การประมาณปริมาตรของมันสำปะหลังโดยใช้กล้อง RGB-D

น.ส.ชนิกานต์ บัญชาจารุรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาระบบกายภาพที่เชื่อมประสานด้วยเครือข่ายไซเบอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Volume estimation of cassava using RGB-D camera

Miss Chanikan Banchajarurat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Cyber-Physical System
Department of Mechanical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณปริมาตรของมันสำปะหลังโดยใช้กล้อง RGB-D
โดย	น.ส.ชนิกานต์ บัญชาจารุรัตน์
สาขาวิชา	ระบบกายภาพที่เชื่อมประสานด้วยเครือข่ายไซเบอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์ ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสิทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา พนมเชิง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสิทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กิตติกุล โกวิทางกูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิกานต์ บัญชาจารุรัตน์ : การประมาณปริมาตรของมันสำปะหลังโดยใช้กล้อง RGB-D. (Volume estimation of cassava using RGB-D camera) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์,ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสิทธิ์

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่ายและปลูกเป็นจำนวนมากในประเทศไทย เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการตรวจวัดคุณภาพมันสำปะหลังหลังการเก็บเกี่ยวจนไปถึงก่อนแปรรูปที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการวัดทางกลพื้นฐานและใช้ความรู้สึกของผู้ประเมินร่วมด้วย ทำให้มีโอกาสที่จะได้ผลประเมินที่ไม่เป็นความจริง วิทยานิพนธ์นี้เสนอแนวทางการตรวจวัดคุณภาพมันสำปะหลังในห่วงโซ่อุปทานโดยใช้กล้อง Kinect ซึ่งเป็นกล้อง RGB-D ถ่ายรูปภาพของหัวมันสำปะหลังเพื่อหาปริมาตรของมันสำปะหลัง การศึกษาทำโดยถ่ายภาพมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จำนวน 90 ตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาตรด้วยโปรแกรม MATLAB และใช้วิธีการประมาณปริมาตรมันสำปะหลัง 2 วิธีได้แก่ การประมาณปริมาตรโดยใช้ Depth image และการประมาณปริมาตรโดยใช้ Point Cloud image ทั้งสองวิธีการนี้มีพื้นฐานมาจากการหาปริมาตรของรูปทรงเรขาคณิต ผลการหาปริมาตรของมันสำปะหลังจากการประมาณด้วยวิธีการ depth image และวิธีการ point cloud image เมื่อนำมาพล็อตกับปริมาตรของมันสำปะหลังที่ได้จากวิธีการแทนที่น้ำให้ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 66.94 มิลลิลิตรและ 41.4 มิลลิลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 21.12 และ 13.06 ตามลำดับเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาตรของหัวมันสำปะหลังจากวิธีการแทนที่น้ำ และค่า R-squared ที่ได้จากการประมาณทั้งสองวิธีมีค่า 0.9561 และ 0.9626 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการประมาณปริมาตรหัวมันสำปะหลังด้วยวิธีการใช้รูป point cloud จะดีกว่าจากค่า R-squared ที่มากกว่าและค่า RMSE ที่น้อยกว่า ปริมาตรของมันสำปะหลังที่ประมาณด้วยรูปถ่ายนี้สามารถนำไปประยุกต์หาเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังได้

สาขาวิชา	ระบบกายภาพที่เชื่อมประสานด้วยเครือข่ายไซเบอร์	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

6270371721 : MAJOR CYBER-PHYSICAL SYSTEM
KEYWORD: Kinect, Volume, Cassava, Depth, Point cloud

Chanikan Banchajarurat : Volume estimation of cassava using RGB-D camera. Advisor: Assoc. Prof. CHANAT RATANASUMAWONG, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. Khwantri Saengprachatanarug, Ph.D., NATTAPOL DAMRONGPLASIT, Ph.D.

Cassava is an easy crop to grow and it is widely grown throughout Thailand. The instruments involved in the quality measurement of cassava after harvest to pre-processing currently rely on the use of basic mechanical instruments and on the assessor's judgement. Consequently, it is possible to receive an assessment that is inaccurate. This study proposed the feasibility of using a Kinect, which is an RGB-D camera, to measure the quality of cassava roots in a supply chain. Using 90 image samples taken from cassavas Kasetsart 50 variety, volume estimation of cassava was performed with MATLAB program. Two methods employed in the volume estimation are Depth image and Point Cloud image models, both of which are based on volume estimation of a geometrical-shaped object. When compared to the volume obtained from water displacement method, the volume estimated using depth image and point cloud image model yield an RMSE of 66.94 mL (21.12%) and 41.4 mL (13.06%), and an R-squared value of 0.9561 and 0.9626, respectively. Therefore, it is concluded that volume estimation of cassava using point cloud image model can provide better estimation with lower RMSE and higher R-squared value. Such volumetric estimation based on image data can later be used to determine the percentage of starch content in a cassava root.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Cyber-Physical System
Academic Year: 2020

Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Co-advisor's Signature .....
Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาของรองศาสตรจารย์ ดร.ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตรจารย์ ดร.ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์ และดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ เสนอแนวทาง ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณและความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

กราบขอบพระคุณ ดร.ณัฐพล ดำรงค์พลาสิทธิ์ ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษ กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.กฤษฎา พนมเชิง ประธานกรรมการสอบ และดร.กิตติกุล โกวิทางกร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้เสียสละเวลา ติดตาม และให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนครบถ้วนสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด และ บริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) ที่ให้แนวคิดและโจทย์ปัญหาจนเกิดเป็นงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.นัทที นิภานันท์ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับกล้อง Kinect และเอื้อเฟื้อให้ใช้กล้องในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณนายธนพร สิงห์ภู่ และห้องวิจัย Bio-Sensing and Field Robotic (BSFR) สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ช่วยจัดหา อำนวยความสะดวก เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ และแนะนำเกี่ยวกับมันสำปะหลังจนผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ CPS ที่ได้แลกเปลี่ยนข้อมูลตลอดการทำวิทยานิพนธ์ในการเรียนปริญญาโท

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยเสมอมา และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญุตาบูชาแด่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชนิกานต์ บัญชาจารุรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการทำงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 การสอบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การวัดประสิทธิภาพมันสำปะหลัง 5

2.2 การใช้กล้องในการเกษตร 9

2.3 อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง 14

บทที่ 3 การประมาณปริมาตรมันสำปะหลัง 18

3.1 การเก็บตัวอย่างและการหาปริมาตรจากการแทนที่ด้วยน้ำ 18

3.2 การออกแบบระบบในการถ่ายรูปและการเก็บข้อมูลรูปถ่าย 19

3.3 การแยกส่วนของภาพถ่ายมันสำปะหลัง 21

3.3.1 การแยกส่วนของภาพในรูป Depth 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 การแยกส่วนของภาพในรูป Point cloud 22
3.4 การประมาณปริมาตรมันสำปะหลังจากรูปถ่าย 24
3.4.1 การประมาณปริมาตรโดยใช้รูป Depth 25
3.4.2 การประมาณปริมาตรโดยใช้รูป Point cloud 26
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 29
4.1 ผลการแยกส่วนของภาพถ่ายมันสำปะหลัง 29
4.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีการหาปริมาตรด้วยการประมาณปริมาตรโดยใช้ Depth image และการประมาณปริมาตรโดยใช้ Point cloud image 32
4.3 การอภิปรายผล 33
4.3.1 ปัจจัยของวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth 34
4.3.2 ปัจจัยของวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud 38
4.3.3 ปัจจัยของการหาปริมาตรจากการแทนที่น้ำ 39
4.3.4 ปัจจัยของข้อมูลรูปจากกล้อง Kinect 40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการหาปริมาตร 42
5.2 การเชื่อมโยงไปสู่เปอร์เซ็นต์แป้ง 43
5.3 ข้อเสนอแนะอื่น 44
บรรณานุกรม 45
ภาคผนวก 47
ประวัติผู้เขียน 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง 7

ตารางที่ 2 รายละเอียดของกล้อง KINECT 15

ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ 18

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่า t-test ระหว่างวิธีการการหาปริมาตรมันสำปะหลังโดย Depth image และ Point cloud image กับวิธีการแทนที่น้ำ 33

ตารางที่ 5 ข้อมูลของผลต่างของปริมาตรจากการประมาณกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำ 37

ตารางที่ 6 ปริมาตรหัวมันสำปะหลังที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ และลักษณะของหัวมันสำปะหลัง 39

ตารางที่ 7 ปริมาตรของมันสำปะหลังที่ได้จากการแทนที่น้ำในรูปแบบต่าง ๆ 40

ตารางที่ 8 ขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมด้วยการวัดจริงและด้วยการวัดจากรูป Point cloud 41

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ในการถ่ายรูปและวิเคราะห์ปริมาตรของมันสำปะหลัง 42

ตารางที่ 10 ตัวอย่างผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง 1

รูปที่ 1.2 ห่วงโซ่อุปทานของมันสำปะหลัง 3

รูปที่ 2.1 กองหัวมันสำปะหลัง (ก) หัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนมาก (ข) หัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนน้อย (สงคศิริ ว., 2559, สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม.) 6

รูปที่ 2.2 ภาพเครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้ง (Service, D. o. S. (1981).)..... 6

รูปที่ 2.3 ภาพคานของเครื่องชั่งที่มีมาตรเทียบปริมาณแป้ง (ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์) (Service, D. o. S. (1981).)..... 6

รูปที่ 2.4 เครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมัน (สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, 2559, กรมการค้าภายใน) 7

รูปที่ 2.5 หั่นเป็นชิ้นแล้วนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นจากนั้นนำไปกรองเอาน้ำออก (ฉ่ำสิงห์, 2556, กรมวิชาการเกษตร) 8

รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้งของ ฉ่ำสิงห์ [5]..... 9

รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้งของ Boothb [8] 9

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างระบบการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ (Koc, A. B. (2007))..... 10

รูปที่ 2.9 รูปตัวอย่างการประมวลผลภาพ (a) รูปที่ถ่ายมาได้ (b) รูปเทา (c) รูปขาวดำ (d) ขอบ (Koc, A. B. (2007))..... 10

รูปที่ 2.10 การใช้ Disk method เพื่อหาปริมาตร (Koc, A. B. (2007))..... 11

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการหาปริมาตรของมันฝรั่ง (ก) รูปสามมิติแสดงด้านบนและด้านล่างของมันฝรั่ง (ข) รูปของมันฝรั่งที่มีรูปร่างไม่ปกติ (Long, Y., et al. (2018).)..... 12

รูปที่ 2.12 การหาปริมาตรหัวหอม (ก) ขั้นตอนการหารูป Projection (ข) การใช้รูปทรงรีหาปริมาตรที่แท้จริงของหัวหอม (Wang, W. L., Changying (2014).)..... 13

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของหัวมันสำปะหลัง (ก) จากกรมวิชาการเกษตร [13] (ข) จาก Fukuda [14]..... 13

รูปที่ 2.14 กล้อง KINECT 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.15 การถ่ายรูป Depth ในการหาขนาดของเอว (ก) การถ่ายเอวด้านหน้า (ข) การถ่ายเอวด้านหลัง (Seo, D., et al. (2020).) 16

รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการประมวลผลรูปภาพ (ก) การเปรียบเทียบรูปภาพ (ข) การดึงส่วนที่ต้องการออกจากรูป (Muhammad Towhidur Rahman¹ (2020).) 16

รูปที่ 2.17 ตัวอย่างรูปภาพการหาเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีเขียว (ก) การเปรียบเทียบหาตำแหน่ง (ข) รูป grayscale (ค) รูปการณ์ทำ threshold (Muhammad Towhidur Rahman¹ (2020).) 17

รูปที่ 3.1 กระบวนการหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ (ก) การวัดความยาวและติดหมายเลข (ข) การเตรียมตัวอย่างในถุงสุญญากาศ (ค) การหาปริมาตรของตัวอย่างโดยการแทนที่น้ำ 19

รูปที่ 3.2 รูปเสมือนอธิบายการเก็บข้อมูลรูปถ่าย (ก) แสดงระบบการถ่ายรูป (ข) แสดงขนาดของฐานและการหา Pixel resolution 20

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างรูปที่ถ่ายได้และแนวการถ่ายรูป 20

รูปที่ 3.4 ระบบการเก็บข้อมูลรูปถ่าย 20

รูปที่ 3.5 ภาพของมันสำปะหลังแบบ RGB และ Depth ซ้อนกัน 21

รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการตรวจจับรูปที่มีหลายวัตถุที่สนใจ 22

รูปที่ 3.7 รูป Point cloud (ก) Point cloud ของมันสำปะหลังที่มีพื้นหลัง (ข) Point cloud ของมันสำปะหลังที่ตัดพื้นหลังออกแล้ว 23

รูปที่ 3.8 แสดงการแยกรูป Point cloud ของหัวมันสำปะหลังสามหัวที่ไม่ซ้อนทับกัน 23

รูปที่ 3.9 แสดงการแบ่งรูป Point cloud และรวมกลับมาเป็นรูปเดียวกัน 24

รูปที่ 3.10 กองของหัวมันสำปะหลัง 25

รูปที่ 3.11 การหมุนรูป Depth ที่ทำ Image segmentation แล้ว (ก) รูป Depth จากการประมวลผลภาพ (ข) รูป Depth ที่ถูกหมุนให้ขนานกับแกน X 25

รูปที่ 3.12 การหมุนรูปภาพ (ก) พิกเซลของรูปและวงรีที่ถูกจำลองขึ้น (ข) เส้นสีน้ำเงินเป็นแกนของวงรีที่ถูกจำลองขึ้นและเส้นประสีน้ำเงินเป็นแกนแนวนอน (ค) รูปมันสำปะหลังที่นำพื้นหลังออกแล้ว (ง) วงรีที่สร้างขึ้นจากรูปของมันสำปะหลัง 25

รูปที่ 3.13 การคำนวณปริมาตรหัวมันสำปะหลังโดย Disk Method 26

รูปที่ 3.14 ภาพอธิบายการประมาณปริมาตรโดยใช้รูป point cloud (ก) ภาพแสดงทิศทางของกล้อง KINECT (ข) ภาพแสดงการแทนจุด Point cloud ให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยม 27

รูปที่ 3.15 การคำนวณค่าสัดส่วนแบบทรงรีเพื่อประมาณปริมาตรมันสำปะหลัง 28

รูปที่ 4.1 ฮิสโตแกรมของปริมาตรมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัย 29

รูปที่ 4.2 แสดงการแยกรูป Depth ของมันสำปะหลังจำนวนสองหัวออกจากกัน 30

รูปที่ 4.3 แสดงการแยกรูป Depth ของมันสำปะหลังจำนวนสามหัวออกจากกัน 30

รูปที่ 4.4 แสดงการแยกรูป Point Cloud ของหัวมันสำปะหลังจำนวนสองหัวออกจากกัน 31

รูปที่ 4.5 แสดงการแยกรูป Point Cloud ของหัวมันสำปะหลังจำนวนสามหัวออกจากกัน 31

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาตรของหัวมันสำปะหลังระหว่างวิธีแทนที่น้ำกับอีกสองวิธีที่ใช้ในการประมาณ (ก) ปริมาณมันสำปะหลังโดยวิธีการจากรูป Depth (ข) ปริมาณมันสำปะหลังโดยวิธีการจาก Point cloud 32

รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของมันสำปะหลัง (ก) มันสำปะหลังที่มีลักษณะงอตัว (ข) มันสำปะหลังที่มีลักษณะค่อนข้างตรง 34

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างมันสำปะหลังในรูปร่างต่าง ๆ (ก) รูปทรงกรวย (ข) รูปทรงกรวยแกมกระบอก (ค) รูปทรงกระบอก (ง) รูปผสม 35

รูปที่ 4.9 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย 35

รูปที่ 4.10 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวยแกมกระบอก 35

รูปที่ 4.11 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก 36

รูปที่ 4.12 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นแบบผสม 36

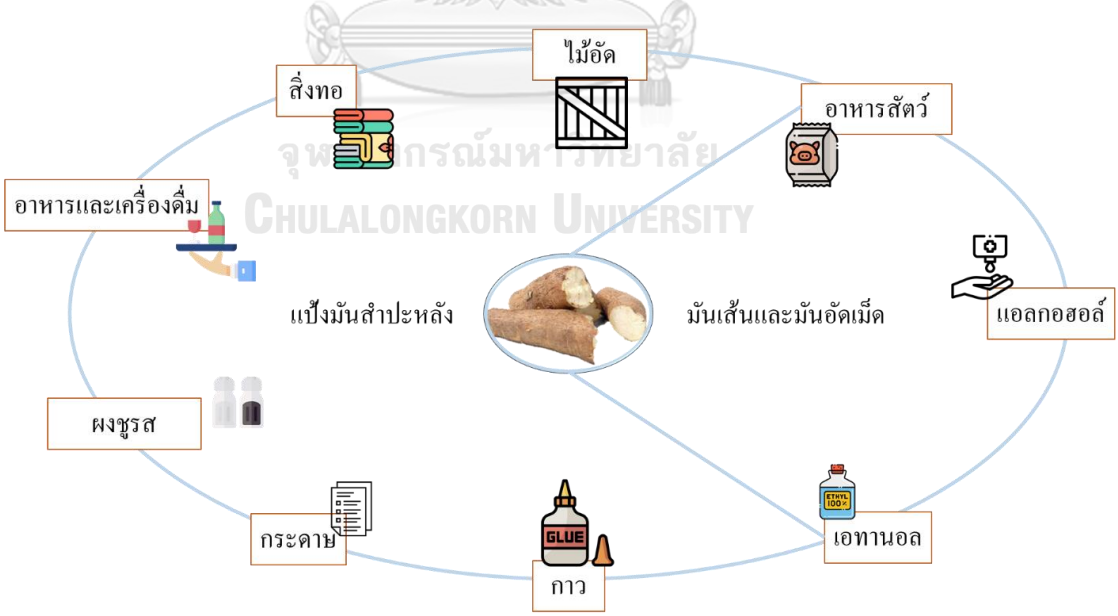
รูปที่ 4.13 การคำนวณค่าคูณเพื่อหาปริมาตรของมันสำปะหลังรูปแบบทรงกระบอก 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่ายและปลูกเป็นจำนวนมากในประเทศไทย แนวโน้มความต้องการผลผลิตที่ได้จากมันสำปะหลังมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่มันสำปะหลังจะถูกนำไปแปรรูปเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลังเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลายประเภทดังแสดงในรูปที่ 1.1 เช่น มันเส้นและมันอัดเม็ดจะนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ แอลกอฮอล์และเอทานอล ในส่วนของแป้งมันสำปะหลังจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการทำกระดาษ ไม้อัด สารให้ความหวาน และกาว เป็นต้น ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์รายงานปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารในปี พ.ศ. 2562 ว่ามันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมีการส่งออกรวมเป็นมูลค่า 55,924,782,992 บาท ซึ่งถ้ามองในสินค้าเกษตร การส่งออกของมันสำปะหลังเป็นรองเพียงข้าวและอ้อยเท่านั้น และจากรายงานปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2562 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังถูกส่งออกเป็นมูลค่า 23,860,909,231 บาท [1] จะเห็นได้ว่าสินค้าจากมันสำปะหลังถูกส่งออกเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ มันสำปะหลังจึงถือว่าเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย



รูปที่ 1.1 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

ขั้นตอนและวิธีการการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังจนไปถึงการแปรรูปมันสำปะหลังจะส่งผลต่อคุณภาพ คุณสมบัติ และปริมาณของผลผลิต จึงต้องมีกรรมวิธีในการดูแลหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้มัน

สำปะหลังมีมูลค่าสูงขึ้น เริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยว เกษตรกรต้องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่มีอายุเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ปลูกเพื่อจะได้ปริมาณแป้งที่ดี วิธีการเก็บเกี่ยวต้องเหมาะสมและไม่ทำให้หัวมันสำปะหลังได้รับความเสียหายมากจนเกินไป เมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จเกษตรกรจะรวบรวมผลผลิตและนำไปจำหน่ายให้กับลานรับซื้อหรือโรงงานทันที การซื้อขายมันสำปะหลังจะดูที่เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันเป็นหลัก ถ้าเปอร์เซ็นต์แป้งสูงจะได้ราคาดี แต่จะถูกหักราคาเมื่อมีสิ่งเจือปนติดมาด้วยมากกว่าปกติ การตีราคามันสำปะหลังจะทำโดยการสุ่มวัดมันสำปะหลังจากคันรถเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 5 กิโลกรัม มันสำปะหลังที่สุ่มออกมาจะถูกประเมินสิ่งเจือปนด้วยประสบการณ์ของผู้ซื้อ และถูกวัดเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยการนำไปชั่งน้ำหนักในน้ำและอ่านค่าจากมาตรเทียบเปอร์เซ็นต์แป้ง หลักการของมาตรวัดดังกล่าวคือ หัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูงเมื่อชั่งในน้ำจะมีน้ำหนักมาก หรือก็คือปริมาณของน้ำในหัวมันน้อย ในทางกลับกันหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งต่ำจะมีน้ำหนักน้อยเมื่อชั่งในน้ำเพราะปริมาณน้ำในหัวมันเยอะ หลังจากการซื้อขายเสร็จสิ้นแล้วลานมันหรือโรงงานจะนำมันสำปะหลังไปจัดการตามกระบวนการของประเภทโรงงานนั้น ๆ ทันที เช่น การแปรรูปเป็นมันเส้นจะต้องทำความสะอาดหัวมันก่อน จากนั้นนำหัวมันที่สะอาดแล้วเข้าเครื่องหั่นเป็นชิ้น ๆ แล้วนำไปตากแดดเพื่อส่งขายให้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ต่อไป เป็นต้น ระยะเวลาของหัวสดจนไปถึงการแปรรูปนั้นต้องทำภายใน 3 วัน ไม่เช่นนั้น น้ำหนักจะเริ่มลดลง เชื้อจุลินทรีย์จะเข้าไปทำลาย ปริมาณหัวเน่าจะมากขึ้น ปริมาณแป้งและคุณภาพแป้งจะลดลง ถือเป็นการสูญเสียผลผลิตโดยไม่เกิดประโยชน์ [2]

เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับมันสำปะหลังหลังการเก็บเกี่ยวจนไปถึงก่อนแปรรูปที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ตาชั่งเพื่อชั่งน้ำหนัก และเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้งที่ใช้หลักการชั่งหัวมันสำปะหลังในน้ำและในอากาศ จะเห็นได้ว่าทั้งสองเครื่องมือเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการวัดทางกลที่ให้ผลการวัดมาอย่างรวดเร็วแต่ก็มีช่องทางหรือโอกาสที่ทำให้ได้ค่าที่ไม่เป็นความจริงอยู่เนื่องจากมีความรู้สึกของผู้วัดร่วมด้วย ซึ่งเป็นการเอาเปรียบต่อเกษตรกร และจะเห็นได้ว่ามีเครื่องมือน้อยมากที่ใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของมันสำปะหลังถ้าเทียบกับสินค้าเกษตรอย่างอื่น เช่น ข้าวมีเครื่องวัดความชื้น มีเครื่องกะเทาะเปลือก มีเครื่องเป่าเม็ดลีบออก เพื่อประเมินคุณภาพข้าวออกมาเป็นราคา เป็นต้น ดังนั้นการประเมินราคาในมันสำปะหลังจากเครื่องมือวัดอันเดียวอาจมีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอ

การมีเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดคุณภาพจะช่วยให้จัดการกับผลผลิตได้ดีขึ้น เช่น เมื่อนำเครื่องมือมาวัดและหาช่วงเวลาที่ผลผลิตจะเสื่อมสภาพได้ก็จะสามารถวางแผนในการขนส่งและจัดการกับผลผลิตได้ในเวลาที่เหมาะสม เช่นเดียวกับมันสำปะหลังที่จะเริ่มเสื่อมสภาพหรือเน่า 1-3 วันหลังเก็บเกี่ยว หรือมีมันสำปะหลังที่เน่าปะปนมาในกองก็จะทำให้หัวมันที่อยู่รอบข้างเน่าเร็วขึ้น เปอร์เซ็นต์แป้งก็จะน้อยลง [3] หากสามารถนำมันสำปะหลังไปแปรรูปขณะที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งที่ดีที่สุดได้ถือเป็นการจัดการที่มีประสิทธิภาพ และเครื่องมือนี้ยังสามารถเป็นเกณฑ์มาตรฐานการวัดเพื่อบ่งชี้ราคาได้อีกด้วย รูปที่ 1.2 แสดงห่วงโซ่อุปทานของมันสำปะหลัง การใช้กล้องเพื่อเป็นเครื่องมือ

ตรวจสอบคุณภาพของมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ระหว่างขั้นตอนที่ 1 และ 2 ได้ เนื่องจากกล้องจะเก็บข้อมูลได้รวดเร็ว สามารถรู้ผลได้ทันที และน่าเชื่อถือกว่าวิธีการในปัจจุบัน

รูปที่ 1.2 ห่วงโซ่อุปทานของมันสำปะหลัง

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเสนอแนวทางการตรวจวัดคุณภาพมันสำปะหลังในห่วงโซ่อุปทานโดยใช้กล้อง RGB-D เพื่อหาปริมาตรของมันสำปะหลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ประมาณปริมาตรมันสำปะหลังจากข้อมูลรูปถ่าย RGB-D ที่มีมันสำปะหลัง 1-3 หัวและวางตัวแบบไม่ซ้อนทับกัน

2. ใช้โปรแกรม MATLAB หรือโปรแกรมอื่น ๆ สำหรับการจัดการรูปภาพจากกล้อง KINECT และวิเคราะห์เพื่อหาปริมาตรของมันสำปะหลัง

3. ใช้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่มีความหลากหลายทางรูปทรง

1.4 ขั้นตอนการทำงาน

1. ศึกษาขั้นตอนและรูปแบบการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง การรวบรวม และการขนส่งมันสำปะหลังของเกษตร จนไปถึงการซื้อขายมันสำปะหลัง ณ ลานรับซื้อ

