



## FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

## การพัฒนาเครื่องตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย

## A development of equipment for detecting small stones in a rubber cup lump

พงศกร พรหมอินทร์<sup>1)\*</sup> มิตรชัย จงเชื้อวานานาญ<sup>1)</sup> และ สหพงศ์ สมวงศ์<sup>2)</sup>Pongsakorn Promin<sup>1)\*</sup> Mitchai Chongcheawchamnan<sup>1</sup> Sahapong Somwong<sup>2)</sup><sup>1)</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์<sup>2)</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย<sup>1)</sup> Department of Electrical and Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University<sup>2)</sup> Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Received: 19 March 2024

Revised: 25 April 2024

Accepted: 25 April 2024

Available online: 26 June 2024

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย หลักการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีความยาวคลื่นระหว่าง 700-2,500 นาโนเมตร และโหลดเซลล์ ซึ่งเป็นเทคนิคแบบไม่ทำลายตัวอย่างและตรวจได้รวดเร็วและแม่นยำ เพื่อช่วยในการคัดแยกยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและทรายออกไปจากสายการผลิตยางเครพก่อนที่จะทำให้เครื่องรีดยางเครพเสียหาย ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วยโดยทดลองกับแบบจำลองยางก้อนถ้วยจำนวน 40 ตัวอย่าง ขนาด 240 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนัก 400 กรัม มีตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง มีค่าความแม่นยำโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82.5 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 17.5 ซึ่งความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมจะอยู่ระหว่างช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมและยางก้อนถ้วยที่มีสิ่งแปลกปลอมร้อยละ 10

**คำสำคัญ:** การตรวจจับกรวดหิน ยางก้อนถ้วย เนียร์อินฟราเรด โหลดเซลล์ สิ่งแปลกปลอม

## Abstract

This research presents the development of a stone lump detection machine for rubber cup lump. The principle involves detecting stone lumps in rubber cup lump using near infrared spectroscopy with a wavelength range between 700 and 2500 nanometers and load cells. This non-destructive technique allows for rapid and accurate detection to assist in separating rubber cup lump containing stone lumps and sand from the production line before causing damage to rubber pressing machines. In this study, the efficiency of detecting anomalies in rubber cup lump was investigated by conducting experiments with a model of rubber cup lump, consisting of 40 samples, each measuring 240 cubic centimeters and weighing 400 grams. The overall accuracy of anomaly detection averaged 82.5%, with an error rate of 17.5%. The margin of error in detecting anomalies falls within the range between rubber cup lump samples without anomalies and those with anomalies at a rate of 10%.

**Keywords:** Rock Detection: Rubber cup lump: Near infrared: load cell: Adulteration

\*ติดต่อ: pongsakorn2cj@gmail.com, 081-542-3747

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีส่วนแบ่งประมาณร้อยละ 35 ของปริมาณการผลิตทั่วโลก ยางก้อนถ้วยเป็นผลผลิตต้นน้ำรูปแบบหนึ่งที่สำคัญที่ได้จากต้นยางพาราซึ่งจะนำไปแปรรูปเป็น ยางแท่ง (Standard Thai Rubber : STR) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ยางพาราที่โรงงานในอุตสาหกรรมปลายน้ำ เช่น โรงงานยางรถยนต์ และโรงงานผลิตสายพานลำเลียงต้องการ การผลิตยางแท่ง STR จากยางก้อนถ้วยจะผลิตหลายเกรด ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของยางก้อนถ้วย ซึ่งเป็นคุณภาพของยางก้อนถ้วย [1]

ปัจจุบัน เกษตรกรกว่าร้อยละ 50 ในประเทศนิยมผลิตยางก้อนถ้วย เนื่องจากขั้นตอนการผลิตง่าย ไม่ยุ่งยากและเร็ว ที่สำคัญคือ รายได้เมื่อหักต้นทุนการ

ผลิตแล้วจะดีกว่าการขายยางแผ่นดิบ จุดรับซื้อและโรงงานจะรับซื้ออย่างก้อนถ้วยตามค่าความชื้นและน้ำหนัก อย่างไรก็ตามในหลายกรณีที่ยางก้อนถ้วยที่รับซื้อมามีคุณภาพต่ำ เนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิ การใช้สารจับตัวยางที่ไม่ใช่เกรดฟอรั่มิค สิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ยาง เช่น เศษไม้ เปลือกยาง ก้อนหิน กรวด ดิน และทราย กรณีวัดดูในยางก้อนถ้วยที่เป็นของแข็งที่พบเจอนอกจากจะทำให้น้ำหนักชั่งเกินความเป็นจริงแล้ว ยังทำให้ใบมีดของเครื่องรีดยางเครพสึกหรอเร็วและอาจชำรุดได้ เกษตรกรมักจะถูกกดราคารับซื้ออยู่ในช่วงร้อยละ 10-15 โดยผู้รับซื้อที่จะจ้างผู้ประเมินคุณภาพยางก้อนถ้วย [2] คุณภาพของยางก้อนถ้วยใช้ค่าความชื้นเป็นเกณฑ์ ซึ่งจะใช้การประเมินจากการสังเกตสี จำนวนชั้น และความแน่นของเนื้อยางก้อนถ้วย โดยทั่วไป คุณภาพยางก้อน

