าง ๆ เพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อ ทาง American National Standard Institute (ANSI) จึงตั้งข้อกำหนดมาตรฐานของภาษา C ขึ้น เรียกว่า ANSI C เพื่อคงมาตรฐานของภาษาไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป

2.7.6 ภาษา HTML

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของเอกสารบน Website หรือที่เราเรียกกันว่าเว็บเพจ ถูกพัฒนาและกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร World Wide Web Consortium (W3C) และจากการพัฒนาทางด้าน Software ของ Microsoft ทำให้ภาษา HTML เป็นอีกภาษาหนึ่งที่ใช้เขียนโปรแกรมได้ หรือที่เรียกว่า HTML Application

HTML เป็นภาษาประเภท Markup สำหรับการการสร้างเว็บเพจ โดยใช้ภาษา HTML สามารถทำโดยใช้โปรแกรม Text Editor ต่างๆ เช่น Notepad, Editplus หรือจะอาศัยโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือช่วยสร้างเว็บเพจ เช่น Microsoft FrontPage, Dream Weaver ซึ่งอำนวยความสะดวกในการสร้างหน้า HTML ส่วนการเรียกใช้งานหรือทดสอบการทำงานของเอกสาร HTML จะใช้โปรแกรม เช่น IE Microsoft Internet Explorer (IE), Mozilla Firefox, Safari, Opera, และ Netscape Navigator เป็นต้น

2.7.7 ภาษา PHP

PHP ย่อมาจาก PHP Hypertext Preprocessor แต่เดิมย่อมาจาก Personal Home Page Tools เป็นภาษาคอมพิวเตอร์จำพวก Scripting language ภาษาจำพวกนี้คำสั่งต่าง ๆ จะถูกเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่า Script และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัวแปลชุดคำสั่ง ตัวอย่างของภาษา Script เช่น JavaScript , Perl เป็นต้น ลักษณะของ

PHP ที่แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่น ๆ คือ PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นจึงกล่าวว่า PHP เป็นภาษาที่เรียกว่า Server-side หรือ HTML-Embedded Scripting Language นั่นคือในทุก ๆ ครั้งก่อนที่เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งให้บริการเป็น Web Server จะส่งหน้าเว็บเพจที่เขียนด้วย PHP ให้เรา มันจะทำการประมวลผลตามคำสั่งที่มีอยู่ให้เสร็จเสียก่อน แล้วจึงค่อยส่งผลลัพธ์ที่ได้ให้เรา ผลลัพธ์ที่ได้นั้นก็คือเว็บเพจที่เราเห็นนั่นเอง ถือได้ว่า PHP เป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถสร้าง Dynamic Web pages (เว็บเพจที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น

PHP เป็นผลงานที่เติบโตมาจากกลุ่มของนักพัฒนาในเชิงเปิดเผยรหัสต้นฉบับ หรือ OpenSource ดังนั้น PHP จึงมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับ Apache Web server ระบบปฏิบัติการอย่างเช่น Linux หรือ FreeBSD เป็นต้น ในปัจจุบัน PHP สามารถใช้ร่วมกับ Web Server หลายๆตัวบนระบบปฏิบัติการอย่างเช่น Windows 95/98/NT เป็นต้น

2.7.8 SQL

SQL ย่อมาจาก structured query language คือภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และเป็นระบบเปิด (open system) หมายถึงเราสามารถใส่คำสั่ง SQL กับฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้ และ คำสั่งงานเดียวกันเมื่อส่งงานผ่าน ระบบฐานข้อมูลที่แตกต่างกันจะได้ ผลลัพธ์เหมือนกัน ทำให้เราสามารถเลือกใช้ฐานข้อมูล ชนิดใดก็ได้โดยไม่ติดขัดกับฐานข้อมูลใดฐานข้อมูลหนึ่ง นอกจากนี้แล้ว SQL ยังเป็นชื่อโปรแกรมฐานข้อมูล ซึ่งโปรแกรม SQL เป็นโปรแกรมฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างของภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพการทำงานสูง สามารถทำงานที่ซับซ้อนได้โดยใช้คำสั่งเพียงไม่กี่คำสั่ง โปรแกรม SQL จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และเป็นภาษาหนึ่ง ซึ่งแบ่งการทำงานได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. Select Query ใช้สำหรับดึงข้อมูลที่ต้องการ
2. Update Query ใช้สำหรับแก้ไขข้อมูล
3. Insert Query ใช้สำหรับการเพิ่มข้อมูล
4. Delete Query ใช้สำหรับการลบข้อมูล

ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ระบบจัดการฐานข้อมูลที่สนับสนุนการใช้คำสั่ง SQL เช่น Oracle , DB2, MS-SQL, MS-Access นอกจากนี้ภาษา SQL ถูกนำมาใช้เขียนร่วมกับโปรแกรมภาษาต่าง ๆ เช่น ภาษา C, Visual Basic , Visual C# และ Java ประเภทของคำสั่งภาษา SQL มีดังนี้

1. ภาษานิยามข้อมูล (Data Definition Language: DDL) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูล กำหนดโครงสร้างข้อมูลว่ามี Attribute ใด ชนิดของข้อมูล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตารางและการสร้างดัชนี คำสั่ง: CREATE, DROP, ALTER

2. ภาษาจัดการข้อมูล (Data Manipulation Language: DML) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเรียกใช้ เพิ่ม ลบ และเปลี่ยนแปลงข้อมูลในตาราง คำสั่ง: SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE

3. ภาษาควบคุมข้อมูล (Data Control Language: DCL) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดสิทธิการอนุญาต หรือ ยกเลิก การเข้าถึงฐานข้อมูล เพื่อป้องกันความปลอดภัยของฐานข้อมูล คำสั่ง: GRANT, REVOKE

2.7.9 PostgreSQL

PostgreSQL (โพสท์เกรสคิวแอล) คือ PostgreSQL เรียกได้ว่าเป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุ-สัมพันธ์ (object-relational) แบบ ORDBMS โดยสามารถใช้รูปแบบคำสั่งของภาษา SQL ได้เกือบทั้งหมด นอกจากนี้ยังเป็นระบบฐานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดของ Open Source ที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ได้มีการพัฒนามาจาก POSTGRES 4.2 โดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (Berkeley Computer Science department, University of California.)

PostgreSQL สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการได้ทั้ง Linux, UNIX (AIX, BSD, HP-UX, SGI Irix, Mac OS X, Solaris, Tru64) และ Windows

ดังนั้น PostgreSQL (โพสท์เกรสคิวแอล) ระบบจัดการฐานข้อมูลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับหลาย ๆ องค์กร เพื่อช่วยในการจัดการฐานข้อมูล ให้เป็นไปตามแผนการดำเนินการที่วางไว้ โปรแกรม PostgreSQL (โพสท์เกรสคิวแอล) เป็นที่นิยมอย่างมากเพราะสามารถใช้ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และยังมีกราฟิกให้ทันสมัยอยู่เสมอ

2.7.10 NoSQL

NoSQL คือ เทคโนโลยีฐานข้อมูลที่ถูกออกแบบมาสำหรับงานเฉพาะทางบางอย่างที่ SQL ยังไม่สามารถตอบโจทย์ได้ดีเพียงพอ เมื่อพูดถึง NoSQL จะได้ยินชื่อเว็บไซต์ที่ใหญ่ๆ ติดพวงมาลัย เช่น Facebook, Twitter, Four Square, Digg และอื่นๆ ทำให้เรารู้ว่า NoSQL เป็นระบบฐานข้อมูลสำหรับงานที่ต้องรองรับข้อมูลขนาดใหญ่ๆ รองรับการทำงานแบบได้ง่าย เป็นต้น

ข้อดีของ NoSQL

- โดยมาก NoSQL มักถูกออกแบบมาให้มี Availability สูงมาก และ Scale ระบบเพื่อรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากได้ง่าย ถึงแม้ระบบจะทำงานร่วมกันข้าม Data Center ก็ตาม

- NoSQL หลายๆ ระบบถูกออกแบบมาสำหรับ Unstructured Data โดยเฉพาะ เช่น ประมวลผล Log, XML, JSON และเอกสารต่าง ๆ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเฉพาะทางแต่ละประเภทสูง

ข้อเสียของ NoSQL

- ส่วนใหญ่แล้ว NoSQL จะทำงานแบบ Non-transactional ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมีความละเอียดสูงและผิดพลาดไม่ได้เลย NoSQL หลายๆ ระบบก็อาจจะไม่เหมาะในหลายๆ กรณี

- การเรียกอ่านข้อมูลขึ้นมาใช้ส่วนใหญ่แล้วจะมี Cost ที่สูงกว่าการใช้ SQL เพราะไม่สามารถเลือกเจาะจงได้อย่างง่ายๆ ว่าจะเรียกข้อมูลส่วนไหนขึ้นมา ยกเว้นสำหรับงานเฉพาะทางบางอย่างที่เรียกว่า SQL แบบชัดเจนมาก (ขึ้นอยู่กับงานที่ทำและเทคโนโลยีที่เลือก) แต่การบันทึกข้อมูลลงไปส่วนใหญ่จะง่ายกว่า SQL

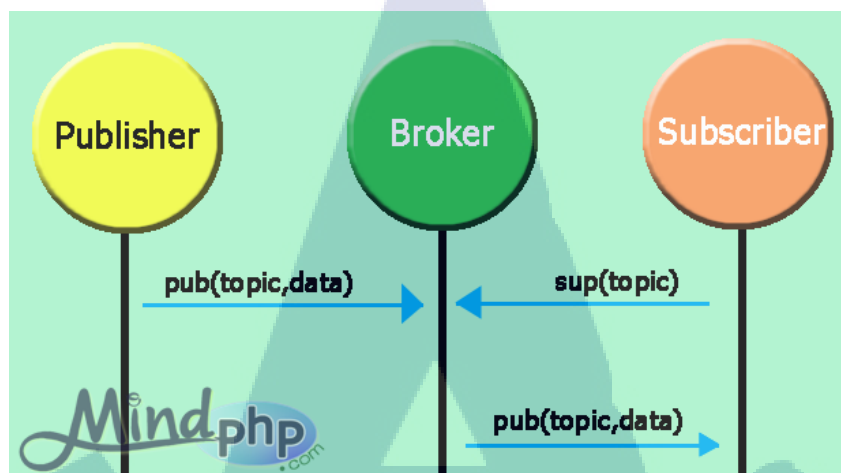
- เทคโนโลยีส่วนใหญ่ไม่มีความเป็นมาตรฐานกลาง ดังนั้นการเปรียบเทียบแต่ละเทคโนโลยีค่อนข้างทำได้ยาก ผู้ใช้งานต้องมีความคุ้นเคยกับการจัดการ Software เหล่านี้ให้ได้ด้วยตัวเอง

- ผู้เชี่ยวชาญที่สามารถสนับสนุนเทคโนโลยีเหล่านี้ในระดับองค์กรได้นั้นยังมีไม่มาก แต่เทคโนโลยี NoSQL นี้กลับมีความจำเป็นมากในการที่องค์กรจะสร้างความแตกต่างในเชิงเทคโนโลยีจากคู่แข่ง

2.7.11 MQTT Protocol

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็น โปรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ สนับสนุนเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรศัพท์ ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถ ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่อื่นได้ เช่นการสั่งปิดเปิดไฟในบ้านจากที่อื่น ๆ

เนื่องจากโปรโตคอลตัวนี้มีน้ำหนักเบา ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก แบนวิธต่ำ ใช้หลักการแบบ publisher / subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ในเว็บเซอร์วิสที่ต้องใช้เว็บเซิร์ฟเวอร์เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่ จัดการคิว รับ — ส่ง ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber ดังภาพ



รูปที่ 2.8 การทำงานเบื้องต้นของ MQTT

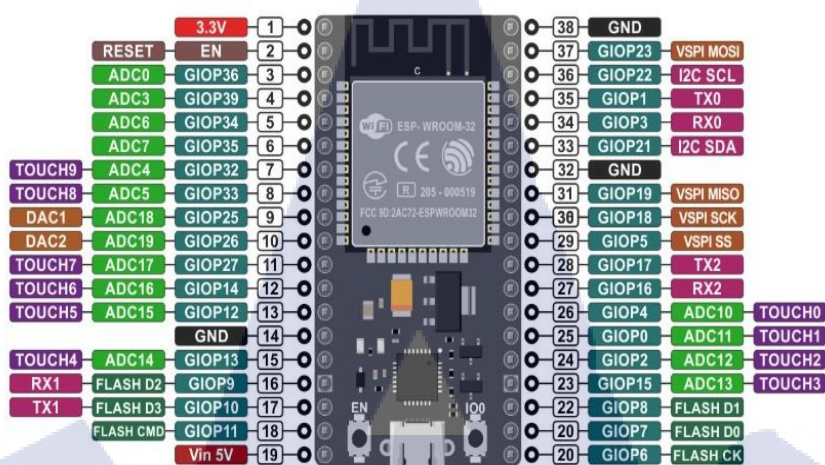
[Ref] : <https://medium.com/@tanakornpiamsin/ติดตั้ง-mqtt-server-d31bcae85d0d>

จากภาพจะเห็นได้ว่า Topic จะเป็นตัวอ้างอิงหลัก ข้อมูลที่จะ Publisher ออกไปยัง Broker จะต้องมีการกำหนด Topic กำกับไว้เสมอ ทางฝ่าย subscriber ก็จะอ้างอิงถึง topic เพื่อเรียกข้อมูลที่ต้องการ เหมือนกับการสมัครเป็นสมาชิกของหนังสือพิมพ์ฉบับหนึ่ง ชื่อของหนังสือก็เปรียบเหมือน topic และผู้ผลิตก็คือ publisher เมื่อถึงเวลาที่หนังสือเสร็จ ผู้ส่ง Broker ก็จะนำหนังสือพิมพ์มาส่งให้เรา

