

การจำแนกโรคในต้นกระบองเพชร
โดยใช้การประมวลผลภาพในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด

ณัฐพล พัฒนจินดากิจ

TNII

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2565

CLASSIFICATION OF CACTUS DISEASE BASED ON INFRARED WAVELENGTH
IMAGE PROCESSING

Nattapol Phattanajindakij

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2022

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำแนกโรคในต้นกระบองเพชร โดยใช้การประมวลผลภาพ
ในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด

โดย

ณัฐพล พัฒนจินดากิจ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ซัชไซย วรรณบุรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ชฎาพร เกตุมณี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

.....กรรมการ

(ดร.อัคนา เซนโตะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ซัชไซย วรรณบุรณ์)

ณัฐพล พัฒนจินดากิจ : การจำแนกโรคในต้นกระบองเพชร โดยใช้การประมวลผลภาพในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด. อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ชัชไชย วรรณบุรณ์, 59 หน้า.

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศผู้นำทางด้านเกษตรกรรม เนื่องมาจากประเทศไทยมีความรู้ และความสามารถในการเพาะปลูก อีกทั้งยังมีการพัฒนาพันธุ์พืชได้มีคุณภาพไม่ว่าจะเป็นพืชผลที่นำมาใช้เพื่อการบริโภค หรือพืชที่ปลูกเพื่อความสวยงาม เป็นต้น ประเทศไทยส่งออกไม้ประดับ และพันธุ์ไม้ในปี 2562 มีมูลค่ามากถึง 132.7 ล้านดอลลาร์ ทั้งนี้ไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับที่ 11 ของโลก การปรับปรุง หรือพัฒนาการเพาะปลูกให้มีคุณภาพ และยังสามารถลดต้นทุนในการเพาะปลูก จึงมีความสำคัญอย่างมากในการแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ดังนั้น เกษตรกรบางส่วนจึงได้นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูกให้ดียิ่งขึ้น แต่กระนั้นเทคโนโลยีที่เกษตรกรได้นำมาใช้นั้น ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการนำเครื่องจักร เคมีภัณฑ์ หรือใช้การควบคุมสั่งการอัตโนมัติ มาใช้ในการเพิ่มผลผลิต ควบคุมโรค และลดต้นทุน โดยไม่ได้มีการนำข้อมูล มาวิเคราะห์ เพื่อหาความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต หรือความผิดปกติในพืช โดยปกติการเจริญเติบโตของพืชต้องอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหาร และพลังงานที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นถ้าพืชมีการสังเคราะห์แสงลดลง จึงบ่งบอกว่าพืชต้นนั้นมีปัญหาในการเจริญเติบโต

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นผู้วิจัยได้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้เริ่มทำการศึกษา และทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับความผิดปกติในพืช โดยจะใช้ต้นกระบองเพชรมาเป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้ เนื่องมาจากต้นกระบองเพชรนั้นเป็นพืชที่ได้รับความนิยมอยู่ในขณะนี้ และผู้จัดทำวิจัยนั้นได้ทำฟาร์มกระบองเพชร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับผู้จัดทำงานวิจัย เพราะกระบองเพชรมีโรคที่ไม่แสดงอาการ จึงไม่สามารถที่จะสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เช่น โรครากเน่า เป็นต้น โดยจะทำการศึกษา และวิจัย ค่าดัชนีความต่างของพืชพรรณมาใช้ในการตรวจหาความผิดปกติของกระบองเพชรที่เกิดจากรากเน่า โดยจะทำการศึกษา และพัฒนาอุปกรณ์ เพื่อมาตรวจ โรครากเน่า คาดหวังว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโต และลดต้นทุนจากการใช้เคมีภัณฑ์เกินความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

NATTAPOL PHATTANAJINDAKIJ : CLASSIFICATION OF CACTUS DISEASE BASED ON INFRARED WAVELENGTH IMAGE PROCESSING. ADVISOR : DR.CHATCHAI WANNABOON, 59 PP.

Thailand is a leading country in agriculture due to Thailand is a knowledge and expertise in farming , as well as its ability to develop high-quality crops for both consumption or cultivation for beauty. In 2562, Thailand exported ornamental plants worth up to 132.7 million dollars, being the 11th largest exporter in the world. Improving or developing cultivation methods to increase quality and reduce cultivation costs is crucial in competing with other countries. Therefore, some farmers have used the technology to enhance the efficiency of their farming. However, the technology that farmers have used is mainly to use machinery, chemicals or automatic control to increase productivity, control disease and reduce costs without analyzing data to find suitability for growth or abnormal conditions in plants. Normally, Plant growth depends on the photosynthesis process to generate food and energy that necessary for plant growth. Therefore, if plants have decreased photosynthesis, it indicates that the plant is facing issues in its growth.

As mention previously, the researcher has seen the problem and has started to study and research related to the detection of abnormalities in plants by using cactus as an example in the research. Due to that the cactus is now a popular plant and the research have made the cactus farm to the most useful of the research because the cactus has an unlisted disease it isn't visible to the naked eye such as root rot disease. By study and research on Normalized difference vegetation index will be used to detect abnormalities of cactus caused by soft-root disease. The study and development an equipment for detecting soft- root disease is expected to increase the efficiency of growth and reduce the cost of excessive use of chemicals.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2022

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความช่วยเหลือ และกรุณาอย่างสูงจาก ดร.ชัชชัย วรรณบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ ความเข้าใจ แนะนำแนวทาง และคำปรึกษาต่างๆ เพื่อนำไปทำการปรับปรุง และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดการวิจัย พร้อมทั้งสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งดูแลเอาใจใส่อย่างดีตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

อีกทั้งผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง และความทุ่มเทของคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งแนะนำแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ตามขอบเขตที่กำหนดไว้

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยขอขอบคุณแรงสนับสนุนจากครอบครัว อาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษา เพื่อนร่วมชั้นเรียน และบุคคลรอบตัวที่ประทับใจ ประคับประคองให้กำลังใจ แรงกายแรงใจ ไม่ย่อท้อในการศึกษา และจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้น

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้กับองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งสามารถก่อให้เกิดแนวคิดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษา หรือเป็นแนวทางในการทำการวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต

