ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

IoT-based Horses Feeding Automation System

โภคี บุญนรากร

Pokee Boonnarakorn

รายงานเชิงเทคนิคนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Technical Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science Program in Management of Information Technology
Prince of Songkla University
2564

ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

IoT-based Horses Feeding Automation System

โภคี บุญนรากร

Pokee Boonnarakorn

รายงานเชิงเทคนิคนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Technical Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science Program in Management of Information Technology
Prince of Songkla University
2564

ชื่อสารนิพนธ์ **ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที**

ผู้เขียน **นายโภคี บุญนรากร**

สาขาวิชา **การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ**

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีนา มะตาหยง)

.....กรรมการ
(ดร. น้ำทิพย์ ตระกูลเมฆี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์)
ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

ชื่อสารนิพนธ์ **ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที**
ผู้เขียน **นายโภคี บุญนรากร**
สาขาวิชา **การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ**
ปีการศึกษา **2563**

บทคัดย่อ

การให้อาหารเป็นเรื่องสำคัญที่สุดในการดูแลม้า แต่พบว่าผู้เลี้ยงมักให้อาหารไม่ตรงเวลา หรือให้อาหารปริมาณมากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองด้านต้นทุน เวลา และส่งผลเสียต่อสุขภาพม้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน โดยการใช้เทคโนโลยีไอโอทีบนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กแบบฝังตัว ที่สามารถควบคุมกระบวนการดำเนินงาน เช่น การสั่งเปิด-ปิดท่อลำเลียงอาหารโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ การตรวจนับปริมาณอาหารแต่ละมื้อด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดน้ำหนัก การวัดความชื้นเพื่อควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถควบคุม ตรวจสอบ และรายงานผลแจ้งเตือนผ่านทางไลน์แอปพลิเคชัน

ผลการวิจัยพบว่า ระบบให้อาหารม้าที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง สามารถให้อาหารได้ตรงเวลาทุกครั้ง และมีการรายงานผลแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันทุกครั้ง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอาหารเท่ากับ 107.53 เมื่อสั่งให้อาหาร 100 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.65 กรัม ซึ่งคิดเป็น 7.00% ทั้งนี้สามารถลดกระบวนการจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอนต่อเดือน และเหลือ 1 ขั้นตอนต่อวัน สามารถลดเวลาลงได้ 893 นาทีต่อเดือน เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจาก Pre-Lean 3.33% เป็น Post-Lean 14.29% และสามารถลดต้นทุนได้ 3,510 บาทต่อเดือน

Minor Thesis Title IoT- based Horses Feeding Automation
Author Mr. Pokee Boonnarakorn
Major Program Management of Information Technology
Academic Year 2020

ABSTRACT

Horse Feeding is the primary importance of equine care. However, horse herdsmen often feed them over their needs and not on schedule time. These caused adverse effects on horses' health, including waste of cost, and time. This research aimed to analyze, produce, and develop the horse feeding automation system by using remote control IoT technology. Then, the researcher evaluated the efficiency of time, costs, and process reduction by using IoT technology for embedded computing, which able to control those operation process, for example, the commanding on-off the feeder pipe using servo motor (Servo Motor), counting of each mealtime quantity with a sensor for measuring weight (Load Cell), and humidity measurement to control food quality with a temperature sensor (Digital Temperature and Humidity Sensor: DTH), which able to control, check, and report notifications via the LINE application.

The results showed that this developed horse feeding automation system was highly accurate, and zero error which means able to feed foods on schedule and report notifications every single time. The mean dietary weight was 107.53 when the command to feed was 100 grams that the measurement error was 7.65 gram and percentage error was 7.00%. In addition, these processes reduced from eight steps to five steps a month which mean using only one step a day, and the processing times can be reduced by 893 minutes per month. Moreover, the percentage of performance which is 3.33% (Pre-Lean) increased to 14.29% (Post-Lean). Finally, the cost also was reduced to 3,510 Baht per month.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการพัฒนาสารนิพนธ์ และแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆ ตลอดจนติดตามงานอย่างต่อเนื่อง จนสารนิพนธ์สำเร็จตามเป้าหมายทันเวลาที่กำหนด

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สูรีนา มะตาหยง ประธานกรรมการ ดร. น้ำทิพย์ ตระกูลเมฆี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์ กรรมการ ที่กรุณาชี้แนะแนวทางเพื่อเติมเต็มสารนิพนธ์ให้มีคุณค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่านที่ให้ความรู้และอบรมสั่งสอน ขอบคุณบุคลากรทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานต่างๆ ขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนทั้งในด้านการเรียนและการทำสารนิพนธ์ ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ที่ให้ความกรุณาในการทดสอบระบบในพื้นที่จริง และขอขอบคุณคุณวสันต์ ฉันท์ชวลิต ผู้เป็นที่ปรึกษาด้านฮาร์ดแวร์และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆ ของนวัตกรรม จนสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีบรรลุตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัวบุญนรากร และครอบครัวฤทธิมนตรี ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านเป็นอย่างดี และเป็นกำลังใจที่เข้มแข็งให้ผู้วิจัยสามารถฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ จนการศึกษาระดับปริญญาโทสำเร็จลุล่วงอย่างดีตามเป้าหมาย และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้หมด มา ณ โอกาสนี้ด้วยความซาบซึ้งใจยิ่ง

โภคี บุญนรากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (3)
Abstract (4)
กิตติกรรมประกาศ (5)
สารบัญ (6)
รายการตาราง (8)
รายการภาพประกอบ (9)

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย 3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบทางเดินอาหารและการจัดการอาหารม้า 4
2.2 ไอโอที 7
2.3 หลักการลีน 12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

3. วิธีการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ 17
3.2 การทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ 21
3.3 การประเมินประสิทธิภาพระบบตามหลักการลีน 21
3.3.1 Pre-Lean กระบวนการและเวลาในการให้อาหารม้ารอบ 1 เดือน 21
3.3.2 Pre-Lean ประสิทธิภาพของกระบวนการตามหลักการลีน 22

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการพัฒนาระบบ 23
4.1.1 ผลการพัฒนาระบบด้านฮาร์ดแวร์ 23
4.1.2 ผลการพัฒนาระบบด้านซอฟต์แวร์ 24
4.1.3 ผลการพัฒนาระบบด้านเครือข่าย 30
4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ 30
4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบตามหลักการลีน 33
4.3.1 Post-Lean ด้านการลดกระบวนการ 33
4.3.2 Post-Lean ด้านการลดเวลา 33
4.3.3 Post-Lean ด้านประสิทธิภาพการทำงาน 33
4.3.4 Post-Lean ด้านต้นทุน 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 35

5.2 อภิปรายผล 36

5.3 ข้อเสนอแนะ 37

บรรณานุกรม 39

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก บทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ 42

ภาคผนวก ข คู่มือสำหรับผู้ใช้งาน 58

ประวัติผู้เขียน 63

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สถิติเปรียบเทียบจำนวนเกษตรกรและจำนวนม้า ปี พ.ศ.2562–พ.ศ.2563 1
ตารางที่ 2 การจัดการปริมาณอาหารม้าตามอายุ 6
ตารางที่ 3 การจัดการปริมาณอาหารม้าตามน้ำหนัก 4 มื้อต่อวัน 7
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอที
ด้านน้ำหนักอาหาร เมื่อสั่งให้อาหารน้ำหนัก 100 กรัม 32
ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอทีด้านการ
ลดกระบวนการและเวลาในการดำเนินงานตามหลักการลีน 34
ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอทีด้านการ
ลดต้นทุนการดำเนินงานตามหลักการลีน 35

รายการภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 1 โมเดลวิเคราะห์ปัญหาจากการให้อาหารม้า 3
ภาพที่ 2 ระบบทางเดินอาหารของม้า 5
ภาพที่ 3 ตัวอย่างบอร์ด NodeMCU ESP8266 9
ภาพที่ 4 ตัวอย่าง Servo Motor 10
ภาพที่ 5 ตัวอย่างเซ็นเซอร์ DHT11 10
ภาพที่ 6 ตัวอย่างการทำงานของ Load Cell 11
ภาพที่ 7 ตัวอย่าง Widgets และค่า Energy ของ Blynk 12
ภาพที่ 8 หลักการลีน 13
ภาพที่ 9 Use Case Diagram ของผู้ดูแลระบบและผู้ใช้งาน 17
ภาพที่ 10 สถาปัตยกรรมของระบบ 18
ภาพที่ 11 การออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที 19
ภาพที่ 12 ตัวต้นแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที 20
ภาพที่ 13 การออกแบบเครือข่ายของระบบ 21
ภาพที่ 14 Pre-Lean ขั้นตอนและเวลาในการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน 22
ภาพที่ 15 แบบจำลองระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที 23
ภาพที่ 16 ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที พัฒนาแล้วเสร็จ 23
ภาพที่ 17 หน้าจอโหมดให้อาหาร Manual และ Auto สำหรับผู้ใช้งาน 24
ภาพที่ 18 หน้าจอตั้งเวลาให้อาหาร สำหรับผู้ใช้งาน 25
ภาพที่ 19 หน้าจอกำหนดปริมาณอาหาร สำหรับผู้ใช้งาน 26
ภาพที่ 20 หน้าจอแสดงอุณหภูมิ และความชื้น สำหรับผู้ใช้งาน 26
ภาพที่ 21 หน้าจอแจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร 27
ภาพที่ 22 การจัดการผู้ใช้งาน โดยให้รหัสผ่าน 28
ภาพที่ 23 หน้าจอแสดงรายงานข้อมูลย้อนหลัง สำหรับผู้ดูแลระบบ 29
ภาพที่ 24 เครือข่ายของระบบ 30
ภาพที่ 25 การทดสอบภาคสนาม 31
ภาพที่ 26 การแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน 33
ภาพที่ 27 Post-Lean ขั้นตอนและเวลาในการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน 34

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเลี้ยงม้าในประเทศไทยปัจจุบันเป็นที่นิยมมากขึ้น ม้าถูกเลี้ยงเพื่อใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น ด้านการเกษตร การพักผ่อน การท่องเที่ยวและความบันเทิง การแข่งขันและกีฬา กิจการทหาร รวมไปถึงด้านการแพทย์ซึ่งใช้ในการรักษาโรคให้กับเด็กสมาธิสั้น ดาวน์ซินโดรม และเด็กพร่องการเรียนรู้ หรือที่รู้จักกันในชื่อเรียกว่า อาชาบำบัด หรือการขี่ม้าเพื่อแก้อาการปวดหลังของผู้สูงอายุ เป็นต้น

ในปี 2563 การเติบโตของตลาดม้ามีเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากสถิติเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และสัตว์อื่นๆ ปีงบประมาณ พ.ศ.2563 (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563) พบว่ามีการเลี้ยงม้าทั้งหมดทั่วประเทศ จำนวน 8,637 ตัว โดยเกษตรกร 1,838 ราย จำแนกเป็นรายภาคได้ดังนี้ ภาคกลาง จำนวน 3,072 ตัว โดยเกษตรกร 610 ราย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 2,246 ตัว โดยเกษตรกร 498 ราย ภาคเหนือ จำนวน 2,151 ตัว โดยเกษตรกร 331 ราย และภาคใต้ จำนวน 1,168 ตัว โดยเกษตรกร 399 ราย ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสถิติปี พ.ศ.2562 ที่มีการเลี้ยงม้าทั้งหมดทั่วประเทศ จำนวน 5,999 ตัว โดยเกษตรกร 1,223 ราย (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2562) จะพบว่าภายในระยะเวลาแค่ 1 ปี มีเกษตรกรเพิ่มขึ้น 615 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.29 และมีการเลี้ยงม้าเพิ่มมากขึ้นถึง 2,638 ตัว คิดเป็นร้อยละ 43.97 แสดงให้เห็นแนวโน้มในการเลี้ยงม้าที่ขยายตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติเปรียบเทียบจำนวนเกษตรกรและจำนวนม้า ปี พ.ศ.2562 – พ.ศ.2563

ภาค	จำนวนเกษตรกร (ราย)		จำนวนม้า (ตัว)		ผลต่าง	
	พ.ศ. 2562	พ.ศ. 2563	พ.ศ. 2562	พ.ศ. 2563	เกษตรกร	ม้า
เหนือ	259	331	1,803	2,151	72	348
ตะวันออกเฉียงเหนือ	253	498	931	2,246	245	1,315
กลาง	386	610	2,203	3,072	224	869
ใต้	325	399	1,062	1,168	74	106
รวม	1,223	1,838	5,999	8,637	615	2,638

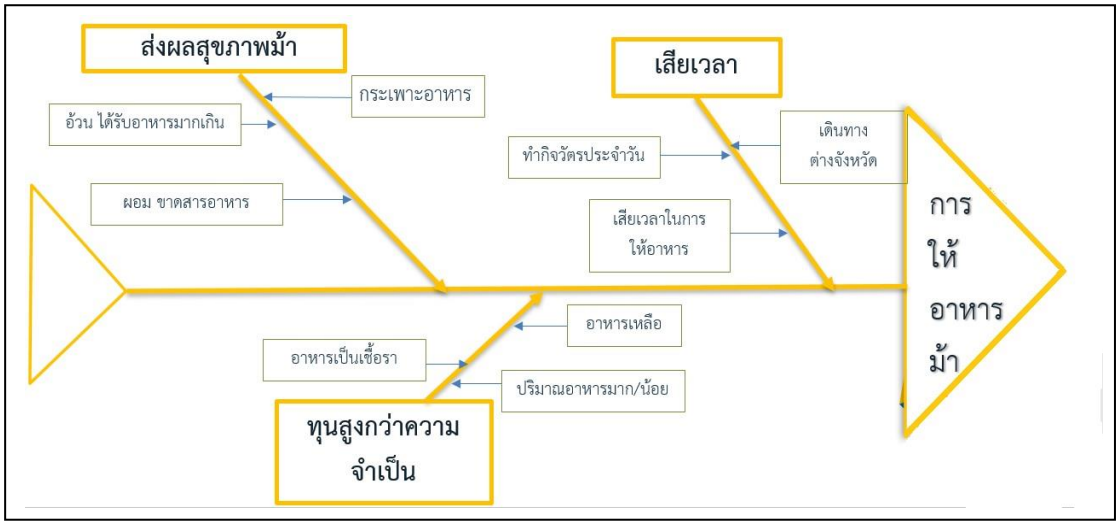
ที่มา: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562). ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2562. ค้นจาก http://ict.dld.go.th/webnew/index.php

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2563. ค้นจาก http://ict.dld.go.th/webnew/index.php

การให้อาหารเป็นเรื่องสำคัญที่สุดในการดูแลม้า แต่พบปัญหาเกษตรกรยังขาดความรู้เรื่องหลักโภชนาการที่ถูกต้อง การให้อาหารไม่ตรงเวลาในแต่ละวัน หรือให้ครั้งละมากๆ ตามความสะดวก ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพม้า (ปิ่นอนงค์, 2558) เนื่องจากธรรมชาติของม้าเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะเล็ก ม้าจึงต้องกินอาหารทีละน้อยแต่บ่อยครั้ง คือแบ่งอาหารเม็ด 4 มื้อต่อวัน ในหนึ่งวันให้อาหารไม่เกิน 1% ของน้ำหนักตัว และควรพิจารณาดูจากรูปร่าง เช่น ม้าที่มีน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์อาจให้อาหารเต็มที่คือ 1% ของน้ำหนักตัว แต่ม้าที่มีน้ำหนักเกินเกณฑ์ปรับลดอาหาร ลักษณะการใช้งานของม้าตัวนั้นๆ และสังเกตม้าทุกสัปดาห์เพื่อปรับปริมาณอาหารให้เหมาะสม (ณัฐวุฒิ, ม.ป.ป.) ทั้งนี้หากเจ้าของฟาร์มให้อาหารในปริมาณไม่เหมาะสม เช่น ให้อาหารเม็ดในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้ท้องอืด หากเทอาหารไว้ล่วงหน้าในกรณีฝนตกจะเกิดความชื้นและเชื้อราซึ่งเกิดความสูญเสียต้นทุนอาหาร และทำให้ม้าท้องเสียอาจร้ายแรงถึงขั้นเสียชีวิต ดังนั้นเจ้าของฟาร์มจำเป็นต้องอยู่ในฟาร์มเกือบตลอดเวลา แต่วิถีดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ทุกคนมีความเร่งรีบในการทำงานและมีภาระหน้าที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันหรือการออกไปทำธุระปฏิบัติกิจกรรมอื่นๆ นอกฟาร์ม ทำให้การเลี้ยงดูม้ากลายเป็นภาระที่ซับซ้อนจำเป็นต้องติดตามอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ซึ่งจัดเป็นต้นทุนด้านเวลาในการดูแล ในกรณีที่เกษตรกรผู้เลี้ยงม้าไม่สะดวกในการดูแลจำเป็นต้องว่าจ้างผู้ดูแลแทนซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มต้นทุนในการเลี้ยงดูม้าโดยไม่จำเป็น ทั้งนี้พบว่าต้นทุนค่าอาหารสัตว์คิดเป็น 60-70% ของต้นทุนการผลิตสัตว์ทั้งหมด (นิราวรรณ, 2560)

จากความสำคัญและที่มาของการวิจัยดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าปัญหาในการให้อาหารม้า คือ ผู้เลี้ยงมักให้อาหารไม่ตรงเวลา เนื่องจากติดกิจธุระนอกฟาร์ม หรือให้อาหารปริมาณมากเกินความต้องการในแต่ละวัน หากเทอาหารไว้ล่วงหน้ากรณีฝนตกจะเกิดความชื้นและเชื้อราได้ทำให้สิ้นเปลืองด้านต้นทุน เวลา และส่งผลเสียต่อสุขภาพม้า ผู้เลี้ยงม้าจึงต้องทำงานในฟาร์มตลอดทั้งวันเพื่อให้อาหารม้าวันละ 4 มื้อ โดยต้องให้อาหารตรงเวลา ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อป้องกันอาการท้องอืด ซึ่งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของม้าได้ สามารถวิเคราะห์ปัญหาจากการให้อาหารม้าได้ดังภาพที่ 1

งานวิจัยนี้สนใจการใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยในการให้อาหาร เพื่อก่อให้เกิดความสะดวกสบาย ควบคุมความชื้นภายในภาชนะบรรจุอาหารเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเกิดเชื้อราและลดต้นทุนการบริหารจัดการ ด้วยการพัฒนาระบบอัตโนมัติที่มีเทคโนโลยีไอโอทีบนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กแบบฝังตัวที่สามารถควบคุมกระบวนการดำเนินงาน เช่น การสั่งเปิด-ปิดท่อลำเลียงอาหารโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor), การตรวจนับปริมาณอาหารแต่ละมื้อด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดน้ำหนัก (Load Cell), การวัดความชื้นเพื่อควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (Digital Temperature and Humidity Sensor: DTH) ซึ่งสามารถควบคุม ตรวจสอบ และรายงานการแจ้งเตือนผ่านทางไลน์แอปพลิเคชันเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานยิ่งขึ้น และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงานตามหลักการลีน



ภาพที่ 1 โมเดลวิเคราะห์ปัญหาจากการให้อาหารม้า

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีที่สามารถควบคุมได้โดยระยะไกลในที่ที่มีอินเตอร์เน็ต

1.3.2 เป็นแนวทางในการต่อยอดการพัฒนาระบบการให้อาหารสัตว์ประเภทอื่น

1.3.3 เพิ่มประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านการออกแบบระบบ (Design)

1) การออกแบบซอฟต์แวร์ ระบบแบ่งกลุ่มผู้ใช้งาน เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

(1) ผู้ดูแลระบบ

(2) ผู้ใช้งานหรือผู้เลี้ยงม้า

2) การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และยังมีการตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi

3) การออกแบบเครือข่ายของระบบ

สถาปัตยกรรมแบ่งเป็น 3 Layer โดย Application Layer คือ อุปกรณ์ให้อาหารม้า และ Blynk เพื่อควบคุมอุปกรณ์ให้อาหารม้า Network Layer คือระบบ WiFi และ Blynk Server เพื่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ให้อาหารม้า กับระบบ WiFi และการควบคุมด้วย Blynk ส่วน Perception Layer คือ เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ Servo Motor, Load Cell, DHT, NodeMCU ESP8266 ที่ร่วมกันทำงานในระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

1.4.2 ขอบเขตด้านการทดสอบความสามารถในการใช้งานระบบ

1) ทดสอบความแม่นยำของระบบโดยตรวจสอบจาก Log File จำนวน 20 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและน้ำหนักอาหารที่ให้

2) ทดสอบการแจ้งเตือนจากไลน์แอปพลิเคชัน โดยใช้กรณีทดสอบ 5 กรณี

1.4.3 ขอบเขตด้านการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

1) ประเมินประสิทธิภาพระบบตามหลักการลีน ด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุน โดยเปรียบเทียบ Pre-Lean กับ Post-Lean

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ผู้วิจัยได้ทบทวนทฤษฎีหลักการที่ใช้ในการศึกษาจำแนกเป็น 3 ประเด็น ประกอบด้วย ระบบทางเดินอาหารและการจัดการอาหารม้า ไอโอที และหลักการลีน รายละเอียดดังนี้

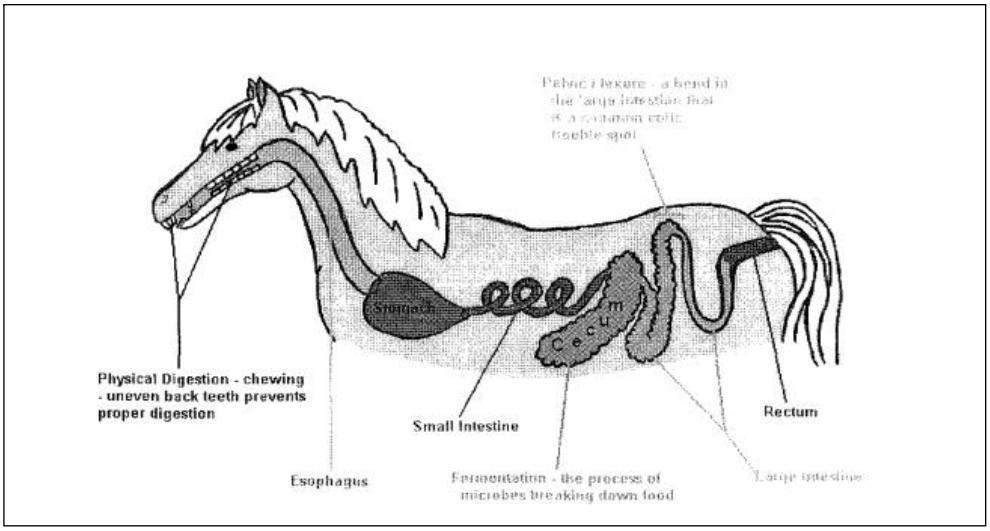
2.1 ระบบทางเดินอาหารและการจัดการอาหารม้า

2.1.1 ระบบทางเดินอาหารของม้า

ม้าเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว แตกต่างจากวัวควายซึ่งเป็นสัตว์กระเพาะรวมที่สามารถขย้อนอาหารที่กินเข้าไปแล้วออกมาเคี้ยวอีกรอบหรือเรียกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องนั่นเอง สัตว์กระเพาะเดี่ยวจะกินอาหารโดยเคี้ยวจนละเอียดก่อนกลืนลงกระเพาะและใช้น้ำย่อยในการย่อยอาหาร หลังจากนั้นสารอาหารจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กและขับกากอาหารผ่านลำไส้ใหญ่ออกมาทางทวารหนัก และม้าจะไม่สามารถขย้อนอาหารออกมาได้ และไม่แม้แต่จะเรอหรืออาเจียนออกมา เพราะธรรมชาติของม้าจะมีหลอดอาหารที่ยาวมาก มีหูรูดกระเพาะอาหารที่แข็งแรง และมีลักษณะกระเพาะอาหารคล้ายเมล็ดถั่วเขียว ซึ่งช่วยป้องกันการสำลักขณะวิ่ง (หมอม้าทีพี, 2561)

กระเพาะอาหารของม้ามีขนาดเล็กมีความจุเพียง 8% ของน้ำหนักตัว (ต่างกับวัวที่มีความจุของกระเพาะอาหารมากถึง 70% ของน้ำหนักตัว) และลำไส้เล็กของม้ามีความยาวประมาณ 30 เมตร อาหารจะใช้เวลาเดินทางประมาณ 2.5 ชั่วโมง หากเราให้อาหารเม็ดในปริมาณมากจะทำให้ม้าไม่สามารถย่อยและดูดซึมอาหารเพื่อเอาไปใช้ได้ทัน ทำให้อาหารเม็ดเหลือตกไปสู่ลำไส้ใหญ่ ซึ่งน้ำตาลในอาหารเม็ดจะส่งผลเสียต่อความเป็นกรดในลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียที่ก่อโรคจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้ลำไส้ใหญ่ของม้าเสียสมดุล เกิดความปั่นป่วนภายใน ทำให้ลำไส้อักเสบ

มีการปล่อยสารพิษออกมา นำไปสู่ภาวะ มีแก๊สในลำไส้มาก ม้าจะเกิดอาการเสียดท้อง หรือท้องเสีย ทำให้ม้าเสียชีวิตได้ และหากม้าขาดหญ้าเกินกว่า 2 ชั่วโมง จะทำให้ลำไส้เล็กที่ไม่มีอาหารอยู่ภายในหดแฟบลงและบิดหมุนพันกันได้ง่าย ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพม้าเช่นกัน (หมอม้าทีพี, 2561) ดังนั้น การให้อาหารม้าในปริมาณที่เหมาะสมตามความต้องการ และให้อาหารตรงเวลาจึงเป็นเรื่องสำคัญในการดูแลม้า



ภาพที่ 2 ระบบทางเดินอาหารของม้า

ที่มา: ภคนิจ คุปพิทยานันท์. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชา 303 433 การดูแลและจัดการม้า. นครราชสีมา: สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

2.1.2 การจัดการอาหารม้า

2.1.2.1 ชนิดอาหาร

อาหารม้าจำแนกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ อาหารหยาบ อาหารผสม อาหารเม็ด และอาหารเสริม (ภคนิจ, ม.ป.ป.)