2.7.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์, เซ็นเซอร์ และแพลตฟอร์มไอโอที

NodeMCU ESP32 เป็นอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาด้วย ESP32 Wi-Fi microchip โดยใช้ Firmware ที่เป็น Open-Source สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่าน Wi-Fi ได้ และมีฟอร์ทการใช้งานอย่าง GPIO ให้ใช้งานจึงเหมาะกับการออกแบบและพัฒนาระบบ IoT โดย NodeMCU สามารถทำงานและพัฒนาได้เหมือนกับ Arduino กล่าวคือ ใช้ภาษา C++ และ Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมได้ และใช้งาน Library ที่เขียนขึ้นสำหรับบอร์ด Arduino ตามรูปที่ 1

เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ผู้วิจัยเลือกใช้จะเป็นเกรดอุตสาหกรรมด้วย 485-Modbus เนื่องจากต้องการความทนทานในการใช้งานทุกสภาพอากาศ ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรังมีความเสถียรสูงและเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ตามรูปที่ 2.9



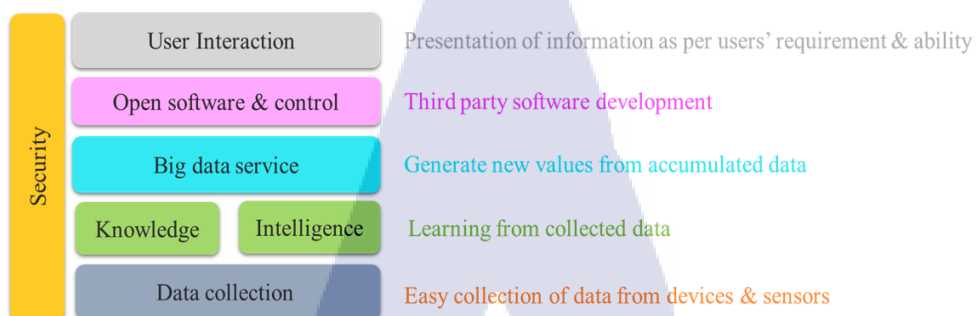
รูปที่ 2.9. รายละเอียดพอร์ทการใช้งาน NodeMCU ESP-32



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วย 485-Modbus

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที (เครื่องแม่ข่ายและเครือข่ายแบบกลุ่มเมฆ) ที่รองรับการจัดเก็บข้อมูลจากระบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งผ่านโพรโตคอล HTTP, TCP, UDP, IP, MQTT และ CoAP ที่มีความปลอดภัยของข้อมูล รวมถึงความง่ายของการใช้งาน พร้อมการเก็บข้อมูลจำนวนมากใหญ่และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อได้ ตามรูปที่ 2.11

Information collection, storage, big data service, third party application development etc.



รูปที่ 2.11 แพลตฟอร์มไอโอที

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 3

การออกแบบและดำเนินงานวิจัย

3.1 เงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทำวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ จากการวิเคราะห์เอกสาร แบบสัมภาษณ์ การสังเกตเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นภาพรวม และประมวลผลข้อมูลแบบสถิติ จากเกษตรกรและสภาพแวดล้อมจริงภายในบ้านนกแอ่นกินรัง จำนวน 50 หลัง ตามแต่ละจังหวัด ได้แก่ นราธิวาส ปัตตานี สตูล สงขลา กระบี่ พังงา ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม สมุทรปราการ ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด โดยได้ข้อสรุปของอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 27-29 องศาเซลเซียส และความชื้นที่เหมาะสมอยู่ที่ 80-95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ระบบจะนำค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น มาทำการคำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) และจุดไอน้ำกลั่นตัว (Dew Point) ตามสมการที่ (1) (2) และ (3)

$$T = \frac{b \left[\frac{aT_d}{b + T_d} - \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right]}{a + \ln \left(\frac{RH}{100} \right) - \frac{aT_d}{b + T_d}} \quad (1)$$

$$T_d = \frac{b \left[\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{aT}{b + T} \right]}{a - \ln \left(\frac{RH}{100} \right) - \frac{aT}{b + T}} \quad (2)$$

$$RH = 100 \frac{\exp \left(\frac{aT_d}{b + T_d} \right)}{\exp \left(\frac{aT}{b + T} \right)} \quad (3)$$

$$AH = \frac{6.112 \times \exp \left(\frac{17.67 \times T}{T + 243.5} \right) \times RH \times 2.1674}{243.15 + T} \quad (4)$$

จากตัวแปร:

$$a = 17.625$$

$$b = 243.04$$

T คือ อุณหภูมิองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

T_d คือ จุดไอน้ำกลั่นตัว ($^{\circ}C$)

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)

AH คือ ค่าความชื้นสัมบูรณ์ (g / m^3)

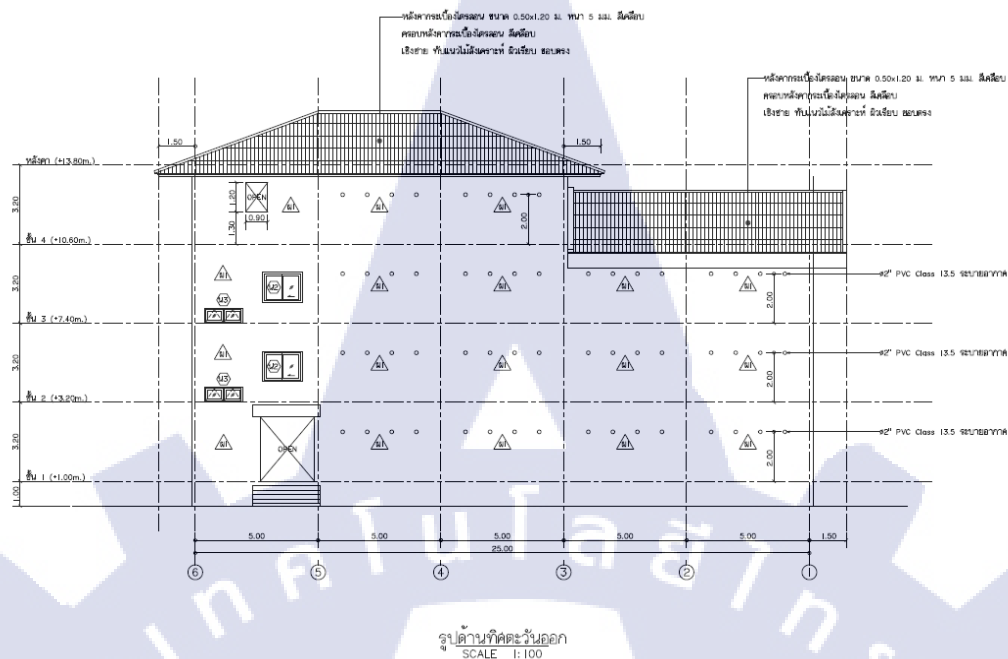
ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ (T) 28 องศาเซลเซียส และที่จุดไอน้ำกลั่นตัว (T_d) 25.9 องศาเซลเซียส ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ที่ 88.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นสัมบูรณ์ได้ที่ 24.06 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรผู้วิจัยจะได้นำไปใช้ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรังต่อไป เป็นต้น

3.2 ออกแบบระบบและติดตั้งอุปกรณ์

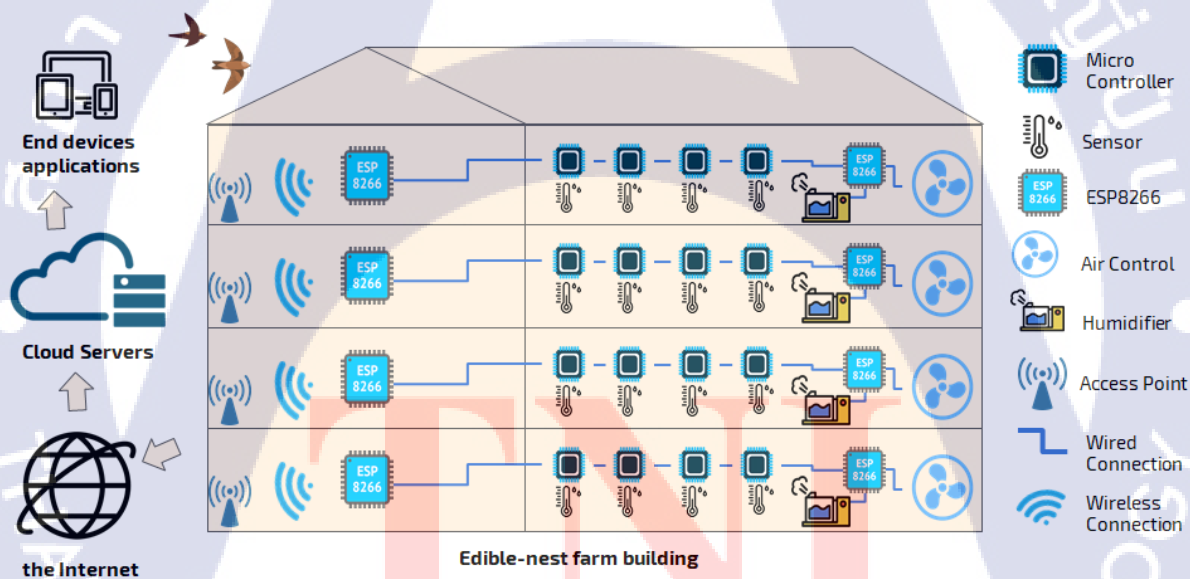
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูง ตามรูปแบบอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรังซึ่งเป็นอาคาร 4 ชั้น พื้นที่ขนาด 480 ตารางเมตร ตามรูปที่ 4 โดยที่จัดสร้างอาคารจะใกล้กับเขตอุทยานแห่งชาติหาดวนกรที่มีผืนป่าสมบูรณ์ รวมถึงยังติดกับทะเลทางทิศตะวันออก และใกล้กับเกาะจาน เกาะท้ายทรีย์ ซึ่งเป็นเกาะพื้นที่เขตสัมปทานรังนกที่อยู่ในความดูแลรับผิดชอบของอุทยานแห่งชาติหาดวนกร อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

จากรูปที่ 3.1 ผู้วิจัยได้ออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำหน้าที่ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคาร รวมถึงการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ไปประมวลผลยังเครื่องแม่ข่ายและเครือข่ายแบบกลุ่มเมฆ เพื่อสามารถควบคุมหรือแสดงผลผ่านเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน และจากรูปที่ 3.2 ได้แสดงการวางตำแหน่งเซ็นเซอร์ภายในอาคารฟาร์มเฉพาะพื้นที่ควบคุม ในแต่ละเขตพื้นที่ 2 ตารางเมตรสำหรับเซ็นเซอร์แต่ละตัว เพื่อระบบสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะพื้นที่ควบคุมเฉพาะนั้นๆ ทำให้ระบบควบคุมอุปกรณ์ทำหมอกและพัดลมดูดอากาศให้ทำงานอัตโนมัติเฉพาะพื้นที่ตามค่าที่ได้กำหนดไว้และจากการตัดสินใจของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมนี้ด้วยเซลล์ประสาทเทียม

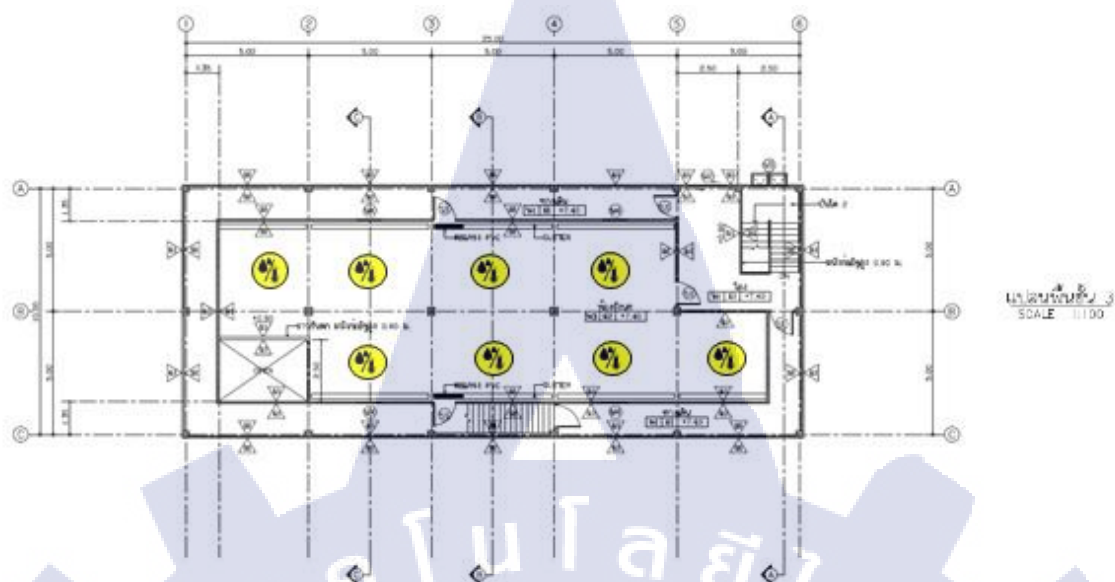
ดังนั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง โดยสามารถควบคุมการทำงานของระบบผ่านเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน รวมถึงการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ตามรูปที่ 3.3