ถ้วยจะแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้ (1) ยางก้อนถ้วยสด อายุประมาณ 1-3 วัน ผิวของยางจะมีสีขาวจนถึงขาวขุ่น และความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 45-55 (2) ยางก้อนถ้วยหยาบ อายุประมาณ 4-5 วัน ผิวยางจะแข็งและมีสีขาวขุ่นจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 35-45 และ (3) ยางก้อนถ้วยแห้ง มีอายุมากกว่า 7 วัน ผิวยางจะแห้ง แข็ง และสีน้ำตาลเข้ม ความชื้นจะน้อยกว่าร้อยละ 35 [3]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีเทคนิคเนียร์อินฟราเรด (NIRs) ความยาวคลื่นช่วง 900-1,700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่พัฒนาการวัดค่าหรือตรวจสอบคุณภาพและคุณลักษณะของยางก้อนถ้วยหรือยางแผ่น [4] มีงานวิจัยนำเสนอเทคนิค NIRs ในการวิเคราะห์คุณภาพอาหารและเครื่องดื่ม [5] และมีการรับรองให้ใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ รัษฎีพิช และเมธิดา รัษฎีพิช ตตามมาตรฐาน ISO 12099 (ISO 2010) สำหรับการวิจัยด้านยางพารามีการใช้เทคนิค NIRs ในการวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณยางพารา [6] การกำหนดปริมาณน้ำมันของปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ [7] การคัดเกรดทะลายปาล์มจะมีการอธิบายกลไกการสุกของทะลายปาล์มอัลกอริทึมในการกำหนดลักษณะและการจัดลำดับทะลายปาล์มขึ้นอยู่กับคุณภาพ คุณสมบัติของปาล์มโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ [8] และการประมาณค่าน้ำหนักและลักษณะเฉพาะของโคนมโดยใช้กล้อง 3 มิติ [9]

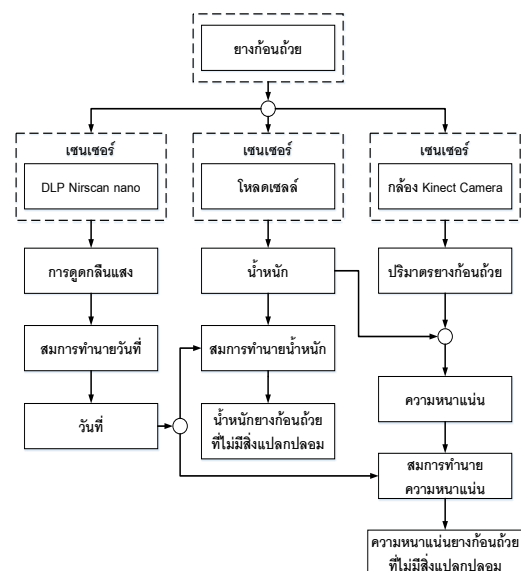
ดังนั้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยจึงนำเสนอกระบวนการวิเคราะห์เพื่อตรวจจบบกพร่องหรือก้อนหินในยางก้อนถ้วยเพื่อลดโอกาสที่จะสร้างความเสียหายของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

ยางเครพ โดยใช้เทคนิคNIRs กับโพลีเอสเตอร์ เทคนิคนี้จะเป็นเทคนิคที่สามารถให้ผลรวดเร็วและไม่ทำลายยางก้อนถ้วย

## 2. วิธีการวิจัย

2.1. หลักการทำงานของเครื่องตรวจจบบกพร่องในยางก้อนถ้วย

ภาพรวมการทำงานของเครื่องตรวจจบบกพร่องในยางก้อนถ้วย เริ่มจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของยางก้อนถ้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับน้ำหนักและการวิเคราะห์ความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยจากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินในยางก้อนถ้วยดังรูปที่ 1



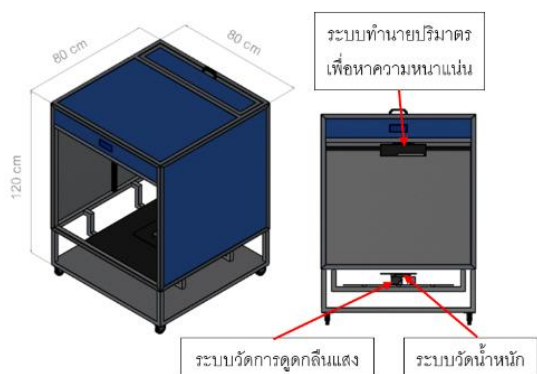
รูปที่ 1 ภาพรวมการทำงานของเครื่องตรวจจบบกพร่องในยางก้อนถ้วย

รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการทำนายสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วย โดยเริ่มจากทำนายอายุวันของยางก้อนถ้วยจากการวัดค่าดูดกลืนแสง เพื่อกำหนดช่วงอายุของยางก้อนถ้วย ต่อมาเป็นการทำนายน้ำหนักของ

ยางก้อนถ้วย เมื่อนำค่าของอายุวันมาแทนค่าในสมการทำนายน้ำหนักจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและน้ำหนักของยางก้อนถ้วยก่อนหน้านี้ จะเป็นการทำนายความหนาแน่นได้มาจากค่าสัดส่วนระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของยางก้อนถ้วยที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมคำนวณ จากนั้นนำค่าอายุวันแทนค่าในสมการทำนายความหนาแน่น เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย และวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินในยางก้อนถ้วย