1) อาหารหยาบ (Roughage) ให้อย่างน้อย 7 กิโลกรัม/ 455 กก.นน.ตัว/ วัน หญ้าแห้งแรกตัดความชื้น 10-14% หญ้าแห้งที่มีคุณภาพต้องดูสดใหม่ สะอาดไม่มีฝุ่นหรือรา สีเขียวสดคาโรทินมีวิตามิน A กลิ่นหอม ต้นขนาดเล็กและมีใบติด ไม่มีวัชพืชหรือหรือวัตถุแปลกปลอม

2) อาหารผสม

(1) เมล็ดธัญพืช ได้แก่ ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลีฯ การให้เมล็ดธัญพืช ควรให้ธัญพืชทั้งเมล็ดจะดีที่สุด อาจปนเป็นท่อนหรือทำเป็นลอนหรือปั้นเป็นก้อนกลมก็ได้ ผ่านกระบวนการทำให้สุก เช่น การต้มแล้วนำมาบดแปรรูปเป็นอาหารเมล็ดเล็กๆ ประมาณ 0.5-1.3 ซ.ม. และแข็งพอประมาณ ไม่ควรป่นจนละเอียด เนื่องจากม้าจะสูดเอาฝุ่นเข้าไป ทำให้จามหรือเกิดอาการเสียดท้องเนื่องจากมีแก๊สมาก

(2) กากน้ำตาล (Molasses) กระตุ้นให้เจริญอาหาร บดบังรสชาติยาในเมล็ดธัญพืช ได้เพิ่มพลังงาน ข้อเสียคือ ฝุ่นละอองจะปนในอาหารมากจนเป็นอันตรายได้

3) อาหารเม็ด (Pellets) หรืออาหารข้น เป็นอาหารที่มีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของร่างกายม้า ได้แก่ พลังงาน โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุ จะช่วยฟื้นฟูพลังงานให้ม้าเตรียมพร้อมต่อการทำกิจกรรมต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ข้อดีของอาหารเม็ดคือ เนื้ออาหารถูกย่อยได้มาก เก็บรักษาง่าย คุณภาพดี ไม่บูดเสียง่าย ไม่เป็นฝุ่น ข้อเสีย คือ ม้าจะมีอาการกัดแทะราวคอกหรือรางอาหาร เนื่องจากม้าขาดอาหารหยาบ อาจทำให้เกิดภาวะหลอดอาหารอุดตัน หรือกระเพาะอาหารขยายหากได้รับอาหารมากเกินไป และกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนจะทำให้สูญเสียวิตามินบางชนิดไป นอกจากนี้อาหารเม็ดมีราคาสูง

4) อาหารเสริม ได้แก่พวกแร่ธาตุและวิตามิน เหมาะสำหรับม้าแข่งเนื่องจากต้องสูญเสียแร่ธาตุไปทางเหงื่อเป็นจำนวนมากในระหว่างการแข่งขัน อาจทำให้เสียสมดุลน้ำและเกลือแร่ อาหารเสริมมีทั้งชนิดผงหรือเกล็ดเล็ก และเกลือก้อน

2.1.2.2 ปริมาณอาหาร

หลักการคำนวณปริมาณการให้อาหารม้า มีดังนี้คือ ให้อาหารปริมาณ 1% ของน้ำหนักตัว และเสริมด้วยอาหารเสริม 200 กรัมต่อวัน หรือประมาณจากอายุของม้า ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจัดการปริมาณอาหารม้าตามอายุ

อายุม้า	ปริมาณอาหาร/ตัว/วัน
อายุมากกว่า 12 เดือน	3 กิโลกรัม
อายุ 18 เดือน - 2 ปี	2.5 กิโลกรัม
อายุมากกว่า 2 ปี	2.0 - 2.5 กิโลกรัม
แม่ม้าท้องระยะแรก	1.5 - 2.0 กิโลกรัม
แม่ม้าท้องระยะท้าย	2.5 - 3.0 กิโลกรัม
แม่ม้าให้นมลูกในระยะ 3 เดือนแรก	4.5 กิโลกรัม
แม่ม้าเลี้ยงลูกในระยะ 3 เดือนหลัง – 6 เดือน	3.5 - 4.0 กิโลกรัม

ที่มา: ภคนิจ คุปพิทยานันท์. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชา 303 433 การดูแลและจัดการม้า. นครราชสีมา: สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

โดยธรรมชาติของม้า ในอดีตม้าเป็นสัตว์ที่ถูกล่าและกินพืชเป็นหลัก การกินอาหารมื้อใหญ่ จะทำให้จุดเสียดท้อง ไม่สามารถหนีผู้ล่าได้ จึงทำให้ม้ามีการปรับตัวในการกินอาหารเป็นการกินน้อยๆ แต่บ่อยครั้ง (ณัฐวุฒิ, ม.ป.ป.) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดการปริมาณอาหารม้าตามน้ำหนัก 4 มื้อต่อวัน

น้ำหนักม้า (กก.)	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**
ปริมาณอาหารต่อวัน (กก.)	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
ม้าน้ำหนักเกินเกณฑ์	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60
ม้าน้ำหนักสมส่วน	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
ม้าน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00

ที่มา: ณัฐวุฒิ นุชประยูร. (ม.ป.ป.). *การจัดการอาหารม้าเบื้องต้น : เรื่องยากที่คิดว่าง่าย.* ค้นจาก https://vs.mahidol.ac.th/oldweb/index.php/basic-food-handling-horses

2.1.2.3 การให้อาหารม้า

การให้อาหารม้า มีข้อควรระวังดังนี้คือ

1) ต้องให้อาหารม้าแยกเป็นตัวตัว เพื่อไม่ให้ม้ากัดกันเพื่อแย่งอาหาร โดยมีรางใส่อาหารให้แต่ละตัวกินพร้อมกัน

2) การให้อาหารต้องคำนึงถึงอายุ เพศ การทำงาน และขนาด ต้องจัดอาหารให้ตามน้ำหนักตัว โดยแบ่งการให้อาหารเป็นครั้งย่อยๆ อย่างน้อย 2 ครั้ง/วัน

3) ควรจำกัดเมล็ดธัญพืชเพียง 2.3-2.7 กิโลกรัมต่อการให้อาหาร 1 ครั้ง เนื่องจากการให้ธัญพืชมากเกินไปอาจเข้าไปในลำไส้ส่วนปลายทำให้เกิดการอุดตันและอักเสบได้

4) การให้อาหารต้องเคร่งครัดเรื่องการให้อาหารในเวลาเดียวกันทุกวัน

5) อย่าให้อาหารที่เป็นเชื้อรา ควรเก็บอาหารเก่าที่เหลืออยู่ทิ้งไปก่อนใส่อาหารใหม่

6) อย่าให้อาหารม้าด้วยอาหารที่หายาก เพราะม้าจะติดในรสชาติ จะมีปัญหาการจัดหาอาหารให้เพียงพอ

7) การให้กากน้ำตาลต้องระวังอย่าให้อาหารสกปรก มีแมลงหรือมดตอม

8) ไม่ควรให้ม้ากินอาหารตามพื้น เพราะจะเป็นสาเหตุให้เกิดอาการเสียดท้องจากการกินทรายเข้าไป

9) การออกกำลังกายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับม้าเพื่อเสริมความอยากอาหารและกระตุ้นการย่อยอาหาร

10) น้ำเป็นสิ่งสำคัญที่จะขาดเสียไม่ได้

11) ต้องระมัดระวังความสะอาดของอาหารและความสะอาดของอุปกรณ์ในการให้อาหาร

2.2 Internet of Things หรือ IoT

Internet of Things หรือ IoT หมายถึง สิ่งของหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย รับส่งข้อมูล เพื่อทำการแลกเปลี่ยน และทำการประมวลผล หรือเพื่อควบคุมการทำงานสิ่งของหรืออุปกรณ์ต่างๆ สิ่งของหรืออุปกรณ์ต่างๆที่กล่าวถึงนั้น คือ “Things/Device” ได้แก่ เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องมือเครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม หุ่นยนต์

แขนกล อุปกรณ์ภายในอาคารบ้านเรือน สิ่งของในบ้านพักอาศัย อุปกรณ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น นาฬิกา รถยนต์ ตู้เย็น อุปกรณ์เตือนภัย ฯลฯ โดยทุกสิ่งที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะมีเซ็นเซอร์ซึ่งทำหน้าที่รับรู้สภาวะแวดล้อมต่างๆ มีระบบเครือข่ายทำการติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ (Machine-to-Machine Communication) เสมือนว่าอุปกรณ์มีการพูดคุยสื่อสารกันได้เอง โดยอาศัย (Protocol) และ ระบบเครือข่าย (กอบเกียรติ, 2561) เช่นในระบบ Smart Farm เมื่อระบบอ่านค่าเซ็นเซอร์ตรวจจับความแห้งของดิน เมื่อพบว่าดินมีสภาพแห้ง ก็จะส่งสัญญาณสั่งให้ระบบรดน้ำทำงาน ฯลฯ ซึ่งทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้ จึงได้นำระบบ IoT มาประยุกต์กับการให้อาหารม้า

องค์ประกอบของ Internet of Things หรือ IoT (รัฐศิลป์, 2563)

1) Data Ingestion คือ การอินพุตข้อมูลของ Things/Device จาก Internet of Things มี 2 ประเภท แบบซับซ้อน เช่น วิดีโอแบบเรียลไทม์ โดยข้อมูลภาพและเสียงจะถูกนำเข้าตลอดเวลา แบบไม่ซับซ้อน เช่น การรับค่าน้ำหนัก

2) Data Transmission คือการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Internet of Things ไปยัง Internet of Things ตัวอื่นๆ หรือส่งไปเก็บข้อมูลหรือประมวลผล โดยส่งผ่านทาง IoT Gateway สามารถสื่อสารกันได้หลายรูปแบบ เช่น Bluetooth, WiFi, NRF2.4GHz, 4G, LoRa, NBIoT รูปแบบอื่นๆ เช่น ดาวเทียม, ไมโครเวฟ หรือแม้กระทั่งใช้สาย LAN

3) Data Processing คือส่วนที่ประมวลผล เก็บข้อมูล ซึ่งสามารถประมวลผลได้ 2 ประเภท การประมวลผลใกล้กับแหล่งข้อมูล เรียกว่า Edge Computing เป็นการนำข้อมูลจำนวนมหาศาลมาประมวลผลที่ต้นทางที่ใกล้กับแหล่งข้อมูล และการประมวลผลบน Cloud

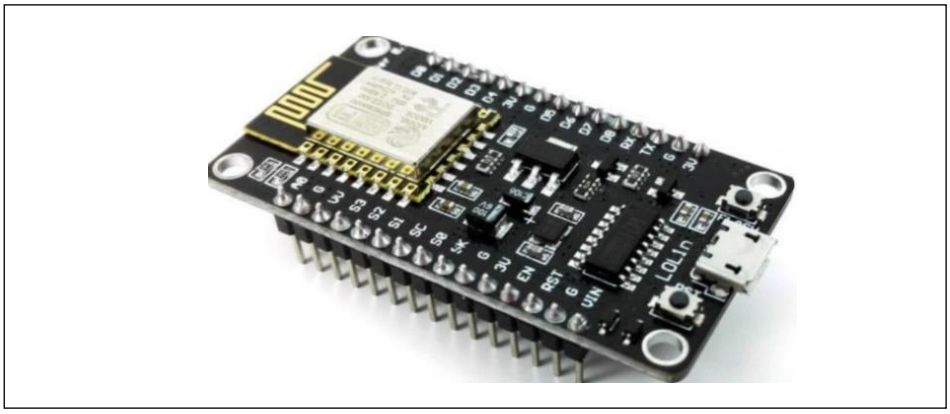
4) Data Visualization คือการนำข้อมูล IoT ที่ถูกวิเคราะห์ ผ่านการประมวลผลมาจัดเก็บ เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอในรูปแบบของ Text และกราฟ ซึ่งแสดงผลได้ทางบน Mobile และ Desktop

5) Data Analysis and Prediction คือการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยใช้ Data Mining, Machine Learning และ AI เพื่อช่วยในการทำนายและตัดสินใจล่วงหน้า เช่น การนำข้อมูลของหุ้นในตลาดหุ้นไทยมาทำการวิเคราะห์และทำนายว่า หุ้นตัวใดจะราคาขึ้นราคาลง

2.2.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 เป็นบอร์ดสำหรับงาน IoT ที่ได้รับความนิยมสูง ซึ่งแตกต่างจากบอร์ดอื่นๆ เช่น Ethernet, WiFi/BLE, LoRa, SigFox และ NB-IoT เนื่องจากมีขนาดเล็กและราคาถูก โครงสร้างขาอินพุตและเอ้าพุตคล้ายกับ Arduino และมีจำนวนมากพอใช้งานทั่วไป บนบอร์ดมีระบบ WiFi รองรับการทำงานทั้งโหมด Station และ Client ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายและทำงานเป็น Access Point ได้ หรือเซทระบบเป็น Web Server ขนาดเล็กได้ NodeMCU ESP8266 (เรียกย่อๆ ว่า NodeMCU) จัดว่าอยู่ในแพล็ตฟอร์ม Arduino ได้ โดยเมื่อเทียบกับ Arduino แล้ว ตัวบอร์ด NodeMCU มีสถาปัตยกรรมคล้าย Arduino ที่ไม่ต้องติดตั้งระบบปฏิบัติการ ภายในจะมีโปรแกรมจัดการของตัวเอง ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุม สามารถเขียนได้ 2 ภาษา คือ ภาษาซี และ ภาษา Lua ซึ่งถ้าผู้พัฒนาใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมควบคุม

สามารถใช้ Arduino IDE เขียนโปรแกรมแล้วอัพลงตัวบอร์ดได้ หรือถ้ามีโปรแกรมที่ใช้ควบคุม Arduino แล้ว ก็ปรับเล็กน้อยแล้วนำมาใช้รันบน NodeMCU ได้ (กอบเกียรติ, 2561)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างบอร์ด NodeMCU ESP8266
ที่มา: Cytron. (2021). NodeMCU Lua V3 ESP8266 WIFI with CH340C. ค้นจาก http://th.cytron.io/p-NodeMCU Lua V3 ESP8266 WIFI with CH340C

2.2.2 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ หรือเรียกสั้นๆ ว่า Servo เป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถสั่งให้แกนเซอร์โวหมุนไปยังตำแหน่งองศาที่ต้องการได้ เนื่องจากใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) คือ การนำผลของปลายทางหรือเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต เพื่อสั่งให้กลไกเลื่อนไปให้ตำแหน่งตามที่อินพุตสั่ง) เช่นขณะนี้แกนเซอร์โวอยู่ที่ตำแหน่ง 10 องศา เมื่อเราสั่งให้หมุนไปที่ 45 องศา แกนก็จะหมุนไปยังองศาที่ระบุ แล้วหยุด เหมาะสำหรับงานควบคุมกลไกที่ต้องการบังคับมุมหมุนให้ได้ตามต้องการ เช่น แขนกล การเลื่อนหรือแพนกล้องไปมา ฯลฯ สำหรับเซอร์โวขนาดเล็กที่ใช้ในอุปกรณ์พวกวิทยุบังคับ ส่วนใหญ่มุมเซอร์โวจะอยู่ระหว่าง 0-180 แต่ก็มีบางรุ่นสามารถหมุนได้รอบ 360 องศา (กอบเกียรติ, 2561)

1) การใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ สายของเซอร์โวมอเตอร์มี 3 เส้น คือ
   (1) สีแดง (VCC) สายสำหรับไฟเลี้ยงสำหรับจ่ายไฟบวก 5 V
   (2) สีน้ำตาล หรือ สีดำ (GND) สายสำหรับจ่ายไฟลบ หรือ กราวด์
   (3) สีส้ม หรือ สีขาว (Signal) สายควบคุมสัญญาณ (PWM)

2) การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ การควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะทำที่สาย Signal โดยป้อนสัญญาณ PWM ความถี่ 50 Hz เข้าไป โดยมีความกว้างพัลส์บวกที่ 0.5 mS (ค่าต่ำสุด) ถึง 2.5 mS (ค่าสูงสุด) หรือ 1 mS (ค่าต่ำสุด) ถึง 2 mS (ค่าสูงสุด) ตามแต่รุ่นของเซอร์โวมอเตอร์ โดยหากป้อนสัญญาณ PWM ที่มีความกว้างช่วงบวกเข้าไปเท่าค่าต่ำสุด เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ 0 องศา หากป้อนสัญญาณ PWM เข้าไปเท่าค่าสูงสุด เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ 180 องศา (สนธยา, 2562)

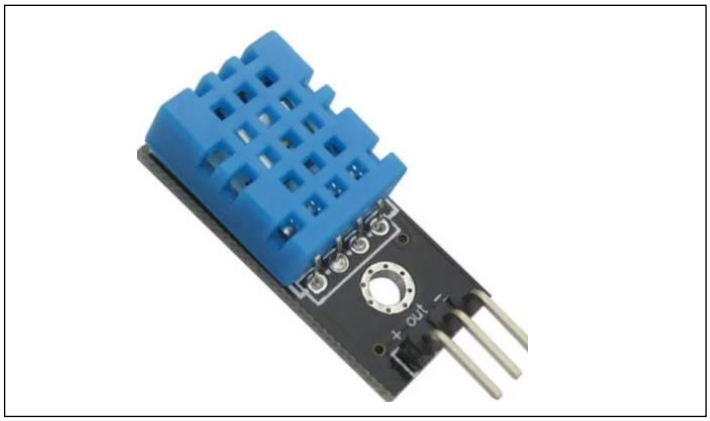
ภาพที่ 4 ตัวอย่าง Servo Motor

ที่มา: ThaiEasyElec. (2021 c). MG996R Servo Metal Gear High Torque. ค้นจาก https://www.thaieasyelec.com/product/627/mg996r-servo-metal-gear-high-torque

2.2.3 DHT11

DHT11 คือ โมดูลหรือเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ + - 2 องศาเซลเซียส ข้อจำกัดของเซ็นเซอร์ DHT คืออัตราความเร็วในการวัด ต้องอ่านค่าอุณหภูมิ ห่างกันอย่างน้อย 1-2 วินาที (กอบเกียรติ, 2561)

คุณสมบัติของ DHT11 มีดังต่อไปนี้ (Arduitronics, 2557) ย่านความชื้น 20-90% RH โดยมีความแม่นยำ +- 5% RH ความละเอียดในการวัด 1% แสดงผลแบบ 8 บิต ย่านวัดอุณหภูมิ 0 – 50 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความแม่นยำ + - 2 องศาเซลเซียสความละเอียดในการวัด 1 องศาเซลซียส แสดงผลแบบ 8 บิต ใช้ไฟ 0.5 – 2.5 mA ขณะทำการวัดค่า ที่ระดับแรงดัน 3 – 5.5 VDC อ่านค่าสัญญาณ ทุก 1 วินาที