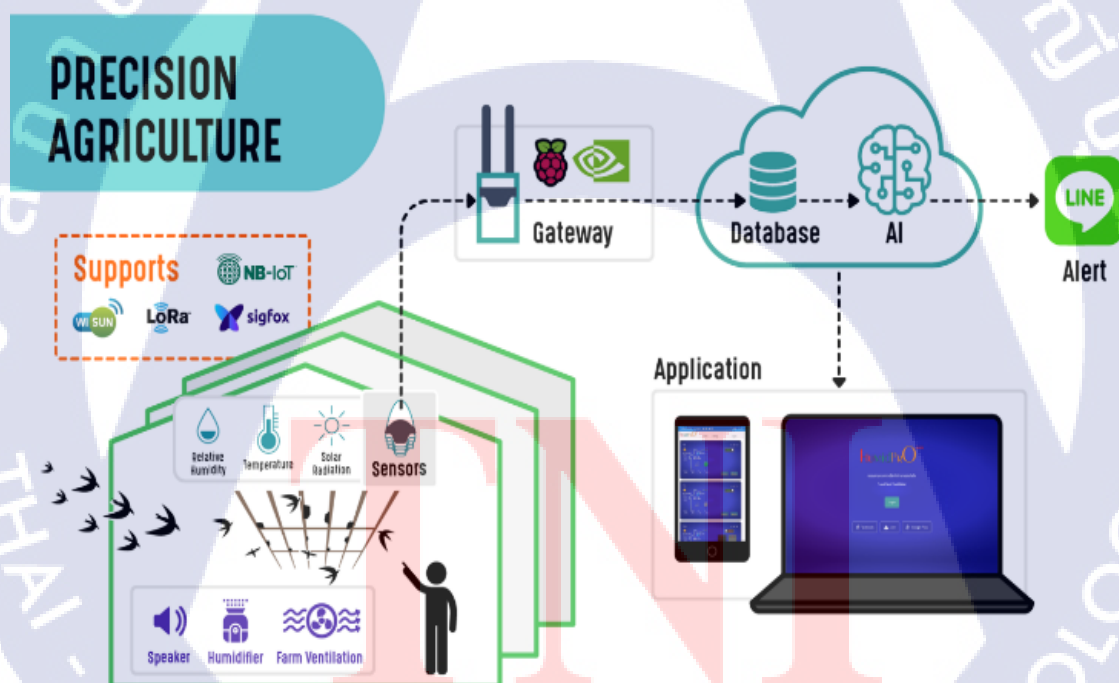
รูปที่ 3.1 แบบอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 3.2 การวางอุปกรณ์เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารฟาร์ม



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งเซ็นเซอร์เฉพาะพื้นที่เพื่อความแม่นยำสูง (อาคารชั้น 3)

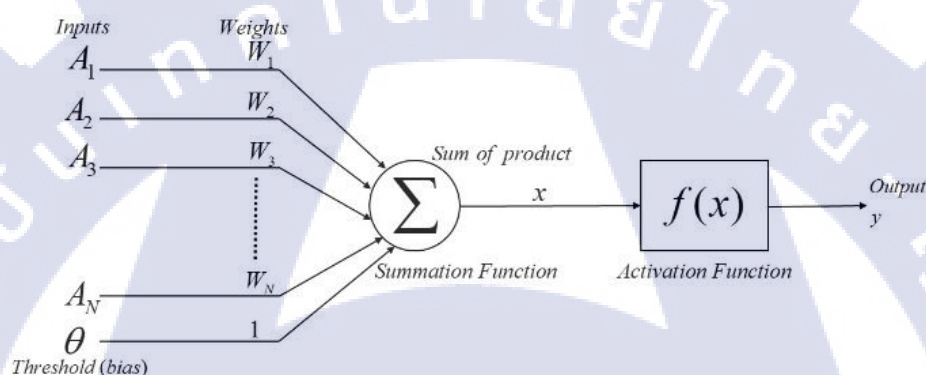


รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง

3.3 เงื่อนไขในการตัดสินใจด้วยปัญญาประดิษฐ์

ผู้วิจัยได้ออกแบบเงื่อนไขการตัดสินใจของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมนี้ด้วยเซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neurons) ที่เป็นส่วนประกอบเบื้องต้นของเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่ทำการคำนวณข้อมูลขาเข้า (Inputs) แต่ละค่า ที่เชื่อมโยงกับค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งปกติจะมีค่า 0 หรือ 1 ดังนั้น ฟังก์ชันการรวม (Summation Function) ก็มักจะใช้ค่าข้อมูลขาเข้าพิเศษ θ (Threshold or Bias) [15] ที่มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 ตามสมการที่ (5) และรูปที่ 3.5

$$\chi = \sum_{i=1}^N A_i W_i + \theta \quad (5)$$



รูปที่ 3.5 รูปแบบประสาทเทียม

โดยเงื่อนไขปัญญาประดิษฐ์นี้ จะทำงานอยู่บนอุปกรณ์ Raspberry Pi เพื่อการเรียนรู้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยเซลล์ประสาทอ่อน (Single Soft Neuron) ตามเงื่อนไขต่างๆ ภายในโปรแกรม (Programmed) ที่สามารถเรียนรู้และควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารของฟาร์มอย่างแม่นยำ โดยเซลล์ประสาททำหน้าที่ตัดสินใจบนพื้นฐานของสัญญาณซินแนปส์ (Synapse) ที่เป็นข้อมูลขาเข้า 0 หรือ 1 (Input 0 and 1) และค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weight) ของสัญญาณนี้ ตัวอย่างเช่น มีเซลล์ประสาทที่มีซินแนปส์มาจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ/ความชื้นของอากาศ (น้ำหนัก (Weight) คือ เกณฑ์การกระตุ้น) ตามระดับสัญญาณที่เซลล์ประสาทรู้ว่าอากาศมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27-29 องศาเซลเซียส/ปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 80-95 เปอร์เซ็นต์ และตั้งให้เครื่องทำความชื้น/พัดลมดูดอากาศทำงาน ตามค่าพารามิเตอร์/เงื่อนไขต่างๆ ภายในโปรแกรมของเซลล์ประสาทตามรหัสเทียม (Pseudo Code) ที่แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม (Algorithm) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม (Algorithm)

The pseudocode of the environmental control system is:

1. **Input** Temperature, Humidity (Ax , Wx)
2. **IF** Temperature 27-29 °C or Humidity 80-95 % **THEN**
3. Start Humidifier/Ventilation Fan
4. **IF** Temperature = $\{27 \geq \text{Temp.} \leq 29\}$ **THEN**
5. Start Ventilation Fan
6. **IF** Humidity = $\{80 \geq \text{Humi.} \leq 95\}$ **THEN**
7. Start Humidifier
8. **END IF**
9. **WRITE** Temperature, Humidity, Relative Humidity, Absolute Humidity, Dew Point
10. **Activation Function** $f(x)$
11. **Output** y

3.4 การดำเนินงานวิจัยภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง

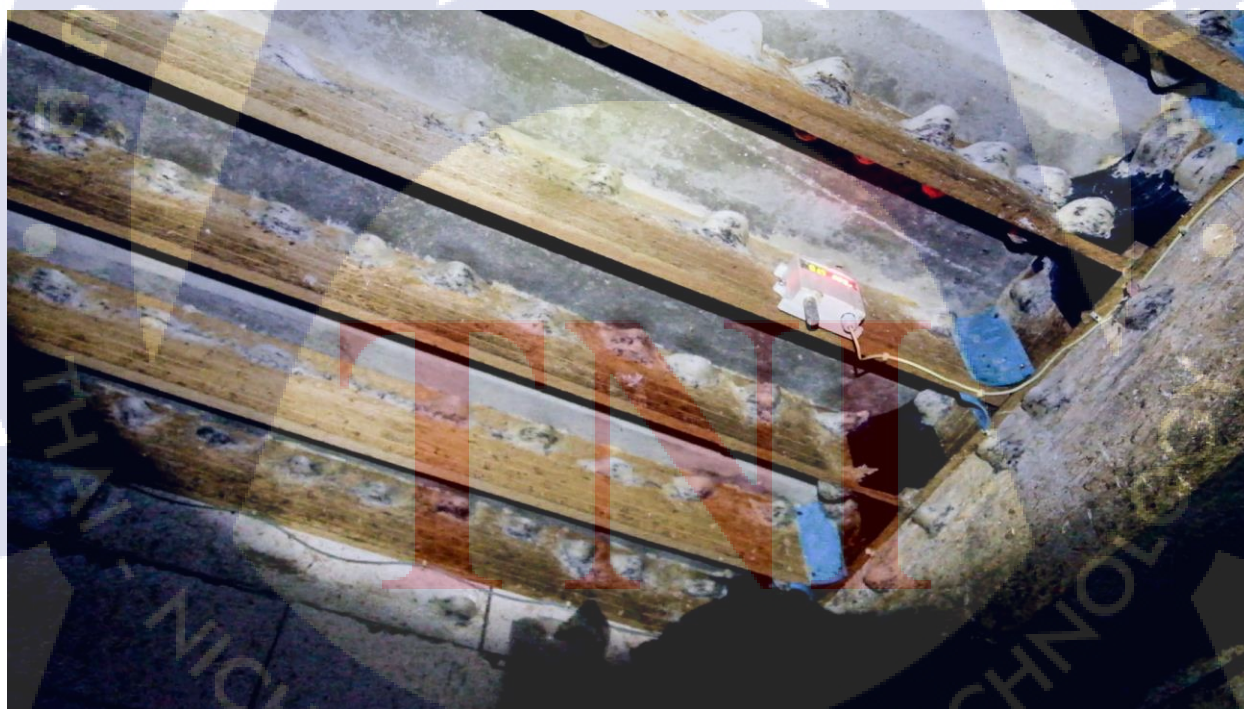
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและทดลองกับอาคารภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในฟาร์มนกแอ่นกินรัง ณ ศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



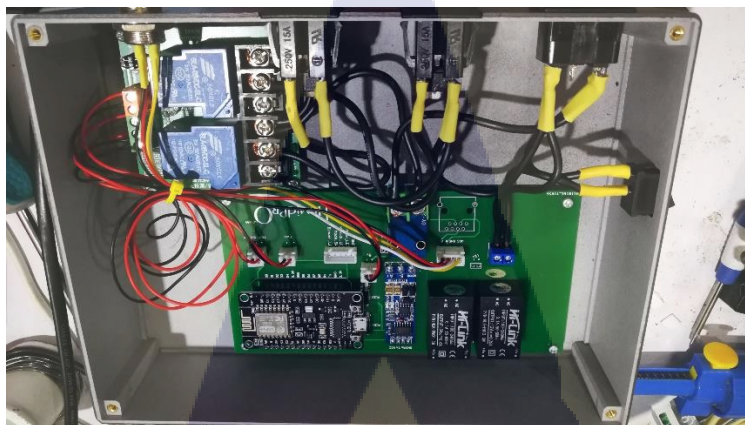
รูปที่ 3.6 ศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 3.7 ห้องควบคุมในฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ชุดเซ็นเซอร์ ภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 3.9 ภายในอุปกรณ์ชุดเซ็นเซอร์

TNI

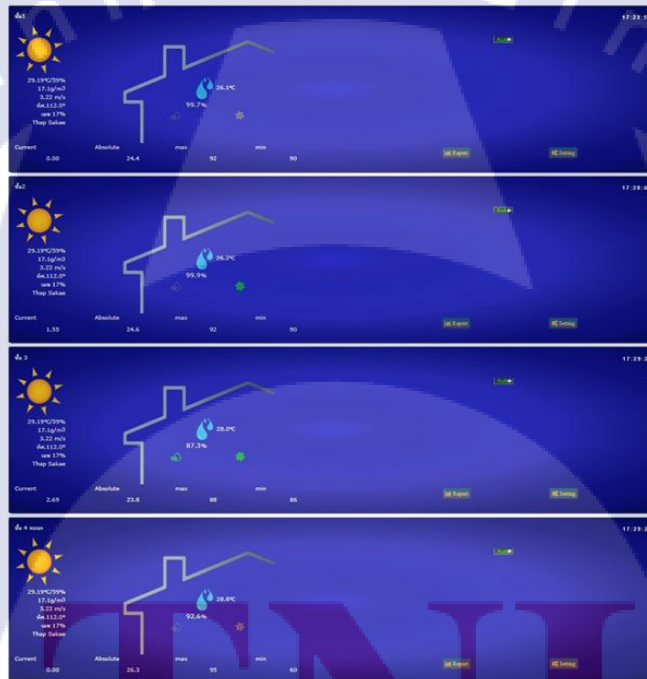
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองจากระบบ

จากผลการทดลองระบบควบคุมสภาพแวดล้อมแบบแม่นยำสูงสำหรับฟาร์มนกแอ่นกินรัง โดยข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะส่งผ่านข้อมูลมายังเกตเวย์แล้วส่งต่อไปประมวลผลบนเครื่องแม่ข่ายและเครือข่ายแบบกลุ่มเมฆ และสามารถตรวจสอบหรือบริหารจัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังผ่านแอปพลิเคชัน จากบริการของเครื่องแม่ข่าย ดังรูปที่ 4.1