2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้กล้องในการเกษตร

3. ศึกษาวิธีการใช้กล้องที่มีเซนเซอร์ความลึกกับโปรแกรม MATLAB

4. ออกแบบวิธีการและระบบการเก็บรูปภาพ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ ข้อมูลที่จะเก็บจากตัวอย่าง และเก็บข้อมูลมา

5. นำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาตรด้วยโปรแกรม MATLAB เปรียบเทียบ วิธีการประมาณปริมาตรโดยใช้รูป Depth และการประมาณปริมาตรโดยใช้รูป Point cloud กับวิธีการหาปริมาตรจากการแทนที่น้ำ

6. ตรวจสอบความถูกต้องและปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์

7. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และเตรียมการนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ปริมาตรของมันสำปะหลังจากการใช้กล้อง
- ได้เครื่องมือหรือวิธีการเพื่อหาปริมาตรมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ข้อมูลนี้ในการตรวจวัดคุณภาพของมันสำปะหลังในห่วงโซ่อุปทาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2 การสอบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

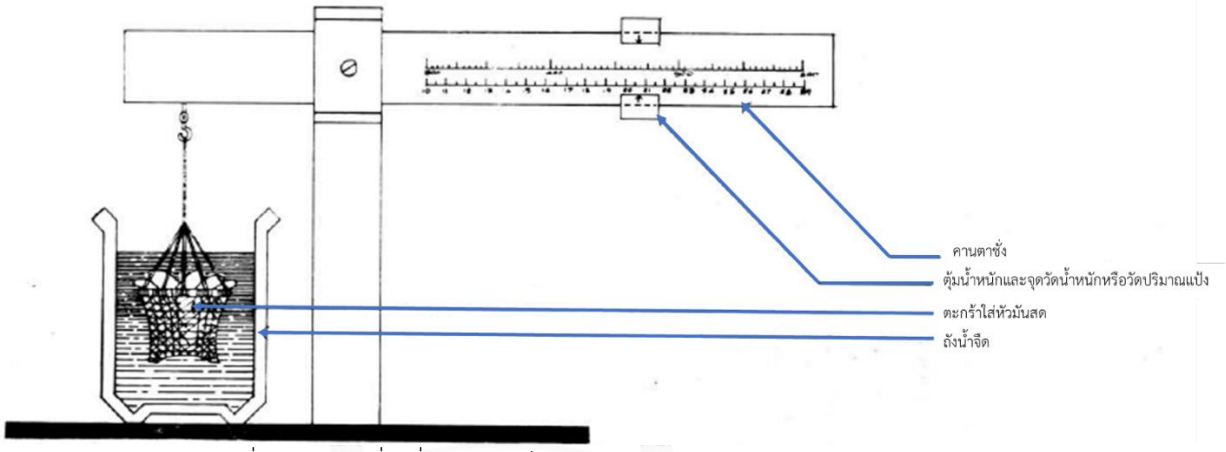
2.1 การวัดประสิทธิภาพมันสำปะหลัง

ประสิทธิภาพของมันสำปะหลังสามารถประเมินได้จากปริมาณหัวมันสำปะหลังซึ่งก็คือน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังหาโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง และคุณภาพของมันสำปะหลังซึ่งดูได้จากปริมาณแป้ง ปริมาณสิ่งเจือปน และความสด [4] งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการวัดคุณภาพมันสำปะหลังที่ใช้ในการซื้อขายหัวมันสำปะหลังสดที่ลานมันในปัจจุบัน อย่างที่ได้เกริ่นนำไปในบทที่หนึ่งนั้น มันสำปะหลังมีการประเมินคุณภาพสองสิ่งเป็นหลักคือการประเมินสิ่งเจือปนและการประเมินเปอร์เซ็นต์แป้ง ส่วนการดูความสดจะดูที่สีและเนื้อสัมผัสของมันสำปะหลัง การประเมินสิ่งเจือปนจะเป็นการประเมินลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ เช่น ดิน หิน เหง้า หรือสิ่งแปลกปลอมอย่างอื่นที่ติดมาแสดงในรูปที่ 2.1 การที่มีสิ่งเจือปนเหล่านี้จะทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณแป้งยังคงเท่าเดิม เปอร์เซ็นต์แป้งจะส่งผลในกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลังดิบ(Native Starch) หรือแป้งมันสำปะหลังแปรรูป(Modify Starch) ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เปอร์เซ็นต์แป้งจึงเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของมันสำปะหลังที่สำคัญ [5] ในส่วนของการประเมินเปอร์เซ็นต์แป้งจะมีวิธีการหาอยู่หลายวิธี เช่น การหาเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยวิธีของ Krochmal และ Kilbride ซึ่งจะนำหัวมันสำปะหลังไปสับ บด ปั่น นำน้ำออกและอบให้แห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก การหาเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยวิธี Polarimetric เป็นวิธีการที่ใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ไปถึงองค์ประกอบของสารทำให้ใช้เวลานานกว่าจะรู้ผล [6] เป็นต้น แต่การหาเปอร์เซ็นต์แป้งที่ใช้ที่ลานรับซื้อจะต้องเป็นวิธีที่วัดแล้วรู้ผลได้ทันที สะดวก ง่าย มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับ วิธีที่ใช้ในปัจจุบันก็คือวิธีชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบ Reimann scale ซึ่งมีลักษณะและส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 2.2 ประกอบไปด้วยคานตาชั่ง ตุ้มน้ำหนักและจุดวัดน้ำหนัก ตะกร้า และถังน้ำจืด คานตาชั่งจะมีมาตรวัดเทียบจากน้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์แป้งดังแสดงในรูปที่ 2.3 และรูปจริงของเครื่องชั่งนี้แสดงในรูปที่ 2.4 วิธีของเครื่องชั่งนี้จะทำให้หาเปอร์เซ็นต์แป้งและคิดราคาซื้อขายหัวมันสำปะหลังได้ทันที

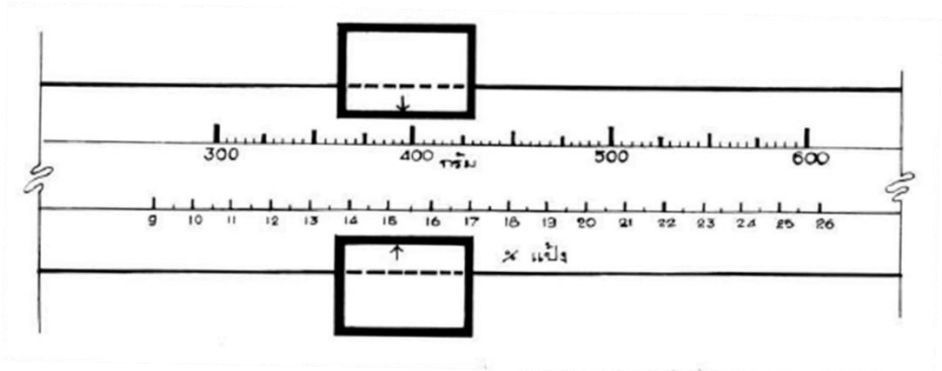
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 กองหัวมันสำปะหลัง (ก) หัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนมาก (ข) หัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนน้อย (สงคศิริ ว., 2559, สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม.)



รูปที่ 2.2 ภาพเครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้ง (Service, D. o. S. (1981).)



รูปที่ 2.3 ภาพคานของเครื่องชั่งที่มีมาตรเทียบปริมาณแป้ง (ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์) (Service, D. o. S. (1981).)

รูปที่ 2.4 เครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมัน (สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, 2559, กรมการค้าภายใน)

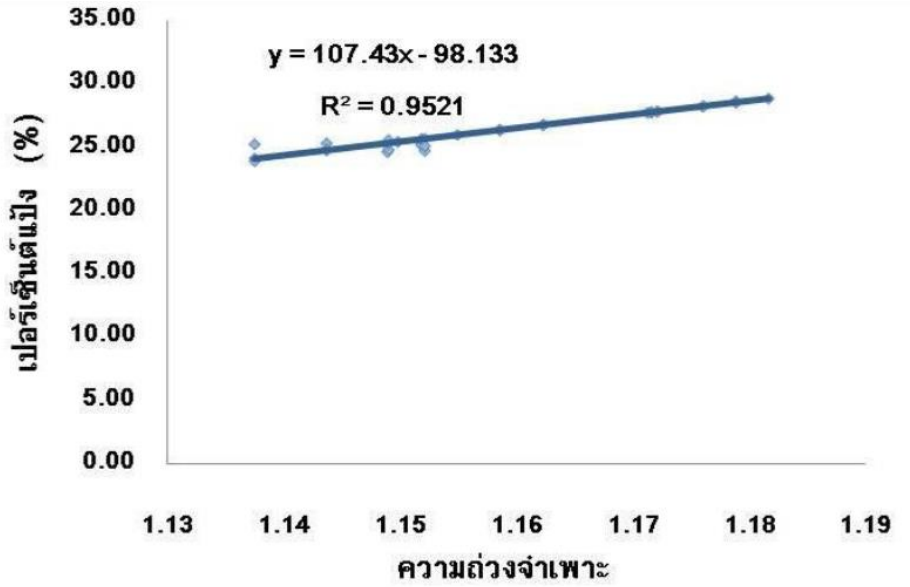
เครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันแบบ Reimann scale จะหาค่าเปอร์เซ็นต์แป้งโดยใช้หลักการของ Reimann scale ในการแปลงค่าความถ่วงจำเพาะของหัวมันสำปะหลังสดเป็นค่าปริมาณแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธีนี้จะใช้ตัวอย่างหัวมันสำปะหลังจำนวน 5 กิโลกรัมต่อครั้ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างนี้ในอากาศและในน้ำและอ่านมาตรเทียบปริมาณแป้งออกมา องค์ประกอบหลักในหัวมันสำปะหลังจะประกอบไปด้วยน้ำ เปลือก เนื้อ(แป้ง) และไซยาไนด์ แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าหัวมันสำปะหลังจะประกอบไปด้วยแป้งและน้ำเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูงเมื่อชั่งในน้ำจะมีน้ำหนักมาก หรือก็คือปริมาณของน้ำในหัวมันน้อย ในทางกลับกันหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งต่ำจะมีน้ำหนักน้อยเมื่อชั่งในน้ำเพราะปริมาณน้ำในหัวมันเยอะ [7]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง

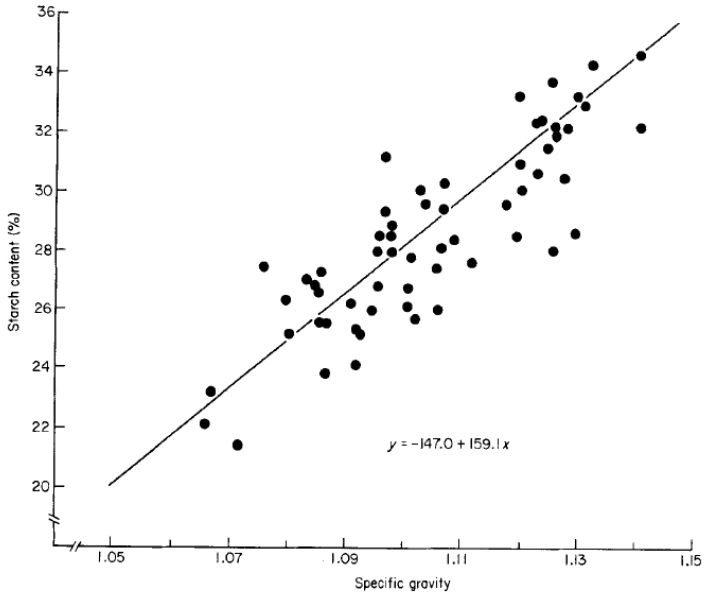
องค์ประกอบในหัวมัน	**ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักหัวมัน)**
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อ(แป้ง)	25.87-41.88
ไซยาไนด์	2.85-39.27

หลักการของ Reimann scale ในการแปลงค่าความถ่วงจำเพาะของหัวมันสำปะหลังสดเป็นค่าปริมาณแป้งมันสำปะหลังได้ถูกใช้มายาวนานและเป็นที่ยอมรับในการใช้ซื้อขายหัวมันสำปะหลังในระดับสากล นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งกับความถ่วงจำเพาะของมันสำปะหลัง จะมีวิธีการคล้าย ๆ กันคือ ชั่งมันสำปะหลังหาค่าความถ่วงจำเพาะแล้วนำมันสำปะหลังมาหั่น ปั่น กรอง และอบเพื่อจะหาเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังแสดงดังรูปที่ 2.5 ในรูปที่ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังของ ฉ่ำสิงห์ [5] จะได้สมการ y = 107.43x - 98.133 มีช่วงความถ่วงจำเพาะที่ 1.13 - 1.19 และรูปที่ 2.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังของ Boothb [8] สมการที่ได้จากกราฟคือ Y = 159.1X-147.0 มีช่วงความถ่วงจำเพาะที่ 1.066 – 1.140 ดังนั้นหากทราบปริมาตรหัวมันสำปะหลังแล้วจะสามารถนำไปหาค่าความถ่วงจำเพาะและประมาณค่าเปอร์เซ็นต์แป้งได้ต่อไป อย่างไรก็ตามสมการจากงานวิจัยดังกล่าวมีตัวอย่างและเงื่อนไขที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการนำผลของงานวิจัยเหล่านี้ไปใช้จึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบกับงานที่จะเอาไปใช้ให้ดีก่อน

รูปที่ 2.5 หั่นเป็นชิ้นแล้วนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นจากนั้นนำไปกรองเอาน้ำออก (ฉ่ำสิงห์, 2556, กรมวิชาการเกษตร)



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้งของ ฉ่ำสิงห์ [5]

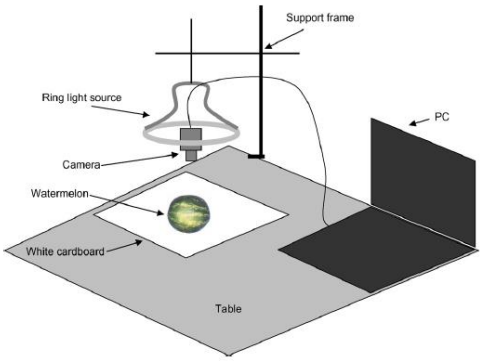


รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์แป้งของ Boothb [8]

2.2 การใช้กล้องในการเกษตร

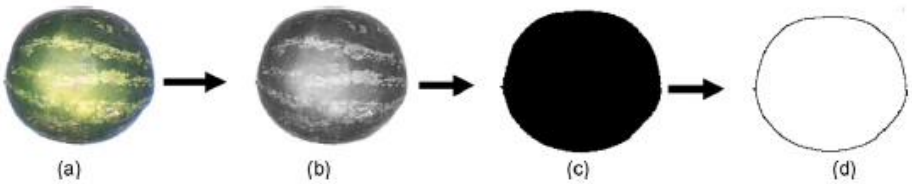
ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการเกษตรมากขึ้น การใช้กล้องถือเป็นอีกเครื่องมือที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้กล้องเพื่อมาหาตำแหน่งของผลไม้ที่อยู่บนต้น ใช้กล้องเพื่อตรวจดูความสุกของผลไม้ ใช้กล้องดูผิวภายนอกแล้ววิเคราะห์โรคของผลไม้ รวมไปถึงใช้กล้องเพื่อหาขนาดของผลไม้ [9] การหาขนาดทำให้วางแผนการตลาดได้ถูกต้อง เป็นการเพิ่มมูลค้าให้ตัวสินค้า สามารถ

วางแผนการเจริญเติบโตของผลผลิต วางแผนเรื่องบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง ในรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงระบบการเก็บข้อมูลรูปภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์หาสิ่งที่ต้องการ ระบบจะมีส่วนประกอบหลักคือ กล้อง แสงสว่าง ตัวยึด และฐานรอง ขึ้นอยู่กับการออกแบบในแต่ละการทดลอง เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วจะนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังจะยกตัวอย่างต่อไป



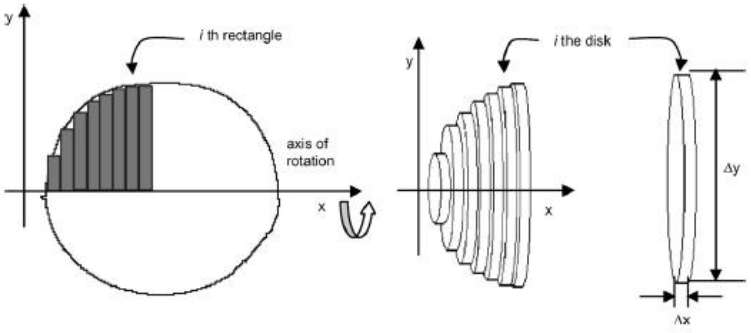
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างระบบการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ (Koc, A. B. (2007))

จากการศึกษาของ Koc [10] การหาปริมาตรแตงโมโดยใช้การประมาณรูปร่างเป็นทรงรีและการประมวลผลภาพ แตงโม 15 ลูก ถูกนำมาทดสอบหาปริมาตร แตงโมทั้งหมดมีน้ำหนักในช่วง 3.775 ถึง 9.480 กิโลกรัม ขั้นตอนการหาปริมาตรเริ่มจากวัดขนาดแตงโมทั้งหมดด้วยคาลิปเปอร์ จากนั้นแตงโมจะถูกชั่งน้ำหนักด้วยตราชั่งดิจิตอลและนำไปหาปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ ระบบการถ่ายรูปประกอบไปด้วย กล้อง CMOS หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 32W และคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ตัวอย่างถูกถ่ายรูปจากด้านบนหนึ่งรูปจากนั้นพลิกด้านแตงโมแล้วถ่ายอีกหนึ่งรูป รูปภาพที่ได้ถูกเปลี่ยนเป็น Eight-bit grayscale image ใช้ค่าที่ตั้งไว้เลือกเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการ(Threshold) และเปลี่ยนให้เป็นรูปขาวดำ(Binary Image) จากนั้นจึงใช้เทคนิคตรวจจับขอบ(Edge detection technique) เพื่อหาขอบในแต่ละรูป วิธีการแสดงในรูปที่ 2.9 ทุกรูปจะถูกบันทึกให้อยู่ใน Bitmap file ยกเว้นรูปขอบของแตงโมจะถูกบันทึกอยู่ใน Text file เพื่อจะลดขนาดข้อมูลและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลลง เมื่อได้รูปของแตงโมแล้วพิกเซลในแนวยาวและกว้างถูกนับจากรูปถ่ายเพื่อหาสัดส่วน (Ratio) ในการคำนวณ



รูปที่ 2.9 รูปตัวอย่างการประมวลผลภาพ (a) รูปที่ถ่ายมาได้ (b) รูปเทา (c) รูปขาวดำ (d) ขอบ (Koc, A. B. (2007))

การประมาณปริมาตรแตงโมในการศึกษานี้มีสองวิธี วิธีแรกการประมาณปริมาตรแตงโมโดยการประมาณเป็นวงรีมีหลักการคือแตงโมแต่ละลูกถูกพิจารณาเป็นวงกลมที่มีปริมาณ $V = \frac{\pi L D_1 D_2}{6}$ โดย L คือความยาวของรูปทรงรี D_1 คือความยาวในแกนนอน D_2 คือความยาวในแกนตั้ง วิธีการที่สองคือการประมาณปริมาตรโดยการประมวลผลภาพ ทำโดยใช้รูปขอบมาคำนวณปริมาตรด้วย Disk method ให้ขอบของรูปแทนผลรวมของแผ่นที่มีความหนามารวมกัน แสดงในรูปที่ 2.10 แผ่นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง Δy ปริมาตรของแผ่นคือพื้นที่หน้าตัด (A_i) ซึ่งเป็นวงกลมคูณด้วยความหนา (Δx) ใช้โปรแกรม Labview เพื่อคำนวณหาปริมาตรให้ความหนาคือ 1 พิกเซล [10] ผลที่ได้จากสมมติฐานค่าเฉลี่ยความแตกต่าง t-test วิธีการประมวลผลภาพดีกว่าวิธีการประมาณเป็นทรงรี วิธีการประมวลภาพให้ปริมาตรที่มีนัยสำคัญไม่แตกต่างจากปริมาตรโดยวิธีการแทนที่น้ำ



รูปที่ 2.10 การใช้ Disk method เพื่อหาปริมาตร (Koc, A. B. (2007))

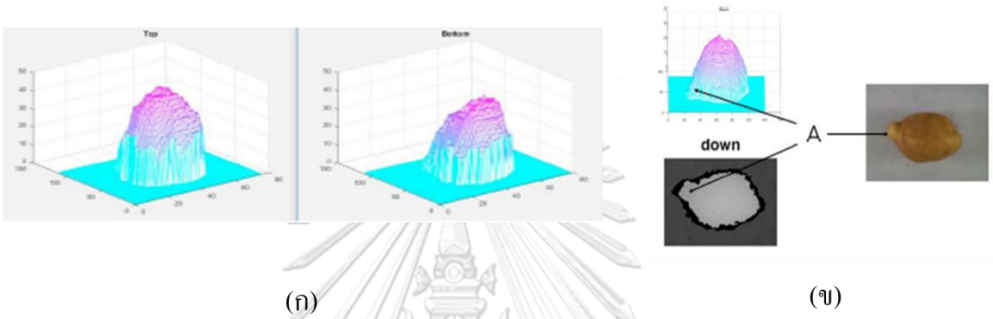
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาของ Long, Wang [11] การวัดปริมาตรมันฝรั่งโดยใช้กล้อง RGB-D ใช้วิธีการคิดปริมาตรจากรูปที่มีข้อมูลความลึกหรือรูป Depth มันฝรั่งจำนวน 120 ลูก แบ่งเป็นรูปร่างปกติหรือที่มีลักษณะดีเป็นทรงกลมและรูปร่างไม่ปกติหรือรูปร่างไม่เป็นทรงกลมอย่างละครึ่ง การประมวลผลภาพความลึกจะแบ่งเป็นภาพ 2 ภาพคือมันฝรั่งด้านบนและมันฝรั่งด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 2.11 เมื่อได้ภาพมาจะทำการคำนวณตามสมการที่ 2.1 โดยที่ $H(\mathrm{x},\mathrm{y})$เป็นความสูงของพื้นที่ที่สนใจหรือความสูงของแต่ละจุดจากพื้น Hmin เป็น $H(\mathrm{x},\mathrm{y})$ ที่น้อยที่สุด นำมาลบกันเพื่อจะคิดผลแค่ครึ่งเดียว ผลคูณของพื้นที่(M) และค่าความสูงจะเป็นปริมาตรของแต่ละพิกเซล และผลการคำนวณของภาพมันฝรั่งด้านบนบวกกับผลของภาพมันฝรั่งด้านล่างเป็นปริมาตรทั้งหมด ดังสมการที่ 2.2 ปริมาตรที่ได้จากการประมาณโดยใช้กล้อง RGB-D จะนำไปเปรียบเทียบกับการหาปริมาตรจริงของมันฝรั่งซึ่งจะหา

จากปริมาตรน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังใส่มันฝรั่งให้จมน้ำ[1] ผลที่ได้คือปริมาตรจากการประมาณมีค่าน้อยกว่าปริมาตรจากการแทนที่น้ำ (%error = 9)

$$V = \sum_x \sum_y (H(x,y) - Hmin) * M \qquad (2.1)$$

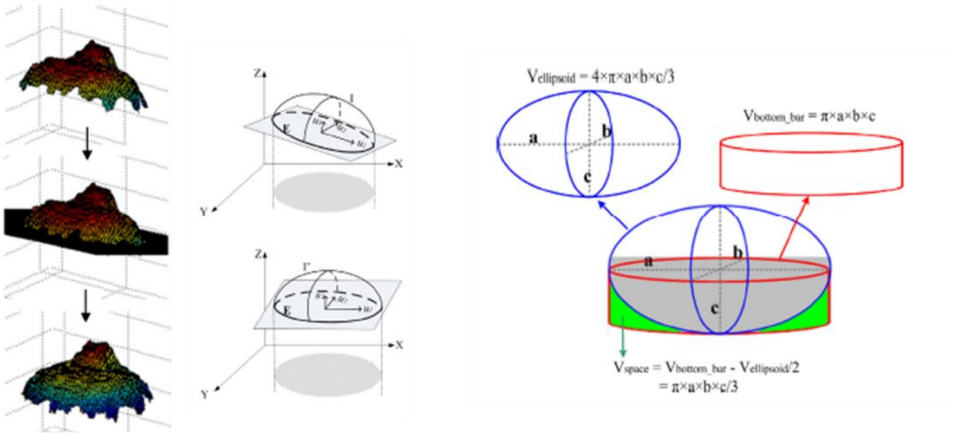
$$V_{total} = V_{top} + V_{bottom} \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการหาปริมาตรของมันฝรั่ง (ก) รูปสามมิติแสดงด้านบนและด้านล่างของมันฝรั่ง (ข) รูปของมันฝรั่งที่มีรูปร่างไม่ปกติ (Long, Y., et al. (2018).)