## 2.2. การออกแบบและสร้าง

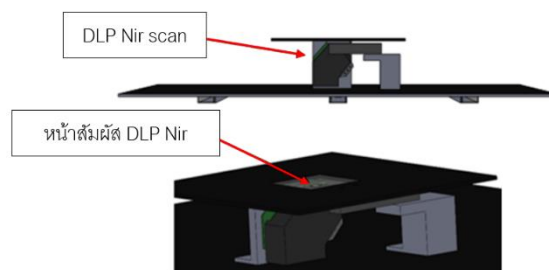
ในการถ่ายภาพที่ใช้กล้อง NIRs จะออกแบบให้ติดตั้งกล้องถ่ายภาพในห้องปิด ขนาด 80×80×120 เซนติเมตร ส่วนประกอบของระบบตรวจจับก้อนหินในยางก้อนถ้วย มีการติดตั้งชุดตัวตรวจรู้และอุปกรณ์ต่างๆ และชุดควบคุมการทำงานภายในเครื่องตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วยประกอบไปด้วย ระบบวัดการดูดกลืนแสง ระบบวัดน้ำหนักและระบบทำนายปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบห้องบันทึกข้อมูลของเครื่อง

### 2.2.1. ระบบวัดการดูดกลืนแสง

การออกแบบระบบวัดการดูดซับของแสง จะใช้เซนเซอร์ NIRs รูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflectance mode) มีช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 นาโนเมตร มีความละเอียด 5 นาโนเมตร [10] สำหรับวัดค่าการดูดซับแสงในยางก้อนถ้วย โดยติดตั้งกับฐานของโพลีคาร์บอเนต เซนเซอร์ NIRs มีระยะวัดระหว่างหน้าสัมผัสของเซนเซอร์กับวัตถุที่ต้องการวัดที่ต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ดังนั้น การติดตั้งจะต้องติดกับฐานของโพลีคาร์บอเนต เพื่อที่จะได้ค่าที่เที่ยงตรงและแม่นยำในการวัด ดังรูปที่ 3

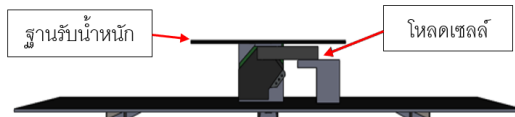


รูปที่ 3 การติดตั้งเซนเซอร์ NIRs

### 2.2.2. ระบบวัดน้ำหนัก

โครงสร้างระบบวัดน้ำหนัก จากรูปจะออกแบบให้ฐานรองรับยางก้อนถ้วยขนาด 20×20 เซนติเมตร ฐานรองทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 3 มิลลิเมตร เซนเซอร์วัดน้ำหนักใช้โพลีคาร์บอเนตที่วัดน้ำหนักได้ 0-3 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4 การวัดค่าน้ำหนักยางก้อนถ้วย จะควบคุมด้วยสมองกลฝังตัว Arduino Uno R3 ATmega328 ที่มีช่องรับ ส่งสัญญาณดิจิทัล 14 ช่อง และช่องรับ สัญญาณ แอนะล็อก 6 ช่อง ใช้บอร์ดวงจรขยายสัญญาณ รุ่น HX711 (amplifier module dual channel) ซึ่งเป็นโมดูลสำหรับขยายสัญญาณจากโพลีคาร์บอเนตให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้บอร์ด Arduino

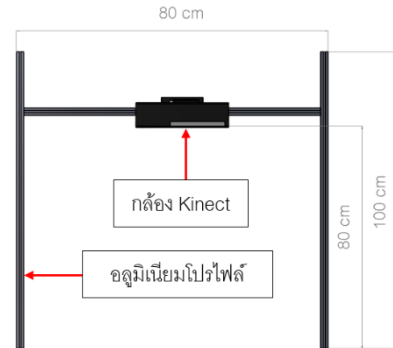
อ่านสัญญาณได้ สัญญาณที่เข้าบอร์ด Arduino เป็น สัญญาณดิจิทัล 24 บิต



รูปที่ 4 ตำแหน่งติดตั้งโหลดเซลล์เพื่อวัดน้ำหนัก

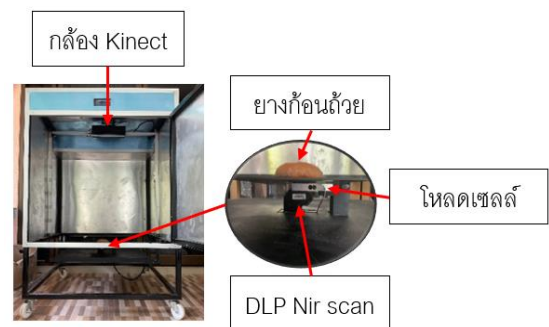
2.2.3. ระบบการทำนายปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่น

ในการออกแบบระบบนี้จะใช้กล้อง Kinect ถ่ายภาพและติดตั้งอัลกอริทึมคำนวณปริมาตรของวัตถุใดๆ ซึ่งภายในกล้อง Kinect ประกอบด้วยอุปกรณ์ฉายแสงอินฟราเรด (Infrared) กล้องวัดความลึกของภาพ (depth camera) กล้องวิดีโอ (video camera) และเซ็นเซอร์ประมวลผล งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กล้อง Kinect วัดระยะหรือความลึกของวัตถุต่างๆ ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ ตัวส่ง Infrared Laser Projector และตัวรับ Monochrome CMOS Sensor Infrared Laser Projector จะส่งแสงอินฟราเรดไปกระทบกับวัตถุ เมื่อแสงอินฟราเรดกระทบกับวัตถุก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ Monochrome CMOS Sensor จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณระยะทางโดยอาศัยเวลาการเดินทางของแสงอินฟราเรด การติดตั้งกล้อง Kinect จะติดตั้งสูงจากฐานวางยางก้นถ้วยที่ระยะจากฐาน 80 เซนติเมตร ยึดกับรางอลูมิเนียมสามารถปรับโฟกัสกล้องได้โดยการปรับรางให้สูงขึ้นหรือต่ำลง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบคำนวณปริมาตรด้วยกล้อง Kinect