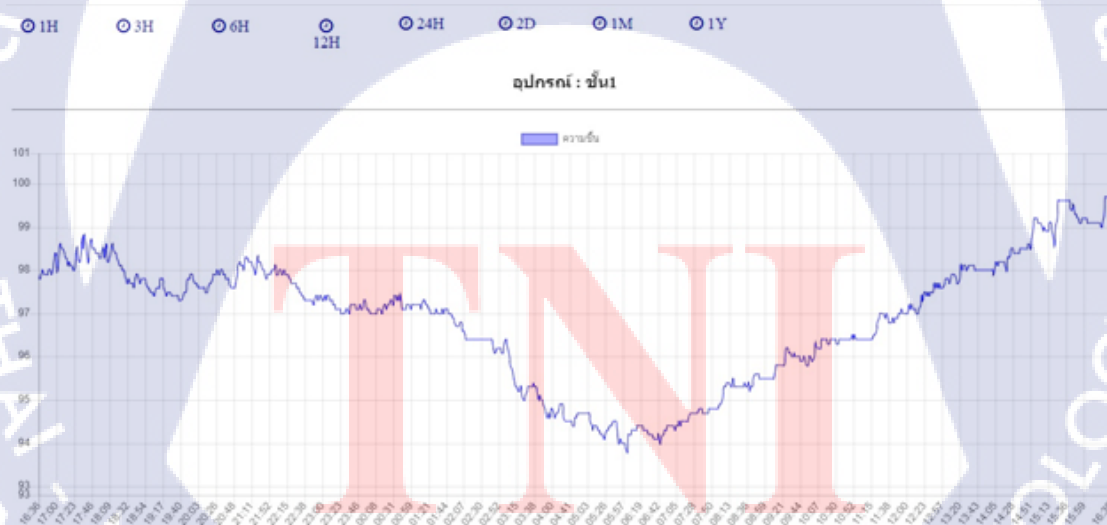
รูปที่ 4.1 เว็บไซต์แสดงข้อมูลของอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรังในแต่ละชั้น

ผู้วิจัยขอแสดงตัวอย่างของผลการทดลองเฉพาะระบบของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง จากรูปที่ 4.2 -4.8 ที่แสดงค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นสัมบูรณ์ และค่าจุดไอน้ำกลั่นตัว รวมถึงกราฟแสดงผลค่าต่างๆ ในภาพรวมของระบบ และสามารถใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนทั้งทาง Android App. และ Line App. รวมถึงผลผลิตรังนกที่มีคุณภาพสูงที่เกษตรกรสามารถจำหน่ายราคาสูงตามไปด้วย

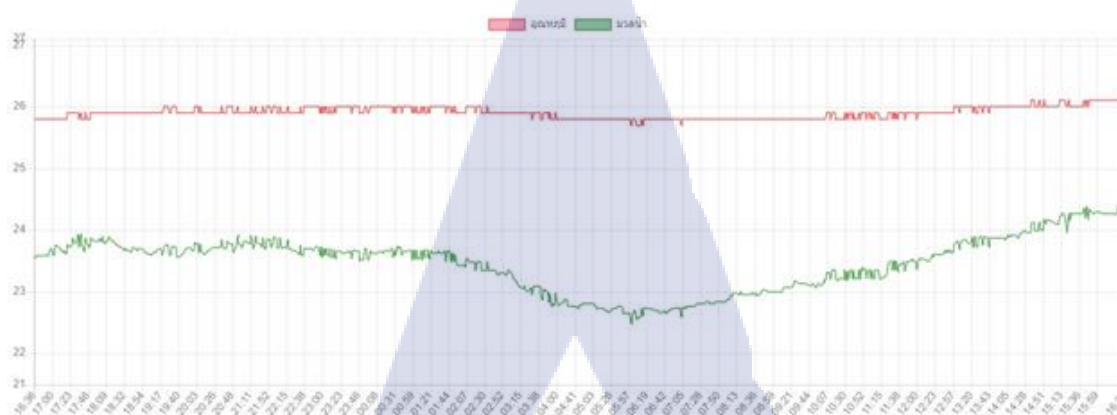
อย่างไรก็ดี ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูงยังสามารถเก็บข้อมูลที่สนับสนุนการเพาะเลี้ยงนกแอ่นกินรังตามมาตรฐาน GAP ที่สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศจีนและหลายประเทศทั่วโลก



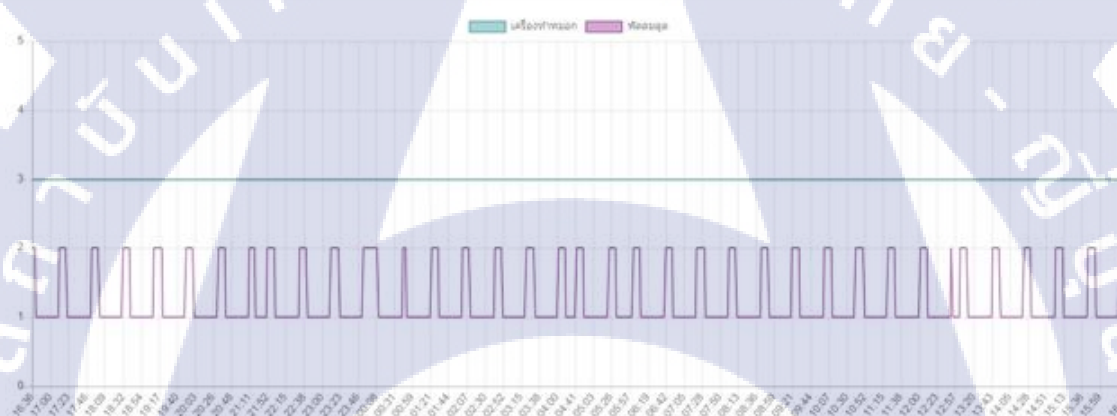
รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลชั้นที่ 1 ของอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความชื้นของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง) โดยระบบสามารถเลือกการแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึง 1 ปี



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟอุณหภูมิและมวลน้ำของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มกนกแอ่นกินรัง) 12 ชั่วโมง (โดยระบบสามารถเลือกการแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึง 1 ปี

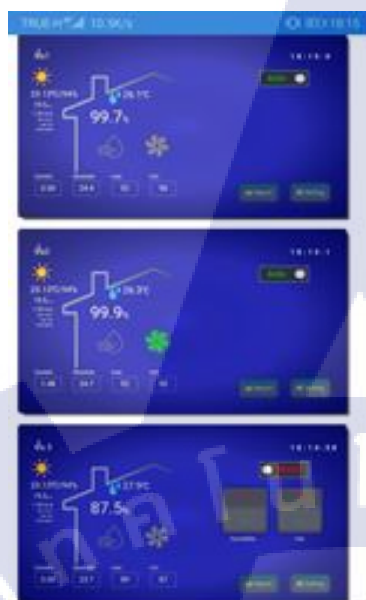


รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการทำงานของเครื่องทำหมอกและพัดลมของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มกนกแอ่นกินรัง) 12 ชั่วโมง (โดยระบบสามารถเลือกการแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึง 1 ปี)

ตารางสรุปการทำงาน วันที่								
	00:00-03:00	03:01-06:00	06:01-09:00	09:01-12:00	12:01-15:00	15:01-18:00	18:01-21:00	21:01-23:59
ทำหมอก	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
พัดลม	0:37:19	0:34:0	0:42:11	0:34:6	0:32:29	0:24:20	00:00:00	3:24:25
อุณหภูมิ	25.96	25.83	25.79	25.84	25.97	26.06	0.00	25.90
ความชื้น	96.86	94.78	94.74	96.31	97.94	99.25	0.00	96.45
มวลน้ำ	23.54	22.87	22.81	23.24	23.81	24.26	0.00	23.35
อุณหภูมิ (ต่ำ/สูง)	25.90/26.00	25.80/25.90	25.70/25.80	25.80/25.90	25.80/26.10	26.00/26.10	0.00/0.00	25.70/26.10
ความชื้น (ต่ำ/สูง)	96.10/97.40	94.00/96.40	93.80/95.60	95.50/97.10	97.00/99.20	98.60/99.70	0.00/0.00	93.80/99.70

รูปที่ 4.6 แสดงข้อมูลการทำงานของระบบควบคุมชั้นที่ 1 (ภายในอาคารฟาร์มกนกแอ่นกินรัง) 24 ชั่วโมง (ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้)

(1) Android App.



(2) Line App.



รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของระบบ (1) บน Android App. และ (2) แจ้งเตือนผ่าน Line App.



รูปที่ 4.8 ผลผลิตรังนกแ่่นกิ้งคุณภาพสูง

4.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรแม่นยำสูง

ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดมาตรฐานการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรแม่นยำสูง สำหรับบ้านนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลที่ได้พัฒนาขึ้น

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกอช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
1. องค์ประกอบบ้านนก								
1.1 สถานที่ตั้ง	อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เสี่ยงอันตรายทางเคมีและชีวภาพ	มีการขออนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	MAJ	✓				
		ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชน น้ำไม่ท่วม และมีการคมนาคมสะดวก	MIN	✓				
		อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากอันตรายทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ	REC	✓				
1.2 ฝั่งบ้านนก	มีการออกแบบที่ดี กำหนดตำแหน่งและพื้นที่เป็นสัดส่วน เช่น พื้นที่ทำรัง ลานบิน นอกบ้าน ห้องบินเล่นในบ้าน (ห้องบินวน) และพื้นที่สำหรับผู้ควบคุมดูแล ช่องทางเข้า-ออกบ้านนก สะดวก	พื้นที่บ้านนกมีขนาดเพียงพอเหมาะสมในการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ	MAJ	✓				
		มีการวางแผนสำหรับการปฏิบัติอย่างถูกสุขลักษณะ และแยกพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นสัดส่วน เช่น พื้นที่สำหรับเลี้ยงสัตว์ เก็บอุปกรณ์ ทำลายซากสัตว์ ห้องเก็บรังนก ที่พักอาศัย	MAJ	✓				
1.3 ลักษณะบ้านนก	โครงสร้างแข็งแรง ทนทาน ง่ายต่อการบำรุงรักษาและทำความสะอาด โดยมีลักษณะที่ลดการสะสมการปนเปื้อน	มีโครงสร้างแข็งแรง ง่ายต่อการบำรุงรักษา ทำความสะอาด	MAJ	✓				
		มีพื้นที่เพียงพอในการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง ทั้งพื้นที่ทำรัง พื้นที่ลานบินในบ้านและนอกบ้าน และช่องทางเข้า-ออกของนกแอ่น	REC	✓				

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
	และป้องกันสัตว์ชนิดอื่นหรือสัตว์พาหะนำโรค	ลักษณะของไม้ระแนงหรือวัสดุเกาะคอนต้องเหมาะสมสำหรับการทำรังของนกแอ่นกินรัง	MAJ	✓				
		มีการจัดเตรียมถังดับเพลิงไว้ในอาคารอย่างเพียงพอและอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม	MIN	✓				
		มีการติดตั้งราวกันตกบริเวณช่องทางที่นักบินเข้า-ออกแต่ละชั้น	MIN	✓				
		มีไฟฉุกเฉินในอาคารบ้านนก	MIN	✓				
	ห้องทำรังมีอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสม มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นและแสงสว่าง	มีการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในบ้านนก ให้เหมาะสม	MAJ		✓	✓	✓	✓
	มีการระบายอากาศและ/หรือการระบายน้ำที่เหมาะสม	มีการระบายอากาศที่ดี ป้องกันการสะสมของแอมโมเนียและฝุ่นละอองและมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียและรางระบายน้ำภายในอาคาร	MAJ	✓				
2. น้ำ								
	น้ำใช้ในบ้านนกสะอาด ไม่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากสิ่งที่เป็นอันตราย	แหล่งน้ำที่ใช้ในบ้านนกต้องเป็นน้ำที่สะอาด อยู่ในบริเวณที่ป้องกันและไม่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากสิ่งที่เป็นอันตราย กรณีใช้แหล่งน้ำสาธารณะให้มีแนวทางป้องกันการแพร่ระบาดของโรคผ่านแหล่งน้ำ	MAJ		✓	✓	✓	✓
3. การจัดการบ้านนก								
3.1 การทำความสะอาดและการบำรุงรักษา	ต้องมีการกำจัดสิ่งปฏิกูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้ถูกสุขลักษณะ ทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ	การทำความสะอาดภายในบ้านนก ควรเก็บมูลและสิ่งปฏิกูลออกจากบริเวณพื้นที่เลี้ยงนกแอ่นกินรังก่อนเสมอ	MIN		✓	✓	✓	✓
		ทำความสะอาดไม้ระแนงหรือวัสดุเกาะคอนสำหรับนกทำรังให้อยู่ในสภาพดี ไม่ให้มีเชื้อราและปรสิต	MIN		✓	✓	✓	✓

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกอช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
		ทำความสะอาดรางน้ำภายในอาคารให้ระบายน้ำได้อย่างสะดวก	MAJ		✓	✓	✓	✓
	ซ่อมแซมบำรุงรักษาบ้านนกและอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน	ทำความสะอาดและบำรุงรักษาบ้านนก อุปกรณ์ และบริเวณโดยรอบให้อยู่ในสภาพดีและถูกสุขลักษณะ	MIN		✓	✓	✓	✓
	น้ำยาทำความสะอาดและสารเคมีที่ใช้ในบ้านนก ต้องเป็นสารที่อนุญาตให้ใช้ตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง	สารเคมี ยาฆ่าเชื้อ หรือวัตถุอันตรายที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ ให้ใช้ตามคำแนะนำในฉลากผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนกับกรมปศุสัตว์ หรือตามคำแนะนำของสัตวแพทย์ผู้ควบคุมบ้านนก	MAJ		✓	✓	✓	✓
3.2 คู่มือการจัดการบ้านนก	ให้มีคู่มือการจัดการที่แสดงให้เห็นรายละเอียดการปฏิบัติงานที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและการควบคุมโรคภายในบ้านนก ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การทำความสะอาด การป้องกันและควบคุมโรค การจัดการผลผลิต การกำจัดศัตรูนก การกำจัดขากนกและสิ่งปฏิกูล เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ	มีคู่มือการจัดการบ้านนกที่แสดงรายละเอียดการปฏิบัติงานที่สำคัญภายในบ้านนก ได้แก่ การจัดการบ้านนก การจัดการด้านสุขภาพสัตว์ การจัดการผลผลิต การจัดการสิ่งแวดล้อม และระบบการบันทึกข้อมูล	MIN		✓	✓	✓	✓
3.3 บุคลากร	มีการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการจัดการบ้านนก	ผู้ปฏิบัติหน้าที่เลี้ยงนกแอ่นกินรัง ต้องมีความรู้ และได้รับการฝึกฝนอบรมเพื่อให้จัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังได้	MAJ	✓				
		มีสัตวแพทย์ที่มีใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพการสัตวแพทย์ชั้นหนึ่ง และใบรับรองเป็นสัตวแพทย์ควบคุมฟาร์มสัตว์ปีก	MIN			✓	✓	✓