การศึกษาของ Wang [12] เรื่องการประเมินขนาดของหัวหอมหวานโดยใช้เซ็นเซอร์ RGB-D ขนาดของหัวหอมหวานที่กล่าวในการศึกษานี้ประกอบไปด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง ปริมาตร และความหนาแน่น ใช้หัวหอมหวาน 80 ตัวอย่างโดยแบ่งเป็นสายพันธุ์พื้นเมือง 2 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 40 ตัวอย่าง หาปริมาตรหัวหอมหวานโดยการแทนที่น้ำ ตัวอย่างจะถูกถ่ายรูปทั้งหมด 6 รูปแบ่งเป็นฝั่งด้านบน 3 รูป และด้านล่างอีก 3 รูปโดยหมุนอย่างสุ่ม การหาปริมาตรเริ่มจากเอาพิกเซลที่ไม่ดีออกจากรูป Depth จากนั้นลบพื้นหลังออกแล้วแปลงรูป Depth ให้เป็น Point cloud ปรับแกนรูป Point cloud ใหม่แสดงดังรูปที่ 2.12(ก) แล้วแทนแต่ละจุดเป็นกล่อง เมื่อนำมาบวกกันจะได้ปริมาตรทั้งหมด จากนั้นนำไปหาปริมาตรที่แท้จริงโดยหักลบส่วนสีเขียวออกแสดงในรูปที่ 2.12(ข) ซึ่งจะประมาณรูปร่างของหัวหอมเป็นรูปทรงรี ผลที่ได้คือมีความแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำ (%error = 7)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

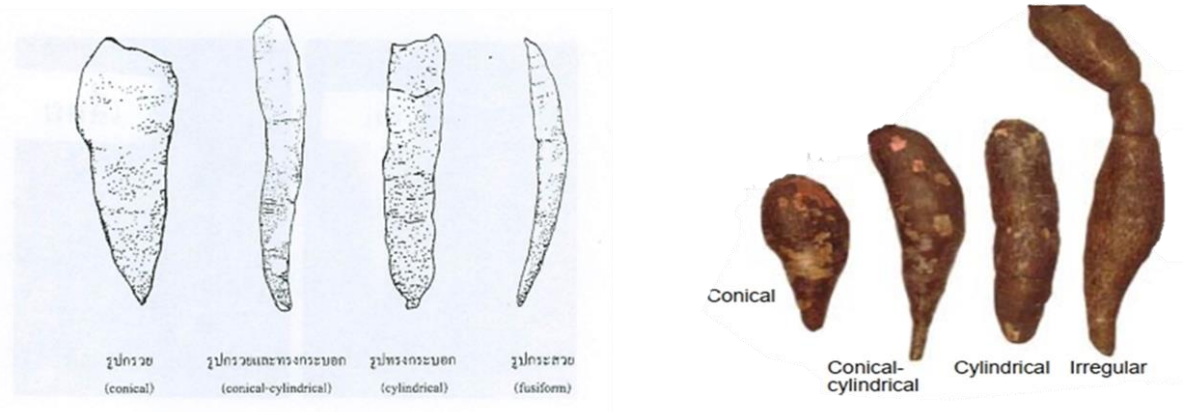


(ก) (ข)

รูปที่ 2.12 การหาปริมาตรหัวหอม (ก) ขั้นตอนการหารูป Projection (ข) การใช้รูปทรงรีหาปริมาตรที่แท้จริงของหัวหอม (Wang, W. L., Changying (2014).)

จะสังเกตได้ว่าการหาปริมาตรที่กล่าวไปข้างต้นจะเป็นการหาปริมาตรกับผักผลไม้ที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปร่างของเรขาคณิต เนื่องจากการหาปริมาตรมักจะคำนวณจากสูตรของรูปร่างเรขาคณิตเป็นหลัก ข้อมูลการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังกล่าวว่าลักษณะรูปร่างของหัวมันสำปะหลังถูกจำแนกเป็น 4 รูปร่างเป็นหลัก คือ รูปกรวย(Conical), รูปกรวยและทรงกระบอก(Conical-cylindrical), รูปทรงกระบอก(Cylindrical) และ รูปกระสวย(Irregular) [13] [14] ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ที่แสดงการจำแนกรูปร่างมันสำปะหลังของการศึกษาสองการศึกษา ดังนั้นการนำวิธีข้างต้นมาใช้หาปริมาตรของมันสำปะหลังโดยไม่มีการประยุกต์อาจจะได้ผลการประมาณที่ไม่ดี เนื่องจากรูปร่างของมันสำปะหลังมีความหลากหลายและไม่ได้เป็นรูปเรขาคณิตพื้นฐาน จึงได้มีการวิจัยการหาปริมาตรมันสำปะหลังนี้ขึ้นมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(ก) (ข)

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของหัวมันสำปะหลัง (ก) จากกรมวิชาการเกษตร [13] (ข) จาก Fukuda [14]

2.3 อุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

กล้องที่ให้ระยะความลึก(3D Vision) มีอยู่ 3 ประเภทคือ Structured Light and Coded Light เป็นการดูรูปแบบของแสงที่เปลี่ยนไป, Stereo Depth จะดูแสงที่สะท้อนกลับมา และ Time of Flight and LiDAR เป็นการใช้หลักการของเวลา [15] ปัจจุบันในตลาดของกล้อง 3D ที่นิยมใช้จะเป็น Intel RealSense และกล้อง Kinect ในงานวิจัยนี้ได้เลือกกล้อง Kinect มาใช้ เนื่องจากกล้อง Kinect(รูปที่ 2.14) มีการพัฒนามาก่อนกล้อง Intel RealSense ทำให้การหาข้อมูลทำได้งานกว่าและเป็นกล้อง RGB-D ที่เข้าถึงได้ง่ายในตลาดและมีราคาถูก กล้อง Kinect ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ฉายแสงอินฟาเรด (Infrared) ตัวรับแสงอินฟาเรด (Dept Sensor) กล้อง (Camera) ไมโครโฟน และเซนเซอร์ประมวลผล(Sensor) กล้อง Kinect เป็นอุปกรณ์เสริมของเครื่องเล่นเกม Xbox สามารถนำไปพัฒนาใช้กับอุปกรณ์อื่นได้ หลักการรับรู้ความลึกของ Kinect คือกล้องจะฉายแสงอินฟาเรดไปตกกระทบที่วัตถุ แสงจะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับแสง ตัวรับแสงจะรับภาพระดับความสว่างของแสงอินฟาเรดและส่งไปให้เซนเซอร์เพื่อทำการวัดความลึก ความสว่างมีมากแสดงว่าวัตถุนั้นอยู่ใกล้ ในทางตรงกันข้ามหากมีความสว่างน้อยลงแสดงว่าวัตถุนั้นอยู่ไกล รายละเอียดของ Kinect แสดงในตารางที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากกล้องจะมีอยู่สามรูปแบบคือ RGB (640x480 pixels) รูป Depth (640x480 pixels) และ Point cloud [16]

รูปที่ 2.14 กล้อง KINECT

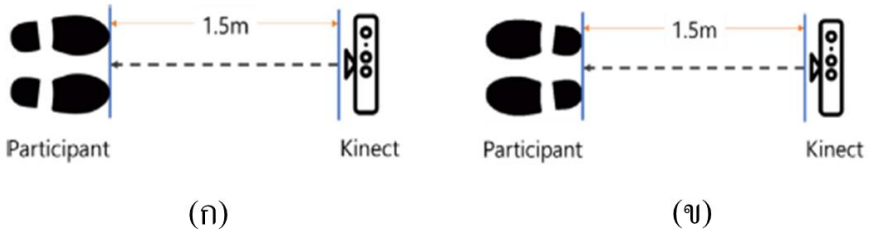
ตารางที่ 2 รายละเอียดของกล้อง KINECT

Property	Spec	Property	Spec
Field of View (Horizontal, Vertical, Diagonal)	58^{o} H, 45^{o} V, 70^{o} D	Audio: built-in microphones	Two microphones
Depth image size	VGA (640x480)	Audio: digital input	Four input
Spatial x/y resolution (@ 2m distance from sensor)	3 mm	Data interface	USB 2.0
Depth z resolution (@ 2m distance from sensor)	1 cm	Power supply	USB 2.0
Maximum image throughput (frame rate)	60 fps	Power consumption	2.25 W
Operation range	0.8 m - 3.5 m	Dimension (WxHxD)	14 cm x 3.5 cm x 5 cm
Color image size	UXGA (1600x1200)	Operation environment (every lighting condition)	Indoor
		Operating temperature	0^{o}C - 40^{o}C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

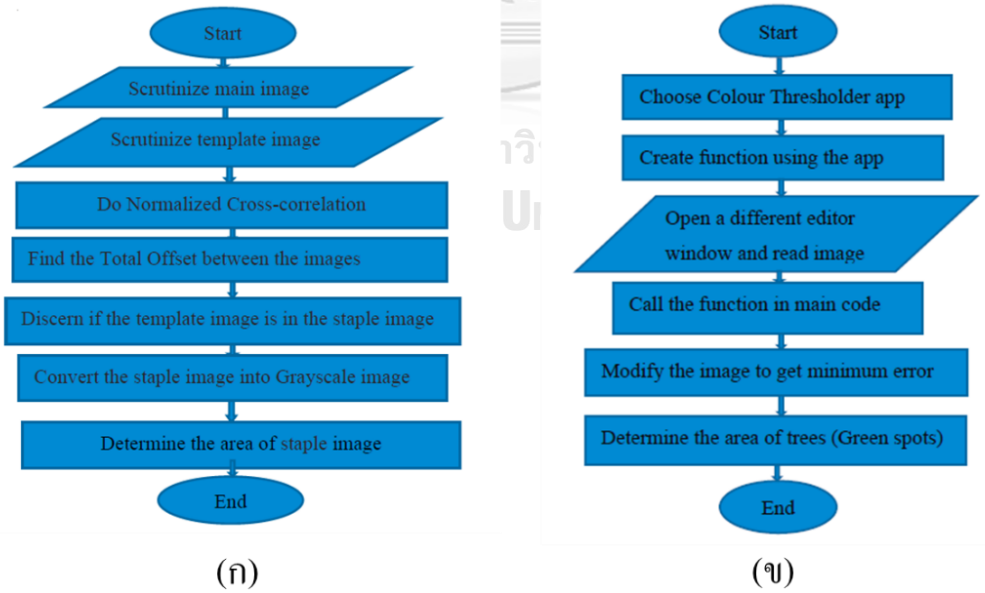
กล้อง Kinect ได้มีผู้นำไปพัฒนาอย่างแพร่หลายเพราะมีช่องต่อ USB เข้ากับคอมพิวเตอร์ได้ทันที จึงมีซอฟต์แวร์ให้ได้ศึกษาและต่อยอดจำนวนมาก เช่น มีผู้นำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมดูรูปภาพจะมีการเลื่อนภาพโดยใช้มือปัดไปมา ใช้ย่อขยายภาพโดยการหมุนมือไปในทิศทางตามเข็มและทวนเข็ม นาฬิกา หรือการศึกษาของ [17] ที่ใช้ Kinect หาขนาดรอบเอว เขาใช้อาสาสมัคร 19 คน เพื่อที่จะทำการทดลอง เริ่มต้นหาขนาดจริงโดยการใช้สายวัด วัดให้ผ่านเอวด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลังให้อยู่ในแนวเดียวกัน จากนั้นนำกล้องมาเก็บรูป Depth โดยให้คนกับกล้องห่างกัน 1.5 เมตร ถ่ายด้านหน้า 30 รูป และด้านหลังอีก 30 รูปดังแสดงในรูปที่ 2.15 การหาขนาดรอบเอวจะใช้วิธีการประมาณทางเรขาคณิต(Geometric estimation) และ SVM regression (Support Vector Machine) ซึ่งเป็น

Machine Learning ที่จะนำมาทำนายขนาดรอบเอวต่อไป จะเห็นได้ว่ากล้อง KINECT สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการเล่นเกมรวมถึงการนำมาพัฒนาเป็นเครื่องมือในการวิจัยด้วย



รูปที่ 2.15 การถ่ายรูป Depth ในการหาขนาดของเอว (ก) การถ่ายเอวด้านหน้า (ข) การถ่ายเอวด้านหลัง (Seo, D., et al. (2020).)

ในส่วนโปรแกรม MATLAB ก็เป็นโปรแกรมที่ถูกนำไปใช้และนำไปพัฒนาอย่างแพร่หลายเช่นกัน ยกตัวอย่างการศึกษาของ ได้ใช้ MATLAB หาส่วนสีเขียวจากภาพดาวเทียม แสดงในรูปที่ 2.16 เริ่มจากรูปภาพจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบว่ามีอยู่ในภาพต้นแบบไหม [18] จากนั้นทำรูปภาพให้เป็น Grayscale เพื่อหาพื้นที่ทั้งหมด แล้วแยก(Threshold) ส่วนที่ต้องการออกมาสุดท้ายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีเขียวต่อพื้นที่ทั้งหมด ตัวอย่างภาพการหาพื้นที่สีเขียวแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการประมวลผลรูปภาพ (ก) การเปรียบเทียบรูปภาพ (ข) การดึงส่วนที่ต้องการออกจากรูป (Muhammad Towhidur Rahman¹ (2020).)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.17 ตัวอย่างรูปภาพการหาเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีเขียว (ก) การเปรียบเทียบหาตำแหน่ง (ข) รูป grayscale (ค) รูปการณ์ทำ threshold (Muhammad Towhidur Rahman[1] (2020).)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3 การประมาณปริมาตรมันสำปะหลัง

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการประมาณปริมาตรมันสำปะหลังจากรูปถ่ายสองวิธีการมาเปรียบเทียบกัน ได้แก่ การประมาณปริมาตรโดยใช้ Depth image และการประมาณปริมาตรโดยใช้ Point cloud image ทั้งสองวิธีการนี้มีพื้นฐานมาจากการหาปริมาตรของรูปทรงเรขาคณิต แต่การที่จะได้รูปถ่ายเพื่อนำมาประมาณปริมาตรนั้นต้องมีการวางแผนเก็บตัวอย่างและข้อมูลอย่างดี เนื่องจากตัวอย่างที่จะใช้เป็นข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ไม่ได้มีให้ทดสอบตลอดปี มันสำปะหลังจะสามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุ 8-12 เดือน และมีฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวผลผลิตช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม ในช่วงเดือนเมษายนถึงตุลาคมมีการเก็บเกี่ยวน้อยมาก เมื่อได้วางแผนการเก็บตัวอย่างแล้วต้องทำการออกแบบการทดลองเก็บข้อมูลอย่างรอบคอบเพื่อจะได้ข้อมูลที่ครบถ้วน เมื่อมีข้อมูลพร้อมแล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาตรของมันสำปะหลังจากรูปถ่ายต่อไป

3.1 การเก็บตัวอย่างและการหาปริมาตรจากการแทนที่ด้วยน้ำ

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของมันสำปะหลังที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จำนวน 90 หัว และมีอายุระหว่าง 8 – 12 เดือน ตัวอย่างที่ใช้เป็นผลผลิตจากจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดขอนแก่น เมื่อได้ตัวอย่างมาแล้วจะนำมาชั่งน้ำหนักด้วยตราชั่งดิจิตอล(ความละเอียด ±0.01 g) จำนวน 3 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก จากนั้นนำไปหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ การหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ โดยนำหัวมันสำปะหลังไปใส่ในถุงสุญญากาศ(ขนาด 10x16 นิ้ว) ซึ่งมีปริมาตรจากการแทนที่น้ำ 30 มิลลิลิตร ถ้าเทียบกับปริมาตรเฉลี่ยของมันสำปะหลังจะมีค่าที่ 9.5% จากนั้นนำอากาศภายในออกให้หมด และทำการปิดปากถุงแล้วเขียนหมายเลขกำกับไว้ หัวมันสำปะหลังที่มีขนาดความยาวเกินถุงให้ทำการสับแบ่ง จากนั้นนำไปใส่ในถังน้ำเจาะรูเพื่อให้น้ำล้น พยายามให้มันสำปะหลังจมน้ำให้มิด แล้ววัดปริมาตรน้ำที่ล้นออกมาจากรูด้วยกระบอกตวง(500 มิลลิลิตร) และหลอดฉีดยา(10 มิลลิลิตร) แสดงการหาปริมาตรในรูปที่ 3.1 ปริมาตรของหัวมันสำปะหลังถือว่าเท่ากับปริมาตรน้ำที่ล้นออกมาลบปริมาตรของถุงที่หามาในตอนแรก

ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ

	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนัก(kg)	0.67	0.05	0.33
ปริมาตร(ml)	600	60	316.96
จำนวน	90 หัว (เกษตรศาสตร์ 50)		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

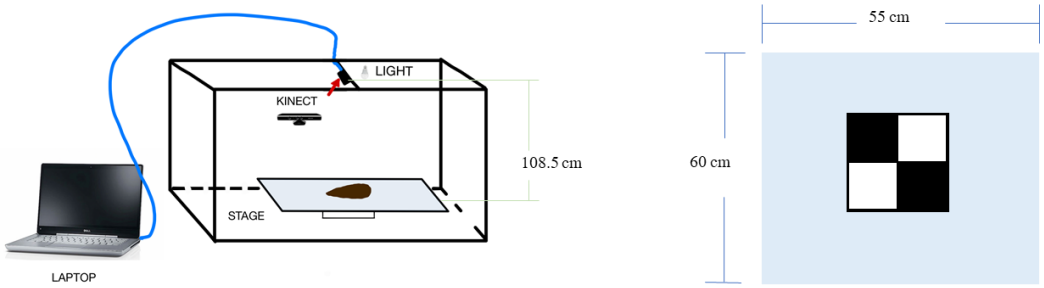
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.1 กระบวนการหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ (ก) การวัดความยาวและติดหมายเลข (ข) การเตรียมตัวอย่างในถุงสุญญากาศ (ค) การหาปริมาตรของตัวอย่างโดยการแทนที่น้ำ

3.2 การออกแบบระบบในการถ่ายรูปและการเก็บข้อมูลรูปถ่าย

การออกแบบระบบการถ่ายรูปนั้นจะอ้างอิงจากบทนำที่เล่าถึงขั้นตอนและวิธีการการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังจนไปถึงการแปรรูปมันสำปะหลัง ระบบการเก็บข้อมูลรูปถ่ายถูกสร้างเป็นกล่องสี่เหลี่ยมแสดงดังรูป 3.2(ก) ประกอบไปด้วยโครงเหล็ก, ไฟ LED(white) 9 W, กล้อง RGB-D (Kinect, Microsoft), แผ่นโฟม(60x55 เซนติเมตร) และฐานไม้(Stage) กล้องและไฟถูกติดข้างบนตรงกลางโครงสร้าง แผ่นโฟมถูกวางไว้บนฐานไม้เพื่อเป็นพื้นหลัง กล้องและฐานไม้ถูกทำให้อยู่ในระนาบเดียวกันและมีระยะห่างกันที่ 108.5 เซนติเมตร กล้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB type A ใช้โปรแกรม MATLAB (R2018a) เพื่อเก็บข้อมูลรูปถ่ายประกอบด้วยรูป RGB (640x480 pixels) รูป Depth (640x480 pixels) และ Point Cloud

มันสำปะหลังหนึ่งหัวจะถูกถ่ายรูปจำนวน 6 รูปโดยจะหมุนมันสำปะหลังด้วยมุมที่แตกต่างกันในแนวแกนตั้งฉากกับพื้นโลก 3 รูปแสดงในรูปที่ 3.3 หลังจากนั้นพลิกด้านหัวมันสำปะหลังและหมุนมันสำปะหลังในแนวแกนตั้งฉากอีก 3 รูป ดังนั้นหัวมันสำปะหลังหนึ่งหัวจะได้ข้อมูลทั้งหมด 18 ข้อมูล (RGB 6, Depth 6, Point cloud 6) เก็บอยู่ใน MAT-file ของ MATLAB การจะหา Pixel resolution (mm/pixel) แสดงในรูปที่ 3.2(ข) ทำโดยถ่ายรูปกระดาษขนาด 2x2 เซนติเมตร ที่มีสีแตกต่างจากพื้นหลังในระบบ แล้วนำมานับจำนวนพิกเซล รูปที่ 3.4 แสดงรูปจริงของระบบที่ใช้ในการถ่ายรูป

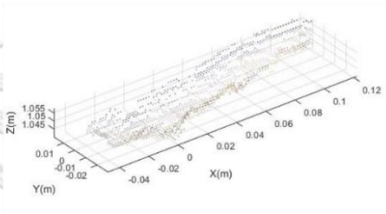


(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 รูปเสมือนอธิบายการเก็บข้อมูลรูปถ่าย (ก) แสดงระบบการถ่ายรูป (ข) แสดงขนาดของฐานและการหา Pixel resolution

รูป RGB

รูป Depth



รูป Point cloud

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างรูปที่ถ่ายได้และแนวการถ่ายรูป

รูปที่ 3.4 ระบบการเก็บข้อมูลรูปถ่าย

จากการทดลองนำกล้อง Kinect มาถ่ายภาพมันสำปะหลัง รูป RGB จะมีความละเอียดหรือ Pixel size (pixels/mm) น้อยกว่ารูป Depth เนื่องจากมีมุมมองภาพ(Field of view) ที่กว้างกว่า รูปที่ 3.5 แสดงภาพมันสำปะหลังตัวอย่างเดียวกันที่นำมาซ้อนกันเพื่อเปรียบเทียบขนาดของมันสำปะหลังในรูป RGB และรูป Depth จากรูปเงาสีดำคือมันสำปะหลังในรูป Depth จะมีขนาดใหญ่กว่ามันสำปะหลังในรูป RGB (RGB=5.6 pixels/cm, Depth=6 pixels/cm) เพราะฉะนั้นเมื่อนำไปคำนวณเป็นขนาดหรือปริมาตรรูป Depth จะให้ความแม่นยำที่มากกว่า รูป RGB จึงไม่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาตร

รูปที่ 3.5 ภาพของมันสำปะหลังแบบ RGB และ Depth ซ้อนกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

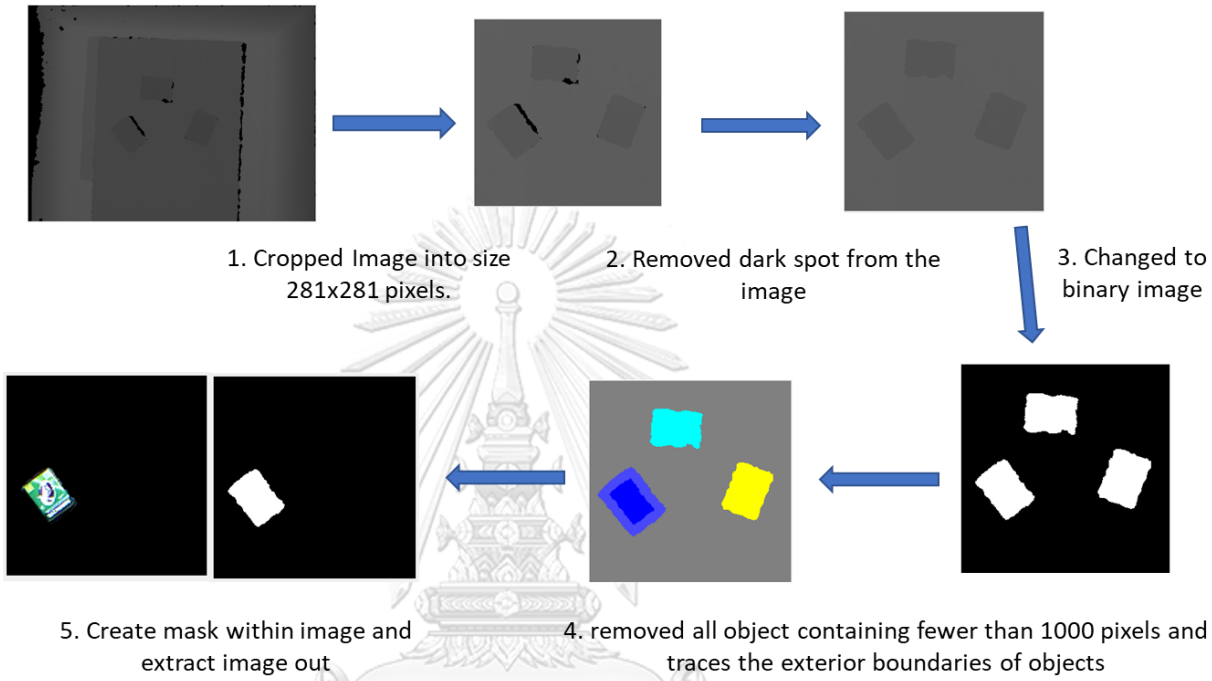
3.3 การแยกส่วนของภาพถ่ายมันสำปะหลัง

เมื่อมีมันสำปะหลังมากกว่าหนึ่งหัวแบบไม่ทับซ้อนกันจะต้องทำการระบุตำแหน่งของมันสำปะหลังแต่ละหัวก่อน หรือการแยกส่วนของภาพหัวมันสำปะหลังที่ต้องการออกจากภาพ(Image segmentation) จากนั้นจะได้ภาพที่ต้องการแล้วทำการหาปริมาตรมันสำปะหลังแต่ละหัวด้วยวิธีการที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.3.1 การแยกส่วนของภาพในรูป Depth

ในรูปที่ 3.6 คือขั้นตอนการแยกเอาแต่ละวัตถุที่ต้องการออกมาจากภาพ Depth หรือ Image segmentation จะมีการใช้กระบวนการทางรูปภาพหรือ Image processing เริ่มจากการนำรูปที่เก็บข้อมูลความลึกหรือ Depth image มาครอบตัด(Crop) ให้มีขนาด 281x281 pixels จากนั้น

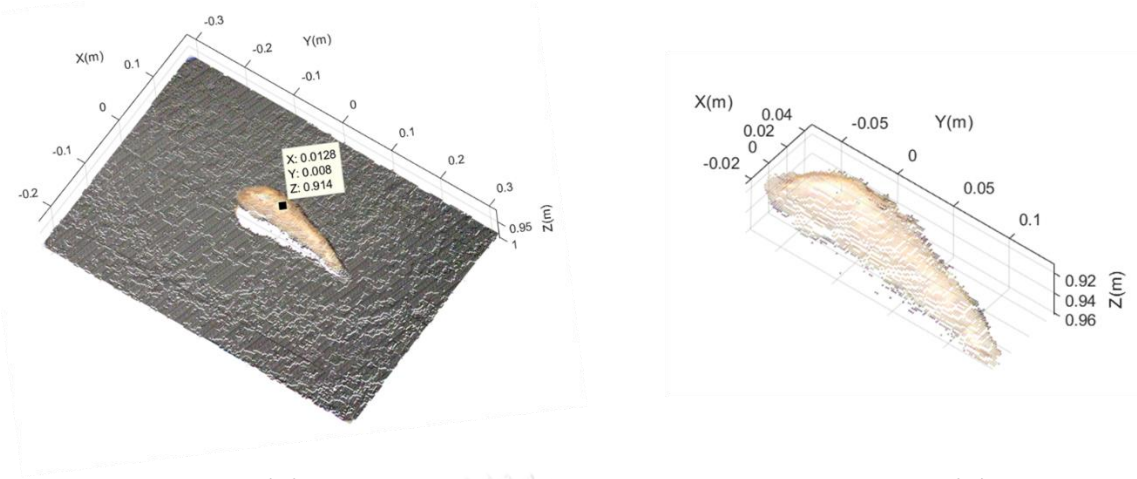
ตรวจสอบค่าในแต่ละพิกเซล(Pixels) ของรูปไม่ให้มีค่าเป็นศูนย์(Dark spot) นำรูปที่ได้มาตัดพื้นหลังออกด้วยข้อมูลความลึก ตัดพื้นที่ของรูป(Regions)ที่ไม่เป็นอันนึงอันเดียวกับพื้นที่ใหญ่ออก จากนั้นทำเป็นภาพขาวดำ(Binary) เพื่อเป็นแม่แบบ(Mask) ไปหักลบส่วนที่ไม่ต้องการออก จะได้รูปในส่วนที่ต้องการแล้วจึงนำไปคำนวณปริมาตรต่อไป