ณัฐพล พัฒนจินดากิจ

TNI

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
2 เอกสารและวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index) ...	3
2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave).....	5
2.3 การประมวลผลภาพ.....	6
2.4 การสร้างรูปร่าง (Contour).....	11
2.5 การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	11
2.6 รังควัตถุ.....	11
2.7 สถิติทดสอบเอฟ (F-test Statistic).....	15
2.8 สถิติทดสอบที (T-test Statistic).....	18
2.9 การประเมินแบบจำลองจากการแบ่งหมวดหมู่ (Evaluation Model by Classification).....	20
2.10 ประวัติความเป็นมาของแคคตัส.....	21
2.11 ยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชชียา (Gymnocalycium Mihanovichii).....	22
2.12 โรครากเน่า.....	23
2.13 ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry pi).....	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	วิธีการดำเนินงาน..... 26
3.1	บทนำ..... 26
3.2	แผนการดำเนินงานวิจัย..... 26
3.3	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน..... 27
3.4	วิเคราะห์ปัญหาที่เป็นปัจจัยของงานวิจัย..... 28
3.5	ออกแบบ และพัฒนาระบบ..... 28
3.6	วิเคราะห์ข้อมูล..... 28
3.7	ภาพรวมของระบบ..... 29
4	ผลการวิจัย..... 33
4.1	ระบบวัดค่า NDVI..... 33
4.2	การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์..... 35
5	บทสรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ..... 41
5.1	สรุปผลการวิจัย..... 41
5.2	ปัญหา และอุปสรรคในการทำวิจัย..... 42
5.3	ข้อเสนอแนะงานวิจัย..... 42
บรรณานุกรม	 43
ภาคผนวก	 45
ภาคผนวก ก. โค้ดโปรแกรมส่วนคำนวณ	 46
ภาคผนวก ข. การตีพิมพ์ผลงานวิจัย	 53
ประวัติย่อผู้วิจัย	 59

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การวิเคราะห์ค่าเชิงตัวเลขด้วยการประมวลผลภาพ.....	8
3.1 แผนปฏิบัติงาน	26
4.1 การทดสอบเอฟ.....	38
4.2 การทดสอบที.....	39
4.3 Confusion Matrix.....	40
4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโมเดล	40



สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 NDVI เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงความหนาแน่นของพืช.....	4
2.2 NDVI เพื่อใช้ในการตรวจสอบสุขภาพ และการสังเคราะห์แสงของพืช.....	4
2.3 ช่วง NDVI ที่แสดงถึงสุขภาพที่ดีของพืช.....	5
2.4 Electromagnetic Spectrum.....	6
2.5 ตัวอย่างการกัดกร่อนขอบภาพ.....	9
2.6 ตัวอย่างการขยายขอบภาพ.....	10
2.7 แบบจำลองลูกบาศก์สี RGB.....	10
2.8 Absorption Spectrum.....	13
2.9 Action Spectrum แสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ตามความยาวคลื่นแสง.....	13
2.10 การแจกแจงแบบเอพ.....	16
2.11 ส่วนประกอบของราสเบอร์รี่พาย.....	25
3.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินวิจัย.....	27
3.2 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของระบบ.....	29
3.3 การลดความคมชัด.....	30
3.4 กรองภาพโดยใช้การพิจารณาความสว่าง.....	30
3.5 การพองตัว.....	31
3.6 หาเส้นเค้าโครง.....	31
3.7 สร้างกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าล้อมเส้นเค้าโครง.....	32
4.1 หลักการทำงานการรับค่า NDVI โดยใช้ Raspberry รับค่า.....	33
4.2 การทำงานของระบบเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	34
4.3 ไฟภายในสตูดิโอแบบพกพา และการติดตั้งกล้อง Pi NoIR.....	34
4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่วัดค่าได้.....	36
4.5 การตรวจสอบต้นที่เป็นโรครากเน่า.....	36
4.6 Box Plot เพื่อดูค่าของกลุ่มตัวอย่างที่เก็บมาแบ่งเป็น 3 กลุ่ม.....	37
4.7 กราฟ ROC Curve.....	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศผู้นำทางด้านเกษตรกรรม เนื่องจากประเทศไทยมีความรู้และความสามารถในการเพาะปลูก อีกทั้งยังมีการพัฒนาพันธุ์พืชได้มีคุณภาพไม่ว่าจะเป็นพืชผลที่นำมาบริโภค หรือพืชที่ปลูกเพื่อความสวยงาม เป็นต้น ประเทศไทยส่งออกไม้ประดับและพันธุ์ไม้ในปี 2562 มีมูลค่า 132.7 ล้านดอลลาร์ [1] ทั้งนี้ไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับที่ 11 ของโลก การปรับปรุงหรือพัฒนาการเพาะปลูกให้พืชมีคุณภาพ และยังสามารถลดต้นทุนในการเพาะปลูก จึงมีความสำคัญอย่างมากในการแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ดังนั้น เกษตรกรบางส่วนจึงได้นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูกให้ดียิ่งขึ้น [2] แต่กระนั้นเทคโนโลยีที่เกษตรกรได้นำมาใช้ในส่วนนี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการนำเครื่องจักร เคมีภัณฑ์ หรือใช้การควบคุมสั่งการอัตโนมัติ มาใช้ในการเพิ่มผลผลิต ควบคุมโรค และลดต้นทุน โดยไม่มีการนำข้อมูล หรือปัจจัยต่างๆ มาวิเคราะห์ เพื่อหาความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการป้องกันโรคที่ไม่ได้แสดงอาการ โดยปกติการเจริญเติบโตของพืชต้องอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างอาหารและพลังงานที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นถ้าพืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง จึงบ่งบอกว่ามีพืชต้นนั้นมีปัญหาในการเจริญเติบโต