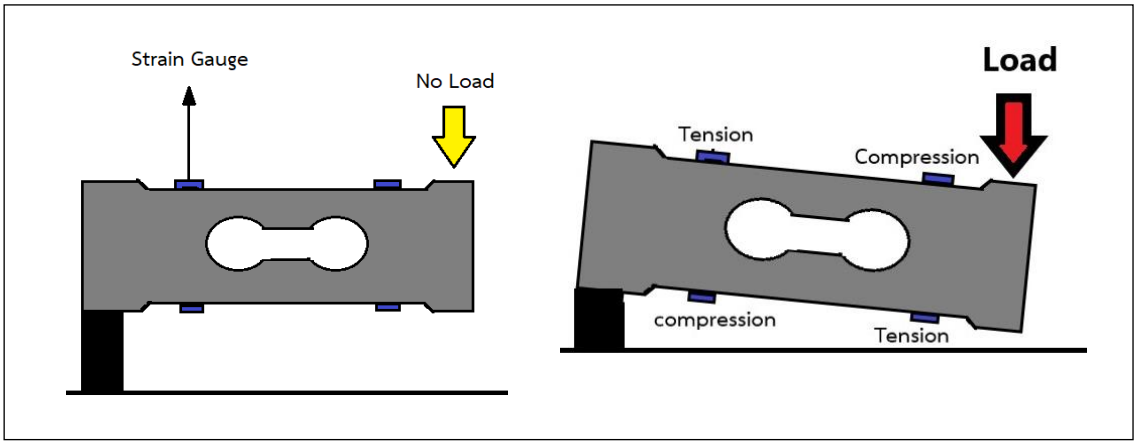


ภาพที่ 5 ตัวอย่างเซ็นเซอร์ DHT11

ที่มา: Invent Electronics. (2021). DHT11 Temperature and Humidity Sensor Breakout. ค้นจาก DHT11 Temperature and Humidity Sensor Breakout - Invent Electronics

2.2.4 Load Cell

Load Cell คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยนำสัญญาณทางไฟฟ้านี้ไปจ่ายเข้าจอแสดงผล เพื่อแสดงค่าเป็นน้ำหนักหรือแรงที่กระทำ โหลดเซลล์ทำมาจาก Strain Gauge ที่จัดเรียงวงจรในรูปแบบวงจรวิจสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) ซึ่งสามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึง ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ (Factomart, 2562) เมื่อมีแรงมากระทำกับตัว Load Cell ทำให้ Strain Gauge ที่ติดอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปทรง ยืด หรือหดตัว ทำให้ค่าความต้านทานที่ตัว Strain Gauge เปลี่ยนไป ตามรูปที่ 3 จุดที่ Strain Gauge ได้รับแรงกด (Compression) จะทำให้ Strain Gauge หดตัวเข้าหากัน และจุดที่ได้รับแรงดึง (Tension) ทำให้ Strain Gauge ถูกยืดออก ทำให้ค่าความต้านทานของ Strain Gauge เกิดการเปลี่ยนแปลง (วิสัชชนา, 2560)



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการทำงานของ Load Cell

2.2.5 Blynk

Blynk เป็นแพลตฟอร์มสำหรับการเชื่อมต่อและควบคุมอุปกรณ์ IoT ด้วย Mobile Apps กล่าวคือ Blynk เป็นเซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่อตรงกลางระหว่างอุปกรณ์ IoT และอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ทำให้สามารถใช้สมาร์ทโฟน/ Tablet/ iPad ควบคุมอุปกรณ์ IoT ได้ หรืออ่านค่าจากเซ็นเซอร์ได้ อุปกรณ์ IoT ที่ Blynk รองรับได้แก่ Arduino, NodeMCU ESP8266, Raspberry Pi, Intel, Orange Pi, WeMos เป็นต้น (กอบเกียรติ, 2561)

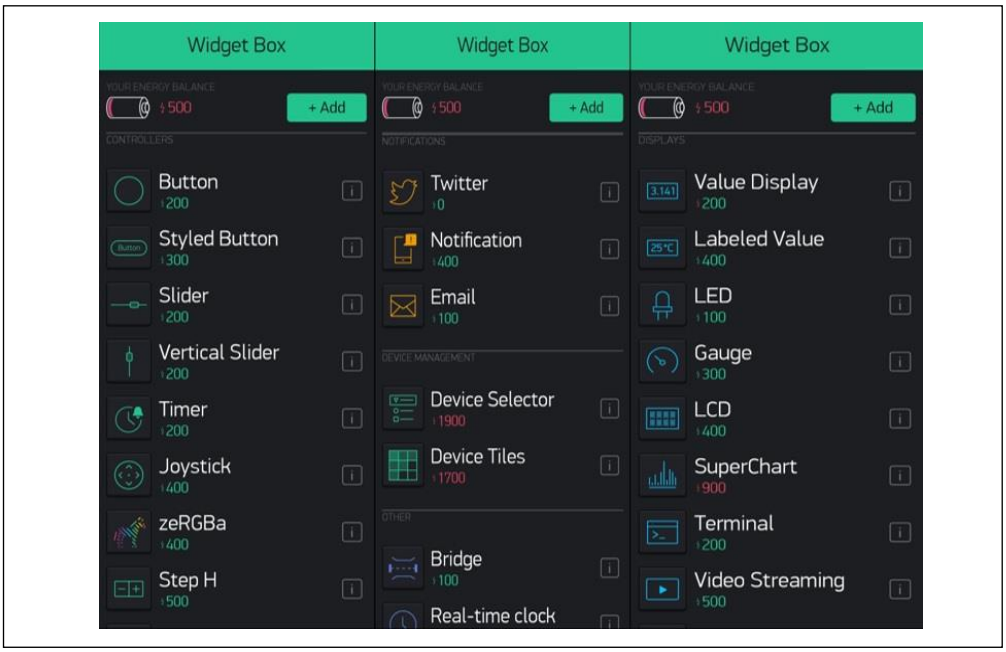
Blynk มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนดังต่อไปนี้ (ThaiEasyElec, 2021)

1) Blynk เป็นแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนที่มีชุดคำสั่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก หรือ widget เพื่อควบคุมและแสดงผล Things/Device ต่างๆ

2) Blynk Server เป็น ส่วนกลางของการสื่อสารระหว่าง Controller ต่างๆ กับ Things/Device ซึ่งสามารถใช้ Blynk Cloud ของ Blynk ได้

3) Blynk Libraries เป็น Libraries เพื่อพัฒนาโปรแกรมใน platform ของ Things/ Device ต่างๆ

Blynk Energy คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับแลกเปลี่ยนกับ Widget Box ต่างๆ เพื่อควบคุม หรือ แสดงผล เช่น กราฟ, ปุ่มกด และ Joystick เป็นต้น



ภาพที่ 7 ตัวอย่าง Widgets และค่า Energy ของ Blynk

2.3 หลักการลีน

“ลีน” (Lean) ความหมายตามคำศัพท์ภาษาอังกฤษ หมายถึง ผอม เพรียว บาง หรือปราศจากไขมัน เมื่อนำมาใช้ในการบริหารการผลิต ระบบการผลิตตามแนวคิดลีนจึงเป็นระบบการผลิตที่ไม่มีความสูญเปล่าหรือเกิดความสูญเปล่าจากการผลิตน้อยที่สุด (สุทธิพงษ์, 2558) แนวคิดลีน เป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดระยะเวลาการทำงาน การลดต้นทุน การเพิ่มความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพ เน้นการกำจัดความสูญเปล่า ใช้เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน โดยปรับปรุงให้เกิดการไหลของงานของอย่างต่อเนื่อง (ดามธรรม, 2559)

หลักการลีน มี 5 ประการดังนี้

1) การนิยามคุณค่าของงาน (Identify Value) เป็นกำหนดคุณค่าของสินค้าและบริการตามมุมมองของลูกค้า

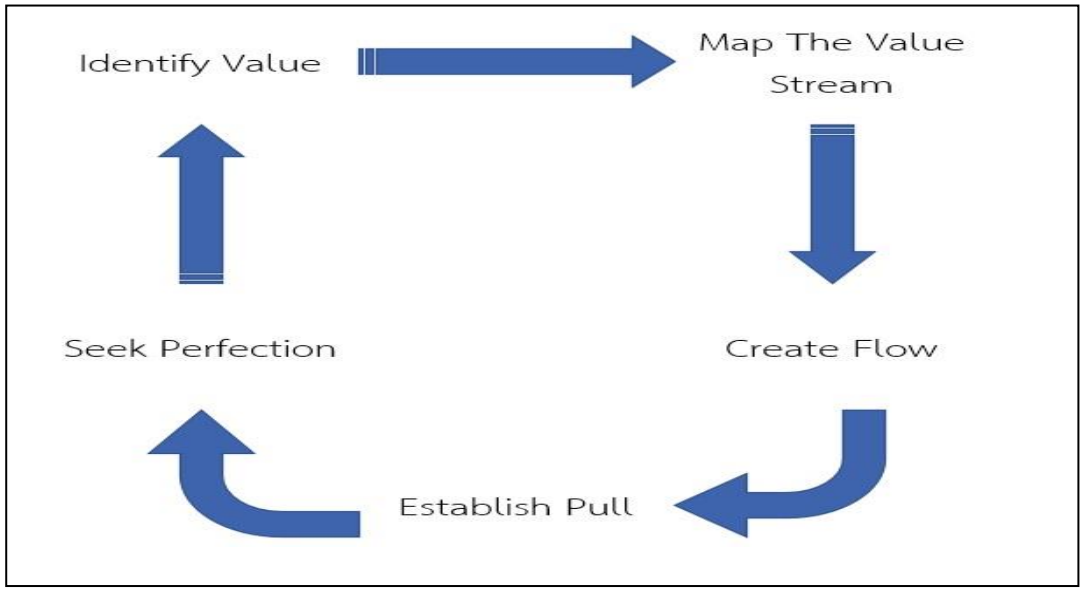
2) การทำผังวิเคราะห์สายธารแห่งคุณค่า (Map the Value Stream) เพื่อให้เห็นงานทั้งกระบวนการ เห็นความสูญเปล่าหรือสภาพปัญหาของกระบวนการในขั้นตอนการดำเนินงาน ทุกขั้นตอน ตั้งแต่การออกแบบ การวางแผนการผลิตสินค้า การจัดจำหน่าย เป็นต้น ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มด้วยแผนภาพกระบวนการ (Process Mapping) ที่เห็นการไหลของกระบวนการทั้งหมด และจำแนก หรือระบุขั้นตอนที่เป็นการเพิ่มคุณค่า และไม่เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ในห่วงโซ่อุปทาน

3) การไหล (Create Flow) เป็นการสร้างการไหลของกระบวนการ ซึ่งสร้างคุณค่าให้สินค้า เพื่อให้เกิดการไหลของงานอย่างสม่ำเสมอ ต่อเนื่องและไม่ติดขัด โดยปราศจากของ

เสีย การหยุดพัก การหยุดชะงัก การเดินทาง การย้อนกลับ การใช้เส้นทางอ้อม และการรอคอย เป็นการกำจัดอุปสรรคต่างๆ และระยะทาง ทำให้แผนผังการทำงานเปลี่ยนแปลงไป ถือเป็นหัวใจและจุดเริ่มต้นของการผลิตแบบลีน

4) การดึง (Establish Pull) ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in Time: JIT) คือ การสร้างความสมดุลและความสัมพันธ์ของปริมาณการผลิตตามความต้องการของลูกค้าเพื่อกำจัดความสูญเปล่าจากการผลิตสินค้าคงคลังที่เกินความจำเป็น ทำให้ต้นทุนของสินค้าคงคลังเหล่านั้นหมดไป แต่ในการปฏิบัติจริงความต้องการจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงนำวิธีการจัดการเวลา (Task Time) มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดสมดุลการไหล ทำให้เกิดสมดุลในกระบวนการผลิต

5) ความแสวงหาความสมบูรณ์แบบ (Seek Perfection) เป็นการแสวงหาแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนางานอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มคุณค่าและกำจัดความสูญเปล่าที่เป็นสาเหตุของต้นทุนที่เพิ่มขึ้น โดยค้นหาความสูญเปล่าที่ถูกซ่อนไว้ในกิจกรรมต่าง ๆ และกำจัดออกไปอย่างต่อเนื่องจนเหลือเพียงกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าให้กับลูกค้าเท่านั้น ตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการเป็นสำคัญ โดยคำนึงถึงคุณภาพสูงสุด ต้นทุนต่ำสุด และใช้เวลาน้อยที่สุด (จุฑาภรณ์, 2562) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 หลักการลีน

หลักการลีน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการปฏิบัติงาน หรือการปรับการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นหรือสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น โดยมีแนวคิดเพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เน้นการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นในปริมาณที่เหมาะสม และเน้นการใช้เวลาให้คุ้มค่า เพื่อขจัดขั้นตอนการทำงานที่ ไม่จำเป็นหรือไม่ก่อให้เกิดมูลค่าออกไป (เพ็ญวิสาข์ และวัชรวลี, 2555) แนวคิดลีนจึงเป็นแนวคิด เชิงระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกหน่วยงาน ไม่จำกัดเฉพาะในธุรกิจภาคการผลิตเท่านั้น

การประเมินประสิทธิภาพตามหลักการลีน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เขียนกระบวนการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดกระบวนการ (Pre-Lean)

ขั้นตอนที่ 2 จับเวลาการทำงาน รวมไปถึงระยะทางระหว่างขั้นตอนในแต่ละกระบวนการทำงาน

ขั้นตอนที่ 3 ใช้สัญลักษณ์เพื่อวิเคราะห์กระบวนการทำงานทั้งหมด ดังนี้

สิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำ = NVAA (Waste)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำแต่ต้องทำ = NNVAA (Non Value)

ขั้นตอนที่ 4 นำกระบวนการทั้งหมดมาคำนวณหาประสิทธิภาพโดยรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value) แล้วหารด้วยเวลาทั้งหมดของกระบวนการทำงาน โดยมีสูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละของประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ}}{\text{เวลาของกระบวนการทำงานทั้งหมด}} \times 100$$

ความสูญเปล่าในระบบการผลิตตามแนวคิดของระบบลีน เกิดจากกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าในระบบการผลิต มีอยู่ 8 ประการ ดังนี้ (เกียรติขจร, 2562)

1) การผลิตมากเกินความต้องการ (Over Production)
2) การมีสินค้าคงคลังมากเกินไป (Excess Inventory)
3) การรอคอยหรือเวลาที่ใช้ในการรอปฏิบัติการ (Waiting Time on Hand)
4) การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Transport or Conveyance)
5) การเคลื่อนไหวโดยไม่จำเป็น (Unnecessary Movement)
6) การมีของเสีย (Defects)
7) การมีกระบวนการที่ไม่จำเป็น (Over Processing or Incorrect Processing)
8) การสูญเสียศักยภาพ หรือความคิดสร้างสรรค์ของพนักงานที่ไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง ระบบการให้อาหารม้าบนเทคโนโลยีไอโอที (IoT) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาอ้างอิงในงานวิจัย ในประเด็นต่อไปนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพตามแนวทางลีน เทคโนโลยีไอโอที NodeMCU, Servo Motor, Load Cell, DHT11

จิรภาส ทองเต็ม (จิรภาส, 2558) ศึกษาเรื่องระบบให้อาหารสัตว์เลี้ยงอัตโนมัติด้วยราสเบอร์รี่พาย วัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยจัดสรรอาหารประเภทเม็ดให้กับสัตว์เลี้ยง ได้แก่ แมว และสุนัข หากเกิดกรณีเจ้าของสัตว์เลี้ยงอยู่นอกสถานที่อยู่อาศัย ไม่สามารถจัดสรรอาหารได้ ซึ่งการจัดอาหารไม่ตรงเวลาจะส่งผลโดยตรงให้สุขภาพของสัตว์เลี้ยง เกิดภาวะขาดอาหาร ซึ่งก่อให้เกิดอาการป่วยต่างๆ และเป็นภาระค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของสัตว์เลี้ยงที่ไม่จำเป็นได้ ดังนั้น ออโตเมติกบ๊อกฟีดเดอร์ (Automatic Box Feeder) สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการนำบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ที่เป็นคอมพิวเตอร์จิ๋วทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) สั่งการด้วยภาษาพีเอชพี (PHP) ร่วมด้วยกับภาษาไพทอน (Python) ควบคุมการทำงานของวงจรรีเลย์และมอเตอร์ ช่วยจัดสรรอาหารสัตว์เลี้ยง พร้อมการติดตามด้วยเซอร์วิสเว็บแคม (Webcam) บนบอร์ด การใช้งานของระบบออโตเมติกบ๊อกฟีดเดอร์ (Automatic Box Feeder) นี้จะใช้การสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สะดวกต่อการใช้ มีประสิทธิภาพในการจัดสรรอาหาร และลดปัญหาทางสุขภาพพร้อมดูแลสัตว์เลี้ยงได้

เกียรติศักดิ์ อยู่ดี (เกียรติศักดิ์, 2555) ศึกษาเรื่องเครื่องให้อาหารเม็ดอัตโนมัติ วัตถุประสงค์เพื่อจัดทำนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ขึ้น จึงได้คิดประดิษฐ์เครื่องให้อาหารเม็ดอัตโนมัติ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการให้อาหารสัตว์ เพื่อลดเวลาในการทำงาน โดยเครื่องให้อาหารเม็ดอัตโนมัตินี้สามารถตั้งโปรแกรมเพื่อกำหนดเวลาการให้อาหารในแต่ละวันได้ ซึ่งสามารถกำหนดเวลาเป็นนาทีต่อครั้ง ภายในหนึ่งวันสามารถให้อาหารได้มากกว่าหนึ่งครั้ง

จิราพร ช่อมณี, ปัทมา วุฒิสมัย, ภัทราวดี พันธุ์ทอง, ภัทราภรณ์ เสือแก้ว และศุภกร กตาธิการกุล (จิราพร และคณะ, 2563) ศึกษาเรื่องการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อศึกษาค่าความร้อนของปฏิกิริยาด้วยตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดแคลอริมิเตอร์โดยใช้ตัวตรวจวัดการเปลี่ยนของอุณหภูมิอัตโนมัติ เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในปฏิกิริยาด้วย Thermo Sensor และบอร์ด ESP8266, NodeMCU ที่มีอุปกรณ์ควบคุม IoT โดยแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บน Smartphone ข้อมูลการทดลองแสดงผลในรูปแบบของเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่สามารถระบุประเภทของปฏิกิริยาแบบคายความร้อนหรือปฏิกิริยาดูดความร้อนและปริมาณความร้อนของปฏิกิริยา ทั้งนี้เครื่องมือสามารถแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนและเวลาแบบต่อเนื่องอัตโนมัติตามเวลาจริงบนคอมพิวเตอร์ เพิ่มความสะดวกในกระบวนการทดลอง มีค่าความแม่นยำที่ร้อยละ 96.44

วริศร์, วุฒิชัย และสุทธิลักษณ์ (วริศร์ และคณะ, 2562) ศึกษาเรื่องการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์สำหรับตรวจสอบข้อมูลสมาร์ทฟาร์มผ่านแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบติดตั้งระบบควบคุมตรวจสอบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ผ่านสมาร์ทโฟนโดยการสื่อสารโดยใช้เครือข่ายไร้สาย Wi-Fi และ Blynk Server เป็นระบบใช้เก็บข้อมูลและรายงานผล โดยระบบที่ออกแบบมานี้ใช้อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ในการรับข้อมูลจาก Sensors ในการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ และความชื้นในดิน และ Blynk สามารถสร้างเป็นกราฟของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ และความชื้นในดิน โดยสามารถใช้เทคโนโลยี IoT ดูข้อมูลทั้งหมดได้ และสามารถควบคุมระยะไกลจากโทรศัพท์มือถือด้วย

เพ็ญวิสาข์ เอกกะยอ และวัชรวลี ตั้งคุปตานนท์ (เพ็ญวิสาข์ และวัชรวลี, 2555) ศึกษาเรื่องการใช้หลักการลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสาร และออกเลขหนังสือด้วยซอฟต์แวร์เสรี กรณีศึกษา สำนักงานโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ วัตถุประสงค์เพื่อนำจูมล่า ซึ่งเป็นระบบบริหารจัดการเนื้อหาบนเว็บไซต์มาพัฒนาระบบดังกล่าว และนำหลักการลีนมาลดกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพ การทำงาน โดยการใช้ลีน และจูมล่า มาจัดการกับปัญหาดังกล่าว ทำให้ลดกระบวนการค้นหาเอกสารจาก 7 ขั้นตอน เหลือ 2 ขั้นตอน การออกเลขหนังสือจาก 6 ขั้นตอน เหลือ 2 ขั้นตอน และเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาเอกสารจากร้อยละ 13.04 เป็นร้อยละ 40 การออกเลขหนังสือจากร้อยละ 9.09 เป็นร้อยละ 60

วัธกร เจริญสิริสกุล, วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์, ธีรวัฒน์ หังสพฤกษ์ และอรอุมา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต (วัธกร และคณะ, 2561) ศึกษาเรื่องการประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการแบบสอบถามออนไลน์ด้วยซอฟต์แวร์เสรีภายใต้มาตรฐาน Open Source Maturity Model กรณีศึกษา หน่วยกิจการนักศึกษา วัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์เสรี ด้วยมาตรฐาน OSMM และนำซอฟต์แวร์ที่ผ่านมาตรฐานมาปรับปรุงจากระบบเดิม โดยนำหลักการลีนมาเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของระบบ ซึ่งซอฟต์แวร์เสรีที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย LimeSurvey, JD Esurvey และ TellForm โดยการประเมินซอฟต์แวร์เสรีจะมีรูปแบบการประเมิน 3 ส่วน คือการประเมิน องค์ประกอบของซอฟต์แวร์, การกำหนดน้ำหนักสำหรับแต่ละองค์ประกอบ และการคำนวณระดับคะแนน โดยการวิเคราะห์เกณฑ์และประเมินซอฟต์แวร์เสรี เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อคำถามตามมาตรฐาน OSMM เพื่อประเมินซอฟต์แวร์เสรีที่จะนำมาพัฒนาระบบการจัดการแบบสอบถามออนไลน์ด้วยซอฟต์แวร์เสรี ซึ่งได้ผลจากการประเมินซอฟต์แวร์เสรีโดยกลุ่มของการประเมินมาตรฐาน OSMM จำนวน 8 คน จากผลวิจัยพบว่าการประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการแบบสอบถามออนไลน์ด้วย ซอฟต์แวร์เสรีภายใต้มาตรฐาน OSMM เป็นการช่วยคัดกรองซอฟต์แวร์เสรีที่นำมาใช้ภายในองค์กร เพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์เสรีที่มีคุณภาพ ซึ่งซอฟต์แวร์เสรีที่ผ่านการประเมินคือ LimeSurvey เนื่องจาก คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของซอฟต์แวร์เป็นไปตามความต้องการของหน่วยกิจการนักศึกษา

จากการทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการให้อาหารม้า โดยการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงานตามหลักการลีน เพื่อให้ผู้เลี้ยงม้าสามารถจัดการงานฟาร์มได้ดีขึ้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบการให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีขึ้น

3. วิธีการวิจัย

การศึกษาเรื่องระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบ การทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ และการประเมินประสิทธิภาพระบบ รายละเอียดดังนี้