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการตรวจจับรูปที่มีหลายวัตถุที่สนใจ

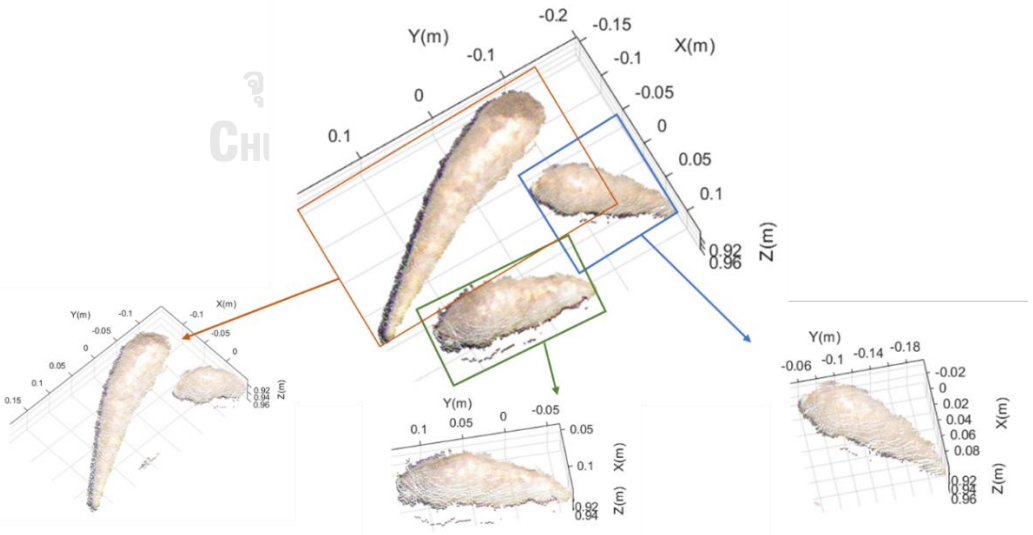
3.3.2 การแยกส่วนของภาพในรูป Point cloud

รูป Point cloud คือการใช้รูป Depth และรูป RGB มาสร้างจุดให้อยู่ใน 3 มิติ(3D coordinate, XYZ) แสดงตัวอย่างรูป Point cloud ของมันสำปะหลังในรูปที่ 3.7(ก) แต่ละจุดจะมีค่าพิกัด XYZ ของตัวเอง เมื่อเราได้รูป Point cloud ของมันสำปะหลังมาแล้วจะเลือกเฉพาะช่วงที่สนใจ จากนั้นนำมาตัดพื้นหลังออก โดยต้องทำการหาค่า Z ที่จะตัดพื้นหลังออกก่อน แล้วจึงใช้ค่านั้นในการครอป(Crop)ตัดรูป Point cloud ที่สนใจออกมา แสดงตัวอย่างรูปมันสำปะหลังที่ตัดพื้นหลังออกแล้วในรูปที่ 3.7(ข) รูป Point cloud ที่มีจำนวนหัวมันสำปะหลังมากกว่าหนึ่งหัวก็ทำขั้นตอนนี้ก่อนเช่นกัน



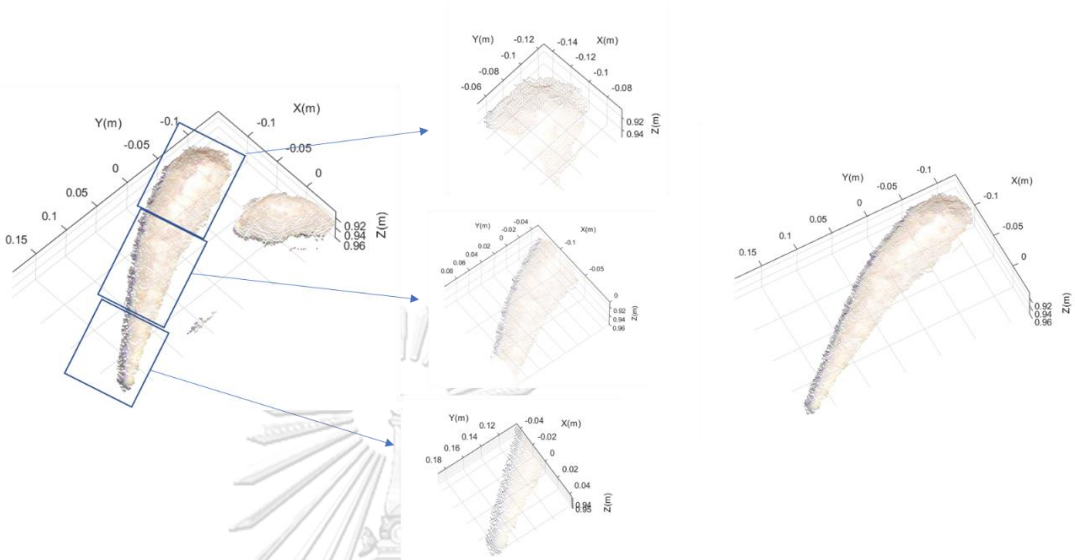
รูปที่ 3.7 รูป Point cloud (ก) Point cloud ของมันสำปะหลังที่มีพื้นหลัง (ข) Point cloud ของมันสำปะหลังที่ตัดพื้นหลังออกแล้ว

ขั้นตอนการแยกหัวมันสำปะหลังในรูป Point cloud จะมีวิธีการดังนี้ เริ่มจากหาพิกัด X ,Y และ Z ของแต่ละหัวมัน เมื่อได้พิกัดมาแล้วจะเลือกเฉพาะ Point cloud ที่อยากได้ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรมันสำปะหลังแต่ละหัวด้วยวิธีการที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป การหาช่วงพิกัดของแต่ละหัวมันนั้นแสดงในรูปที่ 3.8 ต้องเลือกช่วงค่า X และค่า Y ที่ครอบคลุมหัวมันที่ต้องการ ส่วนช่วงพิกัดค่า Z จะดูจากค่า Z ของพื้นหลัง($\boldsymbol{Z_b}$) จุด Point Cloud ที่ได้จะเหมือนอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมที่มีช่วงพิกัด X, Y, และ Z ที่ป้อนค่าให้ ดังนั้นจะมีจุดบางจุดที่ไม่ต้องการติดมาด้วย



รูปที่ 3.8 แสดงการแยกรูป Point cloud ของหัวมันสำปะหลังสามหัวที่ไม่ซ้อนทับกัน

วิธีการแก้ไขเอา Point Cloud ส่วนที่ไม่ต้องการออกจะใช้วิธีการแบ่งรูปให้เล็กลงหรือสร้างกล่องสี่เหลี่ยมที่เล็กลงเพื่อหลบจุดที่ไม่ต้องการ แล้วนำมาต่อกันในภายหลัง แสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการแบ่งรูป Point cloud และรวมกลับมาเป็นรูปเดียวกัน

3.4 การประมาณปริมาตรมันสำปะหลังจากรูปถ่าย

มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (รูปที่ 3.10) มีรูปร่างที่หลากหลายและสามารถจำแนกรูปร่างออกเป็น 4 แบบดังที่กล่าวไปในบทที่ 2 แล้ว การประมาณปริมาตรของมันสำปะหลังโดยใช้รูปร่างเรขาคณิตในการคำนวณจึงยากที่จะประมาณออกมาได้อย่างแม่นยำ จากการสังเกตรูปทรงเรขาคณิตที่มีลักษณะใกล้เคียงและนำมาเป็นแนวคิดในการศึกษานี้คือ รูปทรงรี วิธีที่เลือกใช้ในการหาปริมาตรมันสำปะหลังคือ การประมาณปริมาตรโดยใช้ Depth image ที่นำการคำนวณแบบ Disk method มาใช้ และการประมาณปริมาตรโดยใช้ Point cloud image ที่จะนำแนวคิดแบบ Voxel หรือการหาปริมาตรของวัตถุโดยจำลองให้เป็นกล่องมาประกอบเข้าด้วยกันมาใช้ในการคำนวณซึ่งทั้งสองวิธีที่เลือกมาใช้เป็นวิธีที่ง่ายและเป็นที่นิยม

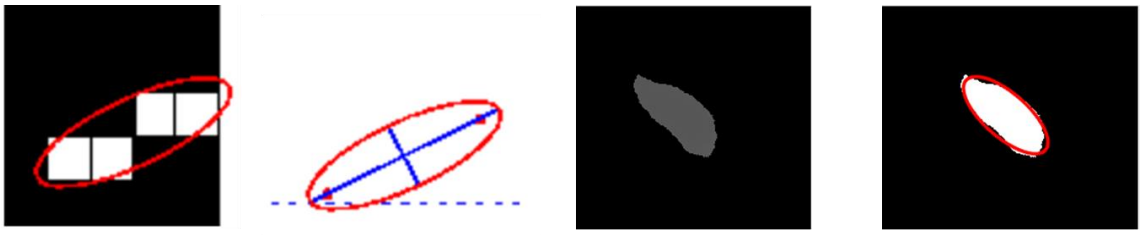
รูปที่ 3.10 กองของหัวมันสำปะหลัง

3.4.1 การประมาณปริมาตรโดยใช้รูป Depth

เมื่อได้รูป Depth ของมันสำปะหลังหัวที่สนใจแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำรูปภาพนั้นมาหมุนให้แกนยาวของรูปหัวมันสำปะหลังอยู่ในแนวนอน(รูปที่ 3.11) หลักการหมุนรูปภาพคือการใช้มุมระหว่างแกน X ของรูปภาพกับแกนหลักในรูปวงรีที่จำลองขึ้นนำมาหมุนให้ได้รูปที่ต้องการ วงรีจะถูกสร้างจากพื้นที่ของพิกเซลรูปภาพ แกนหลักและแกนรองของวงรีจะตั้งฉากกันและมีระยะห่างของพิกเซลที่มากที่สุดและที่น้อยที่สุดแสดงตัวอย่างในรูป 3.12(ก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.11 การหมุนรูป Depth ที่ทำ Image segmentation แล้ว (ก) รูป Depth จากการประมวลผลภาพ (ข) รูป Depth ที่ถูกหมุนให้ขนานกับแกน X



(ก) (ข) (ค) (ง)

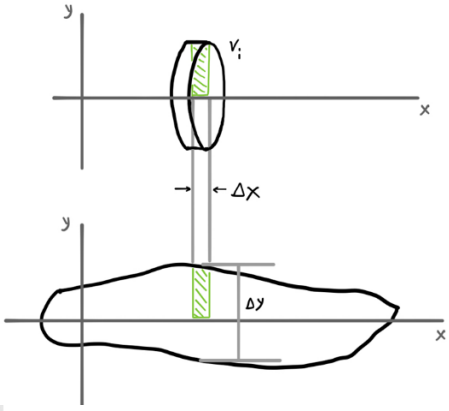
รูปที่ 3.12 การหมุนรูปภาพ (ก) พิกเซลของรูปและวงรีที่ถูกจำลองขึ้น (ข) เส้นสีน้ำเงินเป็นแกนของวงรีที่ถูกจำลองขึ้นและเส้นประสีน้ำเงินเป็นแกนแนวนอน (ค) รูปมันสำปะหลังที่นำพื้นหลังออกแล้ว (ง) วงรีที่สร้างขึ้นจากรูปของมันสำปะหลัง

การคำนวณปริมาตรของหัวมันสำปะหลังจากรูปถ่ายจะจำลองว่าหัวมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นทรงรีที่มีแผ่นวงกลมหลายแผ่นมาประกอบกันจนกลายเป็นรูปทรงรี หรือก็คือ Disk method แสดงในรูปที่ 3.13 แผ่นวงกลมนั้นจะมีความหนาขนาด 1 พิกเซล (∆x) และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ ∆y หรือจำนวนพิกเซลในแถวของรูป Depth ที่ไม่เป็นศูนย์ การหาปริมาตรของแผ่นวงกลมแต่ละแผ่นแสดงในสมการที่ 3.2 เมื่อรวมปริมาตรของแผ่นวงกลมทั้งหมด(สมการที่ 3.3) จะได้ปริมาตรของมันสำปะหลังออกมา

$$A = \pi\left(\frac{\Delta y}{2}\right)^2 \quad (3.1)$$

$$V_i = A\Delta X \quad (3.2)$$

$$V_{total} = \sum_0^n V_i \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.13 การคำนวณปริมาตรหัวมันสำปะหลังโดย Disk Method

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4.2 การประมาณปริมาตรโดยใช้รูป Point cloud

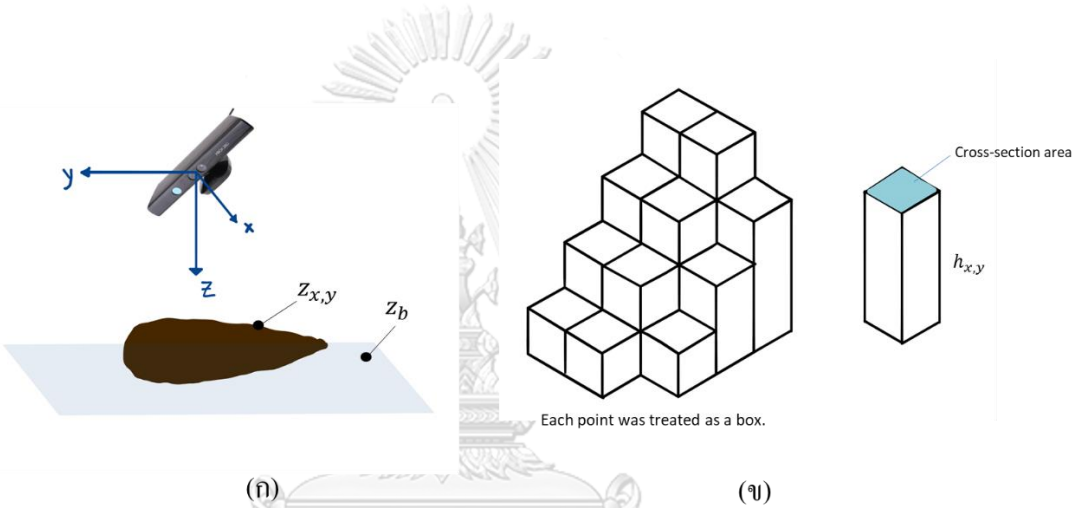
หลังจากได้รูป Point cloud ของมันสำปะหลังแต่ละหัวมาแล้วจะนำแต่ละรูปมาทำการหาปริมาตรดังนี้ เริ่มจากพิจารณาค่า Z ซึ่งเป็นระยะจากกล้องไปถึงแต่ละจุดบนพื้นผิวแสดงในรูปที่ 3.14(ก) ในการประมาณปริมาตรของมันสำปะหลังโดยใช้รูป Point Cloud นั้นจะใช้แนวคิด Voxel (Volumetric และ Pixel มาผสมคำกัน) เป็นการกำหนดให้แต่ละจุดหรือแต่ละค่าอยู่ใน Grid หรือตารางที่กำหนดหรือในการคำนวณนี้คือการแทนแต่ละจุดให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีความสูงแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.14(ข) ทำการหาค่า Z ของพื้นหลัง($\boldsymbol{Z_b}$) จากนั้นจะนำไปคำนวณกับค่า Z ของจุดบนพื้นผิวหัวมันสำปะหลัง($\boldsymbol{Z_{x,y}}$) เพื่อหาความสูงที่แท้จริง($\boldsymbol{h_{x,y}}$) ตามสมการที่ 3.4 แล้วจะแทน

แต่ละจุดให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีความสูง $h_{x,y}$ มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1x1 พิกเซล ซึ่งปริมาตรของกล่องสี่เหลี่ยมคำนวณตามสมการที่ 3.5 เมื่อนำปริมาตรของแต่ละกล่องมารวมกันก็จะได้ปริมาตรของมันสำปะหลังทั้งหมด(สมการที่ 3.6)

$$h_{x,y} = Z_b - Z_{x,y} \tag{3.4}$$

$$V_i = h_{x,y} \times pixel\ size(\frac{cm}{pixel}) \times pixel\ size(\frac{cm}{pixel}) \tag{3.5}$$

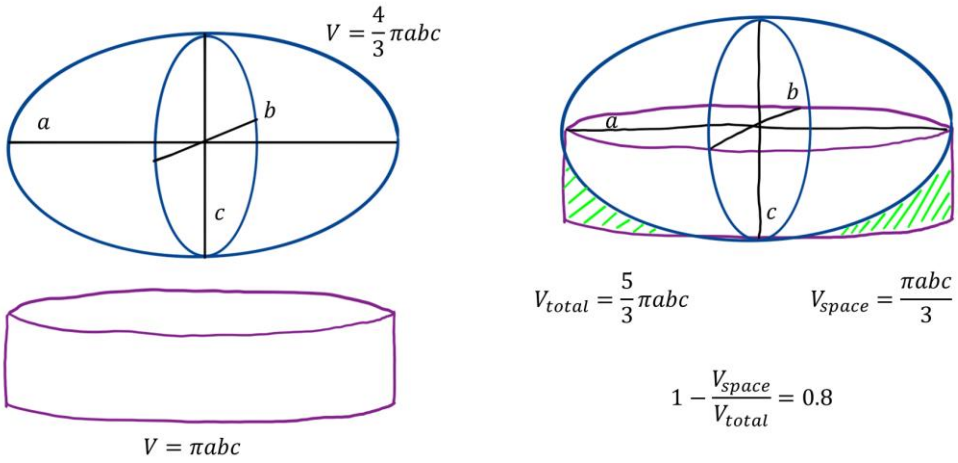
$$V_{total} = \sum_0^n V_i \tag{3.6}$$



รูปที่ 3.14 ภาพอธิบายการประมาณปริมาตรโดยใช้รูป point cloud (ก) ภาพแสดงทิศทางของกล้อง KINECT (ข) ภาพแสดงการแทนจุด Point cloud ให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมาตรที่คำนวณได้นั้นจะเห็นว่ามีปริมาตรในส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างพื้นและมันสำปะหลังรวมอยู่ด้วยจึงใช้การประมาณสัดส่วนเพื่อจะนำปริมาตรส่วนที่เกินออกไป รูปร่างเรขาคณิตที่นำมาใช้ประมาณคือรูปทรงรีเนื่องจากรูปทรงรีมีลักษณะใกล้เคียงกับมันสำปะหลังและครอบคลุมมันสำปะหลังทั้งสี่รูปร่างที่กล่าวไปแล้ว จากการคำนวณให้รูปร่างของมันสำปะหลังเป็นรูปทรงและคำนวณหาสัดส่วนออกมา จะได้ว่าปริมาตรจริงของมันสำปะหลังอยู่ที่ 80% ของปริมาตรที่คำนวณได้ในตอนแรก แสดงในรูปที่ 3.15

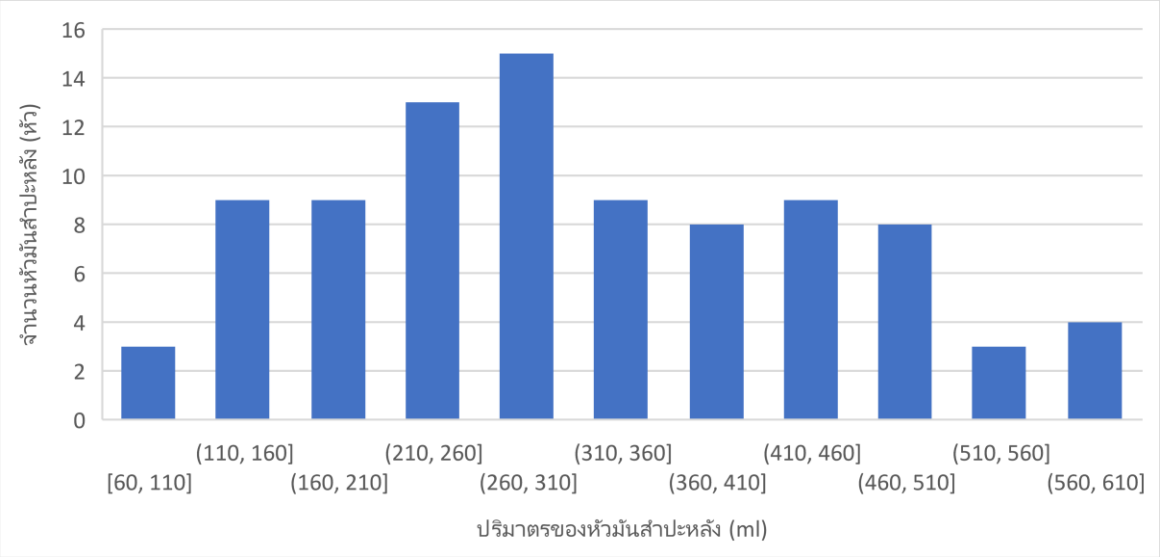


รูปที่ 3.15 การคำนวณค่าสัดส่วนแบบทรงรีเพื่อประมาณปริมาตรมันสำปะหลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

บทนี้จะแสดงผลที่ได้จากบทที่แล้วรวมถึงการอภิปายผลเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปของงานวิจัยนี้ เริ่มจากผลการเก็บข้อมูลจนกระทั่งการหาปริมาตรของมันสำปะหลัง การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้ตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่างจากมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่มีปริมาตรน้อยสุดคือ 60 มิลลิลิตรและปริมาตรมากสุดคือ 600 มิลลิลิตร รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของปริมาตรมันสำปะหลัง ข้อมูลส่วนใหญ่ของปริมาตรมันสำปะหลังที่ใช้จะกระจายตัวอยู่ตรงกลางปริมาตรที่น้อย ๆ และปริมาตรที่มาก ๆ จะมีข้อมูลที่น้อยกว่า

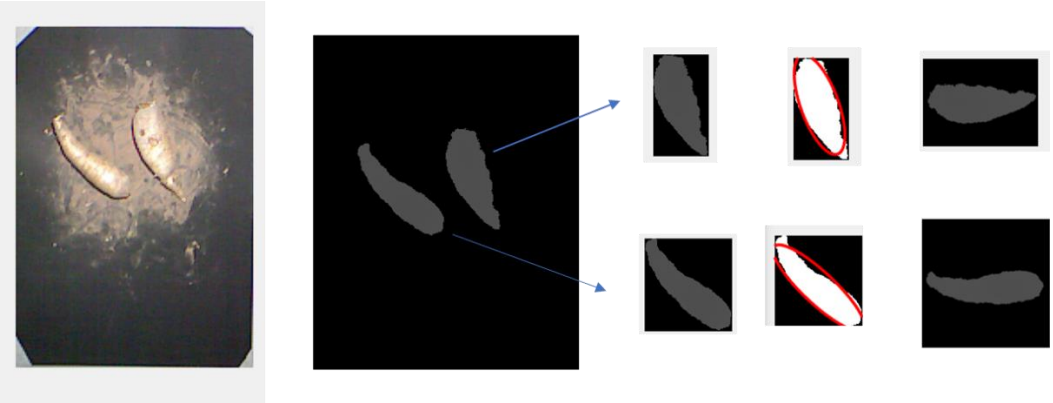


รูปที่ 4.1 ฮิสโตแกรมของปริมาตรมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัย

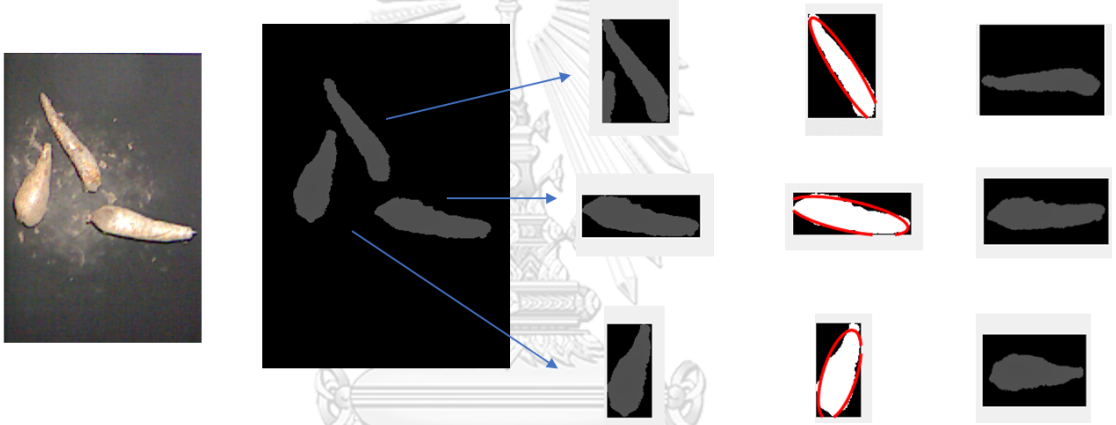
ศูนย์วิทยทรัพยากร
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1 ผลการแยกส่วนของภาพถ่ายมันสำปะหลัง