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
	มีการดูแลสุขลักษณะส่วนบุคคล และมีมาตรการป้องกันเชื้อโรคเข้าสู่บ้านนก เช่น เปลี่ยนรองเท้า สวมเสื้อผ้าที่สะอาด ผ้าปิดจมูก หมวกคลุมผม และล้างมือล้างเท้า ฆ่าเชื้อเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนหรือติดเชื้อจากผู้ปฏิบัติงาน	ผู้ปฏิบัติงานต้องมีการแต่งกายที่เหมาะสม สามารถป้องกันการได้รับและแพร่เชื้อโรคได้	MIN		✓	✓	✓	✓
	ผู้ปฏิบัติงานในบ้านนกต้องมีสุขภาพดี และได้รับการตรวจสุขภาพประจำปี	ผู้ปฏิบัติงานต้องมีสุขภาพดีส่วนบุคคลที่ดี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนและแพร่เชื้อ และควรได้รับการตรวจสุขภาพเป็นประจำทุกปี อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง	MAJ		✓	✓	✓	✓
4. สุขภาพสัตว์								
	มีการเฝ้าระวังและป้องกันโรคอย่างมีประสิทธิภาพ	มีมาตรการป้องกันและควบคุมโรคเข้าสู่อาคารบ้านนกจากคน พาหนะ และอุปกรณ์อื่นๆ มีการจดบันทึกการผ่านเข้า-ออกจากบ้านนก ที่สามารถตรวจสอบได้	MAJ		✓	✓	✓	✓
		บริเวณหน้าบ้านนกควรมีอ่างจุ่มน้ำยาฆ่าเชื้อโรค สำหรับจุ่มเท้าบุคคลเวลาเข้า-ออกบ้านนก	MIN		✓	✓	✓	✓
		มีการเฝ้าระวังโรคที่สำคัญเพื่อเป็นข้อมูลกำหนดแผนการป้องกันโรคอย่างเหมาะสม	REC		✓	✓	✓	✓
	มีมาตรการป้องกันศัตรูและควบคุมสัตว์ที่เป็น	มีมาตรการควบคุมป้องกันสัตว์พาหะ	MAJ		✓	✓	✓	✓

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
	พาหนะนำโรค ไม่ให้เป็นแหล่งของเชื้อโรคที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและสุขลักษณะของนกอย่างต่อเนื่อง							
	ถ้าพบการตายของนกผิดปกติ ให้แจ้งเจ้าหน้าที่ของกรมปศุสัตว์ทันที	ถ้าพบการตายของนกผิดปกติ ให้แจ้งเจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์ทันที	MAJ		✓	✓	✓	✓
	กรณีเกิดโรคระบาดหรือสงสัยว่าเกิดโรคระบาดให้ปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยโรคระบาด	กรณีที่เกิดโรคระบาดหรือสงสัยว่าเกิดโรคระบาด ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติโรคระบาดสัตว์ พ.ศ. 2558	MAJ			✓	✓	✓
5. สวัสดิภาพสัตว์								
	ให้ตรวจสอบรังนกให้อุ่นก่อนการเก็บ ต้องไม่มีไข่หรือลูกนกให้อุ่นถึงจะเก็บรังนกได้	ปฏิบัติตามระเบียบกรมปศุสัตว์ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิภาพสัตว์ปีก ณ สถานที่เลี้ยง	MAJ				✓	✓
6. การจัดการผลผลิต								
	การเก็บรังนกต้องปฏิบัติอย่างถูกสุขลักษณะ และระมัดระวังไม่ให้รังนกสัมผัสพื้น	ผู้ที่ประสงค์จะเก็บรังนกให้อุ่นนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยอาหารรังนกให้อุ่น ต้องดำเนินการให้ถูกต้องตามกฎหมายต่างๆที่เกี่ยวข้อง	MAJ					✓
		เก็บเฉพาะรังที่สร้างเสร็จแล้ว และไม่มีไข่หรือลูกนกในรัง โดยระมัดระวังไม่ให้รังนกสัมผัสกับพื้นหรือสิ่งปนเปื้อน	MAJ					✓

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
		คัดแยกรังนกที่มีสีหรือลักษณะผิดปกติ เช่น สีดำ หรือ รังที่มีการปนเปื้อนของ ขนนกจำนวนมาก	MAJ					✓
		ให้สุ่มตรวจคุณภาพรังนกตาม มาตรฐานรังนก เช่น ปริมาณไนไตรท์ จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ	MAJ					✓
	เก็บรังนกไว้ในที่ สะอาด มีอากาศ ถ่ายเทได้สะดวกหรือ เก็บในที่เย็นและ สามารถป้องกันการ ปนเปื้อนได้	เก็บรักษารังนกไว้ในภาชนะบรรจุที่ สะอาด ถูกสุขลักษณะ ป้องกันความ เสี่ยงต่อรังนก และมีป้ายบ่งชี้ข้อมูล ของรังนก	MAJ					✓
	การขนส่งรังนกไปยัง ศูนย์รวบรวม หรือ สถานที่คัดบรรจุ ให้ ใช้ภาชนะที่สะอาด	ขนส่งรังนกไปยังศูนย์รวบรวมหรือ สถานที่คัดบรรจุ โดยใช้ภาชนะและ ยานพาหนะที่สะอาด	MAJ					✓

7. การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

ให้อำนาจและของ เสี่ยง เช่น มูลนก ซาก นก อย่างเหมาะสม และสม่ำเสมอ เพื่อ ไม่ให้เป็นแหล่งของ กลิ่นและเชื้อโรค	กำจัดขยะ ของเสีย เช่น มูลนก ซากนก โดยวิธีที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ปนเปื้อน แหล่ง สะสมของเชื้อ โรคและกลิ่น ไม่พึง ประสงค์	MAJ		✓	✓	✓	✓
	การจัดการขยะติดเชื้อ ให้แยกทำลาย ตามดุลยพินิจของสัตวแพทย์ผู้ควบคุม บ้านนก และกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม	MAJ		✓	✓	✓	✓
	มีการระบายอากาศที่ดี ไม่ให้กลิ่น รบกวนชุมชนข้างเคียง	REC			✓	✓	✓
	กรณีติดตั้งเครื่องเสียง ที่ใช้ในบ้านนก ไม่ เปิดเสียงดังเกินกว่า กฎหมายกำหนด	MIN		✓	✓	✓	✓
	กรณีติดตั้งเครื่องเสียงเพื่อเปิดเสียง บ้านนกเรียกนก หรือเสียงนกนอกอาคาร ไม่ควรเปิดเสียงดังเกินกว่าที่กฎหมาย กำหนด และควรเปิดเสียงเรียกใน ระยะเวลาที่เหมาะสม						

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
		กรณีติดตั้งเครื่องเสียงเพื่อเปิดเสียงบันทึกภายในอาคาร หรือเสียงกล่อมคน ไม่ควรเปิดเสียงดังเกินจนเป็นที่รำคาญแก่คนและผู้ปฏิบัติงาน	MIN		✓	✓	✓	✓
8. การบันทึกข้อมูล								
	มีการบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงานในขั้นตอนที่สำคัญ ในการจัดการบ้านนกดังนี้ 1) ข้อมูลบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 2) ข้อมูลบันทึกการเข้า-ออกของบุคคลภายนอก 3) บันทึกข้อมูลการเก็บเกี่ยวรังนก (เช่น ปริมาตรรังนก) 4) บันทึกผลการเฝ้าระวังโรค และจำนวนนกที่ตกตายตามพื้น 5) บันทึกข้อมูลการทำความสะอาด และการควบคุมสัตว์พาหะนำโรค 6) บันทึกข้อมูลการกำจัดศัตรูนก 7) บันทึกข้อมูลการฝึกอบรม และการตรวจสุขภาพ	จัดทำระบบจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญในการจัดการบ้านนก	MAJ		✓	✓	✓	✓

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด มกช.	ข้อกำหนดที่ได้พัฒนาขึ้น	ระดับ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ				
				1	2	3	4	5
	ให้เก็บบันทึกข้อมูลเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ปี	ให้เก็บรักษาทันทีเป็นเวลานานอย่างน้อย 3 ปี	MAJ		✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ ระดับ หมายถึง ระดับความเข้มข้นของการปฏิบัติ

MAJ Major Must หมายถึง สิ่งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และส่งผลร้ายแรงต่อระบบการผลิต

MIN Minor Must หมายถึง สิ่งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในบางส่วน และไม่มีผลร้ายแรงต่อระบบการผลิต

REC Recommendation หมายถึง สิ่งที่ไม่ถือเป็นข้อบกพร่อง แต่หากปล่อยทิ้งไว้หรือละเลย อาจนำไปสู่ข้อบกพร่องได้

ช่วงเวลาในการดำเนินการ

- 1 ช่วงก่อนเปิดอาคารบ้านนก
- 2 ช่วงเปิดอาคารรอนกเข้ามาอาศัย
- 3 ช่วงนกเข้ามาอาศัยในอาคาร
- 4 ช่วงนกทำรังวางไข่ภายในอาคาร

4.3 ประเมินความสำเร็จของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง

4.3.1 การกำหนดแนวทางปฏิบัติ (management guidelines) และวิธีการตรวจประเมิน

จากข้อกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางในการดำเนินงานและวิธีการตรวจประเมินในแต่ละข้อกำหนด โดยพัฒนามาจาก (ร่าง) การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่น MS2273: 2012 ของประเทศไทย มาเลเซีย ข้อกำหนดการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับปศุสัตว์ มาตรฐานทางการเกษตรที่ดีของฟาร์มสัตว์ปีกต่างๆ รวมทั้งเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ทั้งในและต่างประเทศ วัตถุประสงค์หลักของการกำหนดแนวทางปฏิบัตินี้เพื่อให้ผู้ประกอบการ/เกษตรกรมีแนวทางในการดำเนินงานตามข้อกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง โดยแนวทางปฏิบัติในแต่ละข้อกำหนด นำเสนอในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางปฏิบัติ (management guidelines) ตามข้อกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่น
กินรังในอาคารส่วนบุคคลที่ได้พัฒนาขึ้น