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นผู้วิจัยได้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้เริ่มทำการศึกษา และทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยจะใช้ต้นกระบองเพชรมาเป็นตัวอย่างในการทำวิจัย เนื่องจากต้นกระบองเพชรนั้นเป็นพืชที่ได้รับความนิยมอยู่ในขณะนี้ และผู้จัดทำวิจัยนั้นได้ทำฟาร์มกระบองเพชร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับผู้ทำวิจัย เพราะกระบองเพชรมีโรคที่ไม่แสดงอาการ จึงไม่สามารถที่จะสังเกตได้ด้วยตา เช่น บริเวณรากมีเชื้อราไปเกาะดูดน้ำเลี้ยงทำให้กระบองเพชรนั้นเจริญเติบโตได้ช้า หรือแย่ที่สุดอาจทำให้ต้นกระบองเพชรนั้นตายในที่สุด โดยจะทำการศึกษา และวิจัยเพื่อหาปัจจัยในการสังเคราะห์ด้วยแสง คาดหวังว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโต ตรวจหาโรคที่ไม่ได้แสดงอาการ และลดต้นทุนจากการใช้เคมีภัณฑ์เกินความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการทำงานของระบบประมวลผลภาพ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการวัดด้วยดัชนีความต่างพืชพรรณ เมื่อนำมาใช้กับแคคตัส
- 1.2.3 เพื่อสร้างอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบโรครากเน่าในแคคตัส

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ระบบจะต้องทำงานเฉพาะในสถานะที่ถูกควบคุมไว้ เท่านั้น
- 1.3.2 ใช้กับกระบอกเพชรพันธุ์ ยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชอาย เท่านั้น
- 1.3.3 สามารถตรวจแคคตัสได้พร้อมกันสูงสุด 5 ต้น



บทที่ 2

เอกสารและวิจัยที่เกี่ยวข้อง

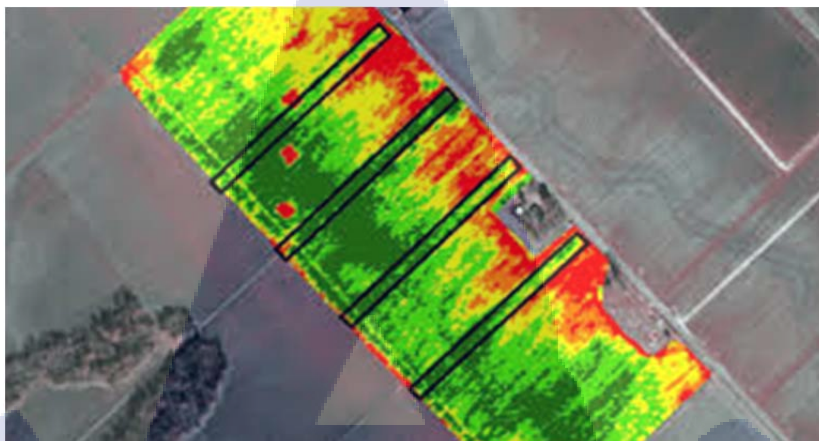
งานวิจัยนี้ดำเนินวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์โรคพืชซึ่งเนื้อหาภายในบทนี้ประกอบด้วยโรคที่เกิดกับกระบองเพชรเป็นพืชที่นำมาทดสอบ โดยใช้การประมวลผลภาพถ่าย และวิเคราะห์ของโรคพืชด้วยวิธีการวัดดัชนีความต่างพืชพรรณมาวิเคราะห์ จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษา และนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน

2.1 ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index)

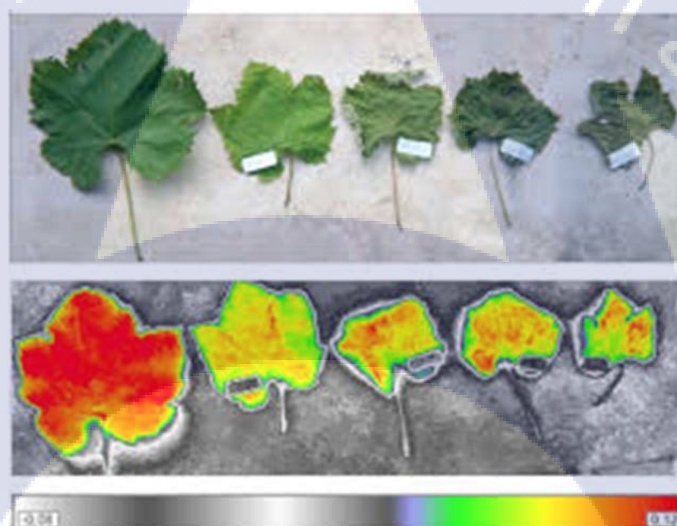
เป็นการสร้างข้อมูลใหม่ขึ้นมาโดยใช้หลักการของการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพืชที่สะท้อนออกมา โดยที่ความยาวของคลื่น และความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความต่างกันออกไปตามแล้วแต่ประเภท เช่น คลื่นในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้จะอยู่ในช่วง (400nm-700nm) คลื่นอัลตราไวโอเล็ต (200nm-315nm) คลื่นอินฟราเรด (700nm-1000nm) คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ [3] วิธีการคำนวณของดัชนีความต่างพืชพรรณจะใช้คลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) NIR กับคลื่นในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ในการนำมาคำนวณหาค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ โดยทั่วไปแล้วแสงที่ตกกระทบกับใบไม้จะมี Chlorophyll a และ Chlorophyll b ที่คอยทำหน้าที่ดูดซับแสงในช่วงแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน ที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารให้กับพืช พร้อมสะท้อนแสงในช่วงสีเขียวกลับมา ส่งผลให้เราสามารถเห็นใบไม้เป็นสีเขียว ส่วนคลื่นในช่วงอินฟราเรดจะถูก Carotenoid สะท้อนกลับออกมา เป็นปริมาณค่อนข้างมาก ในพืชที่ต่างชนิดกัน หรือพืชชนิดเดียวกันแต่อายุต่างกันก็จะสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสัดส่วนที่ต่างกัน การสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันด้วยเช่นกันพืชที่มีความสมบูรณ์จะมีการสะท้อน NIR มากกว่าคลื่นในช่วงสีแดง และพืชที่ไม่สมบูรณ์ก็จะสะท้อนคลื่นในช่วง NIR น้อยกว่า หรือเทียบเท่ากับคลื่นในช่วงแสงสีแดงจากการสะท้อนที่แตกต่างกันจึงเป็นที่มาของการคำนวณหาสัดส่วนความแตกต่างระหว่าง 2 ช่วงคลื่นดังกล่าวโดยใช้สมการดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.1)$$