การทำ Image segmentation หรือการแยกหัวมันสำปะหลังที่ต้องการออกมาจากภาพจะพิจารณาผลมาจากการเปรียบเทียบภาพดั้งเดิมกับภาพที่แยกออกมา ลักษณะของหัวมันสำปะหลังในรูปที่แยกออกมาจะต้องเหมือนกับในรูปตั้งต้นเพียงแต่นำส่วนหรือค่าในพิกเซลที่ไม่ต้องการออก ในส่วนของรูป Depth สามารถแยกออกได้ดีทั้งภาพที่มีหัวเดียว สองหัว และสามหัว ในรูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างของการแยกภาพหัวมันสำปะหลังสองหัวออกจากกัน และในรูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของการแยกรูปหัวมันสำปะหลังจำนวนสามหัวออกจากกัน



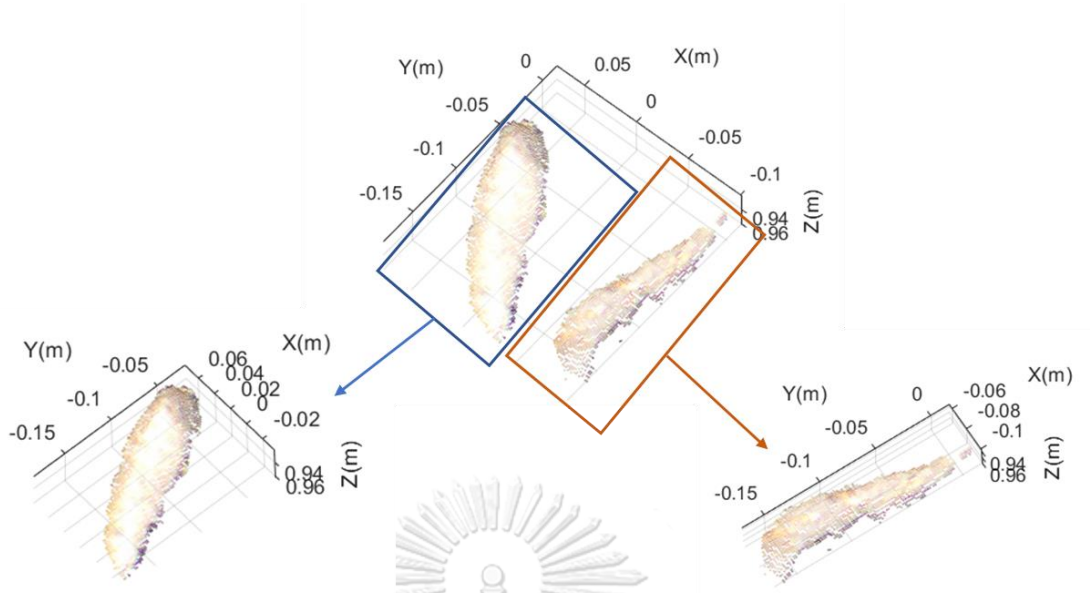
รูปที่ 4.2 แสดงการแยกรูป Depth ของมันสำปะหลังจำนวนสองหัวออกจากกัน



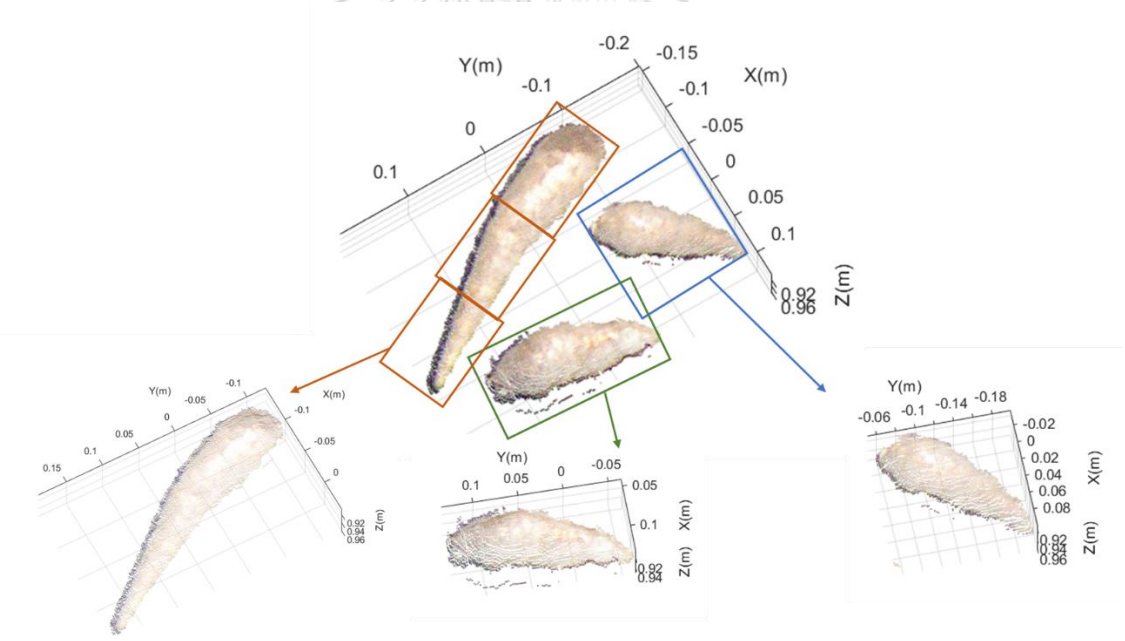
รูปที่ 4.3 แสดงการแยกรูป Depth ของมันสำปะหลังจำนวนสามหัวออกจากกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในส่วนของรูป Point cloud ผลการแยกรูปหรือ Image segmentation นั้นสามารถแยกออกมาจากรูปตั้งต้นได้เช่นกันทั้งหนึ่งหัว สองหัว และสามหัว รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างผลการแยกรูป Point cloud ของหัวมันสำปะหลังสองหัว รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างผลการแยกรูป Point cloud ของหัวมันสำปะหลังสามหัว รูปสุดท้ายของหัวมันสำปะหลังที่แยกออกมาได้สามารถนำไปคำนวณหรือประมาณปริมาตรต่อไปได้



รูปที่ 4.4 แสดงการแยกรูป Point Cloud ของหัวมันสำปะหลังจำนวนสองหัวออกจากกัน

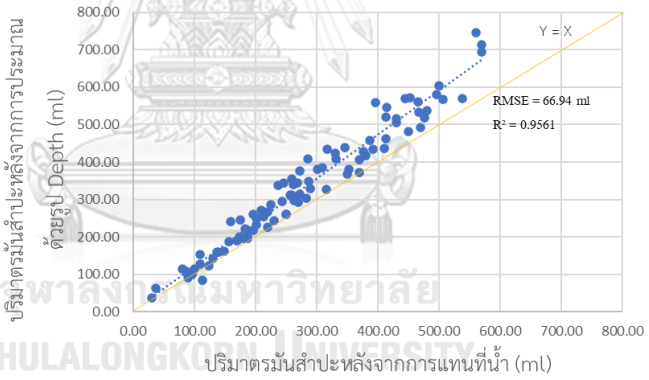


รูปที่ 4.5 แสดงการแยกรูป Point Cloud ของหัวมันสำปะหลังจำนวนสามหัวออกจากกัน

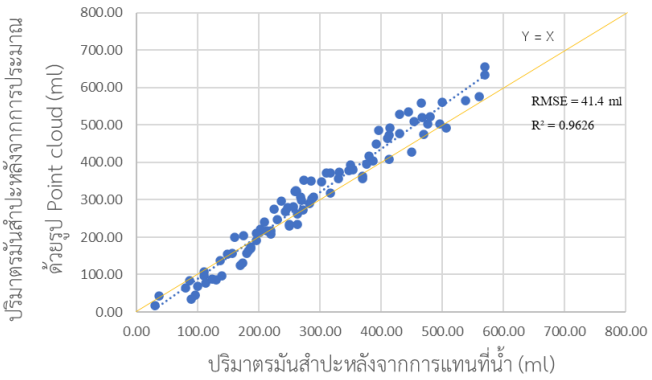
4.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีการหาปริมาตรด้วยการประมาณปริมาตรโดยใช้ Depth image และการประมาณปริมาตรโดยใช้ Point cloud image

ปริมาตรจากการประมาณด้วยวิธีการ Depth image และวิธีการ Point cloud image ถูกนำมาพล็อตกับปริมาตรของมันสำปะหลังที่ได้จากวิธีการแทนที่น้ำลงในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.6(ก) สำหรับวิธีการจากรูป Depth และรูปที่ 4.6(ข) สำหรับวิธีการจาก Point cloud จะเห็นแนวโน้มของข้อมูลว่ามีการเกาะกลุ่มกันเป็นแนวเส้นตรง และเมื่อเทียบกับเส้น Y=X แสดงให้เห็นว่าผลการหาปริมาตรทั้งสองวิธีประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับการหาปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ และจะพบว่าช่วงปริมาตรน้อยกว่า 100 มิลลิลิตรและมากกว่า 500 มิลลิลิตรจะมีแนวโน้มเบ้ออกจากจากแนวเส้น Y=X ค่า R-squared ที่ได้จากทั้งสองกราฟมีค่า 0.9561 และ 0.9626 ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์หรือมีความสอดคล้องที่ดีต่อกัน ค่า Root Mean Squared Error หรือ RMSE ของทั้งสองวิธีมีค่า 66.94 มิลลิลิตรและ 41.4 มิลลิลิตรหรือคิดเป็นร้อยละ 21.12 และ 13.06 เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาตรของหัวมันสำปะหลังจากวิธีการแทนที่น้ำทั้ง 90 ตัวอย่างตามลำดับ จะเห็นว่าการประมาณปริมาตรหัวมันสำปะหลังด้วยวิธีการใช้รูป Point cloud จะดีกว่าวิธีการประมาณปริมาตรด้วยรูป Point cloud ดูได้จากค่า R-squared ที่มากกว่าและค่า RMSE ที่น้อยกว่า

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาตรของหัวมันสำปะหลังระหว่างวิธีแทนที่น้ำกับอีกสองวิธีที่ใช้ในการประมาณ (ก) ปริมาณมันสำปะหลังโดยวิธีการจากรูป Depth (ข) ปริมาณมันสำปะหลังโดยวิธีการจาก Point cloud

จากการเปรียบเทียบกับเส้น Y=X ที่ปริมาตรน้อย ๆ ปริมาตรของมันสำปะหลังที่ได้จากการประมาณจะมีค่าน้อยกว่าปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำและที่ปริมาตรมาก ๆ ปริมาตรของมันสำปะหลังที่ได้จากการประมาณจะมีค่ามากกว่าปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำ

ในตารางที่ 4 แสดงผลจากการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่ากลางของประชากรอิสระสองค่า (2-Sample t-test) ที่ความเชื่อมั่น 95% ของปริมาตรจากการประมาณด้วยวิธีการ depth image และวิธีการ Point cloud image จากตารางค่า t stat ของทั้งสองวิธีการอยู่ในช่วงของค่า t Critical two-tail และค่า p-value ของทั้งสองวิธีการมากกว่าค่า α ดังนั้นสมมติฐานหลักจึงเป็นจริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการ depth image และวิธีการ Point cloud image ให้ค่าปริมาตรมีนัยสำคัญไม่แตกต่างไปจากวิธีการหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่า t-test ระหว่างวิธีการการหาปริมาตรมันสำปะหลังโดย Depth image และ Point cloud image กับวิธีการแทนที่น้ำ

t-test: Paired Two Sample for Means (α=0.05)

Method	R-squared	RMSE (ml)	t Stat	P(T<=t) two-tail	t Critical two-tail
IP&WD	0.974	35.47	-1.277	0.205	1.987
PC&WD	0.976	24.14	0.640	0.524	1.987

*IP: Image Processing method, PC: Point Cloud method, WD: Water Displacement method

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การอภิปรายผล

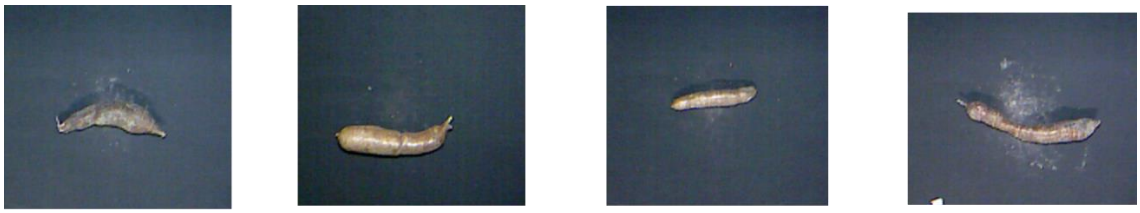
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาตรของหัวมันสำปะหลังระหว่างวิธีแทนที่น้ำกับวิธีการประมาณจากรูปถ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับเส้น Y=X มีการเบ้ออกที่ช่วงปริมาตรน้อย ๆ และช่วงปริมาตรมาก ๆ แสดงให้เห็นว่าการประมาณยังไม่แม่นยำซึ่งเกิดได้จากหลายปัจจัย ปัจจัยที่นำมาอภิปรายได้แก่ ปัจจัยของวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth ปัจจัยของวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud ปัจจัยของการหาปริมาตรจากการแทนที่น้ำ และปัจจัยของข้อมูลรูปจากกล้อง Kinect ทั้งนี้อาจจะมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการหาปริมาตรของมันสำปะหลังด้วยรูปถ่ายอื่น ๆ อีก และยังไม่ทราบว่าจะมีผลต่อการประมาณปริมาตรมันสำปะหลังมากหรือน้อยเพียงใด

4.3.1 ปัจจัยของวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth

การหาปริมาตรด้วยรูป Depth มีการนำ Disk method มาใช้ซึ่งจะแบ่งมันสำปะหลังเป็นแผ่นวงกลมเล็ก ๆ มาต่อกัน แต่เมื่อพิจารณารูปร่างของมันสำปะหลังแล้วการแบ่งมันสำปะหลังเป็นแผ่นบาง ๆ นั้น หน้าตัดของแผ่นแต่ละแผ่นอาจไม่ได้เป็นวงกลมทั้งหมด โดยเฉพาะถ้าหัวมันสำปะหลังมีลักษณะงอ หน้าตัดที่ได้จะเป็นวงรีทำให้การคำนวณผิดพลาดไป ในรูปที่ 4.7 หัวมันสำปะหลังถูกวางตัวในแนวเดียวกับแกน X เมื่อพิจารณาตัดมันสำปะหลังตามแนวแกน Y จะเห็นว่าในรูปที่ 4.7(ก) หน้าตัดที่ได้จะมีแนวโน้มเป็นวงรี ส่วนในรูปที่ 4.7(ข) ซึ่งมันสำปะหลังมีรูปร่างค่อนข้างตรงและใกล้เคียงกับทรงกระบอก เมื่อแบ่งตามแนวแกน Y แล้วจะได้หน้าตัดที่เป็นรูปวงกลม

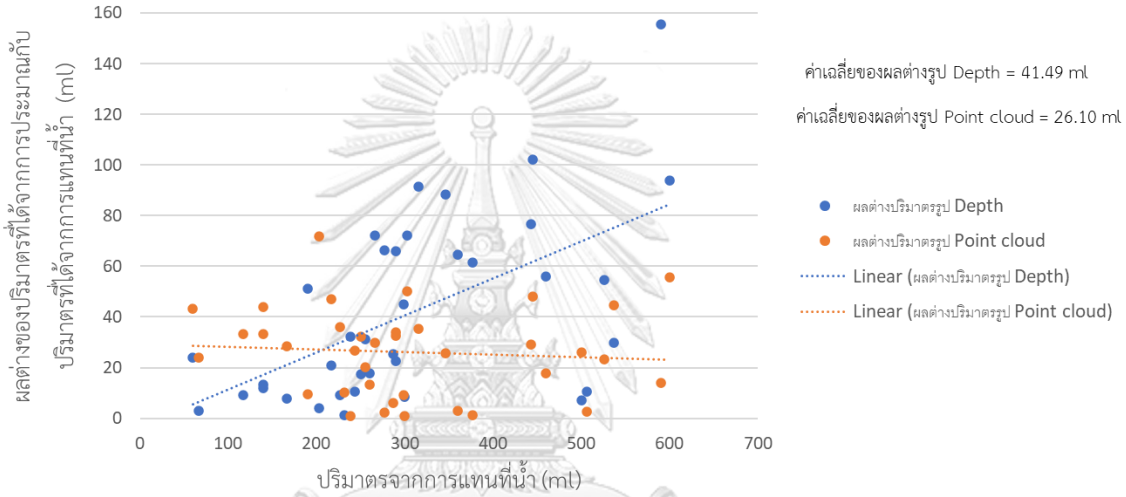
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของมันสำปะหลัง (ก) มันสำปะหลังที่มีลักษณะงอตัว (ข) มันสำปะหลังที่มีลักษณะค่อนข้างตรง

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่ารูปร่างของมันสำปะหลังมีผลต่อความแม่นยำในการประมาณปริมาตร สำหรับตัวอย่างมันสำปะหลังในการศึกษานี้อาจจำแนกรูปร่างของหัวมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวอย่างออกเป็น 4 แบบคือ รูปร่างกรวย รูปร่างกรวยแกมกระบอก รูปร่างทรงกระบอกและ รูปร่างผสม(Irregular) แสดงตัวอย่างมันสำปะหลังในแต่ละรูปร่างในรูปที่ 4.8 ความแตกต่างของปริมาตรมันที่มีรูปร่างแตกต่างกันและประมาณด้วยวิธีการที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับวิธีการแทนที่น้ำแสดงดังในรูปที่ 4.9 ถึง 4.12 แกนนอนของกราฟเป็นปริมาตรของมันสำปะหลังจากการแทนที่น้ำ แกนตั้งเป็นค่าสัมบูรณ์ของผลต่างของปริมาตรที่ได้จากปริมาตรที่หาด้วยการประมาณจากภาพกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำ สีน้ำเงินเป็นของปริมาตรจากวิธีการประมาณปริมาตรด้วย Depth image สีส้มเป็นของปริมาตรจากวิธีการประมาณปริมาตรด้วย Point cloud



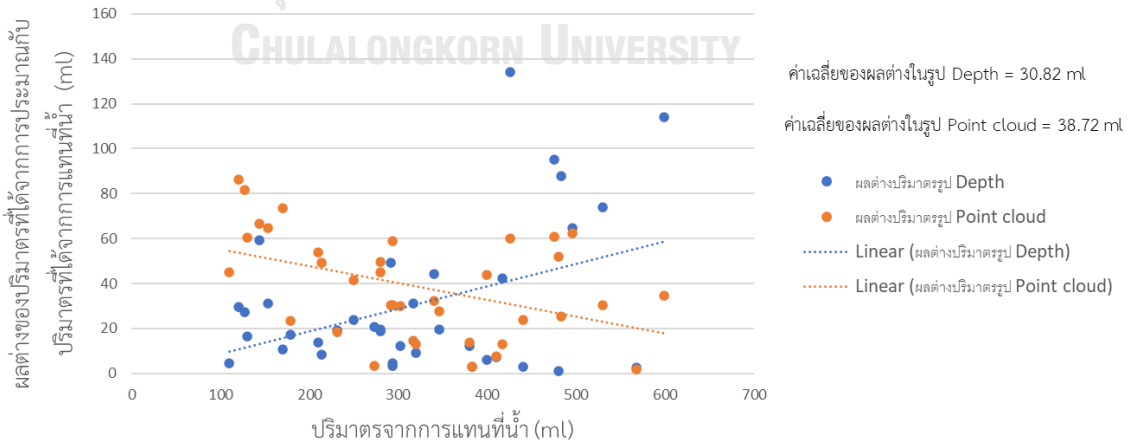
(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างมันสำปะหลังในรูปร่างต่าง ๆ (ก) รูปทรงกรวย (ข) รูปทรงกรวยแกมกระบอก (ค) รูปทรงกระบอก (ง) รูปผสม

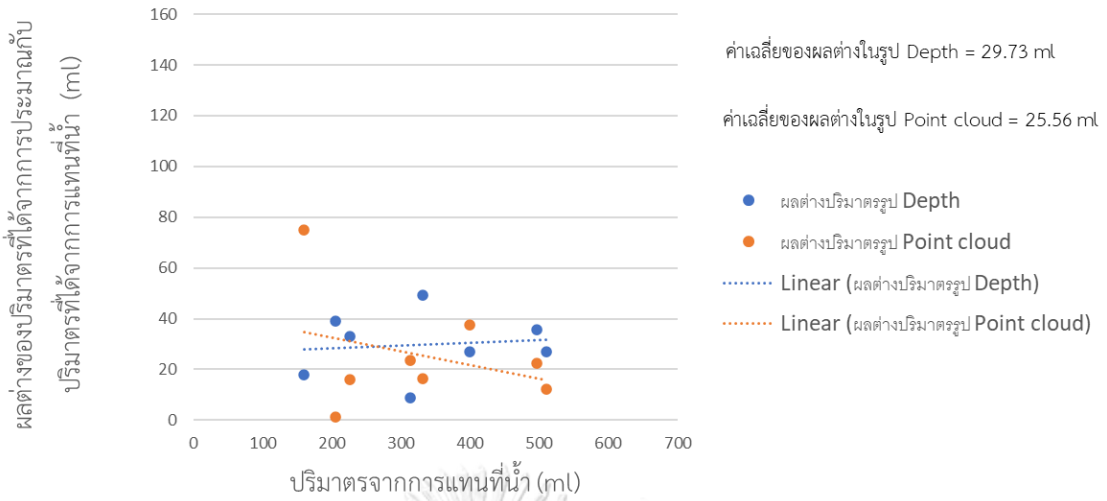


รูปที่ 4.9 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย

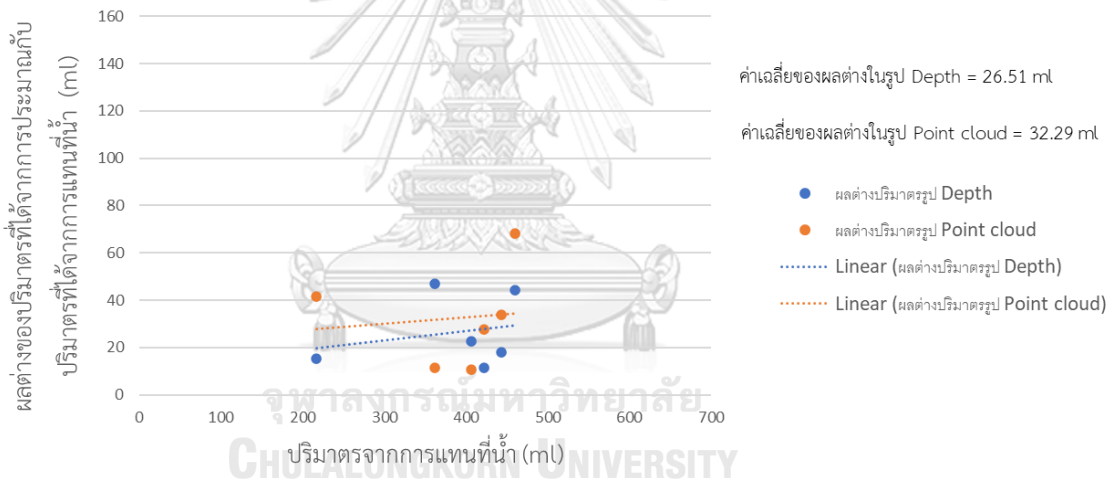
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.10 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวยแกมกระบอก



รูปที่ 4.11 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.12 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นแบบผสม

จากกราฟเมื่อค่าผลต่างของปริมาตรมีค่ามากแสดงว่าการประมาณปริมาตรของวิธีนั้น ๆ ไม่ใกล้เคียงกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำหรือก็คือวิธีการนั้นไม่เหมาะสมกับการหาปริมาตรในมันสำปะหลังรูปร่างนั้นนั่นเองโดยไม่สนใจว่าหัวมันสำปะหลังนั้นจะมีขนาดเป็นเท่าใด จากรูปที่ 4.9 วิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth ให้ค่าเฉลี่ยของผลต่าง 41.49 มิลลิลิตร วิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud ให้ค่าเฉลี่ยของผลต่าง 26.10 มิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังที่มีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกรวยไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีการประมาณหาปริมาตรด้วยรูป Depth เนื่องจากหัวมันสำปะหลังที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวยจะให้หน้าตัดไม่เป็นวงกลมตามที่วิธีการนี้ใช้ในการคำนวณเป็นส่วน

ใหญ่ จึงให้ค่าปริมาตรที่ผิดพลาดมากกว่าการประมาณปริมาตรด้วยรูป Point cloud และเมื่อดูรูปที่ 4.10 วิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth ให้ค่าเฉลี่ยของผลต่าง 30.82 มิลลิลิตรซึ่งน้อยกว่าในวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud ที่ให้ค่าเฉลี่ยผลต่าง 38.71 มิลลิลิตร แสดงว่าในหัวมันสำปะหลังรูปทรงกรวยแกมกระบอกการใช้วิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth จะให้ค่าที่ผิดพลาดน้อยกว่าในวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud หรือมันสำปะหลังรูปร่างทรงกรวยแกมกระบอกให้หน้าตัดเป็นวงกลมเป็นส่วนใหญ่ตรงตามการคำนวณหาปริมาตรด้วยรูป Depth ทั้งนี้ในหัวมันสำปะหลังที่มีรูปร่างทรงกระบอกและรูปร่างแบบผสม(รูปที่ 4.11 และ 4.12) ค่าที่แสดงอาจจะเอามาตีความไม่ได้เพราะตัวอย่างน้อยกว่าอีกสองรูปร่างที่กล่าวไปก่อนอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมถึงข้อมูลผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการประมาณกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำแสดงในตารางที่ 5 โดยคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเพื่อมาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานหรือค่า SD จะบอกถึงการกระจายตัวของค่าผลต่าง ถ้าค่า SD มีค่ามากแสดงว่าค่าผลต่างหรือความผิดพลาดส่วนใหญ่ในวิธีนั้น ๆ สามารถมีค่าอยู่ในช่วง ค่าเฉลี่ย ± ค่า SD ได้ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานหรือค่า SE จะบอกว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างนี้มีความน่าเชื่อถือมากเพียงใด ถ้าค่า SE มีค่าน้อยแสดงว่าหากไปหาค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาตรของข้อมูลที่ถูกสุ่มมาอีกชุด ค่าเฉลี่ยของทั้งสองข้อมูลก็จะใกล้เคียงกันหรือสรุปได้ว่าสามารถใช้ค่าเฉลี่ยนั้น ๆ เป็นตัวแทนของประชากรได้