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจ ประเมิน	หมายเหตุ
1. องค์ประกอบบ้านนก					
1.1 สถานที่ตั้ง	1.1.1 มีการขออนุญาตจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง	ผู้ประกอบการทำหนังสือขออนุญาตจัดตั้งฟาร์มกับหน่วยงานราชการส่วนท้องถิ่นในพื้นที่	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจหนังสือการขออนุญาตการก่อสร้างจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	
	1.1.2 ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชน น้ำไม่ท่วม และมีการคมนาคมสะดวก	เลือกพื้นที่ที่อยู่ในรัศมีการหากินของนกแอ่น โดย การเลือกพื้นที่สร้างบ้านนกนี้อาจมาจากการสังเกตเส้นทางการบินหาแหล่งอาหารและน้ำของนกแอ่นกินรัง รวมไปถึงการเลือกบริเวณที่ตั้งบ้านที่ไม่มีน้ำท่วม และการคมนาคมสะดวกสบาย สำหรับบ้านนกใหม่ไม่ควรตั้งอยู่ในเขตชุมชนที่มีการอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น เพื่อ สุขอนามัยและป้องกันการระบาดของโรคในเขตเมือง	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจสภาพแวดล้อมของที่ตั้งบ้านนก	
	1.1.3 อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากอันตรายทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ	ที่ตั้งบ้านนกควรอยู่ห่างจากตลาดค้าสัตว์ปีกหรือโรงฆ่าสัตว์ปีกอย่างน้อย 5 กิโลเมตร และห่างจากฟาร์มสัตว์อื่นอย่างน้อย 3 กิโลเมตร	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจสถานที่ตั้งบ้านนก	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
1.2 ฟังบ้าน นก	1.2.1 พื้นที่บ้านนกมีขนาดเพียงพอเหมาะสมในการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ	สร้างอาคารบ้านนกให้มีพื้นที่ขนาดพอเพียงและสร้างรั้วกันมิดชิดรอบบ้านนก โดยรั้วควรสร้างด้วยวัสดุที่มีความคงทน รั้วควรห่างจากตัวอาคารบ้านนกอย่างน้อย 3 เมตร และมีความสูงอย่างน้อย 1.5 เมตรเพื่อป้องกันสัตว์พาหะ คน และพาหนะเข้าออก	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจขนาดพื้นที่และสภาพแวดล้อม	
	1.2.2 มีการวางผังสำหรับการปฏิบัติอย่างถูกต้อง สุขลักษณะ และแยกพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นสัดส่วน เช่น พื้นที่สำหรับเลี้ยงสัตว์ เก็บอุปกรณ์ ทำลายซากสัตว์ ห้องเก็บรังนก ที่พักอาศัย	จัดทำผังที่ตั้งบ้านนกและบริเวณโดยรอบ รวมถึงผังภายในอาคารบ้านนก ควรแยกส่วนที่นกอาศัยกับห้องเก็บอุปกรณ์ ห้องเก็บสารเคมีและห้องเก็บรังนก แยกอาคารบ้านนกกับอาคารสำนักงานและที่พักอาศัยโดยระยะห่างระหว่างอาคารบ้านนกกับอาคารสำนักงานและที่พักอาศัยต้องพ้นรัศมีการถ่วงมูลจากนกที่บินวนอยู่รอบอาคาร และควรสร้างรั้วกันแบ่งระหว่างอาคารสำนักงานและอาคารบ้านนกด้วย	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจฟังบ้านนก และตรวจพินิจพื้นที่ปฏิบัติงาน	
1.3 ลักษณะ บ้านนก	1.3.1 มีโครงสร้างแข็งแรง ง่ายต่อการ	จัดสร้างอาคารที่มีโครงสร้างความปลอดภัย	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี	ตรวจพินิจโครงสร้างอาคาร	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	บำรุงรักษา และทำความสะอาด	เป็นไปตามกฎหมายควบคุมอาคาร	สำหรับฟาร์มไก่ไข่		
	1.3.2 มีพื้นที่เพียงพอในการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง ทั้งพื้นที่ทำรัง พื้นที่ลานบินในบ้านและนอกบ้าน และช่องทางเข้า-ออกของนกแอ่น	จัดพื้นที่เลี้ยงนกแอ่นให้ขนาดของพื้นที่อาศัยภายในบ้านนกมีขนาดเหมาะสม ทั้งพื้นที่ทำรัง พื้นที่ลานบินในบ้านและนอกบ้าน และช่องทางเข้า-ออกของนกแอ่น โดยความหนาแน่นของกลุ่มนก (stocking density) ไม่ควรน้อยกว่า 0.0283 ตารางเมตร (1 ตารางฟุต) สำหรับนกแต่ละคู่ พื้นที่ลานบินมีขนาดอย่างน้อย 4x4 ตารางเมตร และช่องทางเข้าออกมีขนาดอย่างน้อย 20x30 ตารางเซนติเมตร	MS 2273: 2012 Nugroho and Whendrato (1996)	ตรวจพินิจ	
	1.3.3 ลักษณะของไม้ระแนงต้องเหมาะสมสำหรับการทำรังของนกแอ่น	จัดหาไม้ระแนงที่สร้างจากวัสดุแกนทึบและแข็ง ข้อต่อและมุมมีการปิดอย่างเหมาะสม มีการเจาะร่องไม้ระแนงให้นกสามารถเกาะทำรังได้ และไม้ระแนงต้องปราศจากปุ่มขึ้นที่อาจทำให้นกบาดเจ็บได้	MS 2273: 2012	ตรวจพินิจ	
	1.3.4 มีการจัดเตรียมถังดับเพลิงไว้ในอาคารอย่าง	ติดตั้งถังดับเพลิงไว้ในบริเวณที่เข้าถึงได้สะดวก	MS 2273: 2012	ตรวจพินิจ	GAP 5

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	เพียงพอและอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม	ในแต่ละชั้นของอาคารบ้านนก			
	1.3.5 มีการติดตั้งราวกันตกบริเวณช่องทางขึ้นลงบันได-ออกแต่ละชั้น	ติดตั้งราวกันตกบนพื้นบริเวณรอบช่องเปิดภายในบ้านนก และต้องมีการติดป้ายเตือนอย่างเหมาะสมในบริเวณที่จำเป็น	MS 2273: 2012	ตรวจพินิจ	
	1.3.6 มีไฟฉุกเฉินในอาคารบ้านนก	ติดตั้งไฟฉุกเฉินที่มีแสงไฟสีเหลือง (diffused light) หรือไฟสำหรับปฏิบัติงานในแต่ละชั้นของอาคารบ้านนก และตรวจสอบให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ	MS 2273: 2012	ตรวจพินิจ	
	1.3.7 มีการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในบ้านนก ให้เหมาะสม	มีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 27-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 70-90 และจัดแสงสว่างให้เหมาะสมกับการเลี้ยงนกแอ่นกินรัง (อุณหภูมิที่แนะนำคือ 28 องศาเซลเซียส และโดยความชื้นสัมพัทธ์ที่แนะนำคือ ร้อยละ 85)	Nugroho and Whendrato (1996)	ตรวจบันทึกการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในบ้านนก	GAP 5
	1.3.8 มีการระบายอากาศที่ดี ป้องกันการสะสมของแอมโมเนียและฝุ่นละอองและมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียและ	มีการจัดหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือเพื่อส่งเสริมการแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอก เช่น มีการติดตั้งท่อระบายอากาศ	Nugroho and Whendrato (1996)	ตรวจพินิจ	GAP 5

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	วางระบายน้ำภายในอาคาร	โดยการติดตั้งท่อระบายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว			
2. น้ำ					
	2.1 แหล่งน้ำที่ใช้ในบ้าน นต้องเป็นน้ำที่สะอาด อยู่ในบริเวณที่ป้องกัน และไม่เสี่ยงต่อการ ปนเปื้อนจากสิ่งที่เป็น อันตราย กรณีใช้แหล่งน้ำ สาธารณะ ให้มีแนวทาง ป้องกันการแพร่ระบาดของ โรคผ่านแหล่งน้ำ	น้ำที่ใช้ในบ้านนต้องเป็น น้ำที่สะอาด อยู่ในบริเวณที่ ป้องกันและไม่เสี่ยงต่อการ ปนเปื้อนจากสิ่งที่เป็น อันตราย ทั้งนี้การใช้น้ำ บาดาลให้เป็นไปตาม มาตรฐานน้ำบาดาลเพื่อการ บริโภคตามประกาศ กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม และการใช้น้ำ จากแหล่งน้ำธรรมชาติให้ เป็นไปตามมาตรฐาน คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิว ดินประเภทที่ 2 ของ ประกาศคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 ออกตามความ ในพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และส่งตัวอย่างน้ำ ตรวจวิเคราะห์อย่างน้อยปี ละ 1 ครั้ง	การปฏิบัติทาง การเกษตรที่ดี สำหรับฟาร์มไก่ ไข่	ตรวจสอบ เอกสารผล วิเคราะห์คุณภาพ น้ำจาก ห้องปฏิบัติการ	
3. การจัดการบ้านนก					
3.1 การทำ ความสะอาด	3.1.1 การทำความสะอาด ภายในบ้านนก ควรเก็บ	กวาดมูลนออกจาก บริเวณที่เลี้ยงและใช้	MS 2273:2012	ตรวจสภาพความ สะอาด และตรวจ	GAP 1 GAP 2

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
และการบำรุงรักษา	มูลและสิ่งปฏิกูลออกจากบริเวณพื้นที่เลี้ยงนกแอ่นกินรังก่อนเสมอ	Effective Microorganism (EM) ในการลดการสะสมของมูลนก ทำความสะอาดภายในบ้านนกอย่างน้อยเดือนละครั้ง โดยหลีกเลี่ยงช่วงเวลาที่มีกิจกรรมภายในอาคาร		บันทึกการทำ ความสะอาด	
	3.1.2 ทำความสะอาดไม้ระแนงสำหรับนกทำรังให้อยู่ในสภาพดี ไม่ให้มีเชื้อราและปรสิต	เช็ดทำความสะอาดมูลนกที่ไม่ระแนง และใช้น้ำส้มสายชูเช็ดทำความสะอาดเพื่อกำจัดเชื้อราผิวไม้เป็นประจำหรือภายหลังการเก็บเกี่ยวรังนก	MS 2273:2012	ตรวจสอบสภาพความสะอาด และตรวจบันทึกการทำ ความสะอาด	GAP 2
	3.1.3 ทำความสะอาดรางน้ำภายในอาคารให้ระบายน้ำได้อย่างสะดวก	ทำความสะอาดรางระบายน้ำภายในอาคารและตรวจสอบการอุดตันอยู่เสมอ	MS 2273:2012	ตรวจสอบสภาพความสะอาด และตรวจบันทึกการทำ ความสะอาด	GAP 2
	3.1.4 ทำความสะอาดและบำรุงรักษาบ้านนก อุปกรณ์ และบริเวณโดยรอบให้อยู่ในสภาพดี และถูกสุขลักษณะ	พื้นที่รอบอาคารบ้านนกในรัศมีที่มีนกบินรอบอาคารอย่างหนาแน่นควรสะอาดโล่งเตียน และไม่มีขยะสามารถทำความสะอาดบริเวณรอบบ้านนกด้วยการโรยปูนขาว หรือพ่นน้ำยาฆ่าเชื้อในกลุ่ม Chloroxynol (Dettol®) หรือ Povidone Iodine ได้ แต่หากมีโรคระบาดสัตว์ให้เปลี่ยนไปใช้น้ำยาฆ่าเชื้อใน	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจบันทึกการทำ ความสะอาดอาคารบ้านนก อุปกรณ์ และบริเวณโดยรอบ	GAP 2

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
		กลุ่ม Glutaraldehyde ควรร ทำความสะอาดบริเวณรอบ อาคารบ้านนก 1 ครั้งต่อ สัปดาห์ และทำการฆ่าเชื้อ รอบอาคารบ้านนก 1 ครั้ง ต่อเดือน			
	3.1.5 สารเคมี ยาฆ่าเชื้อ หรือวัตถุอันตรายที่ใช้ใน กระบวนการต่างๆ ให้ใช้ ตามคำแนะนำในฉลาก ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียน กับกรมปศุสัตว์ หรือตาม คำแนะนำของสัตวแพทย์ ผู้ควบคุมบ้านนก	การใช้สารเคมี ยาฆ่าเชื้อ หรือวัตถุอันตรายใดๆ ใน ฟาร์มต้องเป็นสารเคมีที่ ขึ้นทะเบียนวัตถุอันตราย กับกรมปศุสัตว์ และ ใช้ สารเคมีตามคำแนะนำบน ฉลาก	การปฏิบัติทาง การเกษตรที่ดี สำหรับฟาร์มไก่ ไข่	ตรวจบันทึกการ ใช้สารเคมี	
3.2 คู่มือการ จัดการบ้าน นก	3.2.1 มีคู่มือการจัดการ บ้านนกที่แสดง รายละเอียดการ ปฏิบัติงานที่สำคัญภายใน บ้านนก ได้แก่ การจัดการ บ้านนก การจัดการด้าน สุขภาพสัตว์ การจัดการ ผลผลิต การจัดการ สิ่งแวดล้อม และระบบ การบันทึกข้อมูล	จัดทำคู่มือของบ้านนก สำหรับผู้ปฏิบัติงาน ประจำอาคารบ้านนกโดย มีรายละเอียดในประเด็นที่ สำคัญ การจัดการบ้านนก การจัดการด้านสุขภาพ สัตว์ การจัดการผลผลิต การจัดการสิ่งแวดล้อม และระบบการบันทึก ข้อมูล	การปฏิบัติทาง การเกษตรที่ดี สำหรับฟาร์มไก่ ไข่	ตรวจสอบ เอกสารคู่มือและ รายละเอียด วิธีการที่เกี่ยวข้อง	
3.3 บุคลากร	3.3.1 ผู้ปฏิบัติหน้าที่เลี้ยง นกแอ่นกินรังต้องม ความรู้ และได้รับการ ฝึกฝนอบรมเพื่อให้ จัดการฟาร์มนกแอ่นกิน รังได้	จัดให้ผู้ปฏิบัติงานประจำ อาคารบ้านนกได้รับการ อบรมทางระบบฟาร์มและ การจัดการที่เหมาะสม	การปฏิบัติทาง การเกษตรที่ดี สำหรับฟาร์มไก่ ไข่	ตรวจบันทึกการ ฝึกอบรม	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	3.3.2 มีสัตว์แพทย์ที่มีใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพการสัตวแพทย์ชั้นหนึ่ง และใบรับรองเป็นสัตวแพทย์ควบคุมฟาร์มสัตว์ปีก	จัดหาสัตวแพทย์ที่มีใบประกอบวิชาชีพ และมีใบรับรองการเป็นสัตวแพทย์กลุ่มฟาร์มสัตว์ปีก	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจใบอนุญาตประกอบวิชาชีพการสัตวแพทย์ชั้นหนึ่งและใบอนุญาตผู้ควบคุมฟาร์มสัตว์ปีก	
	3.3.3 ผู้ปฏิบัติงานต้องมีการแต่งกายที่เหมาะสมสามารถป้องกันการได้รับและแพร่เชื้อโรคได้	ผู้ปฏิบัติงานที่จะเข้าไปยังบริเวณเลี้ยงนกต้องผ่านการอาบน้ำและฆ่าเชื้อ เปลี่ยนเสื้อผ้า สวมหมวกคลุมผม หน้ากากอนามัย และรองเท้านูทก่อนเข้าบริเวณที่เลี้ยง และต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อนออกจากบริเวณที่เลี้ยง 1) ในช่วงเปิดบ้านรอนกเข้ามาอาศัยให้ผู้ปฏิบัติงานแต่งกายด้วยเสื้อแขนสั้น กางเกงขาขาว รองเท้านูท หมวกคลุมผม และผ้าปิดจมูก 2) ในช่วงที่นกเข้ามาอาศัยในอาคารบ้านนกแล้วให้ผู้ปฏิบัติงานแต่งกายด้วยเสื้อแขนยาว กางเกงขาขาว รองเท้านูท หมวกคลุมผม ผ้าปิดจมูก และสวมเสื้อคลุมแขนขาวคลุมทับอีกชั้นหนึ่ง	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจเครื่องแต่งกาย	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
		3) หากเป็นผู้เยี่ยมชมให้สวมเสื้อคลุมแขนยาวทับชุดปกติ สวมรองเท้าบูท และไม่อนุญาตให้เข้าไปในบริเวณที่เลี้ยงนก			
	3.3.4 ผู้ปฏิบัติงานต้องมีสุขลักษณะส่วนบุคคลที่ดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนและแพร่เชื้อ และควรได้รับการตรวจสอบสุขภาพเป็นประจำทุกปีอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง	ออกข้อปฏิบัติในการรักษาสุขอนามัยเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติตามพร้อมทั้งบันทึกการเจ็บป่วย กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบสุขภาพประจำปีและเก็บบันทึกผลการตรวจสอบสุขภาพ	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจสุขลักษณะส่วนบุคคล ตรวจสอบบันทึกการเจ็บป่วยและผลการตรวจสอบสุขภาพประจำปีของบุคลากร	
4. สุขภาพสัตว์					
	4.1 มีมาตรการป้องกันและควบคุมโรคเข้าสู่อาคารบ้านนกจากคน พาหนะ และอุปกรณ์อื่นๆ มีการจดบันทึกการผ่านเข้า-ออกจากบ้านนกที่สามารถตรวจสอบได้	จัดทำมาตรการควบคุมป้องกันโรคเข้าสู่บ้านนก 1) จัดทำสมุดบันทึกการผ่านเข้า-ออกและเวลาที่ผ่านเข้า-ออกของบุคคลและพาหนะทุกชนิดที่ตรวจสอบได้	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจมาตรการจากแบบบันทึกข้อมูล	GAP 3
		2) พ่นยาฆ่าเชื้อพาหนะที่ผ่านเข้าออก มีสัญลักษณ์เตือนไม่ให้บุคคลหรือพาหนะที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้าในบริเวณอาคาร 3) จัดหาตู้ UV สำหรับฆ่าเชื้ออุปกรณ์ที่จะนำติดตัวเข้าบ้านนก			