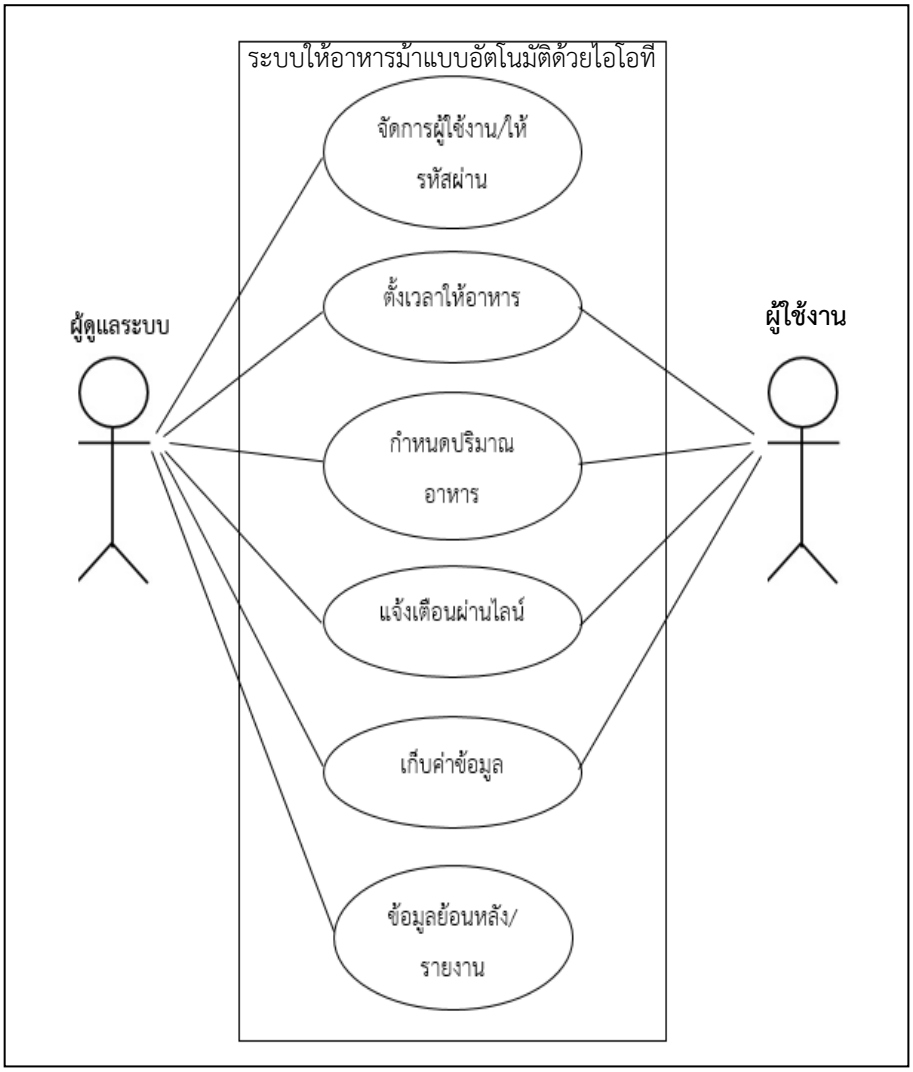
3.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (Design)

3.1.1 การออกแบบซอฟต์แวร์

ระบบผู้ใช้งาน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ และผู้ใช้งานหรือผู้เลี้ยงม้า

1) ผู้ดูแลระบบ จะสามารถทำทุกอย่างที่ผู้ใช้งานหรือผู้เลี้ยงม้าทำได้ กล่าวคือ จะสามารถกำหนดปริมาณอาหาร ตั้งเวลาให้อาหาร แจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร และเห็นข้อมูลปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้น นอกจากนี้เรื่องที่ผู้ดูแลระบบสามารถทำได้มากกว่าคือ การจัดการผู้ใช้งาน การให้รหัสผ่าน และสามารถดูข้อมูลย้อนหลังของปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้นได้ ดังภาพที่ 9

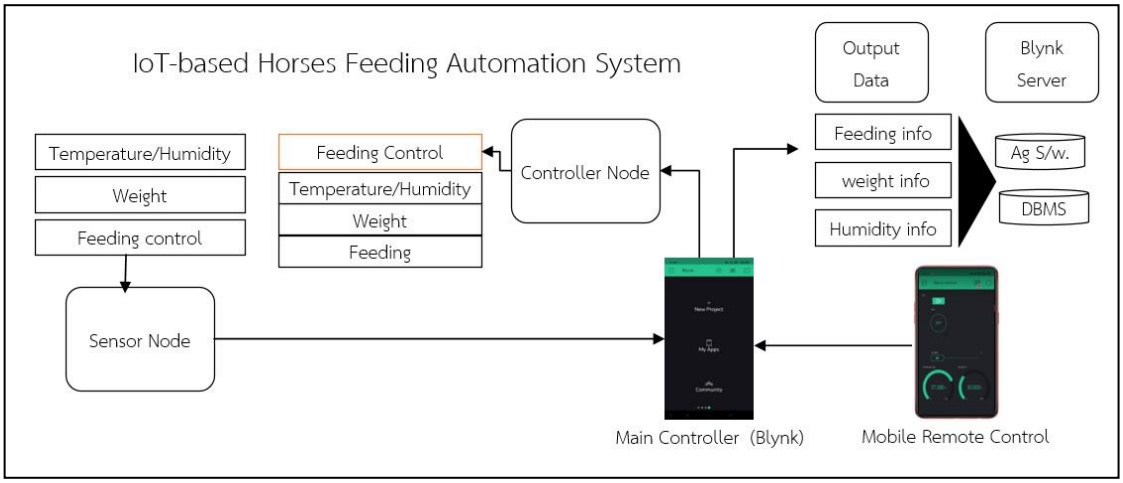
2) ผู้ใช้งานหรือผู้เลี้ยงม้า จะสามารถกำหนดปริมาณอาหาร ตั้งเวลาให้อาหารเองได้ แจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร และเห็นข้อมูลปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้น



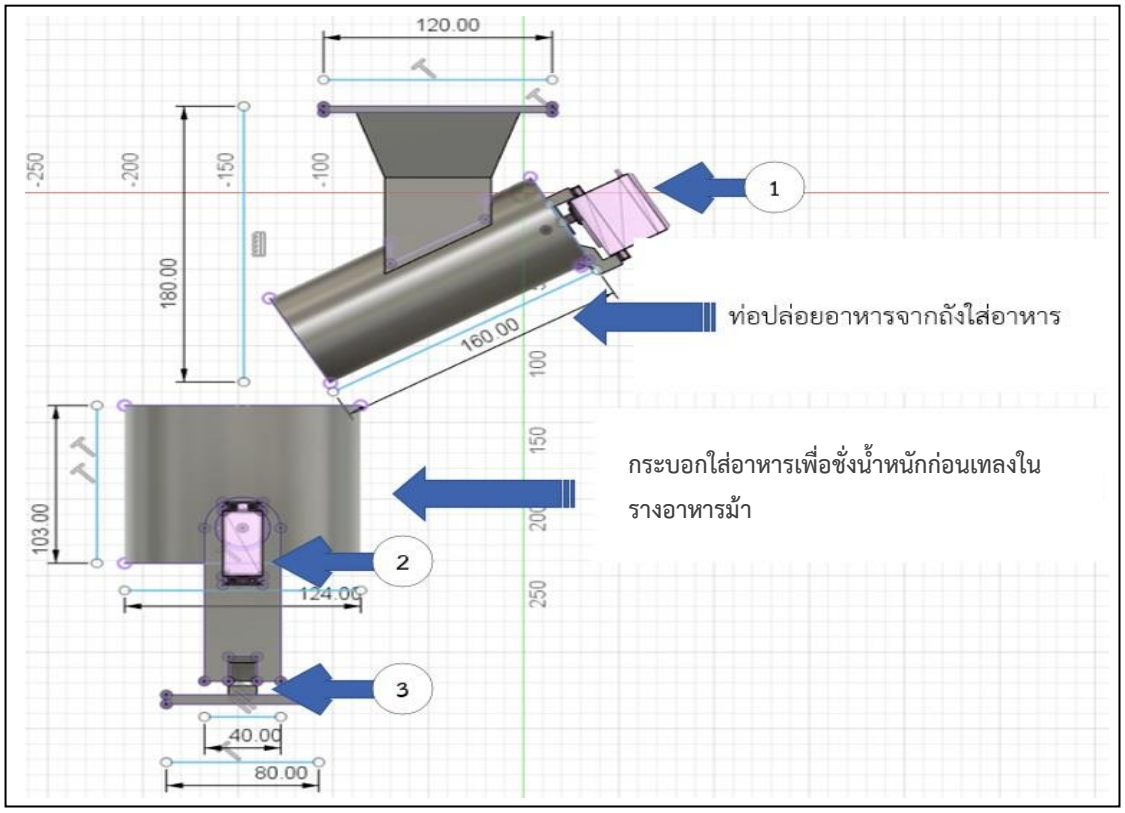
ภาพที่ 9 Use Case Diagram ของผู้ดูแลระบบและผู้ใช้งาน

3.1.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ผู้วิจัยเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และมีการตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11



ภาพที่ 10 สถาปัตยกรรมของระบบ



ภาพที่ 11 การออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

หมายเหตุ

1 *Servo Motor*

2 *Servo Motor*

3 *Load cell*

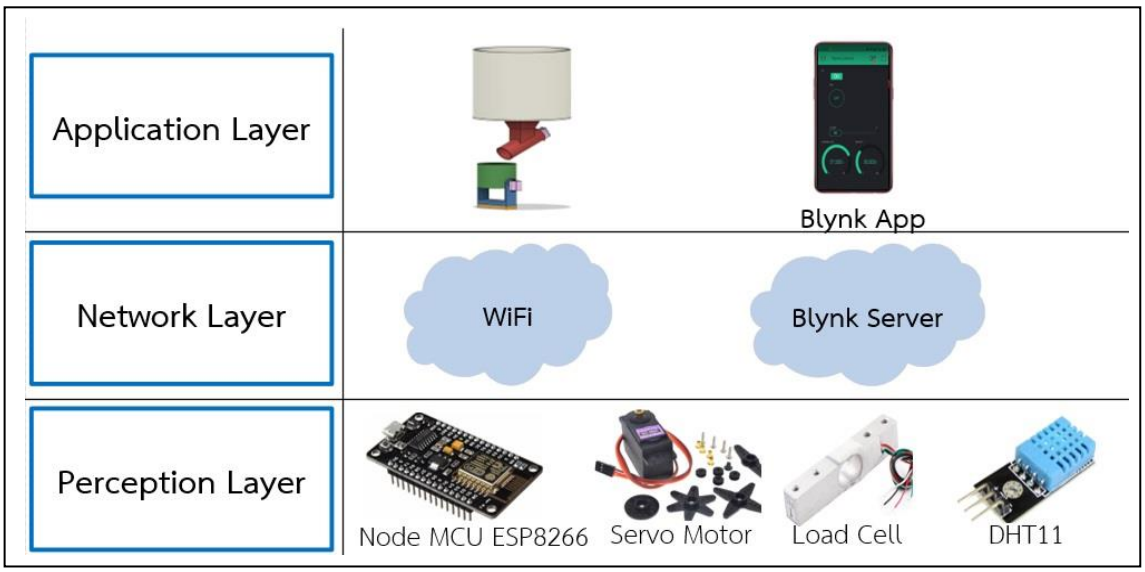
จากภาพที่ 11 แสดงการออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที โดยอุปกรณ์หมายเลข 1 และ 2 คือ Servo Motor ซึ่งอุปกรณ์หมายเลข 1 ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากถังใส่อาหาร เพื่อลงมาชั่งน้ำหนักที่อุปกรณ์หมายเลข 3 คือ Load cell ซึ่งทำหน้าที่ชั่งน้ำหนัก หลังจากทราบน้ำหนักแล้วจึงลำเลียงอาหารลงในรางใส่อาหารม้า ด้วย Servo Motor อุปกรณ์หมายเลข 2

ภาพที่ 12 ตัวต้นแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

จากภาพที่ 12 แสดงตัวต้นแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที โดยอุปกรณ์หมายเลข 1 คือ ถังใส่อาหาร อุปกรณ์หมายเลข 2 คือ ท่อปล่อยอาหารจากถังใส่อาหาร และอุปกรณ์หมายเลข 3 คือ กระบอกใส่อาหารเพื่อชั่งน้ำหนักก่อนเทลงในรางอาหารม้า ซึ่งท่อปล่อยอาหาร และกระบอกใส่อาหารได้ทำการ 3D Print ตามการออกแบบ

3.1.3 การออกแบบเครือข่ายของระบบ

สถาปัตยกรรมแบ่งเป็น 3 Layer โดย Application Layer คือ อุปกรณ์ให้อาหารม้า และ Blynk เพื่อควบคุมอุปกรณ์ให้อาหารม้า Network Layer คือระบบ WiFi และ Blynk Server เพื่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ให้อาหารม้ากับระบบ WiFi และการควบคุมด้วย Blynk ส่วน Perception Layer คือ เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ Servo Motor, Load Cell, DHT, NodeMCU ESP8266 ที่ร่วมกันทำงานในระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การออกแบบเครือข่ายของระบบ

3.2 การทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ

3.2.1 ทดสอบความแม่นยำของระบบโดยตรวจสอบจาก Log File จำนวน 20 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและน้ำหนักอาหารที่ให้

3.2.2 ทดสอบการแจ้งเตือนจากไลน์แอปพลิเคชัน โดยใช้กรณีทดสอบ 5 กรณี

3.3 การประเมินประสิทธิภาพระบบตามหลักการลีน

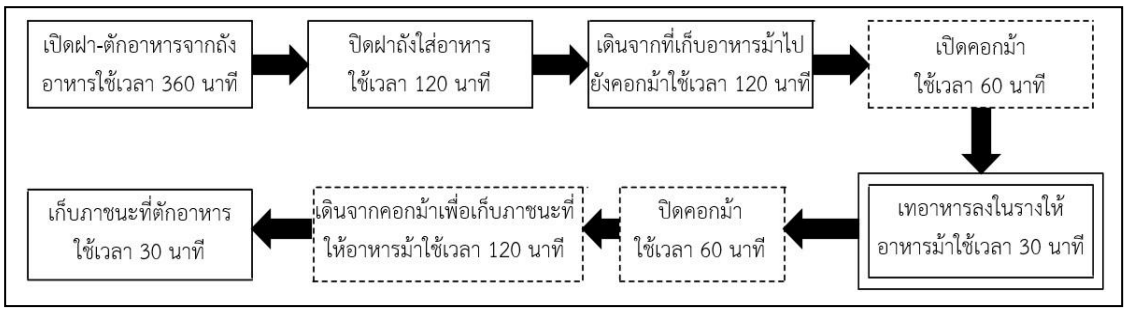
ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพตามขั้นตอนการจัดทำลีน โดย เขียนกระบวนการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดกระบวนการ (Pre-Lean) จับเวลาการทำงาน รวมไปถึงระยะทางระหว่างขั้นตอนในแต่ละกระบวนการทำงาน ใช้สัญลักษณ์เพื่อวิเคราะห์กระบวนการทำงานทั้งหมด และคำนวณหา ร้อยละประสิทธิภาพของระบบ โดยรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value) หารด้วยเวลาทั้งหมดของกระบวนการทำงาน คูณด้วย 100

3.3.1 Pre-Lean กระบวนการและเวลาในการให้อาหารม้ารอบ 1 เดือนตามหลักการลีน

จากการสำรวจขั้นตอนการให้อาหารม้าจากผู้เลี้ยงม้า ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ขั้นตอนการให้อาหารม้าได้ 8 ขั้นตอน ดังนี้

1) เปิดฝา-ตักอาหารจากถังอาหาร
2) ปิดฝาถังใส่อาหาร
3) เดินจากที่เก็บอาหารม้าไปยังคอกม้า
4) เปิดคอกม้า
5) เทอาหารลงในรางให้อาหารม้า
6) ปิดคอกม้า
7) เดินจากคอกม้าเพื่อเก็บภาชนะที่ให้อาหารม้า
8) เก็บภาชนะที่ตักอาหาร

จากกระบวนการ 8 ขั้นตอน พบว่ามีการใช้เวลารวมทั้งหมด 900 นาทีต่อเดือน สามารถนำขั้นตอนและเวลาการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน มาเขียน Pre-Lean ได้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 Pre-Lean ขั้นตอนและเวลาในการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน

หมายเหตุ ความหมายของสัญลักษณ์

สิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำ = NVAA (Waste)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำแต่ต้องทำ = NNVAA (Non Value)

3.3.2 Pre-Lean ประสิทธิภาพของกระบวนการตามหลักการลีน

จากการสำรวจการใช้เวลาในการให้อาหารม้าจากผู้เลี้ยงม้า พบว่า เวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ (Value) เท่ากับ 30 นาที ในขณะที่เวลาที่ใช้ทั้งหมดรวม 900 นาทีต่อเดือน คำนวณประสิทธิภาพ ได้ร้อยละ 3.33 % สามารถแทนค่าจากสูตรได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ}}{\text{เวลาของกระบวนการทำงานทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของประสิทธิภาพ} = \frac{30}{900} \times 100 = 3.33\ \%$$

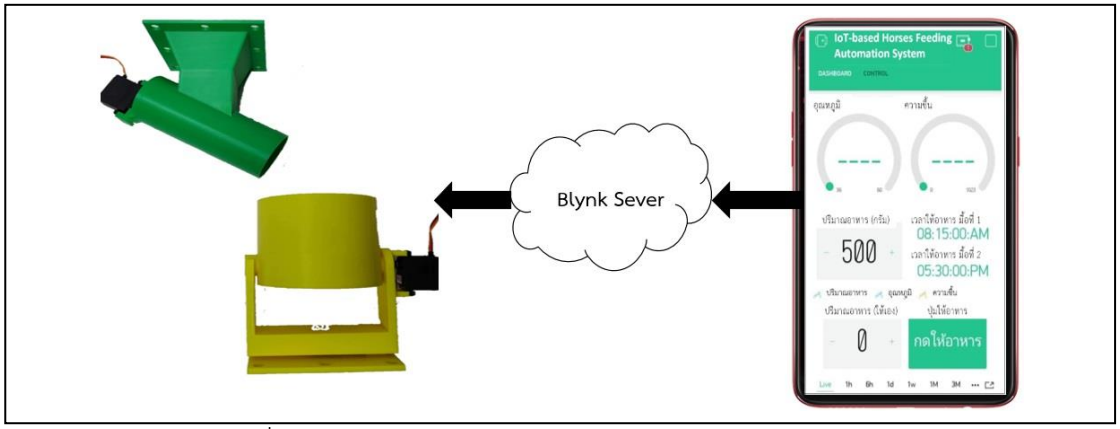
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาเรื่องระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยซึ่งจะนำเสนอใน 3 ประเด็นคือ ผลการพัฒนาระบบ ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ และผลการประเมินประสิทธิภาพระบบ รายละเอียดดังนี้

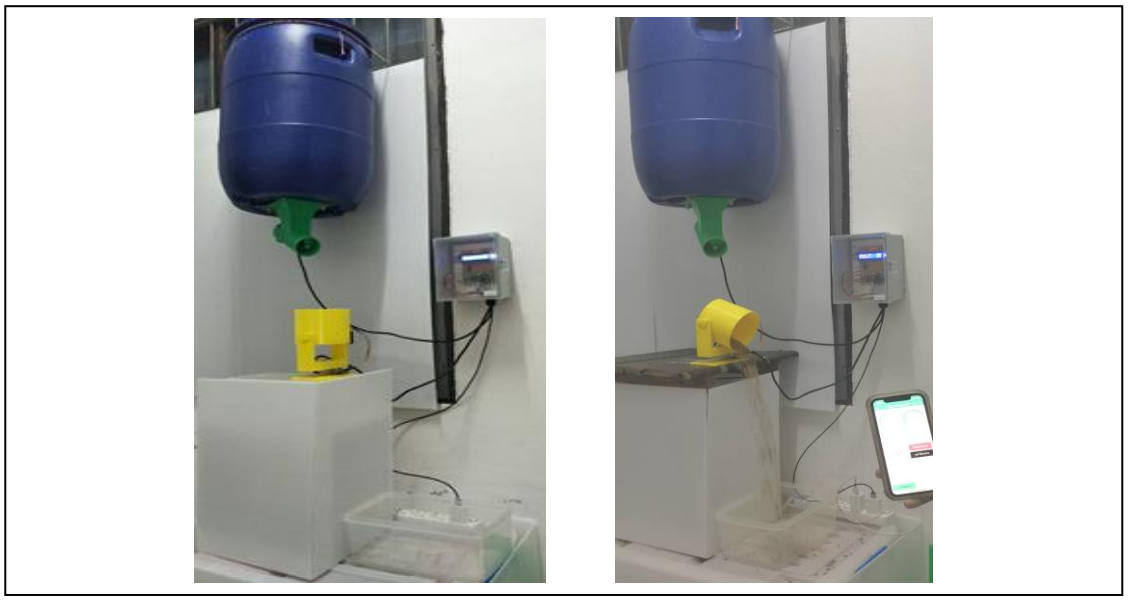
4.1 ผลการพัฒนาระบบ

4.1.1 ผลการพัฒนาระบบด้านฮาร์ดแวร์

ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ผู้วิจัยเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi ดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16



ภาพที่ 15 แบบจำลองระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที



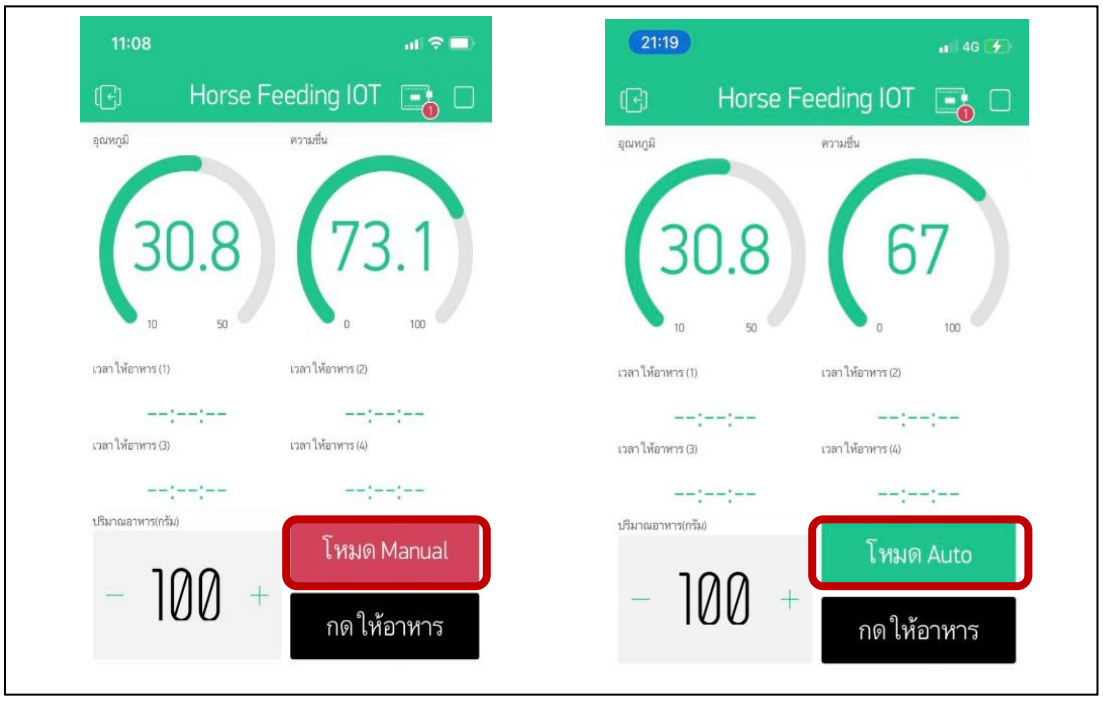
ภาพที่ 16 ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที พัฒนาแล้วเสร็จ