โครงสร้างของเครื่องตรวจจับก้อนหิน จะเป็นเหล็กชุบกลวไนซ์ แต่ละด้าน 2.54 เซนติเมตร เป็นโลหะที่คงทน เป็นสนิมยาก และแข็งแรงเหมาะที่จะทำเป็นโครงสร้าง ผนังห้องจะใช้แผ่นอลูมิเนียมหนา 0.4 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น ผนังด้านล่างของเครื่องจะเปิดโล่งเพื่อให้แสงสว่างจากภายนอกเข้ามาเพียงพอสำหรับการบันทึกข้อมูล การติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ และตำแหน่งการติดตั้งชุดตัวตรวจรู้และอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องตรวจจับก้อนหินในยางก้นถ้วย

### 2.3. วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 2.3.1. การเตรียมตัวอย่างยางก้อนถ้วย

การเตรียมตัวอย่างยางก้อนถ้วย [11] คณะผู้วิจัยได้นำน้ำยางสดจากสวนยางพารามาผลิตยางก้อนถ้วยในโรงเรือน ซึ่งวิธีนี้เป็นการผลิตยางก้อนถ้วยที่ได้คุณภาพที่สุด ซึ่งจะแบ่งกรรมวิธีการผลิตยางก้อนถ้วยจะเป็น 2 ชนิด คือ ยางก้อนถ้วยที่มีและไม่มีกรวดหิน คณะผู้วิจัยได้ทดสอบยางก้อนถ้วยที่ถ้วยรองน้ำยาง 400 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากในภาคใต้ ในการทดลองครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง แยกเป็นยางก้อนถ้วยไม่มีการปลอมปน 10 ตัวอย่าง และยางก้อนถ้วยที่มีการปลอมปนร้อยละ 10 , 20 และ 30 ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามลำดับ ดังรูปที่ 7

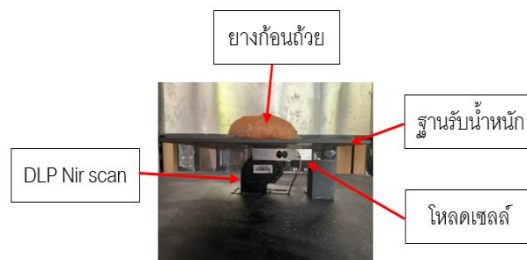


รูปที่ 7 ตัวอย่างยางก้อนถ้วย

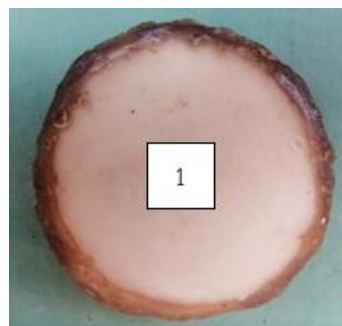
#### 2.3.2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับความชื้นที่ผิวของยางก้อนถ้วย

ในกระบวนการแรกเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันของยางก้อนถ้วยและความชื้นที่ผิวด้วยการวัดการดูดกลืนแสงที่ผิว เพื่อใช้ในการทำนายการหดเหี่ยว โดนนำยางก้อนถ้วยที่เตรียมไว้มาวัดการดูดกลืนแสงที่ผิวทุกวัน ตลอดระยะเวลา 7 วัน ซึ่งการวางยางก้อนถ้วยบนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบดังรูปที่ 8 ในการวัดเซนเซอร์จะแตะตรงกึ่งกลางส่วนหน้า

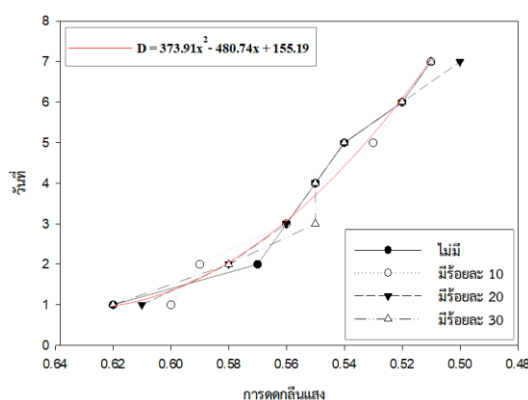
ของยางก้อนถ้วย (ปากถ้วย) ดังรูปที่ 9 โดยจะบันทึกค่าอัตราการดูดซับแสงแต่ละตัวอย่าง 3 ค่า และนำมาเฉลี่ย ดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 การวางยางก้อนถ้วยบนอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 9 ตำแหน่งในการตรวจวัดยางก้อนถ้วย