ตารางที่ 5 ข้อมูลของผลต่างของปริมาตรจากการประมาณกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำ

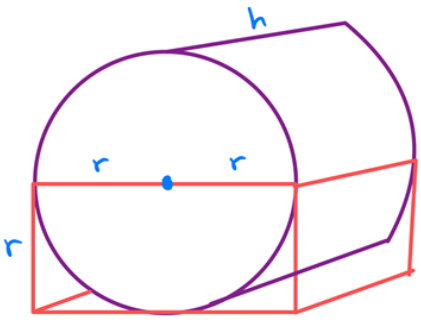
รูปร่างของมันสำปะหลัง	**วิธีการหาปริมาตร**	**ผลต่างของปริมาตรจากการประมาณกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำ (ml)**				
		ค่าเฉลี่ย	ค่า SD	ค่า SE	ค่า Max	ค่า Min
กรวย	รูป Depth	41.49	35.88	5.90	155.51	1.19
	รูป Point cloud	26.10	17.52	2.88	71.86	0.77
กระบอก	รูป Depth	29.73	12.62	4.46	49.48	8.79
	รูป Point cloud	25.56	22.44	7.93	74.93	1.46
กรวยแกมกระบอก	รูป Depth	30.82	33.10	5.44	133.90	1.15
	รูป Point cloud	38.72	22.83	3.75	86.12	1.81
ผสม	รูป Depth	26.51	15.38	6.28	47.14	11.49
	รูป Point cloud	32.29	21.50	8.78	68.28	10.71

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาในแต่ละรูปร่างของมันสำปะหลัง มันสำปะหลังที่มีรูปร่างแบบกรวย การหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud จะให้ค่าผลต่างของปริมาตรที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดทั้งในค่าเฉลี่ยของผลต่างและค่า SD ของผลต่าง แต่ในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างแบบกรวยแกมกระบอกเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยและค่า SD ของผลต่างปริมาตรจากทั้งสองวิธีการแล้วยังอาจสรุปไม่ได้ และในมันสำปะหลังรูปร่างทรงกระบอกและรูปร่างแบบผสมยังมีตัวอย่างที่น้อยไป การที่จะหาขอสรุปนี้อาจจะต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปต่อไป อย่างไรก็ตามรูปร่างของมันสำปะหลังมีผลต่อการประมาณปริมาตรด้วยรูป Depth อย่างแน่นอน

4.3.2 ปัจจัยของวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud

วิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud มาจากแนวคิดที่ว่ามันสำปะหลังมีรูปร่างเป็นทรงรีที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.4.2 ไปแล้ว และได้ค่า 0.8 มาคูณเพื่อประมาณเป็นปริมาตรของหัวมันสำปะหลังจริง แต่ในความเป็นจริงแล้วหัวมันสำปะหลังก็มีลักษณะรูปร่างอื่นเช่นกัน ดังนั้นการใช้ค่า 0.8 เพื่อประมาณมันสำปะหลังเป็นรูปร่างทรงรีเพียงอย่างเดียวจึงทำให้ปริมาตรที่ควรจะเป็นผิดพลาดไป ยกตัวอย่างจากรูปที่ 4.13 คือการคำนวณหาค่าที่จะนำมาคูณเมื่อรูปร่างของหัวมันสำปะหลังเป็นรูปร่างทรงกระบอกซึ่งจะได้ค่าคงที่ที่นำมาคูณเท่ากับ 0.8798 หมายความว่าถ้านำค่านี้มาคูณแทนค่า 0.8 ในกรณีที่มันสำปะหลังมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกก็จะได้ค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการใช้วิธี Point cloud ตามที่แสดงไปก่อนหน้านั้นจะทำนายได้ไม่ดีในกรณีที่มันสำปะหลังมีรูปร่างแบบทรงกระบอก และตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างของปริมาตรมันสำปะหลังในรูปทรงกรวยและรูปทรงกรวยแกมกระบอกเมื่อใช้ค่าต่าง ๆ มาคูณเปรียบเทียบกับปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



$$V_{cylinder} = \pi r^2 h$$

$$V_{prism} = 2r^2 h$$

$$V_{space} = 2r^2 h - \frac{\pi r^2 h}{2}$$

$$V_{total} = \frac{\pi r^2 h + 4r^2 h}{2}$$

$$\frac{V_{real}}{V_{total}} = 1 - \frac{V_{space}}{V_{total}} = 0.8798$$

รูปที่ 4.13 การคำนวณค่าคูณเพื่อหาปริมาตรของมันสำปะหลังรูปแบบทรงกระบอก

ตารางที่ 6 ปริมาตรหัวมันสำปะหลังที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ และลักษณะของหัวมันสำปะหลัง

ปริมาตรของมันสำปะหลัง (ml)			ลักษณะรูปทรงของมันสำปะหลัง
วิธีการแบบทรงรี	วิธีการประมาณแบบทรงกระบอก	วิธีการแทนที่น้ำ	
502.27	552.37	525.6	กรวย
279.10	306.94	276.7	กรวย
318.84	350.65	346.5	กรวยแกมกระบอก
272.11	299.26	302	กรวยแกมกระบอก

จากตารางที่ 6 ปริมาตรที่ได้จากการประมาณว่าหัวมันสำปะหลังเป็นรูปทรงรีจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำในหัวมันสำปะหลังที่มีรูปร่างทรงกรวย และปริมาตรที่ได้จากการประมาณว่าหัวมันสำปะหลังเป็นรูปทรงกระบอกจะให้ค่าใกล้เคียงกับปริมาตรจากการแทนที่น้ำในหัวมันสำปะหลังที่มีรูปร่างทรงกรวยแกมกระบอก จะเห็นได้ว่าค่าที่นำมาคูณในแต่ละรูปร่างของหัวมันสำปะหลังมีค่าใกล้เคียงกันแต่ก็มีนัยสำคัญต่อปริมาตรที่คำนวณออกมา ดังนั้นรูปร่างของหัวมันสำปะหลังจึงมีผลต่อการประมาณปริมาตรของมันสำปะหลัง การประมาณปริมาตรด้วยวิธีนี้จึงไม่ได้เหมาะกับทุกตัวอย่างของมันสำปะหลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.3 ปัจจัยของการหาปริมาตรจากการแทนที่น้ำ

การหาปริมาตรจากการแทนที่น้ำหรือการใช้หลักการของอาร์คิมิดิส (Archimmedes' Principle) เป็นวิธีที่สามารถหาปริมาตรของทุกวัสดุได้ โดยเฉพาะกับสิ่งของที่ไม่สามารถคำนวณหาได้โดยตรง แต่การหาปริมาตรด้วยวิธีนี้ก็สามารถเกิดปัญหาหรือความผิดพลาดขึ้นได้เช่นกัน เช่น การหาปริมาตรของวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะต้องมีการทดลองที่เฉพาะ หรือก็คือต้องมีภาชนะที่สามารถบรรจุสิ่งของนั้นได้ การเลือกภาชนะที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่จะทำให้ใช้เวลาในการหาปริมาตรที่นานกว่าในภาชนะที่มีหน้าตัดขนาดเล็ก เนื่องจากการไหลของน้ำจะไม่เท่ากัน เป็นต้น ผลการทดลองหาปริมาตรในงานวิจัยนี้ก็อาจจะมีความผิดพลาดดังที่กล่าวไปแล้วเช่นเดียวกัน ในตารางที่ 7 คือตัวอย่างของผลการทดลองหาปริมาตรของมันสำปะหลังในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ 1.การหาปริมาตรมันสำปะหลังที่ใส่ถุงสุญญากาศและอ่านค่าปริมาตรของน้ำที่ไหลออกมาเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที 2.การหาปริมาตรมันสำปะหลังที่ใส่ถุงสุญญากาศและอ่านค่าปริมาตรของน้ำที่ไหลออกมาเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที 3.การ

หาปริมาตรมันสำปะหลังที่ไม่ใส่ถุงสุญญากาศและมันสำปะหลังยังไม่เปียกน้ำ 4.การหาปริมาตรมันสำปะหลังที่ไม่ใส่ถุงสุญญากาศและมันสำปะหลังเปียกน้ำแล้ว

ตารางที่ 7 ปริมาตรของมันสำปะหลังที่ได้จากการแทนที่น้ำในรูปแบบต่าง ๆ

ตัวอย่างที่	ปริมาตรของมันสำปะหลังจากการแทนที่น้ำ (ml)			
	ใส่ถุงสุญญากาศ		ไม่ใส่ถุงสุญญากาศทิ้งไว้ 10 นาที	
	ทิ้งไว้ 10 นาที	ทิ้งไว้ 30 นาที	มันสำปะหลังยังไม่เปียก	มันสำปะหลังเปียกแล้ว
1	517.3	541.8	500	513.2
2	576	592	547.5	553
3	467	492	438	454

จากการหาปริมาตรของมันสำปะหลังด้วยการแทนที่น้ำในงานวิจัยนี้พบว่าอาจมีความผิดพลาดจากผู้ทดลองในการอ่านค่าปริมาตรเมื่อเวลาผ่านไปที่ไม่เท่ากัน ปกติแล้วจะรอให้น้ำล้นออกมาเป็นเวลา 10 นาทีแต่ในบางครั้งผู้ทดลองจะสังเกตจากน้ำที่ไหลออกมาไม่ได้อ้างอิงจากเวลาต่อมาถ้าเปรียบเทียบปริมาตรของมันสำปะหลังที่ใส่ถุงสุญญากาศและไม่ได้ใส่ถุงสุญญากาศจะพบว่าปริมาตรของมันสำปะหลังที่ใส่ถุงสุญญากาศมีค่ามากกว่าปริมาตรของมันสำปะหลังที่ไม่ใส่ถุงสุญญากาศสังเกตได้จากตารางในช่องใส่ถุงแล้วทิ้งไว้ 10 นาทีกับมันสำปะหลังเปียกแล้วและไม่ใส่ถุงปริมาตรที่มากกว่านั้นเป็นผลจากปริมาตรของถุงและอากาศข้างในถุงเนื่องจากไม่ได้เป็นสุญญากาศอย่างแท้จริง ในส่วนของปริมาตรมันสำปะหลังที่ยังไม่เปียกจะมีค่าปริมาตรของการแทนที่น้ำที่น้อยกว่าค่าปริมาตรของมันสำปะหลังแบบเปียกแล้ว เนื่องจากจะมีน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อของมันสำปะหลังทำให้น้ำที่ไหลออกมามีน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นค่าที่ผิดพลาดของปริมาตรมันสำปะหลังจากการแทนที่น้ำจะไปมีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาตรที่ได้จากการประมาณด้วยภาพถ่ายทั้งสองวิธีในงานวิจัย

4.3.4 ปัจจัยของข้อมูลรูปจากกล้อง Kinect

อุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพก็มีผลต่อการประมาณหาปริมาตรมันสำปะหลัง เพราะถ้าอุปกรณ์ให้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพ มีความละเอียด มีข้อมูลที่เหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ ก็จะทำให้การวิเคราะห์หาปริมาตรราบรื่น สะดวก และแม่นยำ ในตารางที่ 8 แสดงขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมจาก

การวัดจริงและจากรูป Point cloud เมื่อนำกล่องสี่เหลี่ยมมาวัดขนาดด้วยไม้บรรทัด จากนั้นนำไปถ่ายรูปด้วยการหยิบออกแล้ววางใหม่จำนวน 3 ครั้งแล้วนำรูป Point cloud ที่ได้มาหาขนาด ขนาดที่ได้จากรูป Point cloud ในด้านกว้างและด้านยาวใกล้เคียงกับขนาดจริง แต่ขนาดความสูงจากรูป Point cloud ได้ค่ามากกว่าขนาดจริง และเมื่อนำขนาดที่ได้ไปคิดเป็นปริมาตรของกล่องจะทำให้ปริมาตรมีความแตกต่างกับปริมาตรที่ควรจะเป็นประมาณ 5-15%

ตารางที่ 8 ขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมด้วยการวัดจริงและด้วยการวัดจากรูป Point cloud

ขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมจากการวัดและจากรูป Point cloud				
ครั้งที่	**กว้าง(m)**	**ยาว(m)**	**สูง(m)**	**ปริมาตร (ml)**
ขนาดจริง	0.12	0.12	0.055	792.00
1	0.11842	0.11842	0.06451	904.73
2	0.12057	0.12057	0.06152	894.33
3	0.12057	0.11337	0.06131	838.04

จากปัจจัยที่ได้กล่าวถึงส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด รวมทั้งอาจจะมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการหาปริมาตรของมันสำปะหลังด้วยรูปถ่ายอื่น ๆ อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังสามารถสรุปผลได้ว่าวิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Depth แม่นยำน้อยกว่าวิธีการหาปริมาตรด้วย Point cloud เพราะผลของวิธีการรูป Point cloud ครอบคลุมรูปร่างของมันสำปะหลังมากกว่าหรืออาจจะกล่าวได้ว่าลักษณะรูปร่างของมันสำปะหลังส่วนใหญ่เอื้อให้วิธีการประมาณด้วยรูป Point cloud มากกว่าวิธีการประมาณด้วยรูป Depth แต่ตัวเลขที่บ่งบอกถึงความมากน้อยนั้นอาจจะยังไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องที่สุด ดังนั้นการนำปริมาตรจากการประมาณด้วยรูป Point cloud ไปใช้จึงต้องคำนึงถึงช่วงความผิดพลาดที่ยอมรับได้ด้วย

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการอภิปรายในบทที่แล้วทำให้ได้ผลสรุปของงานวิจัยซึ่งจะนำมากล่าวในบทนี้ รวมถึงในบทนี้เป็นการรวบรวมสาระสำคัญต่าง ๆ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยในงานที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาตรมันสำปะหลังโดยใช้กล้อง RGB-D ต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการหาปริมาตร

การหาปริมาตรของมันสำปะหลังเป็นการใช้ประโยชน์จากกล้องซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การรู้ปริมาตรของมันสำปะหลังเป็นหนึ่งวิธีการที่สามารถนำไปสู่การวัดคุณภาพของมันสำปะหลังได้เพื่อพัฒนาวงการอุตสาหกรรมมันสำปะหลังให้มีประสิทธิภาพและมีมาตราฐานที่ดีขึ้น แต่การหาปริมาตรหรือขนาดด้วยกล้องในปัจจุบันยังเหมาะสมกับสิ่งของที่มีรูปร่างเป็นเรขาคณิต และในมันสำปะหลังยังไม่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้อย่างแพร่หลาย การหาปริมาตรมันสำปะหลังด้วยกล้อง RGB-D จึงเป็นเรื่องที่ใหม่และต้องใช้เวลาในการศึกษาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบถ่ายรูปเพื่อนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์หาปริมาตรมันสำปะหลัง การออกแบบอ้างอิงมาจากการตรวจวัดคุณภาพของมันสำปะหลังในปัจจุบันและยึดหลักการใช้งานที่ง่ายและสะดวก ปัจจุบันมีการสุ่มมันสำปะหลังจำนวน 5 กิโลกรัม จากเกษตรกรที่นำมาขายเพื่อวัดคุณภาพของมันสำปะหลังซึ่งการวัดด้วยเครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้งจะใช้เวลาประมาณ 3 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับการนำมันสำปะหลังจำนวนเท่ากันไปถ่ายรูปซึ่งใช้เวลาที่น้อยกว่าคือใช้เวลาไม่เกิน 1 นาทีและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ปริมาตรที่ใช้เวลาไม่เกิน 1 นาที แสดงในตารางที่ 9 ซึ่งจะนับเวลาที่ประมวลผลเท่านั้นเพราะในการหาปริมาตรนี้ยังต้องใช้คนในการช่วยเหลืออยู่ ดังนั้นหากเปรียบเทียบกันแล้วการใช้กล้องเพื่อหาปริมาตรก็ถือเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว แต่ยังคงต้องมีการพัฒนาอีกในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ในการถ่ายรูปและวิเคราะห์ปริมาตรของมันสำปะหลัง

	รายละเอียด	เวลาที่ใช้ (วินาที)
1	การนำมันสำปะหลัง 1 หัวไปวางและถ่ายรูป	20
2	การถ่ายรูปมันสำปะหลัง 5 กิโลกรัม	60
3	การแยกรูปหัวมันสำปะหลังและวิเคราะห์ปริมาตรด้วยรูป Depth	10
4	การแยกรูปหัวมันสำปะหลังและวิเคราะห์ปริมาตรด้วยรูป Point Cloud	15

วิธีการหาปริมาตรที่นำมาปรับใช้ในงานวิจัยนี้คือการใช้รูป Depth แล้วคำนวณปริมาตรแบบ Disk method และการใช้รูป Point cloud แล้วนำมาคำนวณแบบ Voxel ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณหาปริมาตรที่ง่ายและนิยมนำมาใช้ ข้อสรุปของวิธีการหาปริมาตรมันสำปะหลังคือ การหาปริมาตรมันสำปะหลังด้วยรูป Point cloud (ค่า RMSE = 41.4 ml หรือ 13.06% เมื่อเทียบกับค่าปริมาตรเฉลี่ย) มีความเหมาะสมกว่าวิธีการหาปริมาตรมันสำปะหลังด้วยรูป Depth (ค่า RMSE = 66.94 ml หรือ 21.12% เมื่อเทียบกับค่าปริมาตรเฉลี่ย) เนื่องจากวิธีการหาปริมาตรนี้ครอบคลุมกับรูปร่างของมันสำปะหลังที่มีเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือมันสำปะหลังจะมีรูปร่างเป็นทรงกรวยหรือทรงกรวยแกมกระบอกจำนวนมากซึ่งการหาปริมาตรด้วยวิธีการใช้รูป Depth จะให้ผลผิดพลาดมากกว่า ถึงแม้ในมันสำปะหลังที่มีรูปร่างอื่นวิธีการใช้รูป Depth จะดีกว่า ดังนั้นหากพิจารณาถึงการนำไปใช้จริงมันสำปะหลังที่ถูกสุ่มมามีความน่าจะเป็นที่มีรูปร่างทรงกรวยหรือทรงกรวยแกมกระบอกเป็นจำนวนมาก การใช้วิธีการหาปริมาตรด้วยรูป Point cloud จึงเป็นวิธีที่ดีกว่านั่นเอง

5.2 การเชื่อมโยงไปสู่เปอร์เซ็นต์แป้ง

สิ่งที่ปริมาตรของมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ได้คือการเชื่อมโยงไปสู่การวัดเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลัง นอกจากนั้นภาพถ่ายอันเดียวกับที่ใช้หาปริมาตรของมันสำปะหลังก็ยังสามารถนำไปวิเคราะห์คุณภาพของมันสำปะหลังอย่างอื่นได้อีก แต่การที่แนวคิดนี้จะประสบความสำเร็จ สามารถนำไปใช้จริงได้นั้นยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและปรับปรุงอีกหลายขั้นตอน

จากบทที่สองที่กล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพมันสำปะหลังจะเห็นว่าเครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้งใช้หลักการเปลี่ยนความถ่วงจำเพาะไปเป็นเปอร์เซ็นต์แป้งและสมการที่ใช้ในการเปลี่ยนนี้ก็มีงานวิจัยที่เผยแพร่ออกมาให้ได้เห็น จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของหัวมันสำปะหลังได้ ปริมาตรของมันสำปะหลังรู้ได้จากการประมาณด้วยภาพถ่ายและน้ำหนักหาจากการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปหาความหนาแน่นของมันสำปะหลังตามสมการที่ 5.1 เมื่อรู้ความหนาแน่นของมันสำปะหลังแล้วนำไปหารด้วยความหนาแน่นของน้ำก็จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะของมันสำปะหลัง(สมการที่ 5.2) สุดท้ายนำค่าความถ่วงจำเพาะแทนในสมการที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์แป้งก็จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งออกมา โดยช่วงค่าความถ่วงจำเพาะที่ 1.066 – 1.13 จะใช้สมการของ Boothb [8] และค่าความถ่วงจำเพาะช่วง 1.13-1.19 จะใช้สมการของฉ่ำสิงห์ [5] ตารางที่ 10 แสดงตัวอย่างของผลการหาเปอร์เซ็นต์แป้ง แต่อย่างไรก็ตามการหาเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยวิธีนี้ยังต้องพิสูจน์ว่าสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้ววิธีนี้จะสามารถระบุเปอร์เซ็นต์แป้งแบบรายชิ้นได้เลย ไม่เหมือนกับในวิธีการปัจจุบัน

$$Density\left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{Weight(kg)}{Volume(m^3)} \quad \text{———5.1}$$

$$Specific\ gravity\ (S.G.) = \frac{Density\ of\ Object}{Density\ of\ water} = \frac{Density\ of\ Object}{1000\left(\frac{kg}{m^3}\right)} \quad \text{———5.2}$$

ตารางที่ 10 ตัวอย่างผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง

num	Weight (kg)	Volume (ml)	Density (kg/m3)	specific gravity, SG	Starch (%)
1	0.4967	444.8	1116.68	1.1167	30.6641
2	0.3667	332	1104.52	1.1045	28.7288
3	0.4933	425.7	1158.80	1.1588	26.3566
4	0.2333	205.3	1136.39	1.1364	23.9489
5	0.6033	530.2	1137.87	1.1379	24.1086
6	0.2933	255.5	1147.95	1.1479	25.1908

5.3 ข้อเสนอแนะอื่น

ในการหาปริมาตรมันสำปะหลังโดยกล้อง RGB-D ที่งานวิจัยนี้ทำยังต้องใช้คนในการช่วยควบคุมและช่วยเหลือ หากมีการนำ Machine Learning มาใช้เพื่อตรวจจับรูปร่างและตำแหน่งของมันสำปะหลังจะช่วยให้การหาปริมาตรมีความแม่นยำมากขึ้น และต้องมีการเขียน User Interface เป็นโปรแกรมใหม่ขึ้นมาเพื่อความง่ายและสะดวก คนทั่วไปสามารถใช้งานได้ง่าย

กล้อง RGB-D ยังมีข้อมูลสีที่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำมาใช้ ข้อมูลสีนี้สามารถนำไปพัฒนาตรวจจับสิ่งเจือปนในมันสำปะหลังและร่วมกับข้อมูลความลึกเพื่อหาปริมาณของสิ่งเจือปนที่ติดมาได้ การที่สามารถวัดสิ่งเจือปนได้ด้วยเครื่องมือทำให้การตรวจวัดประสิทธิของมันสำปะหลังมีมาตรฐานขึ้น อีกทั้งการเก็บข้อมูลรูปถ่ายของมันสำปะหลังในระยะยาวยังสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ เช่น พันธุ์นี้ปลูกในพื้นที่นี้แล้วให้เปอร์เซ็นต์แป้งหรือน้ำหนักที่ดี หรือนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อวางแผนการปลูกในแต่ละพื้นที่ เช่น ควรจะปลูกในเดือนนี้เพื่อให้หัวมันสำปะหลังไม่เจอน้ำขังในดินแล้วเน่า เป็นต้น อีกข้อเสนอแนะคือการนำกล้องไปใช้บนสายพานเพื่อตรวจวัดได้ทีละชิ้นและรู้ผลได้ทันทีแบบ Real-time

บรรณานุกรม

1. Economics, O.o.A. *Export*. 2019; Available from: http://impexp.oae.go.th/service/export.php.
2. กรมวิชาการเกษตร, ค., เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง. 2550, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตร จำกัด.
3. Bangwaek, C., *Post Harvest Technology and quality evaluation in cassava*. 2561: Bangkok.
4. สงคศิริ, ว., คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง, สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม, Editor. 2559.
5. ฉ่ำสิงห์, อ., วิจัยและพัฒนาการตรวจสอบปริมาณแป้งในหัวมันสาปะหลังสด. 2556, กรมวิชาการเกษตร.
6. 473, F., การตรวจสอบออปติคอลโรเทชัน (*Optical Rotation)* โดยใช้เครื่อง *polarimeter*. การสังเคราะห์สารให้กลิ่นรสที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. 2551, มหาวิทยาลัยรามคำแหง: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
7. Service, D.o.S. *Determination of starch content in cassava roots*. 1981; Available from: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2524_95_5.pdf.
8. Boothb, D.W.W.a.R.H., *A Comparison of Simple Methods for Estimating Starch Content of Cassava Roots.* J. Sci. Food Agric, 1978. **30**: p. 158-164.
9. Bahadir SAYINCI, S.E., Ismail OZTURK, Zeynep ERYILMAZ, Bunyamin DEMIR, *Determination of Size and Shape in the 'Moro' Blood Orange and 'Valencia' Sweet Orange Cultivar and its Mutants Using Image Processing.* Not Bot Horti Agrobo, 2012. **40**(1): p. 234-242.
10. Koc, A.B., *Determination of watermelon volume using ellipsoid.* Postharvest Biology and Technology, 2007: p. 366-371.
11. Long, Y., et al., *Potato volume measurement based on RGB-D camera.* Potato volume measurement based on RGB-D camera, 2018: p. 515-520.
12. Wang, W.L., Changying, *Size estimation of sweet onions using consumer-grade.* Journal of Food Engineering, 2014: p. 153-162.
13. กรมวิชาการเกษตร, ค., การจำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง. 2552, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พุทธศาสนาแห่งชาติ.