จากภาพที่ 16 ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีพัฒนาแล้วเสร็จ และได้ขยายถังใส่อาหารให้ใหญ่ขึ้น เพื่อเหมาะกับการใช้งานจริง ซึ่งจะบรรจุอาหาร 30 กิโลกรัมต่อกระสอบ และผู้ใช้งานหรือผู้เลี้ยงม้าสามารถลดกระบวนการและลดเวลาในการให้อาหารม้าได้มากขึ้น

4.1.2 ผลการพัฒนาระบบด้านซอฟต์แวร์

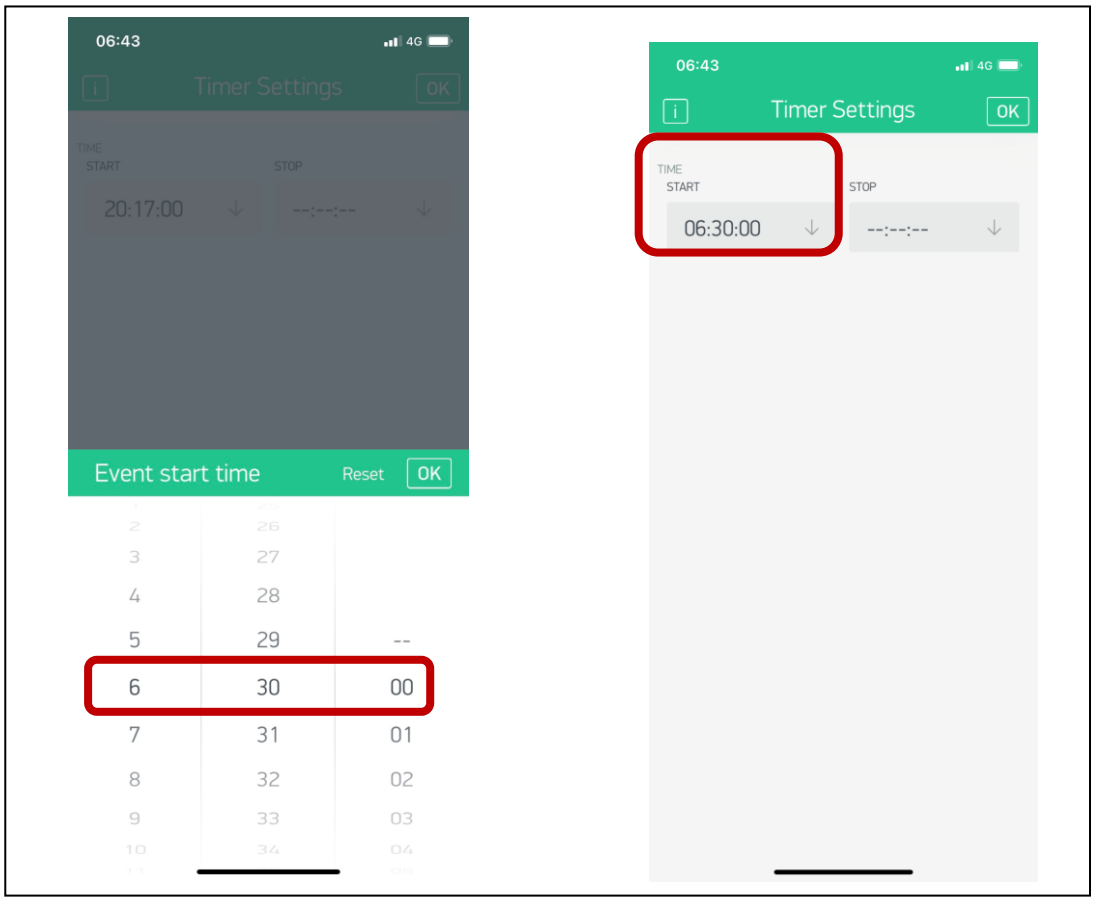
ระบบผู้ใช้งาน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ และผู้ใช้งานคือผู้เลี้ยงม้า

1) สำหรับผู้ใช้งาน จะสามารถเลือกโหมดการให้อาหาร เป็นโหมด Manual หรือ โหมด Automatic ได้ ตั้งเวลาให้อาหารเองได้ กำหนดปริมาณอาหาร แจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร และสามารถเห็นข้อมูลปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้น ดังภาพที่ 17-21



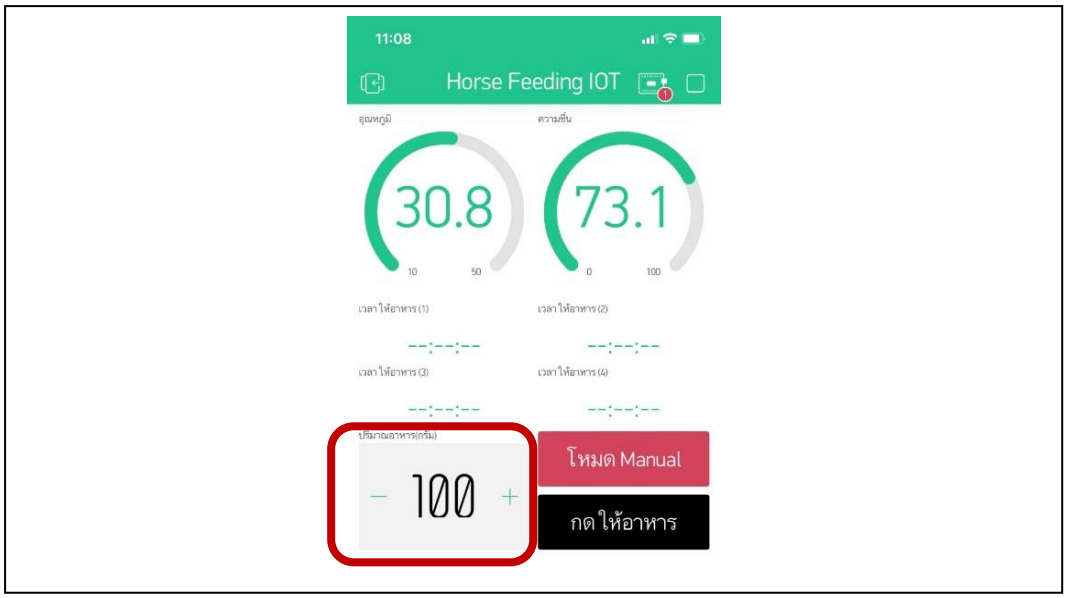
ภาพที่ 17 หน้าจอโหมดให้อาหาร Manual และ Auto สำหรับผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 17 แสดงหน้าจอสำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถเลือกโหมดการให้อาหารได้ 2 แบบ คือโหมด Manual และโหมด Auto สำหรับการใช้งานโหมด Manual ผู้ใช้งานจะต้องกดสั่งอาหารด้วยตนเองเมื่อต้องการให้อาหาร ส่วนการใช้งาน Auto ผู้ใช้งานสามารถตั้งเวลาและปริมาณอาหารล่วงหน้าได้ แอปพลิเคชันจะส่งสัญญาณให้ระบบทำงานเองโดยอัตโนมัติเมื่อถึงเวลาที่กำหนด



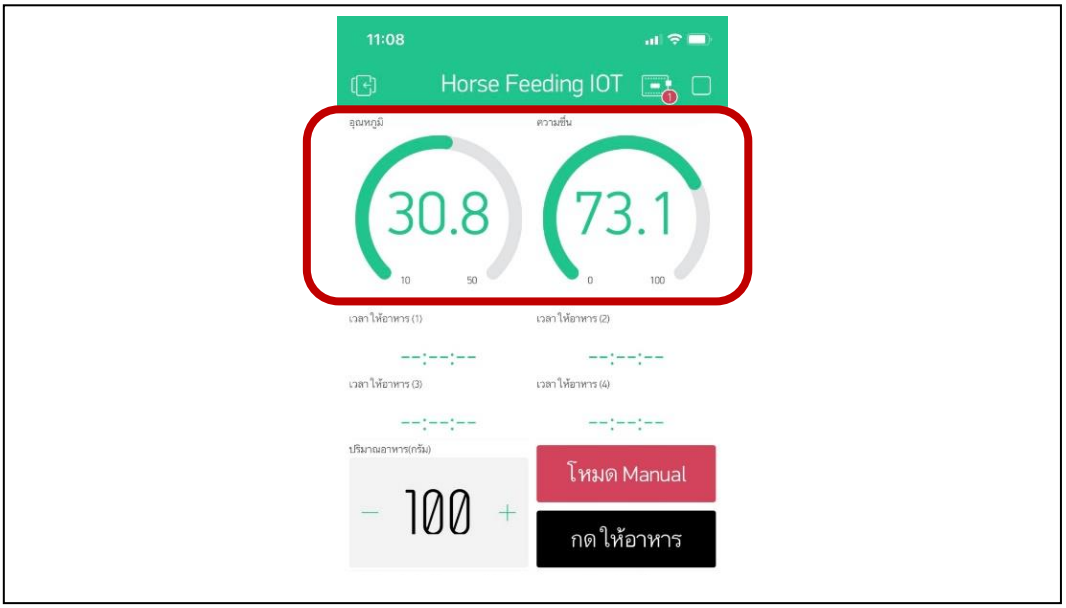
ภาพที่ 18 หน้าจอตั้งเวลาให้อาหาร สำหรับผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 18 แสดงหน้าจอตั้งเวลาให้อาหารสำหรับผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานจะสามารถตั้งเวลาที่ต้องการไว้ล่วงหน้า โดยแอปพลิเคชันจะแสดงตัวเลขชั่วโมงเป็น 0 – 24 แสดงตัวเลขนาทีเป็น 00 – 59 และตัวเลขวินาทีเป็น 00 – 59 เมื่อตั้งเวลาที่ต้องการแล้วกด OK หน้าจอจะแสดงเวลาที่กำหนดในช่อง Time Start



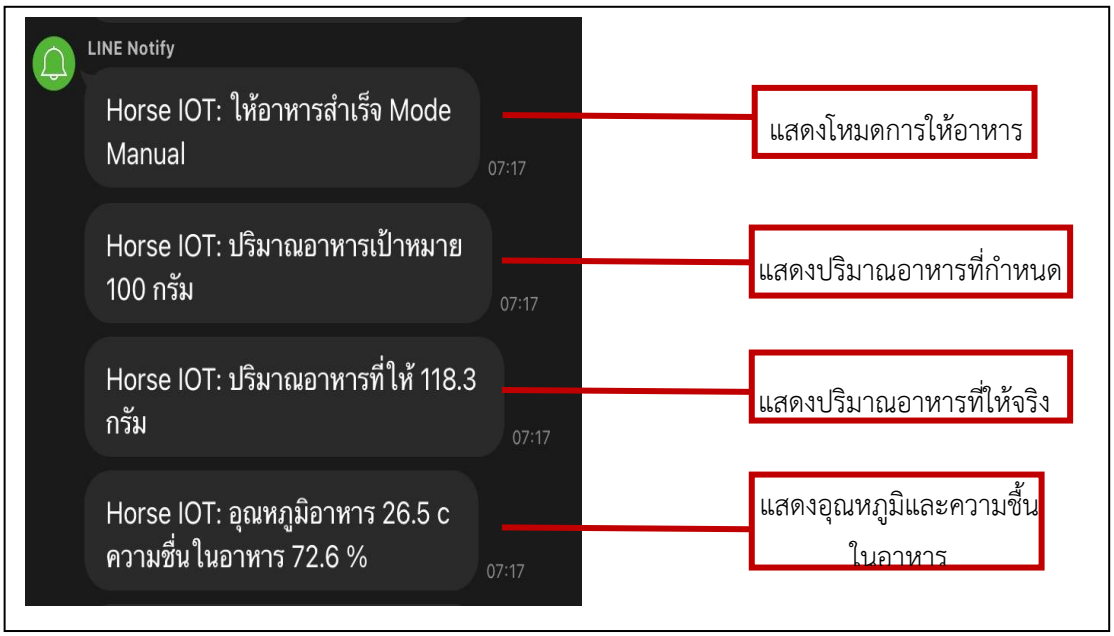
ภาพที่ 19 หน้าจอกำหนดปริมาณอาหาร สำหรับผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 19 แสดงหน้าจอกำหนดปริมาณอาหาร สำหรับผู้ใช้งาน สามารถเพิ่มลดปริมาณอาหารได้ตามต้องการโดยใช้เครื่องหมาย + และ – หรือสามารถพิมพ์ตัวเลขปริมาณอาหารที่ต้องการด้วยตนเองได้



ภาพที่ 20 หน้าจอแสดงอุณหภูมิ และความชื้น สำหรับผู้ใช้งาน

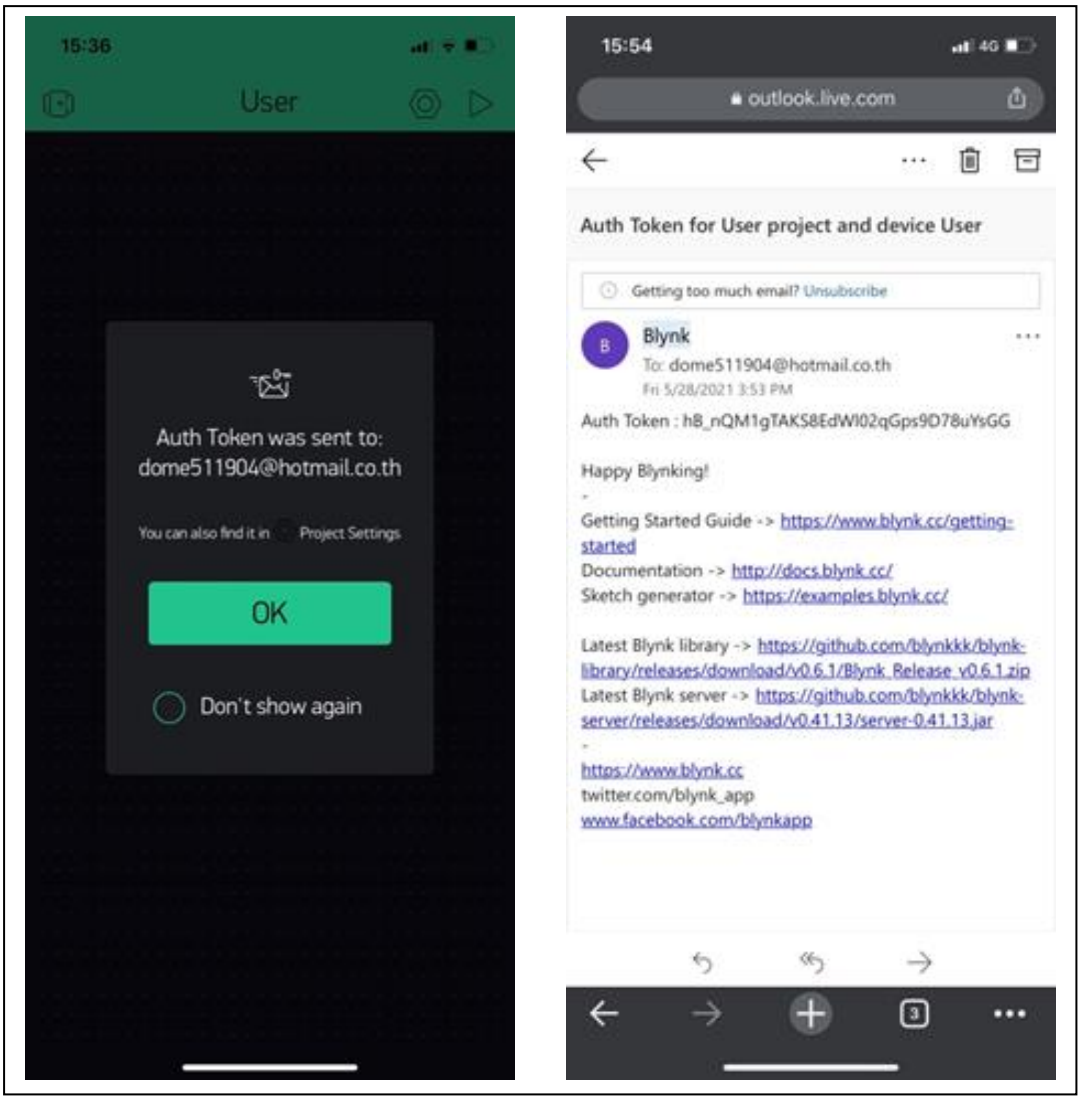
จากภาพที่ 20 หน้าจอแสดงอุณหภูมิและความชื้นของอาหารในถังแบบเรียลไทม์ โดยจะแสดงอุณหภูมิหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 21 หน้าจอแจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร

จากภาพที่ 21 แสดงหน้าจอแจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร โดยระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์แบบเรียลไทม์ทุกครั้งทันทีหลังให้อาหารสำเร็จตามคำสั่ง ซึ่งจะรายงานโหมดการให้อาหาร ปริมาณอาหารเป้าหมายที่กำหนด ปริมาณอาหารที่ให้จริง อุณหภูมิ และความชื้นในอาหาร

2) สำหรับผู้ดูแลระบบ จะสามารถทำทุกอย่างที่ผู้ใช้งานหรือผู้เลี้ยงม้าทำได้ กล่าวคือ จะสามารถกำหนดปริมาณอาหาร ตั้งเวลาให้อาหาร แจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร และเห็นข้อมูลปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้น นอกจากนี้เรื่องที่ผู้ดูแลระบบสามารถทำได้มากกว่าผู้ใช้งานคือ การจัดการผู้ใช้งานโดยให้รหัสผ่าน และสามารถดู Report ย้อนหลังของระบบ ดังภาพที่ 22 และภาพที่ 23



ภาพที่ 22 การจัดการผู้ใช้งาน โดยให้รหัสผ่าน

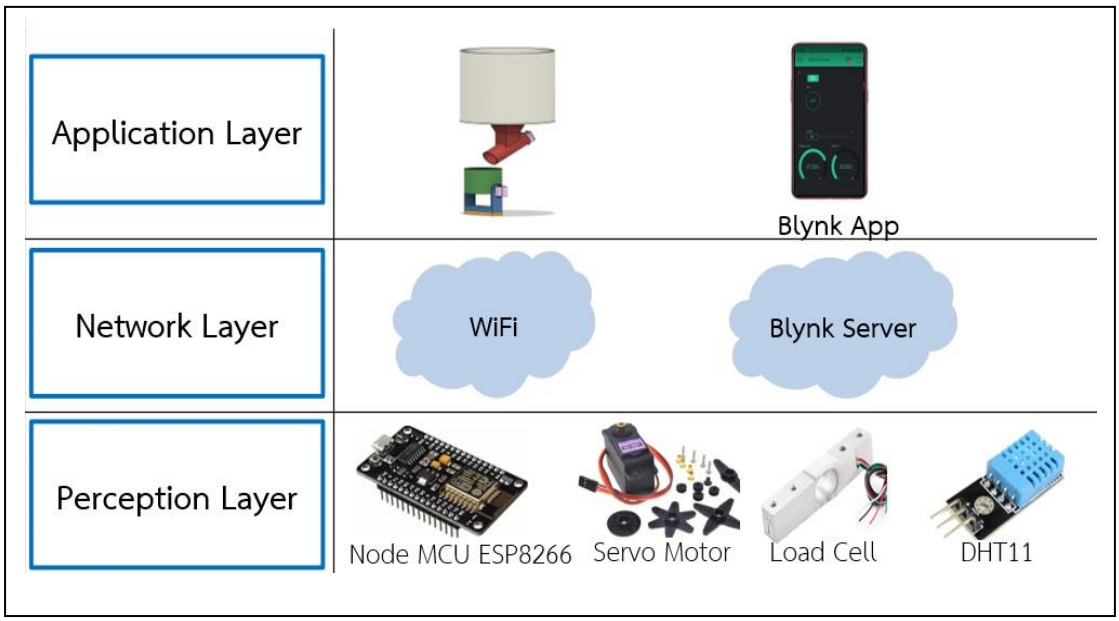
จากภาพที่ 22 แสดงการจัดการผู้ใช้งาน โดยให้รหัส Auth Token แก่ผู้ใช้งานนำไป Upload ใน Code เพื่อให้ ESP8266 สามารถเชื่อมต่อกับ Blynk Application ของผู้ใช้งานได้

Horses Feeding IoT	ปริมาณน้ำหนักอาหารที่ให้จริง	อุณหภูมิ	ความชื้น
23/4/2021 06:00	101.2	28.2	74.2
23/4/2021 10:00	102.9	28.8	61.8
23/4/2021 14:00	110.5	29	53.7
23/4/2021 18:00	114.3	27	58.8
24/4/2021 06:00	112.6	27.5	62.9
24/4/2021 10:00	110.9	28	63.1
24/4/2021 14:00	107.5	29	61.73
24/4/2021 18:00	105.8	28.6	62.25
25/4/2021 06:00	107.4	27.4	63.33
25/4/2021 10:00	101.5	28.4	69.2
25/4/2021 14:00	109.5	27.5	67.78
25/4/2021 18:00	117.1	27	61.6
26/4/2021 06:00	117	25.9	65.5
26/4/2021 10:00	109.1	26.8	63.3
26/4/2021 14:00	101.8	27.4	69.2
26/4/2021 18:00	98.8	26.8	70.2
27/4/2021 06:00	100.4	25.9	69.7
27/4/2021 10:00	101.8	26.4	68.9
27/4/2021 14:00	102.9	27.4	67.5
27/4/2021 18:00	117.6	25.5	68.9

ภาพที่ 23 หน้าจอแสดงรายงานข้อมูลย้อนหลัง สำหรับผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 23 หน้าจอแสดงรายงานข้อมูลย้อนหลังของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติ จากปุ่ม Report ของผู้ดูแลระบบ ซึ่งจะรายงานข้อมูลปริมาณน้ำหนักอาหารที่ให้จริง อุณหภูมิ และความชื้น โดยจะส่ง Report เข้าทาง E-mail ของผู้ดูแลระบบในเวลา 18.05 น. ของทุกวัน