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
		4) ผู้ที่จะเข้าสู่อาคารบ้านนกต้องแต่งกายให้รัดกุมสวมอุปกรณ์ป้องกันและผ่านการฆ่าเชื้อ 5) ในกรณีที่ไม่อนุญาตให้นำยานพาหนะเข้าไปในบริเวณที่เลี้ยงนก ให้มีการแยกที่จอดรถออกจากตัวอาคารอย่างชัดเจน และปฏิบัติตามมาตรการควบคุมป้องกันโรคในส่วนของคน			
	4.2 บริเวณหน้าบ้านนกควรมีอ่างจุ่มน้ำยาฆ่าเชื้อโรค สำหรับจุ่มเท้าบุคคลเวลาเข้า-ออกบ้านนก	จัดหาอ่างจุ่มเท้าผสมน้ำยาฆ่าเชื้อในกลุ่ม Chloroxymenol (Dettol®) หรือ Povidone Iodine แต่หากมีโรคระบาดสัตว์ให้เปลี่ยนไปใช้น้ำยาฆ่าเชื้อในกลุ่ม Glutaraldehyde และควรมีรองเท้าบูทเปลี่ยนก่อนเข้าบริเวณบ้านนก	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจ	
	4.3 มีการเฝ้าระวังโรคที่สำคัญเพื่อเป็นข้อมูลกำหนดแผนการป้องกันโรคอย่างเหมาะสม	สุ่มตรวจหาโรคโดยการเก็บมูลนกหรือใช้ก้านสำลี่ป้ายหลอดลม (tracheal swab) และส่งตัวอย่างที่เก็บไปตรวจหาเชื้อไวรัสไข้หวัดนกที่ห้องปฏิบัติการ	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจบันทึก รายงานผลการ สุ่มตรวจ	
	4.4 มีมาตรการควบคุมป้องกันสัตว์พาหะ	มีแผนการป้องกันและกำจัดสัตว์พาหะตลอดทั้งปี มีการวางกับดักเพื่อ	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี	ตรวจบันทึก แผนการป้องกัน สัตว์พาหะ และ	GAP 4

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
		กำจัดศัตรูพาหะ และใช้สารเคมีในกลุ่ม Pyrethroid ที่ไม่มีกลิ่นหรือมีกลิ่นน้อย เพื่อกำจัดแมลง	สำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจการวางกับดักรวมถึงบันทึกการใช้สารเคมีกำจัดแมลง	
	4.5 ถ้าพบการตายของนกผิดปกติ ให้แจ้งเจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์ทันที	หากพบการตายของนกอย่างผิดปกติให้แจ้งเจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์ในพื้นที่ หรือในกรณีที่พบนกแสดงอาการผิดปกติ ได้แก่ ตายเฉียบพลัน ท้องเสีย ชัก คอบิด หรือบาดเจ็บให้ทำการติดต่อสัตวแพทย์โดยเร็วที่สุดและสัตวแพทย์ต้องบันทึกข้อมูลการใช้ยาและการบำบัดโรคทุกครั้ง	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจข้อมูลการติดต่อกับเจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์ในพื้นที่และบันทึกการบำบัดโรค และบันทึกการใช้ยา	
	4.6 กรณีที่เกิดโรคระบาดหรือสงสัยว่าเกิดโรคระบาด ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติโรคระบาดสัตว์ พ.ศ. 2558	เมื่อสงสัยว่าเกิดโรคระบาดต้องแจ้งเจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์และเจ้าหน้าที่กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ในพื้นที่ภายใน 12 ชั่วโมง โดยสามารถแจ้งได้ที่ 1642 หน่วยเฝ้าระวังโรคอุบัติใหม่ในสัตว์ธรรมชาติ	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจบันทึกการปฏิบัติตามที่กฎหมายกำหนด	
5. สวัสดิภาพสัตว์					
	5.1 ปฏิบัติตามระเบียบกรมปศุสัตว์ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิภาพสัตว์ปีก ณ สถานที่เลี้ยง	1) จัดให้นกแอ่นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม อยู่สบาย มีการระบายอากาศที่ดี 2) ปฏิบัติต่อนกให้เกิดความเครียดหรืออาการตื่นกลัวน้อยที่สุด 3) ให้นกแอ่นอยู่ในลักษณะตามธรรมชาติหรือสามารถแสดงพฤติกรรมตามปกติได้	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจการปฏิบัติงานตามระเบียบกรมปศุสัตว์	
6. การจัดการผลผลิต					

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	6.1 ผู้ที่ประสงค์จะเก็บรังกออีแอนด์นอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยอากรรังกออีแอนด์ ต้องดำเนินการให้ถูกต้องตามกฎหมายต่างๆที่เกี่ยวข้อง	ผู้ที่ประสงค์จะเก็บรังกออีแอนด์นอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตต้องยื่นคำขออนุญาตเข้าเก็บรังกออีแอนด์นอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยอากรรังกออีแอนด์ พร้อมทั้งยื่นเอกสารหลักฐานต่อพนักงานเจ้าหน้าที่กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช 1) กรณีพื้นที่เก็บรังกออีแอนด์อยู่ในเขตกรุงเทพมหานครให้ยื่นต่อผู้อำนวยการส่วนคุ้มครองสัตว์ป่า	พระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 25XX (อยู่ระหว่างการปรับปรุง)	ตรวจเอกสารใบขออนุญาต	
		2) กรณีพื้นที่เก็บรังกออีแอนด์อยู่ในเขตจังหวัดอื่นนอกเหนือจากเขตกรุงเทพมหานครให้ยื่นต่อผู้อำนวยการส่วนอนุรักษ์สัตว์ป่าแห่งท้องถิ่น			
	6.2 เก็บเฉพาะรังที่สร้างเสร็จแล้ว และไม่มีไข่หรือลูกนกในรัง โดยระมัดระวังไม่ให้รังกอสัมผัสกับพื้นหรือสิ่งปนเปื้อน	เก็บรังกอเฉพาะรังที่สร้างเสร็จแล้ว ทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้เก็บรังกอและภาชนะรองรับก่อนนำไปใช้ในการเก็บรังกอทุกครั้ง และระวังไม่ให้รังกอสัมผัสพื้น	MS 2273: 2012	ตรวจพินิจและตรวจบันทึก	
	6.3 คัดแยกรังนกที่มีสีหรือลักษณะผิดปกติ เช่น สีดำ หรือ รังที่มีการปนเปื้อนของขนนกจำนวนมาก	คัดแยกรังนกที่มีลักษณะผิดปกติออก สถานที่คัดแยกต้องสะอาด ถูกสุขลักษณะ และแยกออกจากพื้นที่เลี้ยงนก	MS 2273: 2012	ตรวจการคัดแยก	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	6.4 ให้ผู้ตรวจสอบคุณภาพ รังกตามมาตรฐานรังก เช่น ปริมาณไนไตรท์ จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ	ส่งตัวอย่างรังกไป ตรวจสอบคุณภาพที่ ห้องปฏิบัติการ โดยรังก ควรมีปริมาณความชื้นไม่ เกินร้อยละ 15 ปริมาณไนไตรท์ไม่เกิน 30 mg/kg <i>Escherichia coli</i> ไม่เกิน 100 cfu/g <i>Bacillus cereus</i> ไม่เกิน 1,000 cfu/g <i>Staphylococcus aureus</i> ไม่ เกิน 1,000 cfu/g ราไม่เกิน 1,000 cfu/g ตามมาตรฐานสินค้า เกษตร: รังก มกษ. 6705- 2557	MS 2273: 2012 มาตรฐานสินค้า เกษตร: รังก มกษ. 6705- 2557	ตรวจเอกสารผล การวิเคราะห์	
	6.5 เก็บรักษารังกไว้ใน ภาชนะบรรจุที่สะอาด ถูกสุขลักษณะ ป้องกัน ความเสียหายต่อรังก และมีป้ายบ่งชี้ข้อมูลของ รังก	จัดหาภาชนะบรรจุรังกที่ สะอาด ถูกสุขลักษณะ สามารถป้องกันความ เสียหายต่อรังกได้ เช่น กล่องโฟม พร้อมจัดทำ ป้ายบ่งชี้ข้อมูลของรังก ตามมาตรฐานการปฏิบัติ ทางการเกษตรที่ดีสำหรับ ศูนย์รวบรวมรังก มกษ. 6921-2559	MS 2273: 2012 การปฏิบัติทาง การเกษตรที่ดี สำหรับศูนย์ รวบรวมรังก มกษ.6921-2559	ตรวจพินิจ	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	6.6 ขนส่งรังนกไปยังศูนย์รวบรวมหรือสถานที่คัดบรรจุ โดยใช้ภาชนะและยานพาหนะที่สะอาด	ทำความสะอาดภาชนะด้วยสารทำความสะอาดก่อนใช้ในการขนส่งรังนกขนส่งรังนกด้วยยานพาหนะที่สะอาด และขนส่งรังนกไปยังศูนย์รวบรวมที่เป็นไปตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับศูนย์รวบรวมรังนก มกษ.6921-2559	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับศูนย์รวบรวมรังนก มกษ.6921-2559	ตรวจพินิจภาชนะและพาหนะที่ใช้ในการขนส่งรังนก	
7. การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม					
	7.1 กำจัดขยะ ของเสีย เช่น มูลนก ซากนก โดยวิธีที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนแหล่งสะสมของเชื้อโรคและกลิ่นไม่พึงประสงค์	แยกพื้นที่กำจัดซากนกออกจากพื้นที่เลี้ยงนกให้ชัดเจนพื้นที่กำจัดซากต้องเป็นสัดส่วน อยู่ห่างจากแหล่งน้ำ และอยู่ในบริเวณที่น้ำท่วมไม่ถึง 1) หากทำลายโดยการฝังต้องฝังซากได้ระดับผิวดินไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ใช้ยาฆ่าเชื้อที่เหมาะสม เช่น ปูนขาวราดหรือโรยไปบนซากนั้นจนทั่วถึง แล้วกลบดินปิดปากหลุม และพูนดินกลบหลุมเหนือระดับผิวดินไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร กรณีเป็นหลุมฝังถาวรควรมีฝาปิดมิดชิด	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจพื้นที่กำจัดและวิธีการกำจัดซาก	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
		2) หากทำลายโดยการเผา ต้องมีสถานที่เผาหรือเตาเผาตั้งอยู่ในบริเวณที่เหมาะสม ใช้ไฟเผาซากจนหมด			
	7.2 การจัดการขยะติดเชื้อ ให้แยกทำลายตามดุลยพินิจของสัตวแพทย์ผู้ควบคุมบ้านนก และกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม	แยกถึงขยะระหว่างชากนและขยะทั่วไป จัดทำป้ายที่ถึงขยะให้ชัดเจน ในกรณีที่เป็นขยะติดเชื้อเช่น ก้านสำลีสัมผัสกับตัวนก หัวเข็มที่ใช้แล้ว ให้แยกต่างหากและทำลายด้วยวิธีที่เหมาะสม	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจ	
	7.3 มีการระบายอากาศที่ดี ไม่ให้กลิ่นรบกวนชุมชนข้างเคียง	ติดตั้งระบบระบายอากาศ โดยให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพียงพอและคอยตรวจสอบระบบอยู่เสมอ	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจพินิจ	GAP 5
	7.4 กรณีติดตั้งเครื่องเสียงเพื่อเปิดเสียงบันทึกเรียกนก หรือเสียงนกนอกอาคาร ไม่ควรเปิดเสียงดังเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด และควรเปิด-ปิดเสียงเรียกในระยะเวลาที่เหมาะสม	กรณีติดตั้งเครื่องเสียงเพื่อเปิดเสียงเรียกนกภายนอกอาคาร ให้เปิดเครื่องเสียงในระดับความดังไม่เกินมาตรฐานระดับเสียงทั่วไปที่ระดับความดังเสียง 70 dB(a) โดยวัดห่างจากอาคารประมาณ 5 เมตร (ที่ระดับความสูง 1.20 เมตร) และเปิดในช่วงเวลาที่เหมาะสม (6.00-10.00 น. และ 16.00-19.30 น.)	ดัดแปลงจาก MS 2273: 2012 และพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535	ตรวจพินิจ	GAP 5