ซึ่งภาพถ่าย NDVI จะถูกถ่ายเป็นภาพมุมสูง หรือไม่ก็เป็นภาพดาวเทียม เพื่อนำมาใช้ในการตรวจการมีอยู่ของพืชโดยจะทำการสำรวจความหนาแน่นของพืช และได้มีการนำ NDVI ใช้ในโรงเรือนเพื่อใช้ในการวัดผลผลิตของพืช [4]



รูปที่ 2.1 NDVI เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงความหนาแน่นของพืช [5]



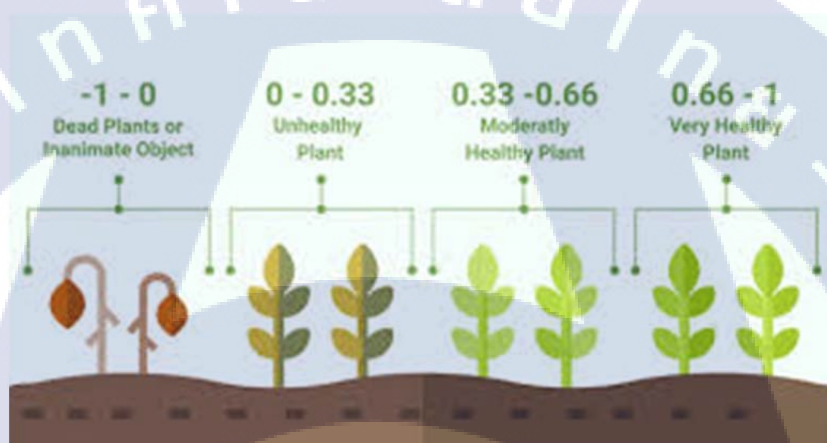
รูปที่ 2.2 NDVI เพื่อใช้ในการตรวจสอบสุขภาพ และการสังเคราะห์แสงของพืช

จากงานวิจัยได้สรุปออกมาแล้วว่าค่าดัชนีความต่างพืชพรรณนั้นมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชด้วยวิธีการวัดปริมาณการตรึง CO_2 เมื่อเทียบกับดัชนีความต่างพืชพรรณในกรณีที่เป็นภาพถ่ายจากกล้องของดาวเทียมซึ่งมีความสามารถในการภาพในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า NIR สมการของการวัดค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ จึงเป็นไปตามสมการ (2.1) แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่นำใช้กับการทดลองมีความสามารถในการรับภาพในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า NIR และได้ทำการเพิ่มฟิลเตอร์สีน้ำเงินเพื่อใช้ในการกรองแสงในช่วงที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อที่จะนำรูปที่ได้มาประมวลผลส่งผลให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณเนื่องด้วยกล้องที่ใช้ในการประมวลผล

คลื่นในช่วง NIR จะแสดงผลอยู่ในเซลล์รับแสงสีแดง และผลจากการใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงินทำให้เหลือแต่แสงสีน้ำเงินเท่านั้นที่ผ่านมายังเซลล์รับแสง จึงเป็นที่มาของการเปลี่ยนสมการเพื่อใช้ในการคำนวณ

$$NDVI = \frac{RED - BLUE}{RED + BLUE} \quad (2.2)$$

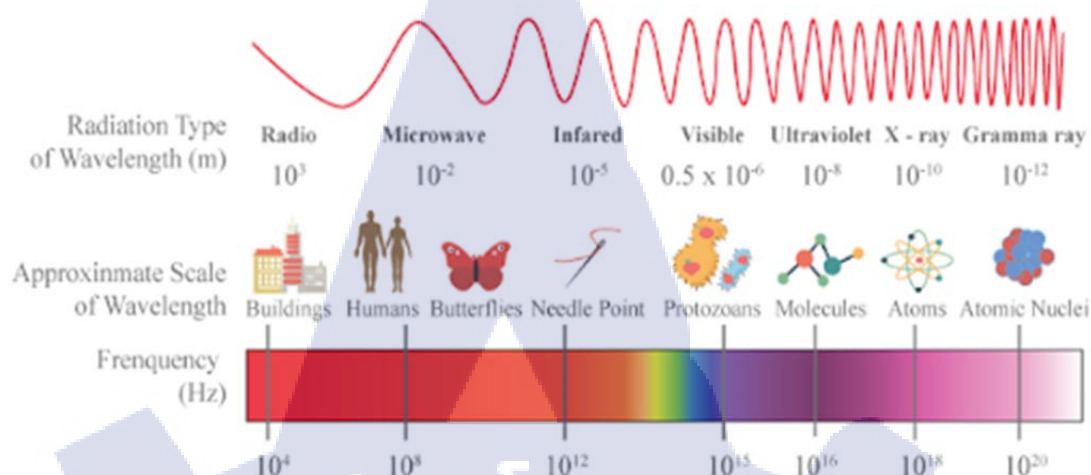
โดยค่าที่ได้จากการคำนวณค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ นั้นจะมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ยิ่งผลรับที่ได้เข้าใกล้ 1 มากเท่าไร แสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชอยู่เป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นถึงสุขภาพของพืช และแสดงให้เห็นว่าพืชต้นนั้นสามารถสังเคราะห์แสงได้ดี [6]



รูปที่ 2.3 ช่วง NDVI ที่แสดงถึงสุขภาพที่ดีของพืช

2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามไฟฟ้า ซึ่งจะทำมุมตั้งฉาก และคลื่นที่ตัดผ่านอากาศที่มีความเร็ว $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งได้เป็น รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ อัลตราไวโอเลต แสงที่ตามองเห็น อินฟราเรด ไมโครเวฟ แต่ในงานวิจัยนี้จะพูดถึงแค่ แสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรดเท่านั้น



รูปที่ 2.4 Electromagnetic Spectrum

2.2.1 แสงที่ตามองเห็น (Visible Light) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงที่ตามนุษย์นั้นสามารถมองเห็นผ่านจอประสาทตา คลื่นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 nm - 700 nm แบ่งออกเป็น สีม่วง สีคราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง เรียกว่าสเปกตรัมแสง ซึ่งแต่ละสีจะมีช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้สีม่วงเป็นแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นน้อยที่สุด และสีแดงมีช่วงความยาวคลื่นมากที่สุด