4.1.3 ผลการพัฒนาระบบด้านเครือข่าย



ภาพที่ 24 เครือข่ายของระบบ

จากภาพที่ 24 แสดงภาพเครือข่ายของระบบ ซึ่งผลการพัฒนาระบบด้านเครือข่ายเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ คือ ชั้น Application Layer เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมด้วย Blynk App ส่วนชั้น Network Layer ควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ผ่านระบบ Wifi โดยใช้ Blynk Server และชั้น Perception Layer คือ Sensor ต่างๆ ที่นำมาประกอบรวมกันเป็นฮาร์ดแวร์

4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ

ผู้วิจัยได้นำระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปทดสอบใช้งาน ณ ฟาร์มม้า คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบโดยตรวจสอบจาก Log File จำนวน 20 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและน้ำหนักอาหารที่ให้ ผลการวิจัยพบว่า ด้านเวลามีความแม่นยำสูง สามารถให้อาหารได้ตรงเวลาทุกครั้ง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ส่วนด้านน้ำหนักอาหารพบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอาหารเท่ากับ 107.53 กรัม เมื่อสั่งให้อาหาร 100 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.65 กรัม ซึ่งคิดเป็น 7.00% รายละเอียดดังตารางที่ 4 โดยคำนวณร้อยละของความคลาดเคลื่อนจากสูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละของความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าประมาณ}|}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

$$\text{แทนค่าจากสูตร ร้อยละของความคลาดเคลื่อน} = \frac{|107.53 - 100|}{107.53} \times 100$$

$$= 7.00\%$$

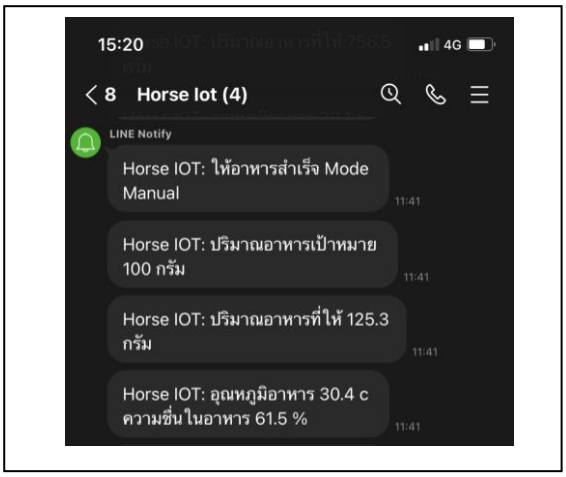
ภาพที่ 25 การทดสอบภาคสนาม

ภาพที่ 25 แสดงการทดสอบระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอทีที่ฟาร์มม้า คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2564

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอทีด้านน้ำหนักอาหาร เมื่อสั่งให้อาหารน้ำหนัก 100 กรัม

ครั้งที่	น้ำหนักอาหารจากระบบ	ผลต่าง
1	98.8	1.2
2	100.4	0.4
3	101.2	1.2
4	101.5	1.5
5	101.8	1.8
6	101.8	1.8
7	102.9	2.9
8	102.9	2.9
9	105.8	5.8
10	107.4	7.4
11	107.5	7.5
12	109.1	9.1
13	109.5	9.5
14	110.5	10.5
15	110.9	10.9
16	112.6	12.6
17	114.3	14.3
18	117.0	17.0
19	117.1	17.1
20	117.6	17.6
เฉลี่ย	107.53	7.65

4.2.2 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนจากไลน์แอปพลิเคชัน โดยใช้กรณีทดสอบ 5 กรณี ผลการวิจัย พบว่า มีการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันทุกครั้งที่สั่งให้อาหาร ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 โดยมีการรายงาน Mode การให้อาหาร (Manual/Automatic) ปริมาณอาหารเป้าหมาย (กรัม) ปริมาณอาหารที่ให้ (กรัม) อุณหภูมิอาหาร (องศาเซลเซียส) และความชื้นในอาหาร (%) ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบตามหลักการลีน

4.3.1 Post-Lean การประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ หลังจากนำระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปใช้ พบว่า ในการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน สามารถลดขั้นตอนการให้อาหารม้าจาก 8 ขั้นตอน เหลือเพียง 5 ขั้นตอนต่อเดือน ดังนี้

1) เปิดฝา-ตักอาหารจากถังอาหาร
2) ปิดฝาถังใส่อาหาร
3) เดินจากที่เก็บอาหารม้าไปยังคอกม้า
4) เทอาหารลงในรางให้อาหารม้า
5) เก็บภาชนะที่ตักอาหาร

ส่วนขั้นตอนในแต่ละวันจะเหลือเพียง 1 ขั้นตอน คือขั้นตอนของการกดปุ่มสั่งการให้ระบบทำงานเพื่อเทอาหารลงในรางให้อาหารม้าเท่านั้น

4.3.2 Post-lean การประเมินประสิทธิภาพด้านการลดเวลา พบว่า จากกระบวนการเดิมใช้เวลารวมทั้งหมด 900 นาทีต่อเดือน แต่หลังจากนำระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปใช้ สามารถลดเวลาเหลือเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ (Value) เพียง 7 นาทีต่อเดือน กล่าวคือสามารถลดเวลาได้ 893 นาทีต่อเดือน หรือใช้เวลาเพียง 0.23 วินาทีต่อวันเท่านั้น

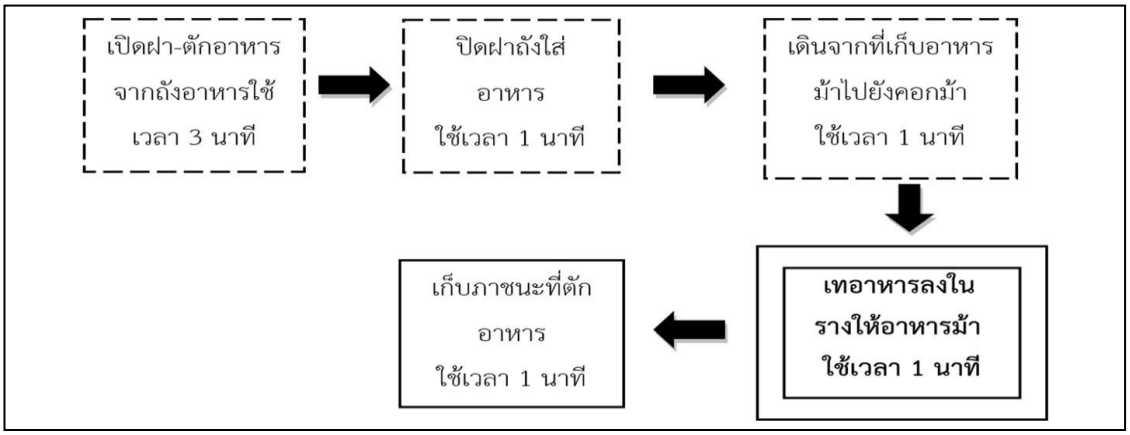
4.3.3 Post-Lean การประเมินประสิทธิภาพการทำงาน พบว่าจาก Pre-lean มีร้อยละของประสิทธิภาพ เท่ากับ 3.33% หลังจากนำระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปใช้ Post-lean มีร้อยละของประสิทธิภาพ เท่ากับ 14.29% โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{ร้อยละของประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ}}{\text{เวลาของกระบวนการทำงานทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของประสิทธิภาพ} = \frac{1}{7} \times 100 = 14.29\ \%$$

ดังนั้นระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ 14.29 - 3.33 = 10.96 %

จากผลการวิจัยข้างต้น สามารถนำขั้นตอนและเวลาในการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน มาเขียน Post-Lean ได้ดังภาพที่ 27 และเปรียบเทียบผลการประเมินประสิทธิภาพ Pre-lean, Post-lean และผลต่าง ได้ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 27 Post-Lean ขั้นตอนและเวลาในการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน

หมายเหตุ ความหมายของสัญลักษณ์

สิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำแต่ต้องทำ = NNVAA (Non Value)

ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอทีด้านการลดกระบวนการและเวลาในการดำเนินงานตามหลักการลีน

การให้อาหารม้า	**Pre-Lean**	**Post-Lean**	**ผลต่าง**
ขั้นตอนทั้งหมด	8	5	3
เวลา (นาทีต่อเดือน)	900	7	- 893
ร้อยละประสิทธิภาพ	3.33%	14.29%	+ 10.96%

4.3.4 Post-Lean การประเมินประสิทธิภาพด้านต้นทุนในการดำเนินงานในรอบ 1 เดือน พบว่าจากกระบวนการเดิมใช้ต้นทุนค่าแรงงานการดูแลม้า คือ ค่าแรงงานในการให้อาหาร ให้หญ้า และอาบน้ำม้า วันละ 300 บาท เดือนละ 30 วัน รวม 9,000 บาท และค่าความเสียหายของอาหารซึ่งเกิดเชื้อราจากความชื้นต้องเททิ้งประมาณ 30% ต่อ 1 กระสอบ จากราคาอาหารม้ากระสอบละ 600 บาท คิดเป็นเงิน 180 บาท เดือนละ 3 กระสอบ เป็นเงิน 540 บาท รวมค่าแรงงานและค่าเสียหายของอาหาร เป็นเงินทั้งหมด 9,540 บาทต่อเดือน แต่หลังจากนำระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปใช้ สามารถลดต้นทุนในส่วนของค่าให้อาหารม้าลงไป เหลือเฉพาะค่าแรงงานให้หญ้าและอาบน้ำ วันละ 200 บาท เดือนละ 30 วัน รวม 6,000 บาท และสามารถลดค่าความเสียหายของอาหารลงได้ทั้งหมด โดยต้องเพิ่มค่าไฟฟ้าเดือนละประมาณ 30 บาท รวมเป็นเงิน 6,030 บาทต่อเดือน คือสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานลงได้ 3,510 บาทต่อเดือน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบให้อาหารม้าอัตโนมัติด้วยไอโอทีด้านการลดต้นทุนการดำเนินงานตามหลักการลีน

รายการค่าใช้จ่าย	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
ค่าแรงงานดูแลม้า (ให้อาหาร ให้หญ้า อาบน้ำ)	9,000 บาท	6,000 บาท	- 3,000
ค่าความเสียหายของอาหาร (เททิ้ง 30% ต่อ 1 กระสอบ)	540 บาท	-	- 540
ค่าไฟฟ้า	-	30 บาท	+ 30 บาท
รวมเป็นเงิน (ต่อเดือน)	9,540 บาท	6,030 บาท	ลดไป 3,510 บาท

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาเรื่องระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึง สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ออกแบบโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และยังมีการตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi

ผลการทดสอบความสามารถของระบบ พบว่าระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง สามารถให้อาหารได้ตรงเวลาทุกครั้ง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ส่วนด้านน้ำหนักอาหารพบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอาหารเท่ากับ 107.53 เมื่อสั่งให้อาหาร 100 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.65 กรัม ซึ่งคิดเป็น 7.00% และมีการรายงานผลแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันทุกครั้ง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 โดยมีการรายงาน Mode การให้อาหาร (Manual/Automatic) ปริมาณอาหารเป้าหมาย (กรัม) ปริมาณอาหารที่ให้ (กรัม) อุณหภูมิอาหาร (องศาเซลเซียส) และความชื้นในอาหาร (%)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที พบว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอนต่อเดือน และเหลือ 1 ขั้นตอนต่อวัน สามารถลดเวลาจาก 900 นาทีต่อเดือน เหลือ 7 นาทีต่อเดือน และ 1 นาทีต่อวัน เพิ่มประสิทธิภาพ

การทำงานจาก Pre-Lean 3.33% เป็น Post-Lean 14.29% คือเพิ่มประสิทธิภาพได้ 10.96% และสามารถลดต้นทุนได้ 3,510 บาทต่อเดือน

ผลการพัฒนาระบบ พบว่า ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีสามารถอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานโดยการควบคุมระยะไกล สามารถเลือกโหมดสั่งการแบบ Manual หรือ Auto กำหนดปริมาณอาหารที่ต้องการ ตั้งเวลาในการให้อาหาร มีการแจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร แสดงข้อมูลปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้น ซึ่งระบบให้อาหารม้าที่พัฒนาขึ้นสามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้เลี้ยงม้า ช่วยลดกระบวนการ ลดเวลาและลดต้นทุนได้ อีกทั้งส่งผลที่ดีต่อสุขภาพม้า สามารถตอบโจทย์ที่ตั้งไว้เป็นอย่างดี และสามารถนำระบบให้อาหารม้านี้ไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ และพัฒนาต่อยอดในการให้อาหารสัตว์ประเภทอื่นได้

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ออกแบบโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และยังมีการตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi ซึ่งการออกแบบนี้จะแตกต่างจากงานวิจัยของจิรภาส (2558) ที่ออกแบบระบบให้อาหารสัตว์เลี้ยงอัตโนมัติด้วยราสเบอร์รี่พาย โดยการนำบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) สั่งการด้วยภาษาพีเอชพี (PHP) ร่วมด้วยกับภาษาไพทอน (Python) ควบคุมการทำงานของวงจรรีเลย์ และมอเตอร์ ช่วยจัดสรรอาหารสัตว์เลี้ยง พร้อมการติดตามด้วยเซอร์วิสเว็บแคม (Webcam) บนบอร์ด การใช้งานของระบบออโตเมติกบ๊อกฟีดเดอร์ (Automatic Box Feeder) นี้จะใช้การสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ทั้งนี้พบว่าการออกแบบดังกล่าวต้องใช้ต้นทุนค่าบอร์ดคอนโทรลเลอร์สูง ปัจจุบันจึงนิยมหันมาใช้บอร์ด ESP8266 แทน ดังเช่น การวิจัยของวริศร์และคณะ (2562) ศึกษาเรื่องการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์สำหรับตรวจสอบข้อมูลสมาร์ทฟาร์มผ่านแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ โดยได้ออกแบบติดตั้งระบบควบคุมตรวจสอบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ผ่านสมาร์ทโฟนโดยการสื่อสารโดยใช้เครือข่ายไร้สาย Wi-Fi และ Blynk Server เป็นระบบใช้เก็บข้อมูลและรายงานผล โดยระบบที่ออกแบบมานี้ใช้อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ในการรับข้อมูลจาก Sensors ในการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ และความชื้นในดิน โดยสามารถใช้เทคโนโลยี IoT ดูข้อมูลทั้งหมดได้ และสามารถควบคุมระยะไกลจากโทรศัพท์มือถือด้วย และสอดคล้องกับการวิจัยของจิราพรและคณะ (2563) ที่ศึกษาเรื่องการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อศึกษาค่าความร้อนของปฏิกิริยาด้วยตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดแคลอริมิเตอร์โดยใช้ตัวตรวจวัดการเปลี่ยนของอุณหภูมิอัตโนมัติ เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในปฏิกิริยาด้วย Thermo Sensor และบอร์ด ESP8266 NodeMCU ที่มีอุปกรณ์ควบคุม IoT โดยแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บน Smartphone ทั้งนี้เครื่องมือสามารถแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนและเวลาแบบต่อเนื่องอัตโนมัติตามเวลาจริงบนคอมพิวเตอร์

5.2.2 ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ พบว่า ด้านเวลาและการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันสามารถทำได้ตรงเวลาทุกครั้ง มีความแม่นยำสูง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ส่วนด้านน้ำหนักอาหารพบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอาหารเท่ากับ 107.53 เมื่อสั่งให้อาหาร 100 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.65 กรัม ซึ่งคิดเป็น 7.00% ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักอาหารมีสาเหตุมาจากท่อปล่อยอาหารมีลักษณะเป็นเกลียว การปล่อยอาหารจึงต้องหมุนจนหมดรอบเกลียวทำให้มีปริมาณอาหารเกินมาเล็กน้อย ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าในการทดลอง 20 ครั้ง มีปริมาณอาหารน้อยกว่า 100 กรัมเพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้น ส่วนอีก 19 ครั้ง มีปริมาณอาหารเกินทั้งสิ้น สอดคล้องกับผลการวิจัยของเกียรติศักดิ์ (2555) ที่พัฒนาเครื่องให้อาหารเม็ดอัตโนมัติโดยทำการทดลองกับอาหารปลาเม็ดใหญ่ พบว่าอาหารไม่สามารถลงได้หมดมีการติดค้างในท่อลำเลียงอาหาร ซึ่งท่อลำเลียงมีลักษณะเป็นท่อหมุนแบบ 2 แกน และได้ให้ข้อเสนอแนะในการใช้ท่อหมุนแบบ 3 แกน พร้อมให้ติดตั้งแผ่นพลาสติกที่ปลายท่อเพื่อให้อาหารไหลลงได้สะดวกขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พยายามแก้ปัญหานี้โดยพัฒนาท่อปล่อยอาหารมาใช้ Servo Motor ขับเกลียวเพื่อให้เกลียวหมุนและปล่อยอาหารลงมาที่ชั่งน้ำหนัก แล้วจึงดำเนินการเทอาหารลงในรางอีกครั้งหนึ่ง ในส่วนของอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักพบว่า มีการตั้งองศาที่ไม่เหมาะสมทำให้การเทอาหารลงไม่หมดเหลืออาหารตกค้าง ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแก้ไขโดย Upload Code Program ใหม่ ตั้งองศาใหม่ และติดตั้งอุปกรณ์ในการใช้งานอย่างเหมาะสม

5.2.3 ระบบให้อาหารม้าที่พัฒนาขึ้นสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอนต่อเดือน และเหลือ 1 ขั้นตอนต่อวัน สามารถลดเวลาจาก 900 นาทีต่อเดือน เหลือ 7 นาทีต่อเดือน และ 1 นาทีต่อวัน เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจาก Pre-Lean 3.33% เป็น Post-Lean 14.29% คือเพิ่มประสิทธิภาพได้ 10.96% และสามารถลดต้นทุนได้ 3,510 บาทต่อเดือน สอดคล้องกับผลการวิจัยของเพ็ญวิสาข์ และคณะ (2555) ที่ศึกษาเรื่องการใช้หลักการลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสาร และออกเลขหนังสือด้วยซอฟต์แวร์เสรี กรณีศึกษา สำนักงานโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ พบว่าสามารถลดกระบวนการค้นหาเอกสารจาก 7 ขั้นตอน เหลือ 2 ขั้นตอน การออกเลขหนังสือจาก 6 ขั้นตอน เหลือ 2 ขั้นตอน และเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาเอกสารจากร้อยละ 13.04 เป็นร้อยละ 40 การออกเลขหนังสือจากร้อยละ 9.09 เป็นร้อยละ 60

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำวิจัยไปใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบด้วยอาหารม้าชนิดเม็ดใหญ่ กรณีที่ต้องการใช้กับอาหารม้าชนิดเม็ดเล็ก หรืออาหารสัตว์อื่นๆ ต้องระมัดระวังอาหารเข้าไปติดค้างในท่อลำเลียงอาหาร ซึ่งอาจทำให้ระบบขัดข้องได้ และการติดตั้งอุปกรณ์ต้องติดตั้งให้อยู่ในที่สูงที่ม้าไม่สามารถเอื้อมถึงได้ หรือต้องทำกล่องเหล็กหรือกล่องสแตนเลสครอบกันม้ากัดแทะ และสืบเนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ในที่สูงเมื่อปล่อยอาหารลงพื้นอาจทำให้อาหารกระเด็นจึงต้องใช้กับรางอาหารที่มีขอบสูง หรืออาจใช้วิธีการต่อท่อรางลำเลียงอาหารจากเครื่องชั่งน้ำหนักลงสู่รางให้อาหารม้า

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบให้อาหารม้าด้วยไอโอที ซึ่งออกแบบมาสำหรับให้อาหารม้าได้ครั้งละหนึ่งตัว ในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถพัฒนาระบบเพื่อให้สามารถให้อาหารม้า

แบบหลายตัวในครั้งเดียว และสามารถพัฒนาระบบให้ใช้ได้กับอาหารม้าที่มีขนาดเม็ดต่างๆ กัน หรือสามารถพัฒนาต่อเป็นเครื่องให้อาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ และควรพัฒนาโดยนำรายงานข้อมูลย้อนหลังมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเพื่อกำหนดให้ปริมาณอาหารให้ตรงเป้าหมายมากที่สุด

ทั้งนี้ในการพัฒนาระบบอาจมีปัญหาอุปสรรคในเรื่องการออกแบบอุปกรณ์ที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องใช้ความรู้เฉพาะด้าน เช่น ความรู้ทางด้านเครื่องกล, 3D printing, Sensor ต่างๆ และ Micro Controller เป็นต้น นักวิจัยจำเป็นต้องมีความรู้อย่างเพียงพอ หรือต้องมีอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆ

อนึ่งการวิจัยซึ่งต้องใช้สัตว์ทดลองจำเป็นต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในสัตว์ดลอง

บรรณานุกรม

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562). *ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2562*. ค้นจาก https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/323-report-thailand-livestock/reportservey2562/1371-2562-country

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). *ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2563*. ค้นจาก http://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service- ict/report/340-report-thailand-livestock/reportservey2563/1504-2563-country

กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). *พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi*. กรุงเทพฯ: อินเตอร์มีเดีย.

เกียรติขจร โฆมานะสิน. (2562). *Lean: วิถีแห่งการสร้างคุณค่าสู่องค์กรที่เป็นเลิศ.* กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

เกียรติศักดิ์ อยู่ดี. (2555). *เครื่องให้อาหารเม็ดอัตโนมัติ.* ค้นจาก http://www.payaptechno.ac.th/app/images/payap/qa/innovation/teacher/EL/นวัตกรรมเครื่องให้อาหารเม็ด.pdf

จิรภาส ทองเต็ม. (2558). *ระบบให้อาหารสัตว์เลี้ยงอัตโนมัติด้วยราสเบอร์รี่พาย.* (สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.

จิราพร ช่อมณี, ปัทมา วุฒิสมัย, ภัทราวดี พันธุ์ทอง, ภัทราภรณ์ เสือแก้ว และศุภกร กตาธิการกุล. (2563). การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อศึกษาค่าความร้อนของปฏิกิริยาด้วยตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ,* 23(3), 70-78.

จุฑาภรณ์ แก้วสุด. (2562). *การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน กรณีศึกษา: โรงงานผลิตถุงมือยาง จ.สงขลา.* (สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ณัฐวุฒิ นุชประยูร. (ม.ป.ป.). *การจัดการอาหารม้าเบื้องต้น : เรื่องยากที่คิดว่าง่าย.* ค้นจาก https://vs.mahidol.ac.th/oldweb/index.php/basic-food-handling-horses

ดามธรรม จินากูล. (2559). การลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำงานด้วยแนวคิดลีน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.* 36(3), 44-58.