รูปที่ 10 ค่าการดูดซับแสงจากการทำนาย

รูปที่ 10 จากข้อมูลการดูดกลืนแสงสามารถสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนแสงกับอายุของยางก้อนถ้วย ดังสมการที่ 1

$$D = 373.91x^2 - 480.74x + 155.19 \quad (1)$$

เมื่อ  $D$  = อายุวัน

$x$  = ค่าการดูดกลืนแสง

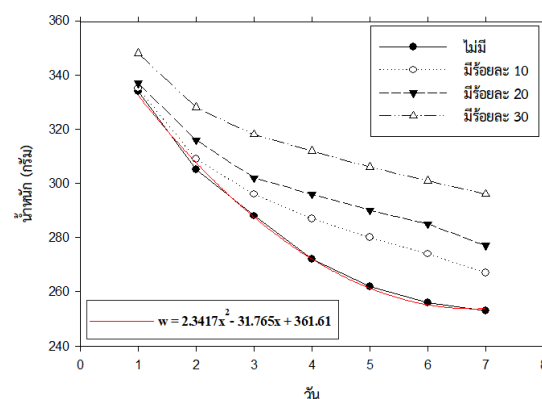
ด้วยเหตุนี้พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงภายในยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและไม่มีกรวดหินใน 7 วัน โดยใช้ DLP Nirscan nano จะสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของน้ำซึ่งประกอบด้วยพันธะ O-H เมื่อปริมาณความชื้นในยางก้อนถ้วยลดลงพบว่าค่าการดูดกลืนแสงลดต่ำลงด้วย ซึ่งพบว่าที่ความยาวคลื่น 1,447 นาโนเมตร [11] ตรงกับค่าการดูดกลืนแสงของน้ำและมีอิทธิพลต่อการทำนายความชื้นมาก โดยในผลการทดลองนี้มีจำนวนตัวอย่างยางก้อนถ้วย 40 ตัวอย่าง โดยเป็นยางก้อนถ้วยที่ไม่มีการปลอมปนจำนวน 10 ตัวอย่าง มีการปลอมปนร้อยละ 10 , 20 และ 30 ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าการดูดกลืนแสงของยางก้อนถ้วย สามารถแยกความแตกต่างของค่าความชื้นในแต่ละวันได้ ซึ่งค่าความชื้นจะลดลงในช่วงที่ยางก้อนถ้วยเปียก เนื่องจากการคายความชื้นมากและจะมีการคายความชื้นน้อยลงเรื่อยๆ จนถึงยางก้อนถ้วยแห้ง

นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งตัวอย่างยางก้อนถ้วยที่ไม่มีการปลอมปนกรวดหิน และยางก้อนถ้วยที่มีการปลอมปนกรวดหิน ให้ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการดูดกลืนแสงนั้นสามารถวิเคราะห์ระดับความชื้นของยางก้อนถ้วยในแต่ละวันได้

2.3.3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวันกับน้ำหนักของยางก้อนถ้วย

นำยางก้อนถ้วยที่เตรียมไว้มาตรวจวัดน้ำหนักกับเครื่องตรวจจับก้อนหินในยางก้อนถ้วยดังรูปที่ 9 ค่าน้ำหนักที่อ่านจากโหลดเซลล์ได้จะส่งไปบันทึกและแสดงผลบนจอแสดงผล

ข้อมูลที่บันทึกได้จะนำไปสร้างสมการทำนายค่าน้ำหนักของยางก้อนถ้วยในแต่ละวันดังรูปที่ 11 เพื่อใช้ในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วย



รูปที่ 11 ค่าน้ำหนักจากการทำนาย

จากการบันทึกผลการทดลองสามารถสร้างสมการทำนายน้ำหนักของก้อนยางที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมได้ดังสมการที่ 2

$$w = 2.3417x^2 - 31.765x + 361.61 \quad (2)$$

เมื่อ  $w$  = น้ำหนักที่ทำนายได้

$x$  = อายุวัน

จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักของยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและไม่มีกรวดหินใน 7 วัน ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างยางก้อนถ้วยทั้งหมดจำนวน 40 ตัวอย่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบวัดน้ำหนักของยางก้อนถ้วย เห็นได้ว่าน้ำหนักของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินในแต่ละวัน

จะมีค่าน้ำหนักที่น้อยกว่าอย่างก้นด้วยที่มีกรวดหินผสมอยู่ และระหว่างอย่างก้นด้วยที่มีกรวดหินแต่ละระดับร้อยละ 10 , 20 และ 30 ตามลำดับ สามารถแยกความแตกต่างของระดับชั้นของน้ำหนักได้ ซึ่งจะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างอย่างก้นด้วยที่ไม่มีกรวดหินและมีกรวดหินได้

2.3.4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวันกับความหนาแน่นของยางก้นด้วย

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับความหนาแน่นของยางก้นด้วย จำเป็นต้องหาปริมาณของยางก้นด้วยมาก่อน จากนั้นนำปริมาณที่ได้ไปคำนวณความหนาแน่นของยางก้นด้วย เพื่อวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในก้นยาง เนื่องจากยางก้นด้วยที่ไม่มีการปลอมปนของกรวดหินจะมีความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันกับยางก้นด้วยที่มีการปลอมปนกรวดหิน โดยการหาปริมาณของยางก้นด้วยโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพความลึกโดยใช้กล้อง Kinect ในการถ่ายภาพซึ่งเป็นตัวตรวจรู้หลายมิติ ควบคู่กับการใช้อัลกอริทึมในการคำนวณปริมาตรของวัตถุใด ๆ โดยขั้นตอนเริ่มจากการถ่ายภาพตัวอย่างยางก้นด้วยโดยใช้กล้อง Kinect โดยใช้อัลกอริทึมในการถ่ายรูป [8] ตัวอย่างของยางก้นด้วย ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของไฟล์รูปภาพ RGB กับรูปภาพอินฟราเรด (infrared) และข้อมูลภาพความลึกในรูปแบบไฟล์ข้อมูล .csv จากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลโดยใช้อัลกอริทึมในการประมวลผลหาปริมาตรของยางก้นด้วยผ่านโปรแกรม Matlab โดยผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมจะแสดงผลออกมาเป็นค่าปริมาตรของยางก้นด้วยแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำค่าปริมาตรที่ได้ไปประมวลผล