2.2.2 อินฟราเรดใกล้ Near Infrared (NIR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามนุษย์นั้นไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คลื่นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 700 nm - 1000 nm ทั้งนี้น้ำมีความสามารถในการดูดซับคลื่นในช่วง NIR ได้อย่างดีเยี่ยม ดังนั้นจึงนำประโยชน์ในข้อนี้มาประยุกต์ใช้สำหรับการแยกแยะขอบเขตของพื้นที่เป็นดิน และแหล่งน้ำ [7] ที่ไม่สามารถแยกแยะได้ด้วยช่วงคลื่นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ แต่ในทางกลับกันในพืชที่มีสุขภาพที่ดีจะสะท้อนคลื่นในช่วง NIR ได้ดีกว่าในพืชที่สุขภาพไม่ดี

2.3 การประมวลผลภาพ

การมองเห็นของมนุษย์นั้นเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่มีความซับซ้อน ซึ่งจะนำข้อมูลมาใช้ในการจดจำวัตถุ และในส่วนที่มีความซับซ้อนมากกว่านั้นคือการนำไปใช้ในการวางแผน การตัดสินใจ เป็นต้น รูปภาพนั้นมีบทบาทความสำคัญสำหรับองค์กรหลายๆ องค์กร เช่น โทรศัพท์ ภาพยนตร์ หนังสือพิมพ์ ซึ่งได้นำภาพมาใช้ในการนำเสนอข้อมูลข่าวสาร โดยในสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับการมองเห็นหรือข้อมูลภาพนั้นคือกระบวนการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งเป็นการจัดการกับข้อมูลของภาพดิจิทัล โดยมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุง และพัฒนาข้อมูล เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพนั้นได้มากยิ่งขึ้น กระบวนการ

วิเคราะห์ภาพแบ่งได้เป็น 3 ลำดับ ดังนี้ กระบวนการขั้นต้นคือการปรับปรุงภาพให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้น ได้แก่ ปรับปรุงความคมชัดของภาพ การกู้สัญญาณของภาพ การแปลงสัญญาณของภาพ เป็นต้น กระบวนการขั้นที่ 2 คือการแยกองค์ประกอบของภาพและจำแนกจุดเด่นของภาพ และกระบวนการขั้นที่ 3 คือการตีความหมายข้อมูลที่ได้รับจากภาพ

2.3.1 แบบจำลองระดับเทา

ภาพระดับเทา หรือที่เรียกว่า Gray Level Image หรือ Intensity Image เป็นภาพที่แสดงความเข้มของแสง ณ ตำแหน่งในแต่ละจุดภาพในภาพ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นโดนสีเทา แต่ละจุดจะมีขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ สำหรับการเก็บข้อมูล สามารถเขียนแทนด้วยสมการ $f(x, y)$ โดยที่ขนาดของ f ที่ตำแหน่ง (x, y) คือค่าความเข้มของภาพในจุดนั้นๆ โดยค่า $f(x, y)$ นั้นจะต้องเป็นศูนย์ และมีจำกัด โดยสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบความสว่าง (Illumination Component : $i(x, y)$) และองค์ประกอบการสะท้อนกับของแสง (Reflectance Component : $r(x, y)$) โดยที่ $f(x, y)$ เกิดจากการคูณกันของทั้งสององค์ประกอบดังสมการที่ 2.3

$$f(x, y) = i(x, y) \times r(x, y) \quad (2.3)$$

โดยที่องค์ประกอบของ $i(x, y)$ จะต้องมีค่ามากกว่า 0 และมีค่าจำกัด ในส่วนขององค์ประกอบ $r(x, y)$ จะต้องมีค่ามากกว่า 0 และน้อยกว่า 1 ภาพ f เป็นภาพที่มีเฉดสีเดียว ทำให้ค่าความเข้มของ f ที่ตำแหน่ง (x, y) เรียกว่าระดับเทา (Gray Level : l) ของภาพในตำแหน่งนั้นๆ โดยที่ระดับเทาจะต้องอยู่ในช่วงตามสมการที่ 2.4

$$L_{\min} \leq l \leq L_{\max} \quad (2.4)$$

เรียกช่วงนี้ว่า $[L_{\min}, L_{\max}]$ ว่าสเกลระดับสีเทา (Gray Scale) โดยปกติจะเลื่อนช่วงนี้ให้อยู่ในช่วง $[0, L]$ โดยที่ l เป็น 0 คือจุดที่ภาพนั้นมีสีดำ และที่ l เท่ากับ L คือจุดที่ภาพนั้นมีสีขาว ส่วนจุดที่ภาพนั้นมีค่า l อยู่ในช่วงระหว่างนี้แสดงจะเรียงตามระดับของสเกลสีเทา

2.3.2 การแบ่งขาวดำโดยพิจารณาตามความสว่าง

เป็นการวิเคราะห์ค่าเชิงตัวเลขด้วยการประมวลผลภาพ เรียกว่า (Image Thresholding) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการแยกสิ่งที่สนใจ (Object) ออกจากพื้นหลัง (Background) ด้วยการเปลี่ยนคุณสมบัติของ

ภาพระดับเทา (Gray Scale) ไปเป็นภาพขาวดำ (Binary Image) โดยพื้นที่ที่เป็นวัตถุที่สนใจจะมีค่าเป็นสีขาวที่มีค่าเป็น 1 และส่วนที่เป็นพื้นหลังจะเป็นสีดำที่มีค่าเป็น 0

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ค่าเชิงตัวเลขด้วยการประมวลผลภาพ

ภาพระดับเทา	ภาพไบนารี
0 (มืด)	0 = ดำ = พื้นหลัง
255 (สว่าง)	1 = ขาว = พื้นหน้า

โดยค่าของจุดที่สนใจสามารถปรับได้ ค่าจุดที่เราสนใจจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 250 ส่วนค่าจุดภาพของพื้นหลังจะอยู่ในช่วง 250 ถึง 255 ระดับเทา