นฤมล เจริญนาวี. (ม.ป.ป.). *โภชนะศาสตร์สัตว์*. ค้นจาก https://sites.google.com/site/nutritionanimol/home

นิราวรรณ กุนัน. (2560). *อาหารและการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.* อุดรธานี: คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

ปิ่นอนงค์ โอษฐงาม. (2558, พฤศจิกายน 23). *สรุปกิจกรรมโครงการอบรมให้ความรู้และจัดทำแผนงานบริการวิชาการเกี่ยวกับการเลี้ยงม้าในภาคใต้*. ค้นจาก http://iw.vet.psu.ac.th/ge/picture/other-news/horse58/horsesummary.pdf

เพ็ญวิสาข์ เอกกะยอ และวัชรวลี ตั้งคุปตานนท์. (2555). การใช้หลักการลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสาร และออกเลขหนังสือด้วยซอฟต์แวร์เสรี กรณีศึกษา สำนักงานโรงพยาบาลสงขลานครินทร์. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 13 (GRC 2012)* (หน้า 1061-1066), ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภคนิจ คุปพิทยานันท์. (ม.ป.ป.). *เอกสารประกอบการสอนวิชา 303 433 การดูแลและจัดการม้า.* นครราชสีมา: สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์. (2563, พฤษภาคม 13). *How IoT Works*. ค้นจาก https://medium.com/@ratthaslipranokphanuwat

วัธกร เจริญสิริสกุล, วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์, ธีรวัฒน์ หังสพฤกษ์ และอรอุมา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต. (2561). การประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการแบบสอบถามออนไลน์ด้วยซอฟต์แวร์เสรีภายใต้มาตรฐาน Open Source Maturity Model กรณีศึกษา หน่วยกิจการนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ หาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. *การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3* (หน้า 736-742), ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

วริศร์ รัตนนิมิตร, วุฒิชัย เกษพานิช และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ. (2562). การติดตั้งเซิร์ฟเวอร์สำหรับตรวจสอบข้อมูลสมาร์ทฟาร์มผ่านแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ. *Journal of Energy and Environment Technology.* 6(1), 37-42.

วิลาสินี ศรีสุวรรณ. (2560). *การออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าเพื่อความสบายเชิงอุณหภาพ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิสัชชนา สุทาธรรม. (2560). *ระบบให้อาหารสัตว์เลี้ยงอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน.* (สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.

สุทธิพงษ์ สุวรรณสาธิต. (2558). ปัจจัยการปฏิบัติตามแนวคิดลีน. *RMUTT Global Business and Economics Review.* 10(2), 39-52.

สำนักควบคุม ป้องกันและบำบัดโรคสัตว์. (2553, สิงหาคม 10). *การจัดการดูแลสุขภาพม้า.* ค้นจาก http://dcontrol.dld.go.th/index.php/km/diseasecontrol/476-2010-08-10-05-41-24.html

หมอม้าทีพี. (2561, เมษายน 1). *ม้าเป็นสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่น.* ค้นจาก https://www.facebook.com/tpequinevet/posts/2117076038321497

Arduitronics. (2557). *การใช้งาน DHT11 Humitdity and Temperature Sensor กับบอร์ด Arduino.* ค้นจาก https://www.arduitronics.com/article/13/การใช้งาน-dht11-humitdity-and-temperature-sensor-กับบอร์ด-arduino

Factomart. (2562). *โหลดเซลล์ (Load Cell) คืออะไร ? มาหาคำตอบกัน.* ค้นจาก https://mall.factomart.com/what-is-load-cell/

Plookpedia. (2560, สิงหาคม 9). *ความสำคัญของม้า.* ค้นจาก http://www.trueplookpanya.com/blog/content/61451/

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่

โภคี บุญนรากร และวัชรวลี ตั้งคุปตานนท์. (2564). การออกแบบและนำระบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ไปใช้งาน: ระบบให้อาหารม้า. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 13 ประจำปี 2564 (NCAM 13)*. (หน้า 332-343). สงขลา: คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (รางวัล Best Paper Award)

NCAM 13

National Conference on Administration and Management

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 13

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

22 พฤษภาคม 2564

ณ อาคารวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้เพื่อการจัดการ
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

การปรับเปลี่ยนองค์กรสู่ยุคดิจิทัล

Organizational Transformation in Digital Era

PROCEEDINGS

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
http://ncam.fms.psu.ac.th

NCAM 13
National Conference on Administration and Management
การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 13

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 13 ประจำปี 2564
The 13th National Conference on Administration and Management

วันเสาร์ที่ 22 พฤษภาคม 2564
ณ อาคารวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้เพื่อการจัดการ
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

จัดทำโดย
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ห้องนำเสนอที่ 4
ระบบสารสนเทศ

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 13 ประจำปี 2564
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วันเสาร์ที่ 22 พฤษภาคม 2564

การออกแบบและนำระบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปใช้งาน: ระบบให้อาหารม้า
Design and Implementation of IoT-based Automation System: a Horses Feeding System

โภคี บุญนรากร Pokee Boonnarakorn[1]
วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์ Watcharawalee Tangkuptanon[2]

บทคัดย่อ

การให้อาหารเป็นเรื่องสำคัญที่สุดในการดูแลม้า แต่พบว่าผู้เลี้ยงมักให้อาหารไม่ตรงเวลา หรือให้อาหารปริมาณมากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองด้านต้นทุน เวลา และส่งผลเสียต่อสุขภาพม้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน โดยการใช้เทคโนโลยีไอโอทีบนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กแบบฝังตัว ที่สามารถควบคุมกระบวนการดำเนินงาน เช่น การสั่งเปิด-ปิดท่อลำเลียงอาหารโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) การตรวจนับปริมาณอาหารแต่ละมื้อด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดน้ำหนัก (Load Cell) การวัดความชื้นเพื่อควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (Digital Temperature and Humidity Sensor: DTH) ซึ่งสามารถควบคุม ตรวจสอบ และรายงานผลแจ้งเตือนผ่านทางไลน์แอปพลิเคชัน ผลการวิจัยพบว่าระบบให้อาหารม้าที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง สามารถให้อาหารได้ตรงเวลาทุกครั้ง และมีการรายงานผลแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชั่นทุกครั้ง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอาหารเท่ากับ 31.42, 63.25 และ 129.20 เมื่อสั่งให้อาหาร 30, 60 และ 100 กรัมตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10.01 ทั้งนี้สามารถลดกระบวนงานจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอนต่อเดือน และเหลือ 1 ขั้นตอนต่อวัน สามารถลดเวลาลงได้ 893 นาทีต่อเดือน เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจาก Pre-Lean 3.33% เป็น Post-Lean 96.67% และสามารถลดต้นทุนได้ 3,770 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: ไอโอที ลีน เครื่องให้อาหารเม็ด อาหารม้า

Abstract

Horse Feeding is the primary importance of equine care. However, horse herdsmen often overfeed them or feed them at irregular times and not according to schedule. This causes adverse effects on the health of horses, which could lead to the waste of cost, and time. This research aimed to analyze, design, and develop a horse feeding automation system by using remote control IoT technology. The researchers

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: domepokiiez@gmail.com
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: watcharawalee.t@psu.ac.th

evaluated the efficiency of time, costs, and process reduction by using IoT technology for embedded computing, which is able to control the operation processes such as commanding the on-off switch of the feeder pipe using servo motor (Servo Motor), counting the quantity of each mealtime with a sensor for measuring weight (Load Cell), and humidity measurement to control food quality with a temperature sensor (Digital Temperature and Humidity Sensor: DTH). All the sensors mentioned above are able to be controlled, monitored, and report notifications via the LINE application. The results showed that this horse feeding automation system was highly accurate, and produced zero errors which means it was able to feed the horses on schedule and report notifications every time. When commanding to feed 30, 60, and 100 grams of horse food, the mean of the food weight were 31.42, 63.25, and 129.20, respectively. The average number of measurement error was at 10.01. In addition, the automation system help shortens the processes from eight steps to five steps a month and only one step a day. The processing time can be reduced by 893 minutes per month. Moreover, the percentage of performance increased from 3.33% (Pre-Lean) to 96.67% (Post-Lean), and the cost was also reduced tc 3,770 Baht per month.

Keywords: IoT, Lean, Pellet feeding machine, Horse food

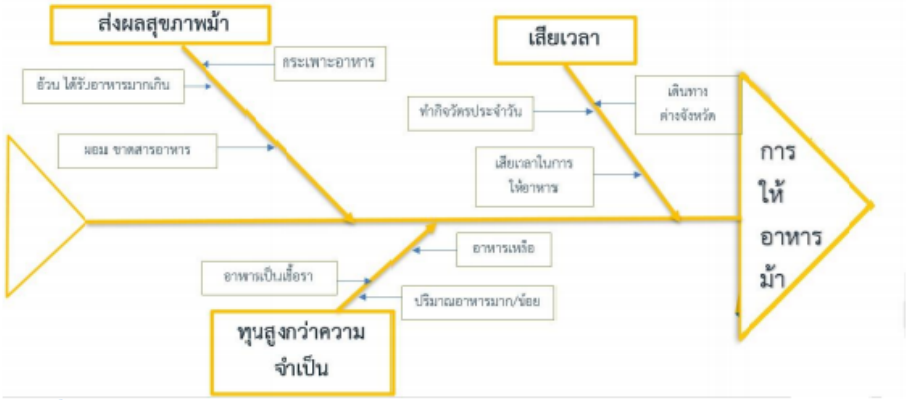
บทนำ

การเลี้ยงม้าในประเทศไทยปัจจุบันเป็นที่นิยมมากขึ้น ม้าถูกเลี้ยงเพื่อใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น ด้านการเกษตร การพักผ่อน การท่องเที่ยวและความบันเทิง การแข่งขันและกีฬา กิจการทหาร รวมไปถึงด้านการแพทย์ ที่รู้จักกันในชื่อเรียกว่า อาชาบำบัด ในปี 2561 การเติบโตของตลาดม้าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากสถิติเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และสัตว์อื่นๆ ปีงบประมาณ พ.ศ.2563 (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563) พบว่ามีการเลี้ยงม้าทั้งหมดทั่วประเทศ จำนวน 8,637 ตัว โดยเกษตรกร 1,838 ราย จำแนกเป็นรายภาคได้ดังนี้ ภาคกลาง จำนวน 3,072 ตัว โดยเกษตรกร 610 ราย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 2,246 ตัว โดยเกษตรกร 498 ราย ภาคเหนือ จำนวน 2,151 ตัว โดยเกษตรกร 331 ราย และภาคใต้ จำนวน 1,168 ตัว โดยเกษตรกร 399 ราย ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสถิติปี พ.ศ.2562 ที่มีการเลี้ยงม้าทั้งหมดทั่วประเทศ จำนวน 5,999 ตัว โดยเกษตรกร 1,223 ราย (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2562) จะพบว่าภายในระยะเวลาแค่ 1 ปี มีการเลี้ยงม้าเพิ่มมากขึ้นถึง 2,638 ตัว คิดเป็นร้อยละ 43.97 และมีเกษตรกรเพิ่มขึ้น 615 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.29 แสดงให้เห็นแนวโน้มในการเลี้ยงม้าที่ขยายตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

การให้อาหารเป็นเรื่องสำคัญที่สุดในการดูแลม้า แต่พบปัญหาว่าผู้เลี้ยงมักให้อาหารไม่ตรงเวลา เนื่องจากติดกิจธุระนอกฟาร์ม หรือให้อาหารปริมาณมากเกินความต้องการในแต่ละวัน หากเทอาหารไว้ล่วงหน้ากรณีฝนตกจะเกิดความชื้นและเชื้อราได้ ทำให้สิ้นเปลืองด้านต้นทุน เวลา และส่งผลเสียต่อสุขภาพม้า ผู้เลี้ยงม้าจึงต้องทำงานในฟาร์มตลอดทั้งวันเพื่อให้อาหารม้าวันละ 4 มื้อ โดยต้องให้อาหาร

ตรงเวลา ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อป้องกันอาการท้องอืด ซึ่งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของม้าได้ สามารถวิเคราะห์ปัญหาจากการให้อาหารม้าได้ ดังรูปที่ 1

งานวิจัยนี้สนใจการใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยในการให้อาหาร เพื่อก่อให้เกิดความสะดวกสบาย ควบคุมความชื้นภายในภาชนะบรรจุอาหารเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเกิดเชื้อรา และลดต้นทุนการบริหารจัดการ ด้วยการพัฒนาระบบอัตโนมัติที่มีเทคโนโลยีไอโอทีบนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กแบบฝังตัว ที่สามารถควบคุมกระบวนการดำเนินงาน เช่น การสั่งเปิด-ปิดท่อลำเลียงอาหารโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor), การตรวจนับปริมาณอาหารแต่ละมื้อด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดน้ำหนัก (Load Cell), การวัดความชื้นเพื่อควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (Digital Temperature and Humidity Sensor: DTH) ซึ่งสามารถควบคุม ตรวจสอบ และรายงานการแจ้งเตือนผ่านทางไลน์แอปพลิเคชันเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานยิ่งขึ้น และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงานตามหลักการลีน (Behrouzi & Wong, 2010)



ภาพที่ 1 โมเดลวิเคราะห์ปัญหาจากการให้อาหารม้า

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงาน

การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพม้าและจัดการอาหารม้า ไอโอที หลักการลีน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดดังนี้

1. การดูแลสุขภาพม้าและจัดการอาหารม้า ม้าเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะอาหารขนาดเล็กมีความจุเพียง 8% ของน้ำหนักตัว ต่างกับวัวที่มีความจุของกระเพาะอาหารมากถึง 70% ของน้ำหนักตัว ลำไส้เล็กของม้า มีความยาวประมาณ 30 เมตร อาหารจะใช้เวลาเดินทางประมาณ 2.5 ชั่วโมง หมายความว่าอาหารจะเดินทางผ่านลำไส้เล็กด้วยความเร็วประมาณ 20 เซนติเมตร/นาที หากเราให้อาหารเม็ดในปริมาณมาก ก็จะทำให้ม้าไม่สามารถย่อยและดูดซึมอาหารเม็ดเพื่อเอาไปใช้ได้ทัน และเหลือตกไปสู่ลำไส้

ใหญ่ ซึ่งลำไส้ใหญ่เป็นส่วนที่ย่อยและดูดซึมอาหารเม็ดไม่ได้ น้ำตาลในอาหารเม็ด ยังส่งผลเสียต่อความเป็นกรดในลำไส้ใหญ่ เสี่ยงต่อภาวะเสียดท้องอีกด้วย (หมอม้าทีพี, 2561) และหากม้าขาดหญ้าเกินกว่า 2 ชั่วโมง จะทำให้ลำไส้เล็กที่ไม่มีอาหารอยู่ภายในหดแฟบลงและบิดหมุนพันกันได้ง่ายกว่าเวลาที่มีหญ้าอยู่ ม้าไม่สามารถขย้อนอาหารออกมาได้ และไม่แม้แต่จะเรอหรืออาเจียนออกมา เพราะหลอดอาหารของม้ายาวมาก หูรูดที่กระเพาะอาหารก็แข็งแรงเพื่อป้องกันไม่ให้มีอาหารย้อนออกมาในขณะที่ม้าวิ่งป้องกันการสำลักขณะวิ่งหนีนักล่านั่นเอง (หมอม้าทีพี, 2561) หลักการคำนวณปริมาณการให้อาหารม้ามีดังนี้คือ ให้อาหารปริมาณ 1% ของน้ำหนักตัว และเสริมด้วยอาหารเสริม 200 กรัมต่อวัน ตัวอย่างเช่น ม้าน้ำหนักตัว 400 กิโลกรัม ต้องให้อาหาร 4 กิโลกรัม/วัน โดยแบ่งให้มื้อละ 1 กิโลกรัม (ณัฐวุฒิ, ม.ป.ป.) การให้อาหารผสมในปริมาณมากเกินไปในแต่ละมื้อจะเกิดการย่อยไม่ทัน ทำให้อาหารผสมบางส่วนผ่านไปยังลำไส้ใหญ่เกิดการเสียสมดุลของจุลินทรีย์ ซึ่งสร้างสารท็อกซินออกมาแล้วดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้เกิดภาวะโลหิตเป็นพิษ ทำให้ม้าเสียชีวิตได้ (หมอม้าทีพี, 2561)

2. Internet of Things หรือ IoT หมายถึงสิ่งของหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย รับส่งข้อมูล เพื่อทำการแลกเปลี่ยน และทำการประมวลผล หรือเพื่อควบคุมการทำงานสิ่งของหรืออุปกรณ์ต่างๆ หรือ Things/Device (กอบเกียรติ, 2561) องค์ประกอบของ IoT มีดังนี้

(1) Data Ingestion คือ การอินพุตข้อมูลของ Things/Device จาก Internet of Things มี 2 ประเภท แบบซับซ้อน เช่น วิดีโอแบบเรียลไทม์ และแบบไม่ซับซ้อน เช่น การรับค่าน้ำหนัก

(2) Data Transmission คือการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Internet of Things ไปยัง Internet of Things ตัวอื่นๆ หรือส่งไปเก็บข้อมูลหรือประมวลผล โดยส่งผ่านทาง IoT Gateway

(3) Data Processing คือส่วนที่ประมวลผล เก็บข้อมูล ซึ่งสามารถประมวลผลได้ 2 ประเภท Edge Computing และการประมวลผลบน Cloud

(4) Data Visualization คือการนำข้อมูล IoT ที่ถูกวิเคราะห์ ผ่านการประมวลผลมาจัดเก็บ เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอในรูปแบบของ Text และกราฟ

(5) Data Analysis and Prediction คือการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยใช้ Data mining, Machine learning และ AI เพื่อช่วยในการทำนายและตัดสินใจล่วงหน้า (รัฐศิลป์, 2563)

2.1 NodeMCU ESP8266 เป็นบอร์ดสำหรับงาน IoT ที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีขนาดเล็กและราคาถูก โครงสร้างขาอินพุตและเอ้าพุตคล้ายกับ Arduino และมีจำนวนมากพอใช้งานทั่วไป บนบอร์ดมีระบบ WiFi รองรับการทำงานทั้งโหมด Station และ Client (กอบเกียรติ, 2561)

2.2 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถสั่งให้แกนเซอร์โวหมุนไปยังตำแหน่งองศาที่ต้องการได้ เนื่องจากใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control คือการนำผลของปลายทางหรือเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต เพื่อสั่งให้กลไกเลื่อนไปให้ตำแหน่งตามที่อินพุตสั่ง (กอบเกียรติ, 2561)

2.3 DHT11 คือ โมดูลหรือเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ สามารถใช้งานกับ Arduino และ NodeMCU ได้ ซึ่งเซ็นเซอร์จะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่เป็นโมดูลกับแบบที่มีแต่เซ็นเซอร์ให้มาอย่างเดียว (วริศร์ และคณะ, 2562) มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ + - 2 องศาเซลเซียส ข้อจำกัดของเซ็นเซอร์ DHT คืออัตราความเร็วในการวัด ต้องอ่านค่าอุณหภูมิ ห่างกันอย่างน้อย 1-2 วินาที (กอบเกียรติ, 2561)

2.4 Loadcell คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยนำสัญญาณทางไฟฟ้านี้ไปจ่ายเข้าจอแสดงผล เพื่อแสดงค่าเป็นน้ำหนัก (Factomart, ม.ป.ป.)