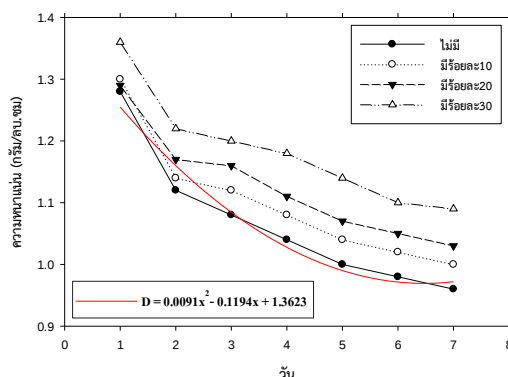
ควบคู่กับค่าน้ำหนักของยางก้นด้วยที่วัด เพื่อหาความหนาแน่นของตัวอย่างนั้นๆ จากสมการทำนายค่าความหนาแน่นในแต่ละวัน ดังรูปที่ 12 เพื่อหาความหนาแน่นของยางก้นด้วย ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินโดยทำให้แยกความแตกต่างระหว่างยางก้นด้วยที่มีกรวดหินและยางก้นด้วยที่ไม่มีกรวดหินได้ ซึ่งจะได้สมการในการทำนายค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ 3

$$D = \frac{m}{v} \quad (3)$$

เมื่อ  $D$  = ความหนาแน่น

$m$  = น้ำหนักยางก้นด้วย

$v$  = ปริมาตรของยางก้นด้วย



รูปที่ 12 ค่าความหนาแน่นจากสมการทำนาย

จากการคำนวณค่าความหนาแน่นของยางก้นด้วยที่ไม่มีการปลอมปน และที่มีการปลอมปนในระดับต่างๆ ทั้ง 7 วัน สามารถวิเคราะห์สมการในการทำนายความหนาแน่นในการตรวจจบบางก้นด้วยที่ไม่มีกรวดหินได้สมการ ดังนี้

$$D = 0.0091x^2 - 0.1194x + 1.3623 \quad (4)$$

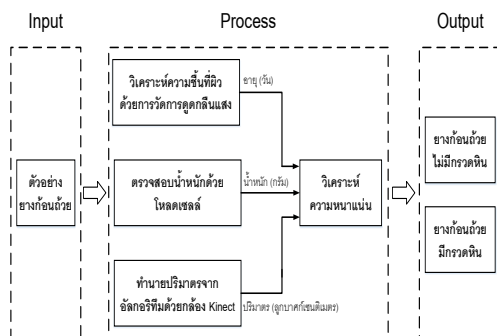
เมื่อ  $D$  = ความหนาแน่น

$x$  = อายุวัน

จากการทดสอบ ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและไม่มีกรวดหินใน 7 วัน ทั้งหมด 40 ตัวอย่าง โดยใช้อัลกอริทึมในการหาปริมาตรของยางก้อนถ้วยควบคู่กับค่าน้ำหนักของยางก้อนถ้วยจากโหลดเซลล์ในการหาค่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยระหว่างยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหิน จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินในแต่ละวันจะมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่ายางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินผลสมอยู่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดสอบนี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินและมีกรวดหินได้อย่างมีนัยสำคัญ

### 2.3.5. แผนผังแบบจำลองในการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย

จากการวิเคราะห์การดูกลืนแสงของยางก้อนถ้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับน้ำหนัก และการวิเคราะห์ความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย สามารถแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินในยางก้อนถ้วยได้ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย

รูปที่ 13 แสดงลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์การปลอมปนก่อนกรวดในยางก้อนถ้วย โดยเริ่มจากการทำนายอายุวันของยางก้อนถ้วยจากการวัดค่าการดูกลืนแสง เพื่อกำหนดช่วงอายุของยางก้อนถ้วย ต่อมาเป็นการทำนายน้ำหนักของยางก้อนถ้วย เมื่อนำค่าของอายุวันมาแทนในสมการทำนายน้ำหนักจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและน้ำหนักของยางก้อนถ้วยก้อนนั้น จากนั้นจะเป็นการทำนายความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย โดยค่าความหนาแน่นได้มาจากค่าสัดส่วนระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของยางก้อนถ้วยที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมคำนวณ จากนั้นนำค่าอายุวันและค่าความหนาแน่นแทนค่าในสมการทำนายเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย และวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินในยางก้อนถ้วย จากตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย 40 ตัวอย่าง พบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำร้อยละ 87.5 ดังตารางที่ 1