2.3.3 การกักร่อนขอบภาพ

การกักร่อนภาพเป็นขั้นตอนที่ใช้ดำเนินการเปลี่ยนจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ที่ติดกับจุดภาพที่มีค่าเป็น 0 ให้มีค่าเป็น 0 ด้วยโดยการกำหนดเซต A และ B คือเซตของ Z^2 (สมมติให้ Z^2 เป็นเซตของจุดที่มีค่าเป็น 1 ภายในภาพขาวกักร่อนขอบภาพดำ) การดำเนินการกักร่อนขอบภาพของ A โดย B แทนด้วยการใช้สัญลักษณ์ $A \ominus B$ ดังสมการที่ 2.5

$$A \ominus B = \{Z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (2.5)$$

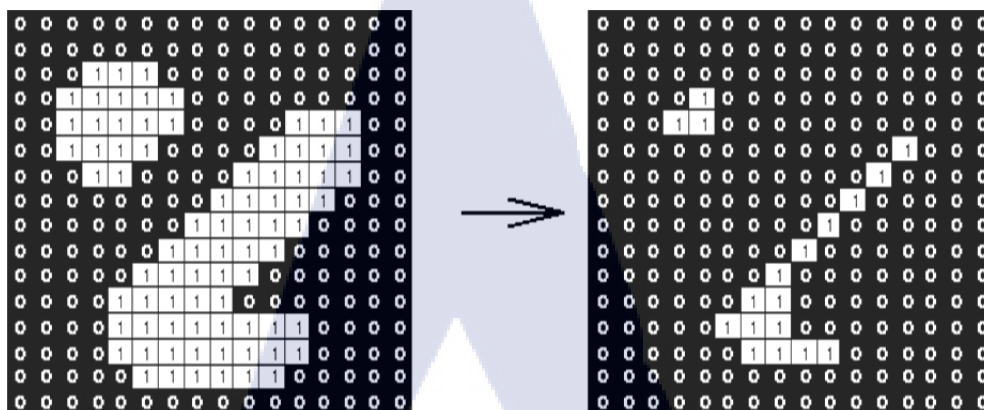
โดยที่

A คือ ภาพต้นแบบ

B คือ องค์กรประกอบโครงสร้าง

Z คือ เซตข้อมูลจุดภาพ

จากสมการที่ 2.5 สามารถกล่าวได้ว่าการกักร่อนขอบภาพนั้นเป็นการเลื่อนองค์กรประกอบโครงสร้าง B ไปที่ละจุดภาพพร้อมกับตรวจสอบว่าข้อมูลองค์กรประกอบของโครงสร้างเป็นซับเซตของภาพในองค์กรประกอบของโครงสร้างหรือไม่ ถ้า B เป็นซับเซตตามเงื่อนไขของสมการที่ 2.5 ให้กำหนดจุดกึ่งกลางของภาพให้มีค่าเป็น 1 ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการกัดกร่อนขอบภาพ

2.3.4 การขยายขอบภาพ

การขยายขอบภาพเป็นขั้นตอนที่ใช้ในการดำเนินการเปลี่ยนจุดภาพที่มีค่าเป็น 0 ที่ติดกับจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ให้เป็นมีค่าเป็น 1 ด้วย โดยกำหนดให้เซต A และ B คือ เซตของ Z^2 (สมมติให้ Z^2 เป็นเซตของจุดที่มีค่าเป็น 1 ภายในภาพขาวดำ) การดำเนินการขยายขอบภาพของ A โดย B แทนด้วยสัญลักษณ์ $A \oplus B$ และมีนิยามดังสมการที่ 2.6 และ 2.7

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.6)$$

$$A \oplus B = \{z | [(\hat{B})_z \cap A \subseteq A]\} \quad (2.7)$$

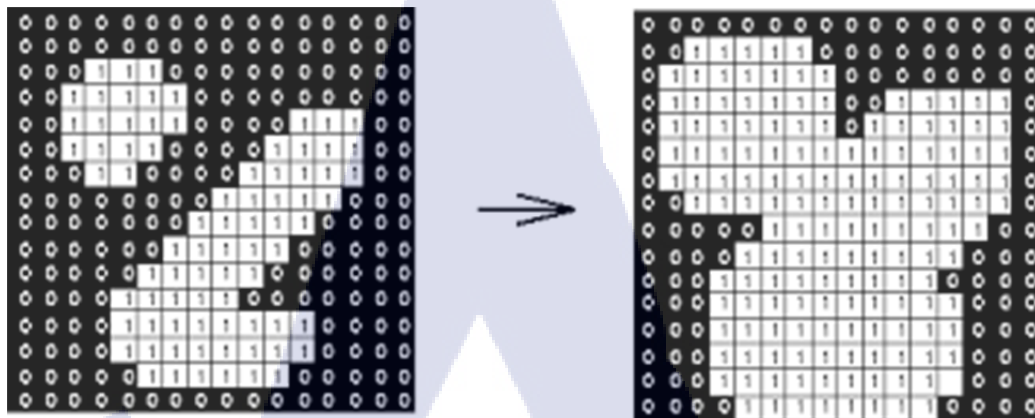
โดย

A คือ ภาพต้นแบบ

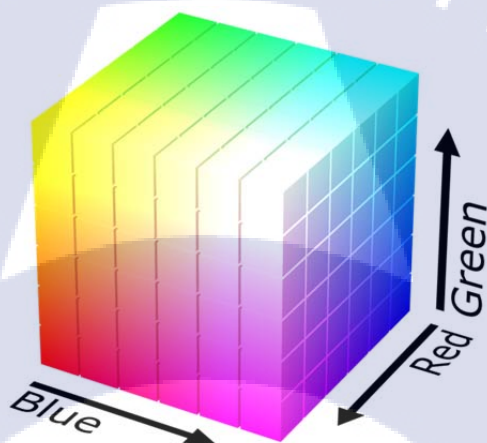
B คือ องค์กรประกอบโครงสร้าง

Z คือ เซตข้อมูลจุดภาพ

จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 จะเห็นได้ว่าการขยายขอบภาพเป็นผลสะท้อน ขององค์กรประกอบโครงสร้าง และเลื่อนองค์กรประกอบโครงสร้างไปที่ละจุด และเมื่อดำเนินการเลื่อนองค์กรประกอบโครงสร้างผ่านจุดใดให้ทำการอินเตอร์เซตชั้นของภาพกับโครงสร้างว่าเท่ากันกับเซตว่างหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันกับเซตว่างให้เปลี่ยนจุดกึ่งกลางของภาพภายในองค์กรประกอบโครงสร้างให้มีค่าเป็น 1 ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการขยายขอบภาพ