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
	7.5 กรณีติดตั้งเครื่องเสียงเพื่อเปิดเสียงบันทึกภายในอาคาร หรือเสียงกล่อมมนกไม่ควรเปิดเสียงดังเกินจนเป็นที่รำคาญแก่คนและผู้ปฏิบัติงาน	กรณีติดตั้งเครื่องเสียงเพื่อเปิดเสียงบันทึกภายในอาคาร ควรเปิดเสียงในระดับความดังไม่เกิน 70 dB(a) สำหรับอาคารบ้านนก 4 ชั้น วัด ณ จุดที่ผู้วัดได้ยินเสียงในอาคาร	MS 2273: 2012	ตรวจพินิจ	GAP 5
8. การบันทึกข้อมูล					
	8.1 จัดทำระบบจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญในการจัดการบ้านนก	บันทึกข้อมูลผลการปฏิบัติงานในขั้นตอนที่สำคัญในการจัดการบ้านนก โดยครอบคลุมข้อมูลดังนี้ 1) ข้อมูลเกี่ยวกับการบริหารบ้านนก เช่น การจัดแบ่งโครงสร้างการดำเนินงาน จำนวนแรงงาน การแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ ข้อมูลด้านสุขภาพ ประวัติและการฝึกอบรมของผู้ปฏิบัติงานในบ้านนก 2) ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการด้านการผลิต เช่น ข้อมูลการจัดการบ้านนกและผลผลิต 3) ข้อมูลการควบคุมป้องกันและบำบัดโรค	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจบันทึกข้อมูล	
	8.2 ให้เก็บรักษาสังเกะการบ้านนกเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 ปี	เก็บรักษาข้อมูลเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 ปี โดยจัดเก็บอย่างเป็นระบบและมี	การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่	ตรวจการเก็บรักษา	

องค์ประกอบ	ข้อกำหนด	แนวทางการปฏิบัติ	อ้างอิง	วิธีการตรวจประเมิน	หมายเหตุ
		ระเบียบเพื่อง่ายต่อการสืบค้น			

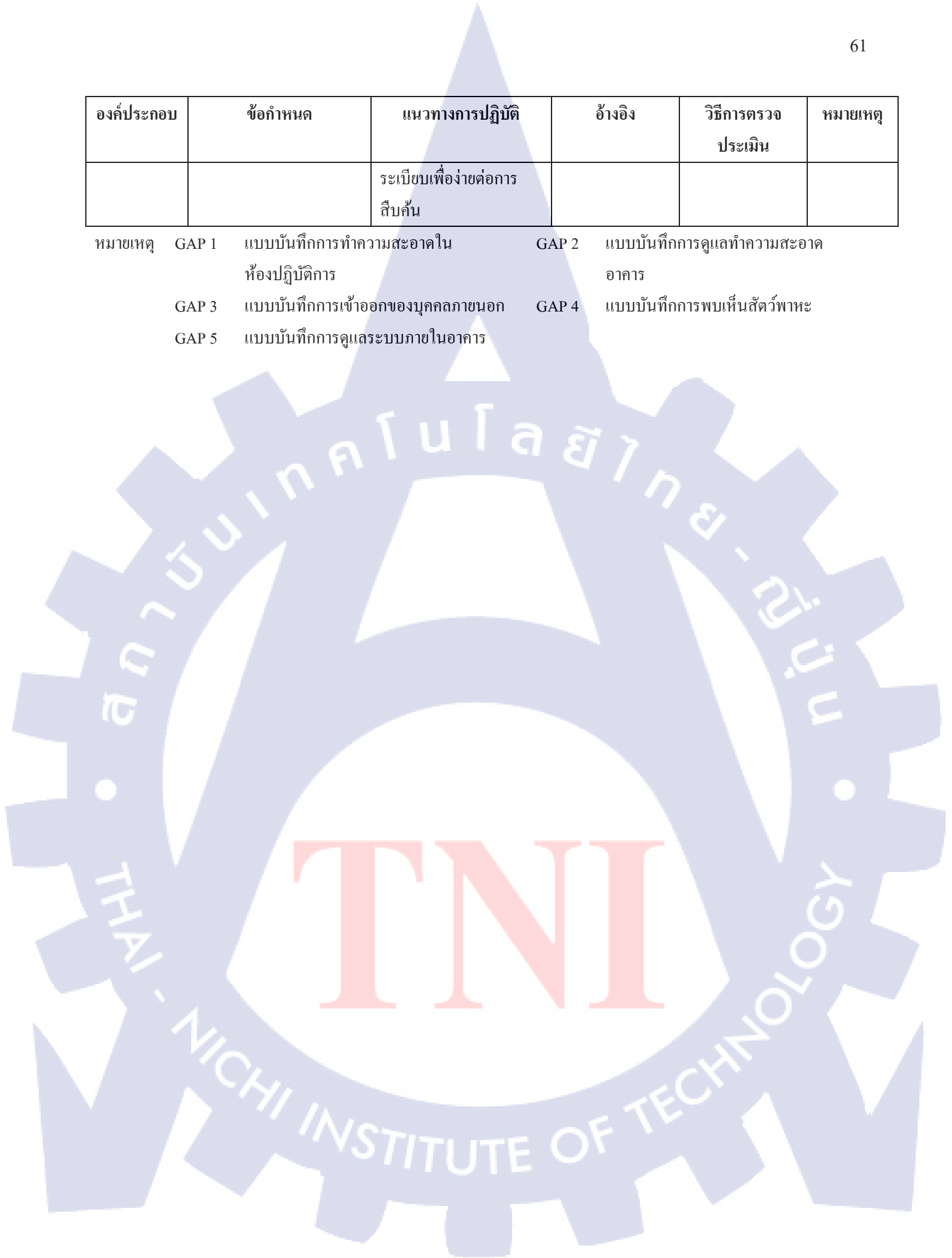
หมายเหตุ GAP 1 แบบบันทึกการทำความสะอาดในห้องปฏิบัติการ

GAP 3 แบบบันทึกการเข้าออกของบุคคลภายนอก

GAP 5 แบบบันทึกการดูแลระบบภายในอาคาร

GAP 2 แบบบันทึกการดูแลทำความสะอาดอาคาร

GAP 4 แบบบันทึกการพบเห็นสัตว์พาหะ



THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

TNI

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ช่วยการทำฟาร์มแม่นยำสูงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มผลผลิตจำนวนมากให้ได้คุณภาพ ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และใช้ทรัพยากรคุ้มค่าที่สุด โดยการนำเทคโนโลยีและการจัดการข้อมูลมาใช้ภายในฟาร์มให้เหมาะสมและแม่นยำ บทความวิจัยนี้ได้เสนอการออกแบบระบบควบคุม สภาพแวดล้อมของฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูงด้วยการใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้น เพื่อ คำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นสัมบูรณ์และจุดไอน้ำกลั่นตัว ภายในฟาร์มที่เหมาะสมสำหรับการทำ รังวางไข่ของนกแอ่นกินรัง ซึ่งอุปกรณ์ทำความชื้น และพัดลมระบายอากาศ จะทำงานแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ ตามการประมวลผลของเครื่องแม่ข่ายภายใต้กระบวนการทำงานของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง ปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึก ที่เกษตรกรสามารถบริการจัดการผ่านเว็บไซต์และ แอปพลิเคชัน อย่างไรก็ดี ผลการทดลองกับฟาร์มตัวอย่างส่งผลทำให้จำนวนรังนกเพิ่มได้ถึง 10 เท่าในระยะเวลา 6 เดือน และมีอัตราการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยโครงการออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแม่นยำสูงได้ออกแบบการ พัฒนารอบแนวคิดการวิจัยขึ้น โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยในการบริหาร จัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด ภายในเวลาอันจำกัด ตลอดจนส่งเสริมเครื่องมือและ เทคโนโลยีสำหรับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลใหม่ที่จำเป็นต้องอยู่ภายใต้การจัดการของ หน่วยงานราชการ และเป็นแนวทางการเกษตรสมัยใหม่ที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงสำหรับบ้านนกแอ่นกินรัง ของเกษตรกรไทยและเพื่อให้ได้มาตรฐานการจัดการบ้านนกเพื่อการส่งออก ทั้งนี้ผลสัมฤทธิ์ที่ได้จะนำไปสู่การ พัฒนาโปรแกรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทำบ้านนกแอ่นกินรัง ซึ่งเป็นกิจกรรมเป้าหมายของ การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังต่อไป

5.2 แผนการทำงานในอนาคต

สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปเป็นมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคล และต่อยอดในการวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้อีกมากมาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีปราชญ์ ปิยะชัย, “Application of Embedded Linux Base: เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor),” Application of Embedded Linux Base, 2553.
- [2] “Boto 3 Documentation — Boto 3 Docs 1.4.4 documentation.” [Online]. Available: <http://boto3.readthedocs.io/en/latest/index.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [3] “Configuring the AWS Command Line Interface - AWS Command Line Interface.” [Online]. Available: <http://docs.aws.amazon.com/cli/latest/userguide/cli-chap-getting-started.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [4] “EdgeMAX - วิธีการสร้าง IPv6 Tunnel ด้วย Hurricane Electric TunnelBroker in Edgemax และตัวอย่างการตั้งค่าเบื้องต้น - Page 1.” [Online]. Available: <http://www.ubiquiticlub.com/edgemax/21/edgemax-ipv6-tunnel-hurricane-electric-tunnelbroker/206/>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- [5] “Getting Started with Amazon Simple Storage Service - Amazon Simple Storage Service.” [Online]. Available: <http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/gsg/GetStartedWithS3.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [6] “Getting started with picamera | Raspberry Pi Learning Resources.” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/learning/getting-started-with-picamera/>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [7] “How to give your Raspberry Pi a Static IP Address - UPDATE,” Cases for your Raspberry Pi. [Online]. Available: <https://www.modmypi.com/blog/how-to-give-your-raspberry-pi-a-static-ip-address-update>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [8] “Hurricane Electric Free IPv6 Tunnel Broker.” [Online]. Available: <https://tunnelbroker.net/>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- [9] “IoT platform | Internet of Things | Ubidots.” [Online]. Available: <https://ubidots.com/>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [10] “IPv4,” Wikipedia. 16-Dec-2016.
- [11] “IPv6,” Wikipedia. 16-Dec-2016.
- [12] “networking - How to route traffic from a specific port on tun0 to eth0 (and back) - Raspberry Pi Stack Exchange.” [Online]. Available: <http://raspberrypi.stackexchange.com/questions/57380/how-to-route-traffic-from-a-specific-port-on-tun0-to-eth0-and-back>. [Accessed: 20-Dec-2016].
- [13] “PIR Motion Sensor Overview.” [Online]. Available: <http://irish7.exteen.com/>. [Accessed: 12-Jan-2017].

- [14] “RPi-Cam-Web-Interface - eLinux.org.” [Online]. Available: <http://elinux.org/RPi-Cam-Web-Interface>. [Accessed: 21-Jan-2017].
- [15] “Worksheet - Infrared Bird Box | Raspberry Pi Learning Resources.” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/learning/infrared-bird-box/worksheet/>. [Accessed: 21-Jan-2017].
- [16] “Zolertia/Resources,” GitHub. [Online]. Available: <https://github.com/Zolertia/Resources>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [17] “IPv4 และ IPV6 แตกต่างกันอย่างไร - sawitree I’ngong.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/sawitree1008/bthkhwan/-ipv4-laea-ipv6-taek-tang-kan-xyangri>. [Accessed: 24-Nov-2016].
- [18] Semtech application note an1200.22, “lorawan modulation basics,” revision 2, semtech corporation, may 2015. [Online]. Available: <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>
- [19] L. Feltrin, C. Buratti, E. Vinciarelli, R. D. Bonis, and R. Verdone, “Lorawan: Evaluation of link- and system-level performance,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 3, pp. 2249–2258, June 2018.
- [20] U.Noreen, L.Clavier, and A.Bounceur, “Lora-like css-based phy layer, capture effect and serial interference cancellation,” in *European Wireless 2018; 24th European Wireless Conference*, May 2018, pp.1-6.
- [21] P. Robyns, P. Quax, W. Lamotte, and W. Thenaers, “A multi-channel software decoder for the lora modulation scheme,” in *3rd International Conference on Internet of Things, Big Data and Security*, March 2018, pp. 41–51.
- [22] T. Elshabrawy and J. Robert, “Closed-form approximation of lora modulation ber performance,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 9, pp.1778–1781, Sept 2018.
- [23] L. Vangelista, “Frequency shift chirp modulation: The LoRa modulation,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 24, no. 12, pp. 1818–1821, 2017.
- [24] O. Georgiou and U. Raza, “Low power wide area network analysis: Can lora scale?” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 162–165, April 2017.
- [25] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, “A study of lora: Long range and low power networks for the internet of things,” *Sensors*, vol. 16, no. 9, 2016. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>
- [26] J. T. Lim and Y. Han, “Spreading factor allocation for massive connectivity in lora systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 4, pp. 800–803, April 2018.

ภาคผนวก

TNI