14. Fukuda, W.M.G.G., C.L.; Kawuki, R.; Ferguson, M.E., *Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava.* Research to Nourish Africa, 1998: p. 38.
15. Corporation, I. *Beginner's guide to depth (Updated).* 2019 [cited 2020; Available from: https://www.intelrealsense.com/beginners-guide-to-depth/.
16. วงศ์ภาคำ, ข., *Kinect: The a applicable of game motion console.* Langisser's Blog, 2011.
17. Seo, D., et al., *SVM-based waist circumference estimation using Kinect.* Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2020: p. 105418.
18. Urmi Sultana[1*], M.H., Popy Akter[1], Maruful Islam[1], Md. Abdullah Al Mahmud[1], and A.H.M.Z.K. Muhammad Towhidur Rahman[1], *Determination of Green Spots (Trees) For Google Satellite Images Using MATLAB.* Procedia Computer Science, 2020. **171**: p. 1634–1641.
19. สมภาร, พ., การวัดการกระจายในงานวิจัยทางชีววิทยา : ควาเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การแปรผัน. วารสารวิทยาศาสตร!และเทคโนโลยี, 2561. **26**: p. 490-498.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

1) ตารางข้อมูลเพิ่มเติม

เป็นตารางข้อมูลของมันสำปะหลังทั้ง 90 ตัวอย่าง

ตารางข้อมูลของมันสำปะหลัง

num	Name	Weight(kg)	Volume(ml)	Density(kg/m3)	specific gravity, SG	Starch (%)
1	single1	0.52	525.60	983.07	0.98	
2	single3	0.26	276.70	927.72	0.93	
3	4	0.50	444.80	1,116.68	1.12	30.66405126
4	5	0.37	332.00	1,104.52	1.10	28.7288253
5	6	0.31	362.00	847.24	0.85	
6	7	0.49	425.70	1,158.80	1.16	26.35659126
7	8	0.45	443.30	1,015.11	1.02	
8	10	0.50	475.00	1,052.63	1.05	
9	11	0.67	599.50	1,112.09	1.11	29.93406172
10	13	0.30	266.50	1,125.70	1.13	32.09943715
11	15	0.23	205.30	1,136.39	1.14	23.94892401
12	17	0.30	290.00	1,045.86	1.05	
13	18	0.60	530.20	1,137.87	1.14	24.10864278
14	19	0.37	346.70	1,057.69	1.06	
15	20	0.27	273.00	976.92	0.98	
16	21	0.30	291.60	1,028.81	1.03	
17	22	0.52	496.00	1,055.04	1.06	
18	23	0.32	303.00	1,056.11	1.06	
19	24	0.31	346.50	885.14	0.89	
20	25	0.31	316.00	981.01	0.98	
21	26	0.30	299.00	1,003.34	1.00	
22	27	0.30	289.50	1,047.67	1.05	
23	28	0.30	302.00	982.45	0.98	
24	29	0.29	255.50	1,147.95	1.15	25.19075342
25	30	0.30	317.33	934.99	0.93	
26	31	0.24	232.00	1,020.26	1.02	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

num	Name	Weight(kg)	Volume(ml)	Density(kg/m3)	specific gravity, SG	Starch (%)
27	32	0.21	231.00	894.81	0.89	
28	33	0.27	239.00	1,115.90	1.12	30.53962343
29	34	0.20	250.00	800.00	0.80	
30	35	0.20	190.00	1,035.26	1.04	
31	1003_1	0.54	496.67	1,089.58	1.09	26.35279732
32	2	0.21	226.67	935.15	0.94	
33	3	0.42	376.67	1,108.26	1.11	29.32363097
34	4	0.18	186.67	982.54	0.98	
35	5	0.52	506.67	1,025.74	1.03	
36	6	0.51	500.00	1,029.95	1.03	
37	8	0.22	213.33	1,022.06	1.02	
38	9	0.41	410.00	998.29	1.00	
39	10	0.56	510.00	1,089.67	1.09	26.36700654
40	11	0.41	380.00	1,078.69	1.08	24.62005351
41	12	0.25	226.67	1,099.93	1.10	27.99830147
42	14	0.51	460.00	1,118.41	1.12	30.93836232
43	15	0.46	443.33	1,036.43	1.04	
44	0603_1	0.61	568.00	1,067.75	1.07	22.87939847
45	3	0.44	406.00	1,091.01	1.09	26.57966749
46	4	0.11	143.33	753.37	0.75	
47	5	0.32	313.00	1,021.19	1.02	
48	7	0.40	400.00	997.73	1.00	
49	8	0.17	179.00	967.78	0.97	
50	9	0.48	422.00	1,126.65	1.13	32.25015324
51	1803_1	0.32	293.33	1,101.38	1.10	28.2287625
52	2	0.53	483.33	1,098.68	1.10	27.8004269
53	3	0.46	416.67	1,112.98	1.11	30.0757544
54	4	0.65	590.00	1,109.08	1.11	29.45538305
55	5	0.25	250.00	990.60	0.99	
56	6	0.29	293.33	999.03	1.00	
57	7	0.39	383.33	1,022.59	1.02	
58	8	0.40	400.00	996.99	1.00	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

num	Name	Weight(kg)	Volume(ml)	Density(kg/m3)	specific gravity, SG	Starch (%)
59	9	0.14	140.00	978.10	0.98	
60	10	0.37	360.00	1,027.15	1.03	
61	11	0.32	286.67	1,105.85	1.11	28.94055
62	12	0.12	130.00	936.51	0.94	
63	13	0.25	243.33	1,046.48	1.05	
64	14	0.15	170.00	910.31	0.91	
65	15	0.18	203.33	904.59	0.90	
66	16	0.51	480.00	1,068.56	1.07	23.00829375
67	17	0.16	160.00	1,011.46	1.01	
68	18	0.28	280.00	1,001.86	1.00	
69	19	0.33	300.00	1,084.91	1.08	25.60935778
70	20	0.18	200.00	899.23	0.90	
71	21	0.36	340.00	1,054.74	1.05	
72	22	0.31	320.00	978.93	0.98	
73	23	0.51	460.00	1,101.26	1.10	28.21060435
74	24	0.67	600.00	1,118.33	1.12	30.92683333
75	25	0.28	260.00	1,058.13	1.06	
76	26	0.11	110.00	966.58	0.97	
77	27	0.13	140.00	942.88	0.94	
78	28	0.20	216.67	916.28	0.92	
79	29	0.29	280.00	1,031.63	1.03	
80	30	0.08	66.67	1,193.80	1.19	
81	31	0.12	116.67	1,065.74	1.07	
82	32	0.16	166.67	985.44	0.99	
83	33	0.21	216.67	982.45	0.98	
84	34	0.56	536.67	1,049.60	1.05	
85	35	0.13	153.33	875.59	0.88	
86	36	0.48	440.00	1,100.07	1.10	28.02084773
87	37	0.25	210.00	1,195.40	1.20	
88	38	0.05	60.00	825.11	0.83	
89	39	0.10	126.67	821.50	0.82	
90	40	0.11	120.00	923.08	0.92	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางข้อมูลแสดงปริมาตรของมันสำปะหลัง

num	ml		
	WD Volume	Estimated Volume	
		Image Processing #1	Point Cloud #1
1	525.60	580.37	502.27
2	276.70	343.15	279.10
3	444.80	547.01	492.79
4	332.00	381.48	348.53
5	362.00	409.14	373.41
6	425.70	559.60	485.75
7	443.30	520.12	472.26
8	475.00	570.27	535.95
9	599.50	713.72	634.24
10	266.50	338.57	296.46
11	205.30	244.25	203.84
12	290.00	355.91	324.12
13	530.20	604.29	560.69
14	346.70	435.00	372.23
15	273.00	293.84	269.50
16	291.60	340.81	322.12
17	496.00	560.71	558.40
18	303.00	375.27	353.06
19	346.50	326.85	318.84
20	316.00	407.60	351.26
21	299.00	344.09	308.25
22	289.50	312.08	321.92
23	302.00	314.11	272.11
24	255.50	286.81	275.55
25	317.33	348.31	302.97
26	232.00	233.19	221.64
27	231.00	250.20	212.70
28	239.00	271.21	239.77

num	ml		
	WD Volume	Estimated Volume	
		Image Processing #1	Point Cloud #1
29	250.00	267.26	217.65
30	190.00	241.18	199.43
31	496.67	532.38	519.04
32	226.67	217.45	190.68
33	376.67	438.12	377.86
34	186.67	187.74	156.55
35	506.67	517.21	503.98
36	500.00	493.01	474.01
37	213.33	221.62	164.06
38	410.00	417.03	417.64
39	510.00	537.00	522.10
40	380.00	367.75	393.87
41	226.67	259.69	210.46
42	460.00	516.15	477.70
43	443.33	461.34	409.33
44	568.00	570.61	566.19
45	406.00	428.66	395.29
46	143.33	84.17	76.88
47	313.00	304.21	289.57
48	400.00	373.06	362.55
49	179.00	161.82	155.60
50	422.00	433.49	449.57
51	293.33	296.72	262.83
52	483.33	571.11	508.60
53	416.67	458.79	403.75
54	590.00	745.51	576.14
55	250.00	226.20	208.31
56	293.33	297.94	234.54
57	383.33	380.51	380.20
58	400.00	406.03	356.29
59	140.00	151.86	106.77

num	ml		
	WD Volume	Estimated Volume	
		Image Processing #1	Point Cloud #1
60	360.00	424.55	356.87
61	286.67	311.92	280.49
62	130.00	113.54	69.48
63	243.33	253.72	216.64
64	170.00	159.17	96.43
65	203.33	199.30	131.47
66	480.00	481.15	428.10
67	160.00	142.07	85.07
68	280.00	260.64	230.53
69	300.00	291.65	299.06
70	200.00	190.24	123.66
71	340.00	384.11	372.33
72	320.00	329.24	306.96
73	460.00	504.40	528.28
74	600.00	693.73	655.56
75	260.00	242.32	246.67
76	110.00	114.60	64.86
77	140.00	126.61	95.89
78	216.67	195.70	169.66
79	280.00	261.16	234.98
80	66.67	63.59	42.54
81	116.67	107.45	83.33
82	166.67	159.01	138.24
83	216.67	201.29	174.90
84	536.67	566.55	491.93
85	153.33	122.23	88.48
86	440.00	437.02	463.68
87	210.00	196.36	156.06
88	60.00	36.04	16.65
89	126.67	99.35	45.13
90	120.00	90.41	33.88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางแสดงข้อมูลผลต่างของปริมาตรในมันสำปะหลังรูปแบบกรวย

แบบกรวย				
WD Volume	Estimated Volume (ml)			
	Image Processing #1	Difference1	Point Cloud #1	Difference2
60.00	36.0387	23.9613	16.6467	43.3533
66.67	63.5889	3.0778	42.5417	24.1249
116.67	107.4543	9.2124	83.3293	33.3374
140.00	151.8630	11.8630	106.7695	33.2305
140.00	126.6146	13.3854	95.8939	44.1061
166.67	159.0108	7.6558	138.2376	28.4291
190.00	241.1807	51.1807	199.4323	9.4323
203.33	199.3013	4.0320	131.4694	71.8640
216.67	195.6981	20.9686	169.6588	47.0078
226.67	217.4487	9.2179	190.6760	35.9906
232.00	233.1898	1.1898	221.6365	10.3635
239.00	271.2119	32.2119	239.7746	0.7746
243.33	253.7194	10.3861	216.6394	26.6939
250.00	267.2648	17.2648	217.6480	32.3520
255.50	286.8120	31.3120	275.5489	20.0489
260.00	242.3212	17.6788	246.6742	13.3258
266.50	338.5654	72.0654	296.4573	29.9573
276.70	343.1537	66.4537	279.1005	2.4005
286.67	311.9177	25.2510	280.4866	6.1801
289.50	312.0818	22.5818	321.9216	32.4216
290.00	355.9078	65.9078	324.1166	34.1166
299.00	344.0940	45.0940	308.2452	9.2452
300.00	291.6468	8.3532	299.0558	0.9442
303.00	375.2740	72.2740	353.0570	50.0570
316.00	407.6018	91.6018	351.2608	35.2608
346.70	435.0024	88.3024	372.2323	25.5323
360.00	424.5465	64.5465	356.8696	3.1304

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบกรวย				
WD Volume	Estimated Volume (ml)			
	Image Processing #1	Difference1	Point Cloud #1	Difference2
376.67	438.1226	61.4559	377.8557	1.1891
443.30	520.1241	76.8241	472.2648	28.9648
444.80	547.0127	102.2127	492.7882	47.9882
460.00	516.1525	56.1525	477.6968	17.6968
500.00	493.0076	6.9924	474.0100	25.9900
506.67	517.2128	10.5462	503.9840	2.6827
525.60	580.3695	54.7695	502.2693	23.3307
536.67	566.5543	29.8876	491.9286	44.7380
590.00	745.5124	155.5124	576.1398	13.8602
600.00	693.7342	93.7342	655.5647	55.5647

ตารางแสดงข้อมูลผลต่างของปริมาตรในมันสำปะหลังรูปแบบกระบอก

แบบกระบอก				
WD Volume	Estimated Volume (ml)			
	Image Processing #1	Difference1	Point Cloud #1	Difference2
160.00	142.0691	17.9309	85.0659	74.9341
205.30	244.2513	38.9513	203.8379	1.4621
226.67	259.6898	33.0232	210.4604	16.2062
313.00	304.2108	8.7892	289.5714	23.4286
332.00	381.4768	49.4768	348.5294	16.5294
400.00	373.0574	26.9426	362.5517	37.4483
496.67	532.3781	35.7115	519.0363	22.3696
510.00	536.9990	26.9990	522.0990	12.0990

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางแสดงข้อมูลผลต่างของปริมาตรในมันสำปะหลังรูปแบบกรวยแกมกระบอก

แบบกรวยแกมกระบอก				
WD Volume	Estimated Volume (ml)			
	Image Processing #1	Difference1	Point Cloud #1	Difference2
110.00	114.5953	4.5953	64.8577	45.1423
120.00	90.4079	29.5921	33.8824	86.1176
126.67	99.3488	27.3179	45.1316	81.5351
130.00	113.5356	16.4644	69.4778	60.5222
143.33	84.1676	59.1657	76.8802	66.4531
153.33	122.2306	31.1027	88.4753	64.8580
170.00	159.1678	10.8322	96.4319	73.5681
179.00	161.8174	17.1826	155.6016	23.3984
210.00	196.3550	13.6450	156.0590	53.9410
213.33	221.6226	8.2892	164.0588	49.2745
231.00	250.2025	19.2025	212.6983	18.3017
250.00	226.2029	23.7971	208.3064	41.6936
273.00	293.8364	20.8364	269.4965	3.5035
280.00	260.6366	19.3634	230.5339	49.4661
280.00	261.1558	18.8442	234.9800	45.0200
291.60	340.8124	49.2124	322.1156	30.5156
293.33	296.7159	3.3825	262.8256	30.5077
293.33	297.9374	4.6041	234.5385	58.7948
302.00	314.1117	12.1117	272.1129	29.8871
317.33	348.3115	30.9815	302.9717	14.3583
320.00	329.2423	9.2423	306.9568	13.0432
340.00	384.1121	44.1121	372.3279	32.3279
346.50	326.8475	19.6525	318.8409	27.6591
380.00	367.7522	12.2478	393.8740	13.8740
383.33	380.5062	2.8272	380.2047	3.1286
400.00	406.0348	6.0348	356.2948	43.7052
410.00	417.0330	7.0330	417.6427	7.6427
416.67	458.7929	42.1262	403.7534	12.9132
425.70	559.5962	133.8962	485.7526	60.0526

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบกรวยแกมกระบอก				
WD Volume	Estimated Volume (ml)			
	Image Processing #1	Difference1	Point Cloud #1	Difference2
440.00	437.0182	2.9818	463.6844	23.6844
475.00	570.2685	95.2685	535.9514	60.9514
480.00	481.1542	1.1542	428.0953	51.9047
483.33	571.1111	87.7778	508.5966	25.2633
496.00	560.7065	64.7065	558.4027	62.4027
530.20	604.2940	74.0939	560.6890	30.4890
568.00	570.6133	2.6133	566.1854	1.8146
599.50	713.7219	114.2219	634.2424	34.7424

ตารางแสดงข้อมูลผลต่างของปริมาตรในมันสำปะหลังรูปแบบผสม

แบบผสม				
WD Volme	Estimated Volume (ml)			
	Image Processing #1	Difference1	Point Cloud #1	Difference2
362.00	409.1392	47.1392	373.4058	11.4058
443.33	461.3426	18.0092	409.3282	34.0051
406.00	428.6564	22.6564	395.2949	10.7051
422.00	433.4852	11.4852	449.5702	27.5702
460.00	504.3962	44.3962	528.2751	68.2751
216.67	201.2885	15.3782	174.9043	41.7624

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) MATLAB code

การหาค่า Z ของพื้นหลังในรูป Point cloud

```
close all
% clear all
clc

% load 1803_bg1

%find value of background

%findPointsInROI
%value of box
roi = [-0.26,0.27;-0.21,0.25;-inf,inf];
indices = findPointsInROI(ptCloud, roi);
ptCloudbg = select(ptCloud,indices);
% indices = findPointsInROI(ptCloud2, roi);
% ptCloudbg = select(ptCloud2,indices);
figure;pcshow(ptCloudbg);

bgx = ptCloudbg.Location(1:end,1);
bgy = ptCloudbg.Location(1:end,2);
bgz = ptCloudbg.Location(1:end,3);

z = mean(bgz)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การหาค่า Z ของหัวมันสำปะหลังและคำนวณเป็นปริมาตรในรูป Point cloud

```
close all
clc

%findPointsInROI
%%
% %find value of background
%
roi = [-0.235,0.1986,-0.3184,0.3144,-inf,inf];
indices = findPointsInROI(ptCloud, roi);
ptCloudbg = select(ptCloud,indices);
```

```
% indices = findPointsInROI(ptCloud2, roi);
% ptCloudbg = select(ptCloud2,indices);
figure;pcshow(ptCloudbg);

bgx = ptCloudbg.Location(1:end,1);
bgy = ptCloudbg.Location(1:end,2);
bgz = ptCloudbg.Location(1:end,3);

z = mean(bgz)

%%


roi = [-0.235,0.1986,-
0.3184,0.3144,0.9,min(bgz)-0.01];
indices = findPointsInROI(ptCloud, roi);
ptCloudA = select(ptCloud,indices);
figure;pcshow(ptCloudA);xlabel('X(m)');
ylabel('Y(m)');zlabel('Z(m)');

%pair
% roi2 = [-0.235,-0.05,-
0.3184,0.3144,0.9,min(bgz)-0.01]; %num1
roi2 = [-0.05,0.1986,-
0.3184,0.3144,0.9,min(bgz)-0.01]; %num2
indices = findPointsInROI(ptCloudA, roi2);
ptCloudA1 = select(ptCloudA,indices);
figure;pcshow(ptCloudA1);xlabel('X(m)');
ylabel('Y(m)');zlabel('Z(m)');


three_041214b1
roi2 = [-0.05,0.1,-0.2,-0.05,0.9,min(bgz)-0.01];
%num1
roi2 = [-0.15,0.05,-0.15,0.3144,0.9,min(bgz)-
0.01]; %num2
roi2 = [0.04,0.1986,-0.1,0.15,0.9,min(bgz)-
0.01]; %num3
roi2 = [-0.15,-0.05,-0.15,-0.05,0.9,min(bgz)-
0.01];
indices = findPointsInROI(ptCloudA, roi2);
ptCloudA1 = select(ptCloudA,indices);
figure;pcshow(ptCloudA1);xlabel('X(m)');
ylabel('Y(m)');zlabel('Z(m)');
```

CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
roi3 = [-0.15,0.04,-0.05,0.1,0.9,min(bgz)-0.01];
indices = findPointsInROI(ptCloudA, roi3);
ptCloudA2 = select(ptCloudA,indices);
figure;pcshow(ptCloudA2);xlabel('X(m)');
ylabel('Y(m)');zlabel('Z(m)');

roi4 = [-0.15,0.049,0.1,0.3144,0.9,min(bgz)-
0.01];
indices = findPointsInROI(ptCloudA, roi4);
ptCloudA3 = select(ptCloudA,indices);
figure;pcshow(ptCloudA3);xlabel('X(m)');
ylabel('Y(m)');zlabel('Z(m)');

ptCloudAA = pcmerge(ptCloudA1,ptCloudA2,1);
ptCloudAAA = pcmerge(ptCloudAA,ptCloudA3,1);
figure;pcshow(ptCloudAAA);xlabel('X(m)');
ylabel('Y(m)');zlabel('Z(m)');



Count = ptCloudA.Count ;
ratio = (5/28)^2;
ratio2 = 1 ;

n=0;
ZZ =z-ptCloudA.Location(:,3);
for i=1:length(ZZ)
%     if ZZ(i)>min(ZZ)
%         n = n + ZZ(i)*ratio*10^2*ratio2;
%     end

    n = n + ZZ(i)*ratio*10^2*ratio2 ;  %
(pixel^2)*(cm)
%     n = n + 0.055*ratio*10^2*1 ;
end
an = n*1
```

การหาปริมาตรของมันสำปะหลังด้วยรูป Depth

```
%Image Processing

pic = depthImage ;
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
% figure;imshow(pic,[0 3000]);
J = imcrop(pic,[166 120 280 280]);
%specified  [xmin ymin width height].
%top left is 0,0
figure;imshow(J,[0 3000]);

%-------------------------

%remove dark spot
%-------------------------
val1 = find(J==0);
[row,col] = find(J==0);
for i = transpose(val1)
    for j = transpose(row)
        for k = transpose(col)
%             if J(j,k+1)~= 0 & J(j+1,k) ~= 0
%                 J(i) = mean([J(j,k-1) J(j,k+1)
J(j-1,k) J(j+1,k)]);
%             else
%                 J(i) = mean([J(j,k-1) J(j-
1,k)]);
                J(i) = mean([J(j,k+1)
J(j+1,k)]);
%             end
        end
    end
end


%segment
%---------------
% % change to binary
% val2 = find(J>900); %no backgournd
val2 = find(J>1072);
J(val2) = 0 ;
% BW = imbinarize(J);
% figure; imshow(BW);
figure; imshow(J,[0 3000]);
BW = bwareaopen(J, 500);
figure; imshow(BW);
BW = uint16(BW);
J = J.*BW ;
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
[B,L] = bwboundaries(J,'noholes');

% Display the label matrix and draw each
boundary
% imshow(label2rgb(L, @jet, [.5 .5 .5]))
% hold on
% for k = 1:length(B)
%   boundary = B{k};
%   plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'w',
'LineWidth', 2)
% end

stats =
regionprops(L,'BoundingBox','Centroid','Orientat
ion','Area');
% [angle1 ,angle2] = stats.Orientation;
angle = stats.Orientation;
J = imrotate(J,-angle,'bilinear','crop');
[B,L] = bwboundaries(J,'noholes');
stats =
regionprops(L,'BoundingBox','Centroid'...

,'Orientation','MajorAxisLength','MinorAxisLengt
h');
% figure; imshow(J,[0 3000]);
hold on
x1 = stats.BoundingBox(1);
y1 = stats.BoundingBox(2);
xx = stats.BoundingBox(3);
yy = stats.BoundingBox(4);
pgon = polyshape([x1 x1 x1+xx x1+xx],[y1 y1+yy
y1+yy y1]);
plot(pgon,'EdgeColor','blue','FaceAlpha',0.1)
hold off
newdepth = imcrop(J,[x1 y1 xx yy]);

figure; imshow(newdepth,[0 3000]);
scale = 2/11.5 ;
% scale = 4/100 ;
[r,c] = size(newdepth) ;
A = [];
for i = 1:c
    L = find(newdepth(:,i)~=0);
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
        [rr, cc] = size(L) ;
        A = [A, pi*((rr/2*scale)^2)] ;
    end

    Volume = sum(A*scale)
    % Volume = sum(A)

    ann = Volume;
    % data2 =[ann];
    data2 = [data2;ann];
```

การเชื่อมต่อและเก็บข้อมูลภาพถ่ายจากกล้อง KINECT

```
    clc
    clear all
    close all

    %collect all type .mat

    info = imaqhwinfo('kinect');
    info.DeviceInfo(1);
    info.DeviceInfo(2);
    %
    % vid = videoinput('kinect',1);
    % src = getselectedsource(vid);
    % %preview(vid);
    %
    % vid2 = videoinput('kinect', 2);
    % src2 = getselectedsource(vid2);
    % preview(vid2);

    %%%---------------------------
    %%Plot colored point cloud from Kinect for
    Windows
    colorDevice = imaq.VideoDevice('kinect',1)
    depthDevice = imaq.VideoDevice('kinect',2)
    colorDevice();
    depthDevice();
    colorImage = colorDevice();
    depthImage = depthDevice();
```