รูปที่ 2.7 แบบจำลองลูกบาศก์สี RGB

2.3.5 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสี RGB หรือภาพสีนั้น จะมีความแตกต่างจากภาพสีเทา เพราะนอกจากจะมีเรื่องของความเข้มสีแล้วยังมีองค์ประกอบของสเปกตรัมของ 3 แม่สีปฐมภูมิ ได้แก่ สีแดง (Red : R) สีเขียว (Green : G) และสีน้ำเงิน (Blue : B) ซึ่งแต่ละสีนั้นจะอยู่บนระนาบภาพที่เป็นอิสระต่อกันโดยมีพื้นฐานบนพิกัดเดียวกัน กล้องสีส่วนมากที่เป็นการรับภาพแบบดิจิทัล นิยมใช้รูปแบบการจำลองสี RGB เป็นรูปแบบการรับภาพ เนื่องจากสายตามนุษย์สามารถมองเห็นแสงในช่วงนี้ได้ดีที่สุด ส่งผลให้การรับภาพโดยใช้แบบจำลอง RGB มีความสำคัญมากกับการวิเคราะห์ภาพ

2.4 การสร้างรูปร่าง (Contour)

เส้นเชื่อมกันระหว่างจุด จากจุดสีที่มีความคล้ายๆ กันในด้าน สี ความเข้ม และอยู่ชิดกัน เส้นนี้ทำเป็นเส้นขอบได้การต่อเชื่อมของเส้นที่เรียกว่า คอนทัวร์ (Contour) หรือเส้นแสดงรูปร่าง

การตรวจหาเส้นรูปร่างเป็นวิธีหนึ่งที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อในงานด้านอื่นๆ เช่น การตรวจสอบวัตถุ (Blob) การสร้างหน้าคน หรือแม้กระทั่งการเคลื่อนที่ตามวัตถุ

แนวคิดการหาเส้นรูปร่าง จะต้องทำการตรวจสอบเส้นขอบก่อน ทำการให้เส้นขอบเป็นสีขาว ส่วนพื้นหลังที่ไม่ใช่เส้นขอบให้เป็นสีดำ

แต่ก่อนที่ทำการหาเส้นรูปร่างจะต้องทำการหาเส้นขอบก่อน เช่น ใช้ Canny หรือหาค่าเปลี่ยนระดับสีก่อน (Threshold) ใน Opencv ให้ใช้ฟังก์ชัน Threshold()

2.5 การสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นเป็นเพียงปฏิกิริยาเดียวที่สิ่งมีชีวิตนำพลังงานที่ได้รับจากแสงแดดเข้ามาในระบบนิเวศเพื่อนำมาสร้างพลังงาน พืชนั้นแล้วโดยทั่วไปสมการการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นดังสมการที่ 2.8



โดยทั่วไปแล้วการสังเคราะห์ด้วยแสงจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น ในแต่ละชั้นนั้นแสงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง [8]

2.5.1 ปฏิกิริยาแสงเป็นในกระบวนการเพื่อแปลงพลังงานแสงมาสร้าง NADPH และ ATP เกิดที่ Thylakoid membrane

2.5.2 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการตรึงด้วยวัฏจักรคัลวิน (Calvin Cycle) โดยการนำ NADPH และ ATP ที่ได้มาจากกระบวนการนั้น เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นน้ำตาลตามสมการข้างต้นที่กล่าวไป

2.6 รงควัตถุ

รงควัตถุ คือสารที่มีหน้าที่ในการดูดกลืนแสง สีที่ไม่ถูกดูดกลืนนั้นก็สะท้อนกลับออกมาทำให้ต้นไม้มีสีส้ม อย่างที่เราได้เห็น รงควัตถุที่มีหน้าที่ดูดกลืนแสงผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง [9] ได้แก่

2.6.1 Chlorophyll เป็นรงควัตถุที่ดูดกลืนสีในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน ช่วงความยาวคลื่นสีแดงมาใช้ในการบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสะท้อนแสงสีเขียวกลับออกมา Chlorophyll

นั้นมีองค์ประกอบของ แมกนีเซียม (Mg) และไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบสำคัญ Chlorophyll นั้นมีหลายชนิดได้แก่ ชนิด a, b, c, d และ f

a) Chlorophyll a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) สามารถพบได้โดยทั่วไปในสิ่งมีชีวิตที่การสังเคราะห์แสงดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสีฟ้าได้ดีที่สุด 430nm และย่านสีแดงดีที่สุดที่ 662nm

b) Chlorophyll b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) มักจะพบในพืชใบเขียว ดูดกลืนแสงดีที่สุดในช่วง 453nm และ 642nm

c) Chlorophyll c ($C_{35}H_{30}O_5N_4Mg$, $C_{35}H_{28}O_5N_4Mg$)

Chlorophyll c1 ดูดกลืนแสงดีที่สุดในช่วง 444, 577, 626nm โดยส่วนใหญ่จะพบในสิ่งมีชีวิตจำพวก สาหร่าย

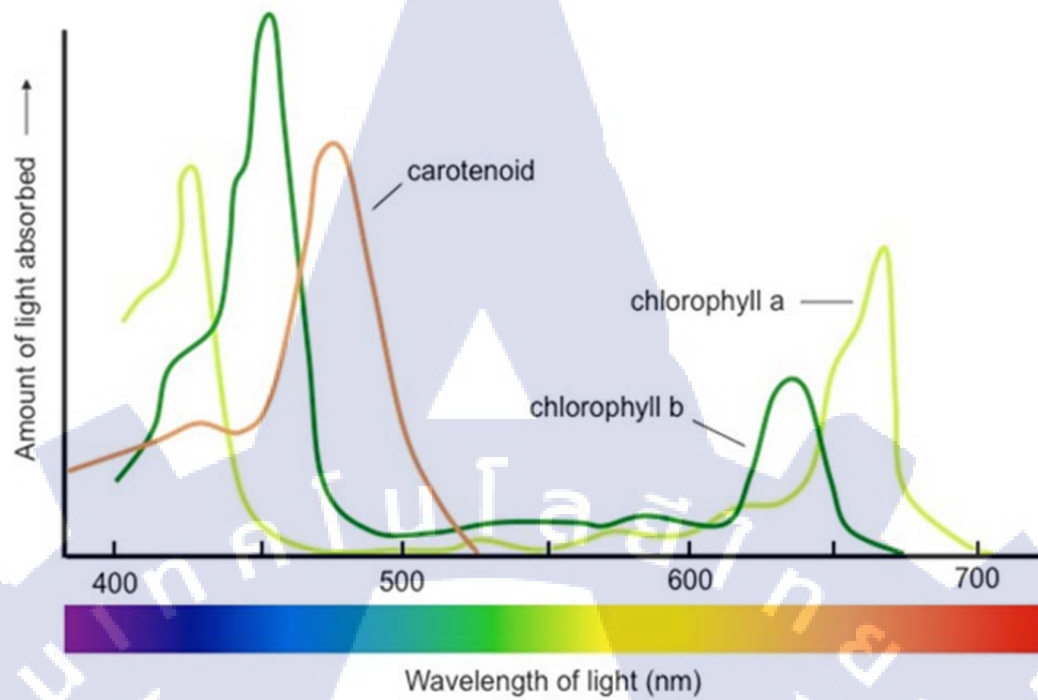
d) Chlorophyll d ($C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$) ดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 710nm พบในไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถสังเคราะห์ด้วยแสง