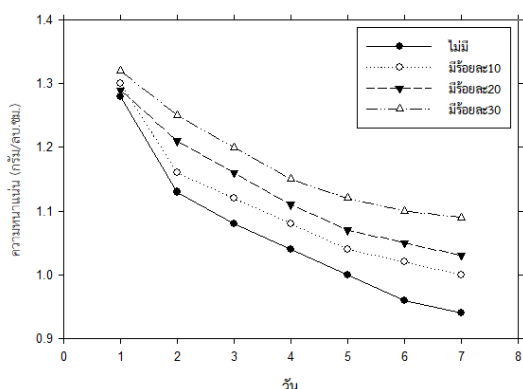
ตารางที่ 1

การวิเคราะห์แบบจำลองการปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วยด้วย Confusion matrix

| ผลจริง \ ผลทำนาย              |         | % การปลอมปนกรวดหิน (% โดยมวล) |    |    |    |         |
|-------------------------------|---------|-------------------------------|----|----|----|---------|
|                               |         | 0                             | 10 | 20 | 30 | ทั้งหมด |
| % การปลอมปนกรวดหิน (% โดยมวล) | 0       | 8                             | 2  | 0  | 0  | 10      |
|                               | 10      | 3                             | 7  | 0  | 0  | 10      |
|                               | 20      | 0                             | 0  | 10 | 0  | 10      |
|                               | 30      | 0                             | 0  | 0  | 10 | 10      |
|                               | ทั้งหมด | 11                            | 9  | 10 | 10 | 40      |

### 3. ผลการวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินด้วยเครื่องตรวจจับกรดหินในยางก้อนถ้วย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินในยางก้อนถ้วย ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำยางก้อนถ้วยสำหรับทดสอบอีกจำนวน 40 ตัวอย่าง โดยมีน้ำหนักของยางก้อนถ้วยเท่ากันทั้งหมดระหว่างยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินและยางก้อนถ้วยไม่มีกรดหิน ซึ่งแบ่งยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหิน 10 ตัวอย่าง ยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินร้อยละ 10, 20 และ 30 ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งในการทดสอบใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 7 วัน ในการวัดค่าต่างๆ มีการตรวจวัด 3 ชั่วโมง โดยเริ่มจากการทำนายอายุวันของยางก้อนถ้วยจากการวัดค่าการดูดกลืนแสง การตรวจสอบน้ำหนักของยางก้อนถ้วย เพื่อคำนวณหาความหนาแน่น และสุดท้ายนำค่าอายุวันได้และค่าความหนาแน่นไปวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินในยางก้อนถ้วย ได้ผลแสดง ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย

รูปที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยระหว่างยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินกับยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหิน จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหินในแต่ละวันจะมีค่าที่

น้อยกว่ายางก้อนถ้วยที่มีกรดหินผสมอยู่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยมวล ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสามารถบอกความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละวันได้ โดยค่าของช่วงในวันต่างๆ เมื่อทราบอายุของยางก้อนถ้วย จากนั้นตรวจสอบยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินโดยค่าน้ำหนักที่วัดได้จากโหลดเซลล์ จากผลการวิจัยยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหินจะมีน้ำหนักเบาว่ายากก้อนถ้วยที่มีกรดหิน โดยในแต่ละวันระหว่างยางก้อนถ้วยทั้งสองชนิดจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ จากยางก้อนถ้วยเปียกจนถึงยางก้อนถ้วยแห้ง และในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อตรวจจับกรดหินให้มีความเที่ยงตรงโดยใช้อัลกอริทึมในการหาปริมาตรจากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Kinect เพื่อตรวจสอบปริมาตรและลักษณะของยางก้อนถ้วย และนำค่าปริมาตรที่คำนวณได้มาใช้ในการหาความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย โดยค่าปริมาตรที่คำนวณได้จากภาพถ่ายยางก้อนถ้วยโดยใช้อัลกอริทึมที่ขนาดก้อนยางก้อนถ้วยมีค่าประมวลผลออกมาได้ใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาประมวลผลควบคู่กับค่าของน้ำหนัก ซึ่งในแต่ละวันค่าของน้ำหนักยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินและไม่มีกรดหินจะลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลงจากยางก้อนถ้วยเปียก ยากก้อนถ้วยหมาดและยางก้อนถ้วยแห้ง

ดังนั้น จากผลการทดสอบนี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหินและมีกรดหินได้ ซึ่งประสิทธิภาพของการตรวจจับกรดหินในยางก้อนถ้วยแสดงดังตารางที่ 2

## ตารางที่ 2

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วยด้วย Confusion matrix

| ผลจริง<br>ผลทำนาย                |         | % การปลอมปนกรวดหิน<br>(% โดยมวล) |    |    |    |         |
|----------------------------------|---------|----------------------------------|----|----|----|---------|
|                                  |         | 0                                | 10 | 20 | 30 | ทั้งหมด |
| % การปลอมปนกรวดหิน<br>(% โดยมวล) | 0       | 7                                | 3  | 0  | 0  | 10      |
|                                  | 10      | 4                                | 6  | 0  | 0  | 10      |
|                                  | 20      | 0                                | 0  | 10 | 0  | 10      |
|                                  | 30      | 0                                | 0  | 0  | 10 | 10      |
|                                  | ทั้งหมด | 11                               | 9  | 10 | 10 | 40      |

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย มีตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง มีความแม่นยำโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82.5 ซึ่งความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับกรวดหินจะอยู่ระหว่างช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 10 ซึ่งในช่วงยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 มีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 100 จากผลการทดลองนี้สามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าในระหว่างช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 10 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการแยกการปลอมปนขึ้นได้ เนื่องจากน้ำหนักและปริมาตรที่ระบบตรวจวัดของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 10 ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งต่างจากช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ที่สามารถแยกการปลอมปนของยางก้อนถ้วยได้โดยมีความแม่นยำสูง เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักและปริมาตรของยางก้อนถ้วยที่ไม่