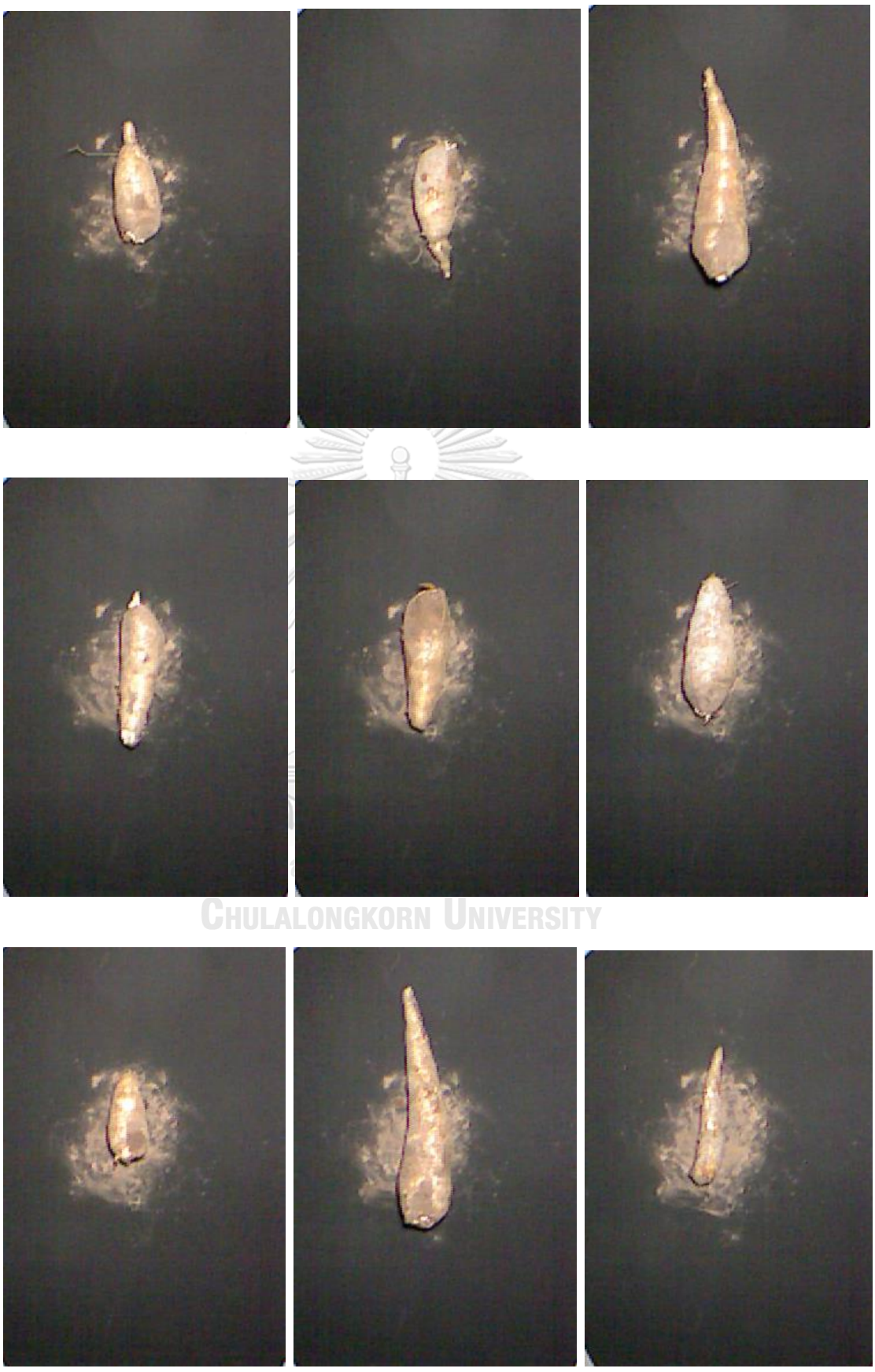
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
ptCloud = pcfromkinect(depthDevice, depthImage,
colorImage);

% Initialize a player to visualize 3-D point
cloud data. The axis is
% set appropriately to visualize the point cloud
from Kinect.
player = pcplayer(ptCloud.XLimits,
ptCloud.YLimits, ptCloud.ZLimits,...
                'VerticalAxis', 'y',
'VerticalAxisDir', 'down');

xlabel(player.Axes, 'X (m)');
ylabel(player.Axes, 'Y (m)');
zlabel(player.Axes, 'Z (m)');

%   Acquire and view Kinect point cloud data.
while isOpen(player)
   colorImage = colorDevice();
   depthImage = depthDevice();

   ptCloud = pcfromkinect(depthDevice,
depthImage, colorImage);
   ptCloud2 = pcfromkinect(depthDevice,
depthImage);

   view(player, ptCloud);
end
% save('pair_0717b3.mat')
save('Indexdepth8.mat')
% save('background_050963_1.mat')
release(colorDevice);
release(depthDevice);
```

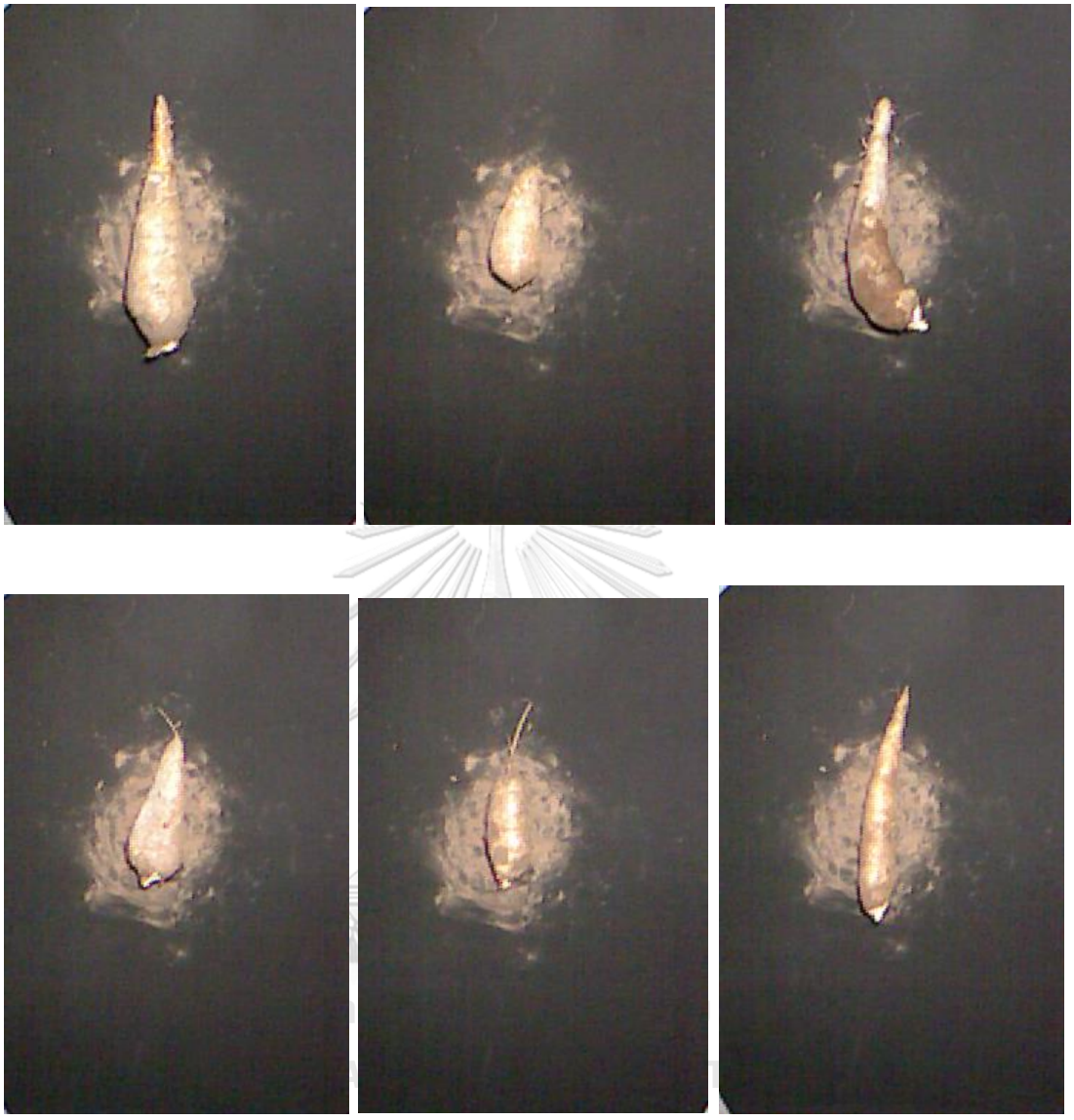
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

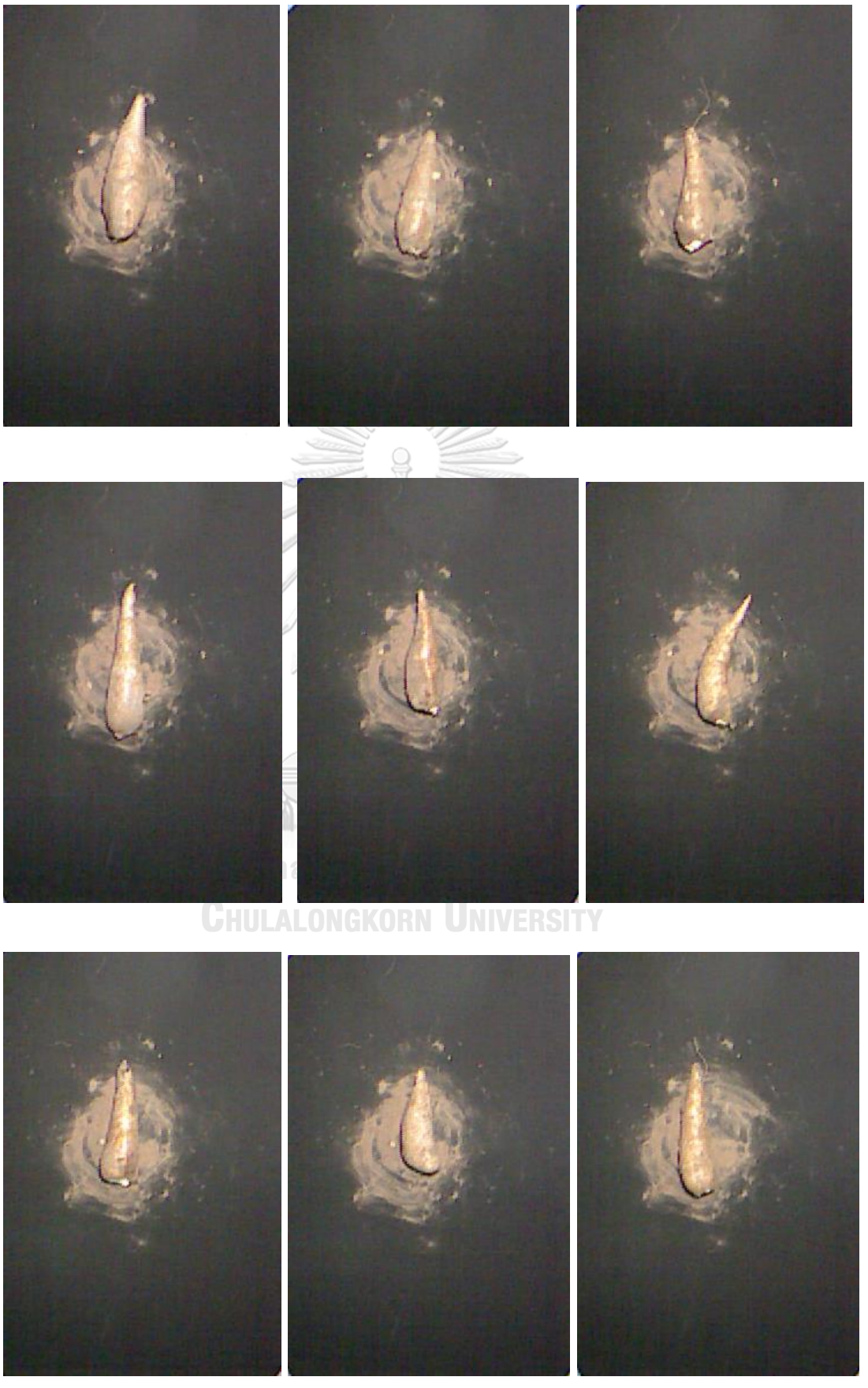
3) รูปเพิ่มเติม

รูปหัวมันสำปะหลังที่เก็บมาเป็นข้อมูลทั้งหมด

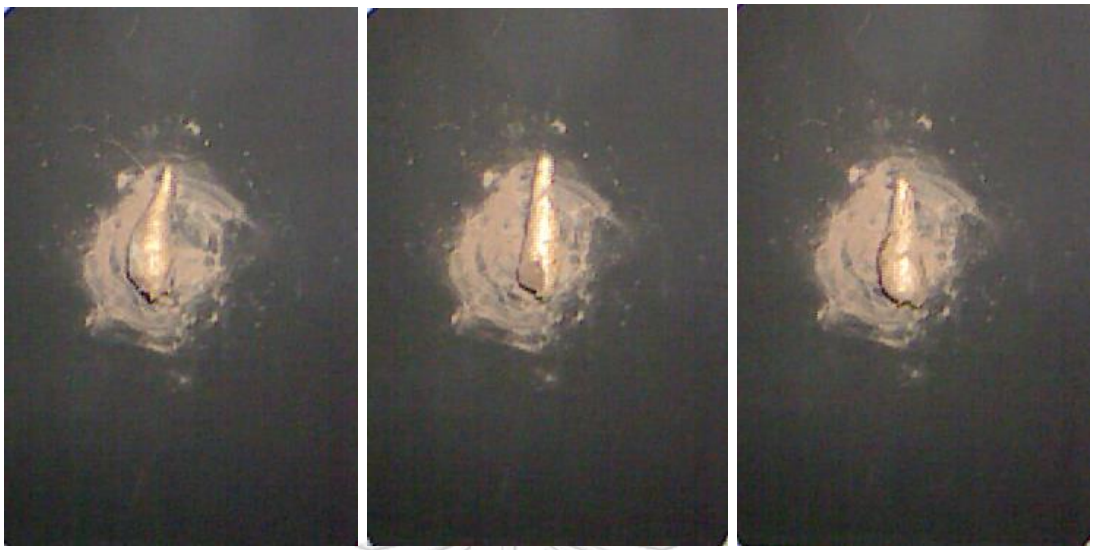


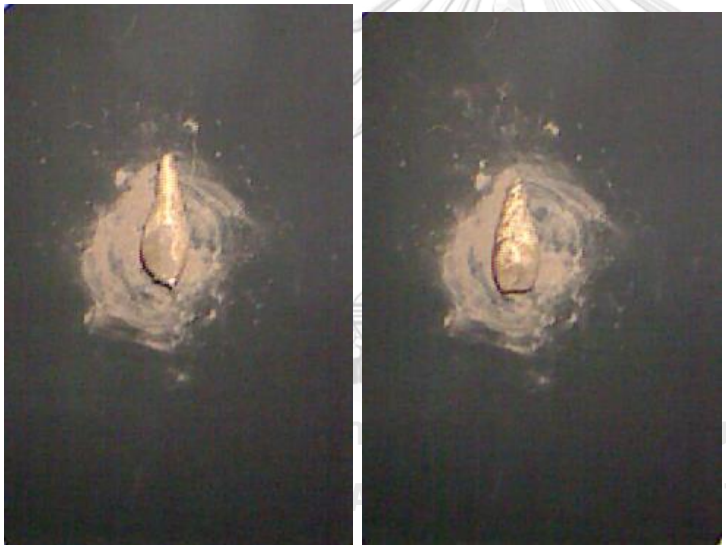
Chulalongkorn University

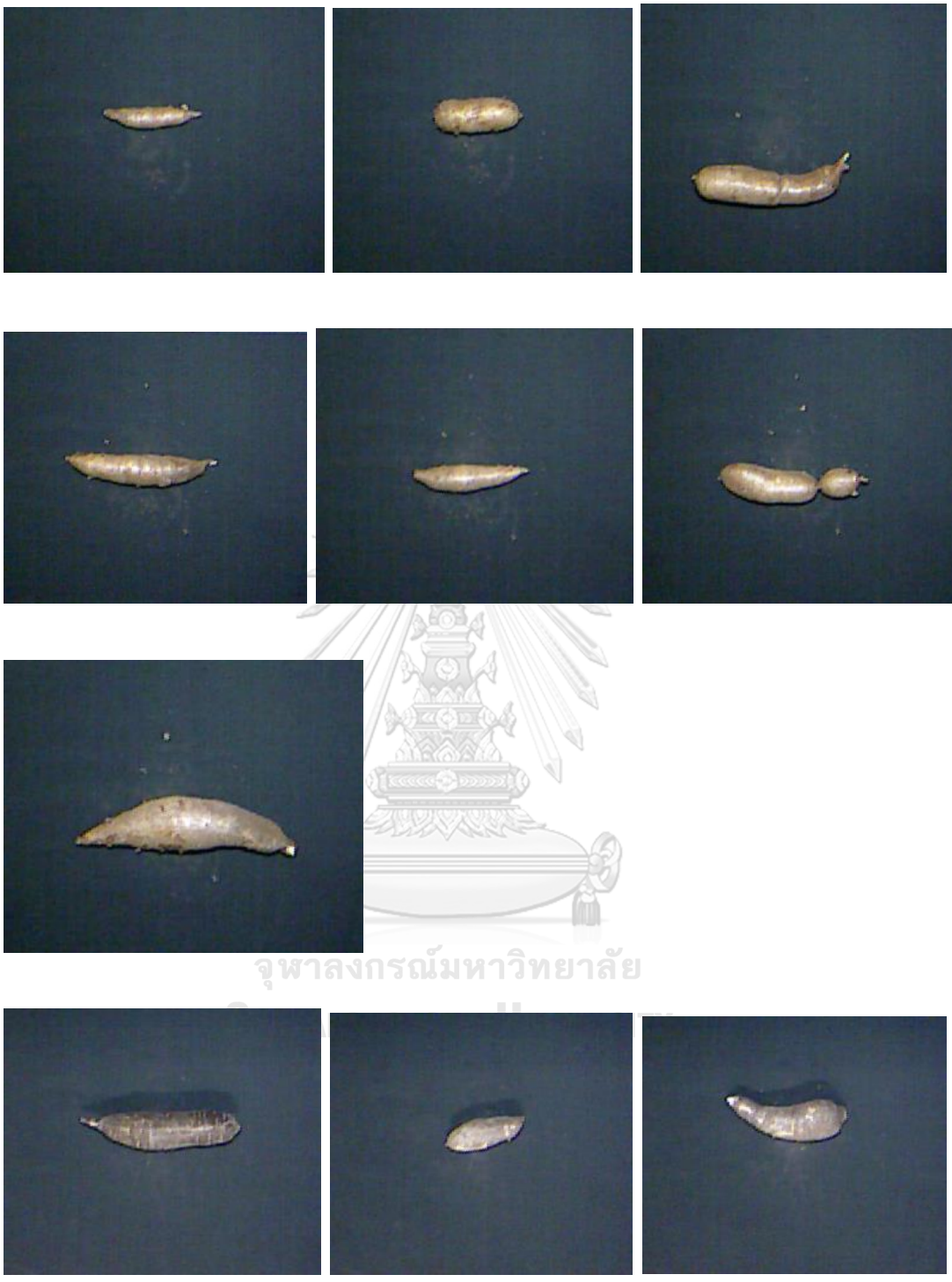




Chulalongkorn University



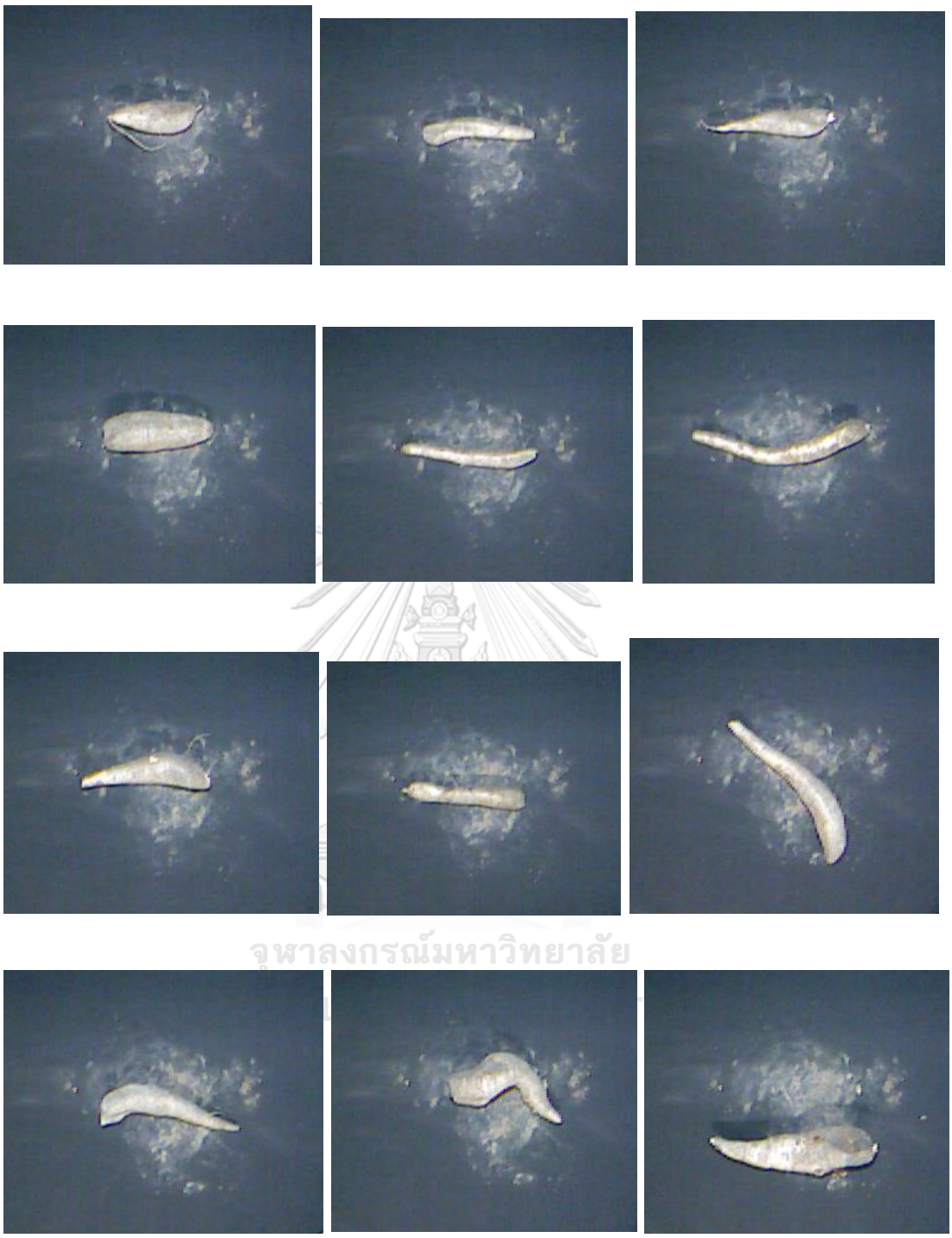




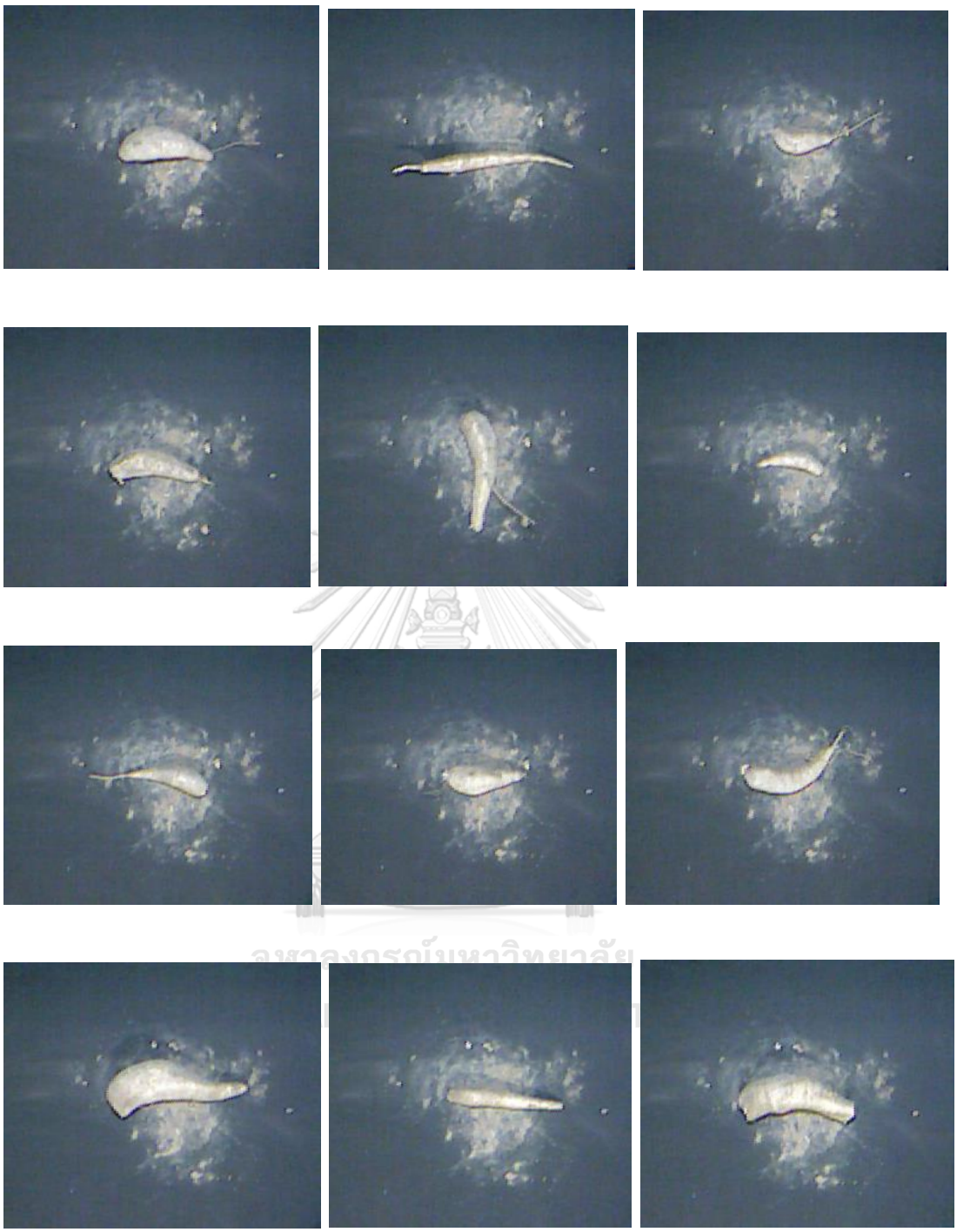
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) สูตรที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_0^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}}$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนิกานต์ บัญชาจารุรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	27 มิถุนายน 2540
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาปี 2562 เข้าศึกษาต่อใน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาระบบกายภาพที่เชื่อมประสานด้วยเครือข่ายไซเบอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	188 หมู่ 4 ตำบลนากลาง อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 30380
ผลงานตีพิมพ์	Volume estimation of cassava using consumer-grade RGB-D camera Chanikan Banchajarurat, Khwantri Saengprachatanarug, Nattpol Damrongplasit, Chanat Ratanasumawong E3S Web Conf. 187 02002 (2020) DOI: 10.1051/e3sconf/202018702002 C. Banchajarurat, C. Rajatavarn, R. Chancharoen, W. Srituravanich and A. Pimpin, "Development of Smart Diaper with 3D Printed Sensor-Supporter for Elderly Care," 2019 12th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), Ubon Ratchathani, Thailand, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/BMEiCON47515.2019.8990272

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University