2.5 Blynk เป็นแพล็ตฟอร์มสำหรับการเชื่อมต่อและควบคุมอุปกรณ์ IoT ด้วย Mobile Apps กล่าวคือ blynk เป็นเซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่อตรงกลางระหว่างอุปกรณ์ IoT และอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ทำให้สามารถใช้สมาร์ทโฟน/tablet/iPad ควบคุมอุปกรณ์ IoT ได้ หรืออ่านค่าจากเซ็นเซอร์ได้ อุปกรณ์ IoT ที่ blynk (กอบเกียรติ, 2561)

3. การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการปฏิบัติงานด้วยหลักการลีน คือ การปรับการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นหรือสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น ในอดีตระบบลีนมีการริเริ่มนำมาใช้ในโรงงานโดยมีแนวคิดเพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เน้นการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นในปริมาณที่เหมาะสม และเน้นการใช้เวลาให้คุ้มค่า เพื่อขจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นหรือไม่ก่อให้เกิดมูลค่าออกไป โดยคำนวณประสิทธิภาพจากสูตร ผลรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำหารด้วยเวลาของกระบวนการทำงานทั้งหมดคูณด้วย 100 (เพ็ญวิสาข์ และวัชรวลี, 2555)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรภาส (จิรภาส, 2558) ศึกษาระบบให้อาหารสัตว์เลี้ยงอัตโนมัติด้วยราสเบอร์รี่พาย โดยนำบอร์ด ราสเบอร์รี่พายที่เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋ว ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) สั่งการด้วยภาษาพีเอชพี (PHP) รวมด้วยกับภาษาไพทอน (Python) ควบคุมการทำงานของวงจรรีเลย์ และมอเตอร์ ช่วยจัดสรรอาหารสัตว์เลี้ยง พร้อมการติดตามด้วยเซอร์วิสเว็บแคม (Webcam) บนบอร์ด การใช้งานของระบบออโตเมติกบ๊อกฟีดเดอร์ (Automatic Box Feeder) นี้จะใช้การสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สะดวกต่อการใช้ มีประสิทธิภาพในการจัดการอาหารและลดปัญหาทางสุขภาพสัตว์เลี้ยงได้

จิราพร, ปัทมา, ภัทราวดี, ภัทราภรณ์ และศุภกร (จิราพร และคณะ, 2563) ศึกษาเรื่องการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อศึกษาค่าความร้อนของปฏิกิริยาด้วยตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี เป็นการพัฒนาชุดแคลอริมิเตอร์โดยใช้ตัวตรวจวัดการเปลี่ยนของอุณหภูมิอัตโนมัติ เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในปฏิกิริยาด้วย Thermo Sensor และบอร์ด ESP8266 Node MCU ที่มีอุปกรณ์ควบคุม IoT โดยแสดงผลผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk บน Smartphone ในรูปแบบของเส้นกราฟ

วริศร์, วุฒิชัย และสุทธิลักษณ์ (วริศร์ และคณะ, 2562) ศึกษาเรื่องการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์สำหรับตรวจสอบข้อมูลสมาร์ทฟาร์มผ่านแอพพลิเคชั่นโทรศัพท์มือถือ วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบติดตั้งระบบควบคุมตรวจสอบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ผ่านสมาร์ทโฟนโดยการสื่อสารโดยใช้เครือข่ายไร้สาย Wi-Fi และ Blynk Server เป็นระบบใช้เก็บข้อมูลและรายงานผล โดยระบบที่ออกแบบมานี้ใช้อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ในการรับข้อมูลจาก Sensors ในการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ และความชื้นในดิน และ Blynk สามารถสร้างเป็นกราฟของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ และความชื้นในดิน โดยสามารถใช้เทคโนโลยี IoT ดูข้อมูลทั้งหมดได้ และสามารถควบคุมระยะไกลจากโทรศัพท์มือถือด้วย

เพ็ญวิสาข์ และวัชรวลี (เพ็ญวิสาข์ และคณะ, 2555) ศึกษาเรื่องการใช้หลักการลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสาร และออกเลขหนังสือด้วยซอฟต์แวร์เสรี กรณีศึกษา สำนักงานโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ วัตถุประสงค์เพื่อนำจูมล่าและหลักการลีนมาลดขั้นตอนการค้นหาเอกสารและเพิ่มประสิทธิภาพงาน

วัธกร, วัชรวลี, ธีรวัฒน์ และอรอุมา (วัธกร และคณะ, 2561) ศึกษาเรื่องการประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการแบบสอบถามออนไลน์ด้วยซอฟต์แวร์เสรีภายใต้มาตรฐาน Open Source Maturity Model กรณีศึกษา หน่วยกิจการนักศึกษา โดยนำหลักการลีนมาเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของระบบ

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ออกแบบ และพัฒนาระบบการให้อาหารม้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมระยะไกล และประเมินประสิทธิภาพด้านการลดกระบวนการ เวลา และต้นทุนในการดำเนินงานตามแนวทางลีน

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย การออกแบบระบบ การทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ และการประเมินประสิทธิภาพระบบ ดังนี้

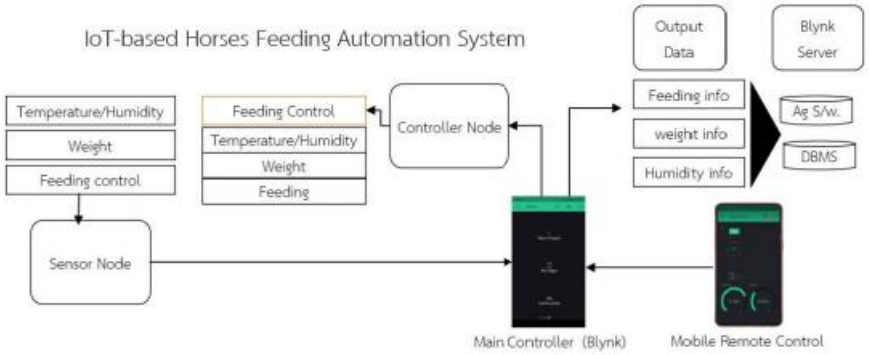
1. การออกแบบระบบ

1.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ ระบบผู้ใช้งาน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ดูแลระบบ และผู้ใช้งาน คือ ผู้เลี้ยงม้า โดยผู้เลี้ยงม้าจะสามารถกำหนดปริมาณอาหาร ตั้งเวลาให้อาหาร ให้อาหารเองได้ แจ้งเตือนผ่านไลน์แบบเรียลไทม์เมื่อมีการให้อาหาร และสามารถเห็นกราฟข้อมูลปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้น ส่วนผู้ดูแลระบบจะสามารถทำทุกอย่างได้เหมือนผู้เลี้ยงม้า และที่เพิ่มเติมคือ การจัดการผู้ใช้งาน/ให้รหัสผ่าน และสามารถดูข้อมูลย้อนหลังของปริมาณอาหาร อุณหภูมิและความชื้นได้ ดังภาพที่ 2

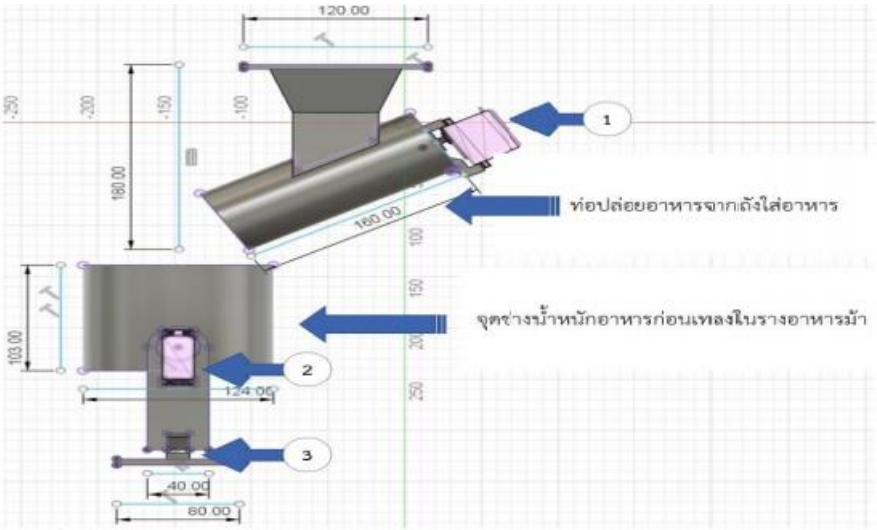
ภาพที่ 2 Use Case Diagram ของผู้ใช้และผู้ดูแลระบบ

1.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และยังมีการตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT 11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมของระบบ



ภาพที่ 4 ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

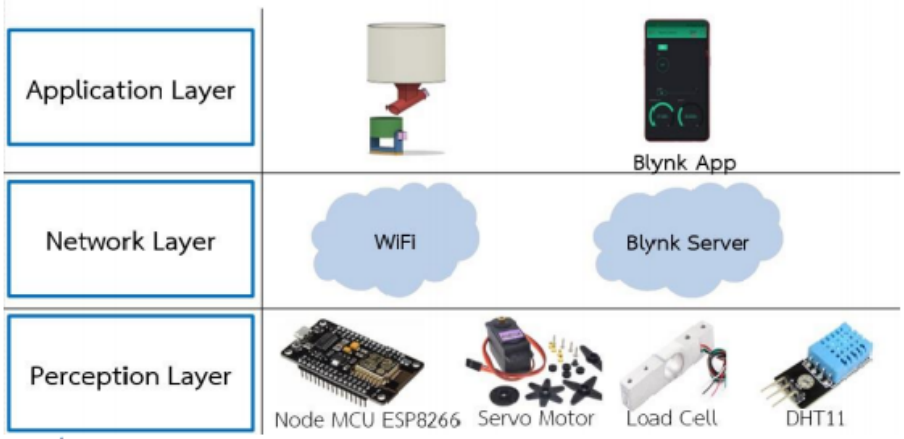
หมายเหตุ

(1) *Servo Motor,* (2) *Servo Motor,* (3) *Load cell*

อุปกรณ์หมายเลข 1 และ 2 คือ Servo Motor ซึ่งอุปกรณ์หมายเลข 1 ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากถังใส่อาหาร เพื่อลงมาชั่งน้ำหนักที่อุปกรณ์หมายเลข 3 คือ Load cell ซึ่งทำหน้าที่ชั่งน้ำหนัก หลังจากทราบน้ำหนักแล้วจึงลำเลียงอาหารลงในรางใส่อาหารม้า ด้วย Servo Motor อุปกรณ์หมายเลข 2

1.3 การออกแบบเครือข่ายของระบบ

สถาปัตยกรรมแบ่งเป็น 3 Layer โดย Application Layer คือ อุปกรณ์ให้อาหารม้า และ Blynk เพื่อควบคุมอุปกรณ์ให้อาหารม้า Network Layer คือระบบ WiFi และ Blynk Server เพื่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ให้อาหารม้า กับระบบ WiFi และการควบคุมด้วย Blynk ส่วนPerception Layer คือ เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ Servo Motor, Load Cell, DHT, NodeMCU ESP8266 ที่ร่วมกันทำงานในระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กรอบแนวคิดการวิจัย

2. การทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ

2.1 ทดสอบความแม่นยำของระบบโดยตรวจสอบจาก log file จำนวน 20 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและน้ำหนักอาหารที่ให้

2.2 ทดสอบการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชั่น โดยใช้กรณีทดสอบ 5 กรณี

3. การประเมินประสิทธิภาพของระบบตามหลักการลีน

ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพตามขั้นตอนการจัดทำลีน โดย เขียนกระบวนการ ทำงานตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดกระบวนการ (Pre Lean) จับเวลาการทำงาน รวมไปถึงระยะทางระหว่างขั้นตอนในแต่ละกระบวนการทำงาน ใช้สัญลักษณ์เพื่อวิเคราะห์กระบวนการทำงานทั้งหมด และคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพของระบบ โดยรวมเวลาของสิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value) หารด้วยเวลาทั้งหมดของกระบวนการทำงานคูณด้วย 100

(1) Pre-Lean ขั้นตอนการให้อาหารม้า มีขั้นตอนการทำงาน 8 ขั้นตอน คำนวณประสิทธิภาพ ได้ร้อยละ 3.33% แทนค่าจากสูตรได้เท่ากับ (30/900) X 100 = 3.33% ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 Pre-Lean ขั้นตอนและเวลาการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน

หมายเหตุ ความหมายของสัญลักษณ์

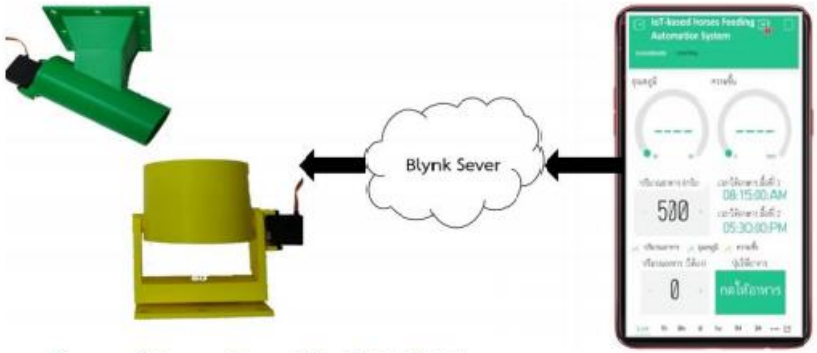
สิ่งที่จำเป็นต้องทำ = VAA (Value)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำ = NVAA (Waste)

สิ่งที่ไม่จำเป็นต้องทำแต่ต้องทำ = NNVAA (Non Value)

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ผู้วิจัยเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อที่ชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT 11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชั่น Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi ดังภาพที่ 7



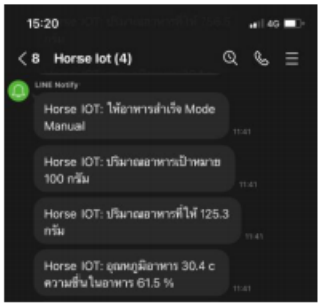
ภาพที่ 7 ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที

2. ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ

2.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบโดยตรวจสอบจาก log file เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและน้ำหนักอาหารที่ให้ พบว่า ด้านเวลามีความแม่นยำสูง สามารถให้อาหารได้ตรงเวลาทุกครั้ง ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ส่วนด้านน้ำหนักอาหาร พบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอาหารเท่ากับ 31.42,

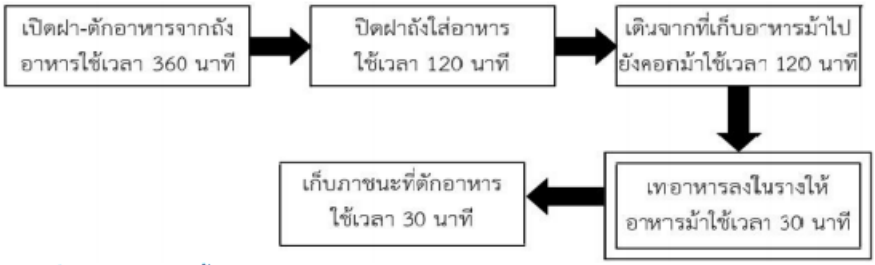
63.25 และ 129.20 เมื่อสั่งให้อาหาร 30, 60 และ 100 กรัมตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10.01

2.2 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชั่น โดยใช้กรณีทดสอบ 5 กรณี พบว่า มีการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชั่นทุกครั้งที่สั่งให้อาหาร ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชั่น

3. Post-Lean ขั้นตอนการให้อาหารม้า หลังใช้ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติ พบว่า ขั้นตอนการทำงานลดลงจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอนต่อเดือน และ 1 ขั้นตอนต่อวัน ดังภาพที่ 9 สามารถลดเวลาจาก 900 นาทีเหลือ เพียง 7 นาทีต่อเดือน กล่าวคือสามารถลดเวลาได้ 893 นาที สามารถประสิทธิภาพการทำงานจาก 3.33% เป็น 96.67% โดยแทนค่าจากสูตรเป็น (30-1/30) X 100 = 96.67% ดังตารางที่ 1 และสามารถลดต้นทุนจาก 9,800 บาทต่อเดือน เหลือ 6,030 บาทต่อเดือน คือสามารถลดต้นทุนได้ 3,770 บาทต่อเดือน ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 9 Post-Lean ขั้นตอนและเวลาการให้อาหารม้าในรอบ 1 เดือน

ตารางที่ 1
การประเมินประสิทธิภาพตามหลักการลีน

การให้อาหารม้า	Pre-Lean	Post-Lean	ผลต่าง
ขั้นตอนทั้งหมด	8	5	3
เวลา (นาทีต่อเดือน)	900	7	- 893
ร้อยละประสิทธิภาพ	3.33 %	96.67 %	+ 93.34 %

ตารางที่ 2
การเปรียบเทียบต้นทุนในการปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานในรอบหนึ่งเดือน

รายการค่าใช้จ่ายรายเดือน	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
ค่าแรงงานดูแลม้า (ให้อาหาร ให้หญ้า อาบน้ำ)	9,000 บาท	6,000 บาท	- 3,000
ค่าความเสียหายของอาหาร (เททิ้ง 30% ต่อ 1กระสอบ)	800 บาท	-	- 800
ค่าไฟฟ้า	-	30 บาท	+ 30 บาท
รวมเป็นเงิน (ต่อเดือน)	9,800 บาท	6,030 บาท	ลดไป 3,770 บาท

สรุปและอภิปรายผล

ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที ออกแบบโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น NodeMCU ESP8266 และประกอบด้วย Servo Motor, DHT, Load Cell เพื่อทชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารม้าด้วย Load Cell ก่อนจะปล่อยอาหารม้าลงในรางผ่านการเปิด-ปิดของ Servo Motor และยังมีการตรวจวัดความชื้นในถังเก็บอาหารจาก DHT 11 โดยอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ถูกควบคุมและสังเกตค่าต่างๆ ผ่านแอปพลิเคชั่น Blynk ซึ่งเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 ผ่านระบบ WiFi

ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานของระบบ พบว่า ด้านเวลาสามารถให้อาหารได้ตรงเวลาทุกครั้ง มีความแม่นยำร้อยละ 100 ด้านน้ำหนักอาหารพบว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเทากับ 11.30 และมีการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชั่นทุกครั้งที่สั่งให้อาหาร ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักอาหารมีสาเหตุมาจากการมีอาหารเก่าเหลือค้างอยู่บริเวณท่อให้อาหาร

ระบบให้อาหารม้าที่พัฒนาขึ้นสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอนต่อเดือน และเหลือ 1 ขั้นตอนต่อวัน สามารถลดเวลาจาก 900 นาทีต่อเดือน เหลือ 7 นาทีต่อเดือน และ 1 นาทีต่อวัน เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจาก Pre-Lean 3.33% เป็น Post-Lean 96.67% และสามารถลดต้นทุนได้ 3,770 บาทต่อเดือน

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาระบบให้อาหารม้าด้วยไอโอที ซึ่งให้อาหารม้าได้ครั้งละหนึ่งตัว สามารถขยายผลต่อยอดในการพัฒนาการให้อาหารม้าแบบหลายตัวในครั้งเดียว และสามารถนำไปใช้พัฒนาในการให้อาหารเม็ดแก่สัตว์ประเภทอื่นได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562). *ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2562*. ค้นจาก https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/repcrt/323-report-thailand-livestock/reportservey2562/1371-2562-country

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). *ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2563*. ค้นจาก http://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/340-report-thailand-livestock/reportservey2563/1504-2563-country

กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). *พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi*. กรุงเทพฯ: อินเตอร์มีเดีย.

จิรภาส ทองเต็ม. (2558). *ระบบให้อาหารสัตว์เลี้ยงอัตโนมัติด้วยราสเบอร์รี่พาย*. (สารนิพนธ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.

จิราพร ช่อมณี, ปัทมา วุฒิสมัย, ภัทราวดี พันธุ์ทอง, ภัทราภรณ์ เสือแก้ว และศุภกร กตาธิการกุล. (2563). การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อศึกษาค่าความร้อนของปฏิกิริยาด้วยตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 23(3), 70-78.

ณัฐวุฒิ นุชประยูร. (ม.ป.ป.). *การจัดการอาหารม้าเบื้องต้น : เรื่องยากที่คิดว่าง่าย*. (เว็บบล็อก คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล). ค้นจากhttps://vs.mahidol.ac.th/oldweb/index.php/basic-food-handling-horses

เพ็ญวิสาข์ .อกกะยอ และวัชรวลี ตั้งคุปตานนท์. (2555). การใช้หลักการลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บเอกสาร และออกเลขหนังสือด้วยซอฟต์แวร์เสรี กรณีศึกษา สำนักงานโรงพยาบาลสงขลานครินทร์. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13 (GRC 2012)* (หน้า 1061-1066), ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์. (2563, พฤษภาคม 13). *How IoT Works*. (เว็บบล็อก). ค้นจาก https://medium.com/iot-innovation-lab/how-iot-works-b869325b67cc

วริศร์ รัตนนิมิตร, วุฒิชัย เกษพานิช และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ. (2562). การติดตั้งเซิร์ฟเวอร์สำหรับตรวจสอบข้อมูลสมาร์ทฟาร์มผ่านแอพพลิเคชั่นโทรศัพท์มือถือ. *Journal of Energy and Environment Technology*. 6(1), 37-42

วัธกร เจริญสิริสกุล, วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์, ธีรวัฒน์ หังสพฤกษ์ และอรอุมา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต. (2561). การประเมินประสิทธิภาพระบบจัดการแบบสอบถามออนไลน์ด้วยซอฟต์แวร์เสรีภายใต้มาตรฐาน Open Source Maturity Model กรณีศึกษา หน่วยกิจการนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. *การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3* (หน้า 736-742), ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

หมอม้าทีพี. (2561, เมษายน 1). ม้าเป็นสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่น. (เว็บบล็อก). ค้นจาก https://www.facebook.com/tpequinevet/posts/2117076038321497

Behrouzi, F., & Wong, K.W. (2010). Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach. *Procedia Computer Science, 3(2011), 388-395*

Factomart. (2562). *โหลดเซลล์ (Load Cell) คืออะไร ? มาหาคำตอบกัน*. (เว็บบล็อก). ค้นจาก https://mall.factomart.com/what-is-load-cell/

ภาคผนวก ข

คู่มือสำหรับผู้ใช้งาน

ขั้นตอนการใช้งาน

1. เข้าแอปพลิเคชัน Blynk. เลือกโหมดการให้อาหาร โหมด Manual หรือ Auto

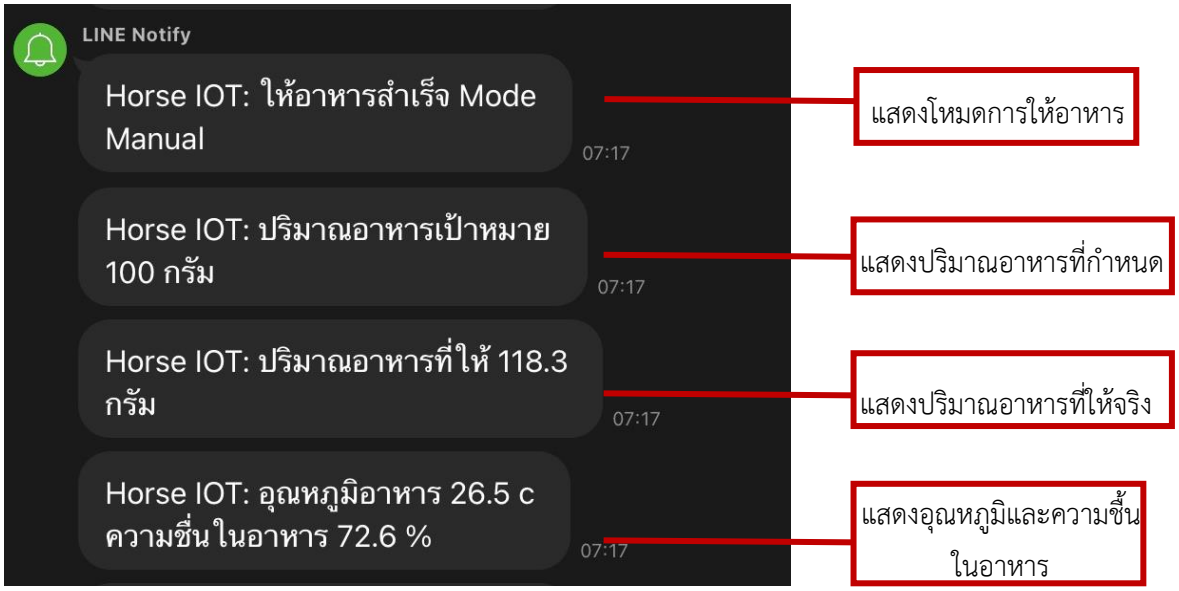
2. กำหนดปริมาณอาหารที่ต้องการ

3. กดให้อาหาร

4. เกลียวในท่อทำงาน หมุนปล่อยอาหารลงสู่ตัวถังชั่งน้ำหนัก

5. เมื่อได้น้ำหนักตามที่กำหนด ถังชั่งน้ำหนักจะเทอาหารลงสู่รางอาหารม้า

6. เมื่อให้อาหารสำเร็จ จะแสดงผลแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายโภคี บุญนรากร

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010121035

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต	2559

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

พ.ศ. 2559 - 2560 อาจารย์ วิทยาลัยการอาชีพตากใบ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
พ.ศ. 2561 –ปัจจุบัน หัวหน้าสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยการอาชีพตากใบ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

โภคี บุญนรากร และวโรดม วีระพันธ์. (2559). บาสเก็ตบอลแอนดรอยด์แอพพลิเคชั่น. *การแข่งขันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 (NSC 2016)*. (ได้รับรางวัลทุนสนับสนุนการพัฒนาผลงานรอบ 2 ระดับภาคใต้)

โภคี บุญนรากร และวัชรวลี ตั้งคุปตานนท์. (2564). การออกแบบและนำระบบอัตโนมัติด้วยไอโอทีไปใช้งาน: ระบบให้อาหารม้า. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการบริหารจัดการ ครั้งที่ 13 ประจำปี 2564 (NCAM 13)*. (หน้า 332-343). สงขลา: คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (ได้รับรางวัล Best Paper Award)