มีการปลอมปนและยางก้อนถ้วยที่มีการปลอมปนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## 4. สรุปผลการดำเนินงาน

การวิจัยการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย ในบทความนี้ได้นำเสนอการนำเอาหลากหลายเทคนิคเข้ามาใช้ร่วมกันเพื่อทำให้การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ได้ความแม่นยำและมีความเที่ยงตรงและให้เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นโหลดเซลล์วัดน้ำหนัก กล้อง Kinect และ DLP Nirscan nano เข้ามาช่วยในงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งในแต่ละเทคนิคมีหน้าที่ ที่ต่างกัน โดย DLP Nirscan nano มีหน้าที่ในการตรวจวัดการดูดซับของแสงเพื่อจำแนกความขึ้นของยางก้อนถ้วยในแต่ละวันและจะเป็นตัวกำหนดอายุของยางก้อนถ้วยโดยที่จะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ วันที่ 1-3 จะเป็นยางก้อนถ้วยเปียก วันที่ 4-6 จะเป็นยางก้อนถ้วยหมาดและวันที่ 7 เป็นต้นไปจะเป็นยางก้อนถ้วยแห้ง โดยสามารถแยกความแตกต่างของค่าความขึ้นในแต่ละวันได้ ซึ่งยางก้อนถ้วยเปียกจะมีการคายความขึ้นออกมามากและจะมีการคายความขึ้นน้อยลงเรื่อยๆ จนถึงยางก้อนถ้วยแห้ง โหลดเซลล์ทำหน้าที่ตรวจสอบน้ำหนักโดยยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินจะมีน้ำหนักเบากว่ายางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินโดยในแต่ละวันระหว่างยางก้อนถ้วยทั้งสองชนิดจะมีน้ำหนักที่ลดลงเรื่อยๆ จากยางก้อนถ้วยเปียกจนถึงยางแห้ง และกล้อง Kinect ทำหน้าที่ในการหาปริมาตรจากการถ่ายภาพ เพื่อตรวจสอบปริมาตรและลักษณะของยางก้อนถ้วย และนำค่าปริมาตรที่ได้มาใช้ในการหาความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย เพื่อนำมาประมวลผลควบคู่กับค่าของน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์การปลอมปน

กรวดหินในยางก้อนถ้วย โดยงานวิจัยนี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วยประมาณร้อยละ 82.5

จากผลการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย ทางผู้วิจัยมองเห็นว่าค่าความแม่นยำในการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วยสามารถเพิ่มความแม่นยำในการวัดได้ โดยการปรับระยะในการติดตั้งเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและใช้จำนวนตัวอย่างยางก้อนถ้วยให้มีจำนวนมากกว่าเดิม เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วยมากขึ้นต่อไปในอนาคต

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)/N41D640039 และ ทุน บัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Suchat S, Theanjumol P, Karila S. Rapid moisture determination for cup lump natural rubber by near infrared spectroscopy. *Industrial Crop and Products* 2015; 76:772-780.
- [2] ชัยวัช ไชวเจริญสุข. อุตสาหกรรมยางพาราแปรรูป. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2563.]. เข้าถึงได้จาก: [https://km.raot.co.th/uploads/dip/userfiles/1\\_km/IO\\_Rubber\\_190617\\_TH\\_EX.pdf](https://km.raot.co.th/uploads/dip/userfiles/1_km/IO_Rubber_190617_TH_EX.pdf)
- [3] ณัฐวดี ศิริประสมทรัพย์. ปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เนื้อยางของยางก้อนถ้วย. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://km.raot.co.th/km-knowledge/detail/224>
- [4] อมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร. การพัฒนาอุปกรณ์พกพาเพื่อหาปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2563; 28:1845-1856.
- [5] Cornish K, Myers MD, Kelley S. Latex quantification in homogenate and purified latex samples from various plant species using near infrared reflectance spectroscopy. *Industrial Crop and Products* 2004; 19:283-296.
- [6] Rittiron R, Seehalak W. Moisture content in raw rubber sheet analyzed by transfectance near infrared spectroscopy. *Journal of innovation optical health sciences* 2014; 7(4): 1350068-1–1350068-6.
- [7] Pamornak B, Limsiroratana S, Chongcheawchamnan M. Oil content determination scheme of postharvest oil palm for mobile devices. *Biosystems engineering* 2015; 134:8-9.
- [8] Pamornak B, Pamornak S, Khaorapapong T, Chongcheawchamnan M, Ruckelshausen A. An automatic and rapid system for grading palm bunch using a Kinect

- camera. computers and Electronic in Agriculture 2017; 143: 227-237.
- [9] Martins BM, et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. Livestock Science 2020; 236:104054.
- [10] ปรีดีเปรม ทศนกุล. เอกสารคำแนะนำสำหรับชาวสวนยาง คู่มือการผลิตยางก้อนถ้วยคุณภาพดี. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: [https://www.raot.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=4911](https://www.raot.co.th/ewt_dl_link.php?nid=4911)
- [11] ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปลั่ง, จุฬวัญ ฝุ่นป่า, ศักดิ์นรินทร์ ตริ์ศูนย์ และ ประสิทธิ์ โสภา. การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 19, 26-27 เมษายน 2561, จังหวัดประจวบคีรีขันธ์; 2561.