e) Chlorophyll f ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) เป็น Chlorophyll ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงของแบคทีเรีย พบในไซยาโนแบคทีเรียซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้

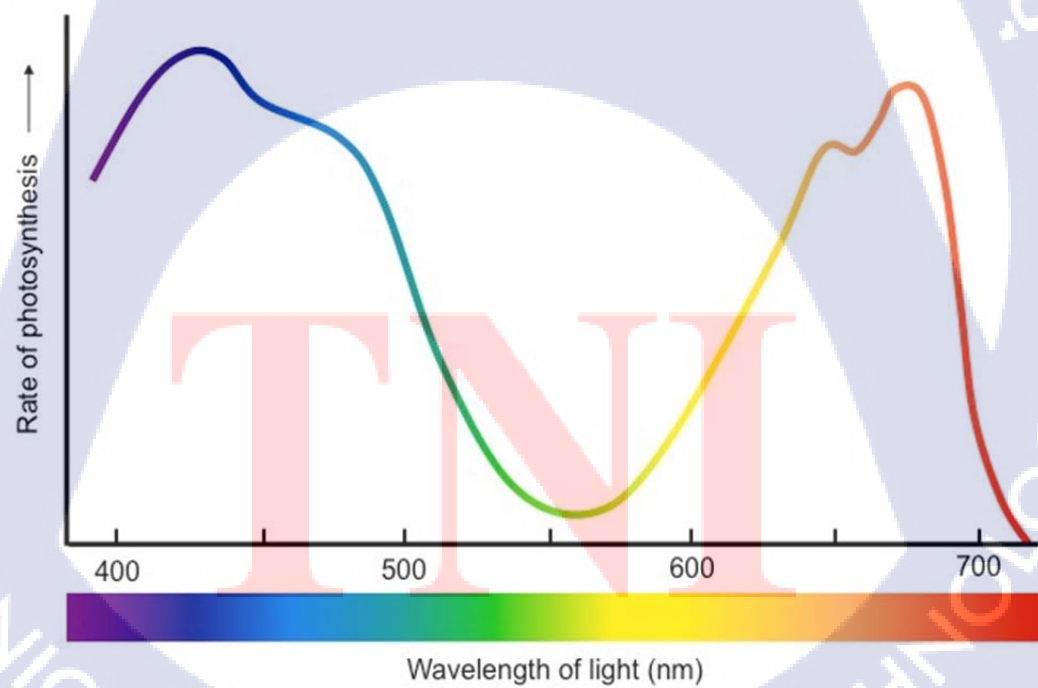
2.6.2 Carotenoid แบ่งเป็น Carotene ที่สะท้อนความยาวคลื่นแสงในช่วงสีส้ม และ xanthophyll สะท้อนความยาวคลื่นแสงในช่วงสีเหลือง สิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้จะมี Carotenoid เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีหน้าที่ช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากแสงนอกเหนือจากการดูดกลืนแสงมาใช้

2.6.3 Phycobilin แบ่งเป็น Phycocyanin สะท้อนความยาวคลื่นแสงในช่วงสีน้ำเงิน และ Phycoerythrin สะท้อนความยาวคลื่นแสงในช่วงสีแดง

ตามที่ได้กล่าวไปในข้างต้นนั้นจะทราบได้ว่ารงควัตถุสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันได้ แสดงได้ด้วยกราฟ Absorption Spectrum ดังรูปที่ 2.8 รงควัตถุต่างๆ ในวิจัยขึ้นจะกล่าวถึงเพียง Chlorophyll a, Chlorophyll b, และ Carotenoid ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พืชจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเมื่อรงควัตถุหลายๆ ชนิดมาทำงานร่วมกันภายใน Chloroplast จะทำให้สิ่งมีชีวิต สังเคราะห์ความยาวคลื่นแสงในช่วงต่างๆ ได้แตกต่างกัน แสดงตามกราฟ Action Spectrum ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 Absorption Spectrum [10]



รูปที่ 2.9 Action Spectrum แสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ตามความยาวคลื่นแสง

พืชนั้นถูกจัดอยู่ในประเภท Eukaryote เพราะออร์แกเนลล์ และนิวเคลียสที่มีเยื่อหุ้มอยู่ด้วย เฉพาะประเภท Eukaryote เท่านั้นที่มีรงควัตถุสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ใน Chloroplast ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มสองชั้น เยื่อภายในพับซ้อนทบกันเข้าไปเรียกว่า Thylakoid Membrane หรือเรียกว่า Lamella ซึ่งเป็นที่อยู่ของรงควัตถุต่างๆ บางส่วนนั้นจะพับทบกันเป็นตั่งคล้ายเหรียญเรียกว่า Granum แต่ละเหรียญจะเชื่อมกันด้วย Stroma Lamella ภายใน Thylakoid Membrane จะมีช่องเรียกว่า Lumen และภายใน Chloroplast มีของเหลวเรียกว่า Stroma บรรจุเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง Ribosome, RNA, DNA ของพืชเอาไว้

2.6.4 ปัจจัยที่ส่งผลกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ได้แก่

1) ความยาวคลื่นแสง เช่นคลื่นแสงในช่วงสีน้ำเงิน และสีแดงเป็นช่วงความยาวคลื่นแสงที่ทำให้ต้นไม้สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี ส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงในช่วงสีเขียวหรือสีอื่นๆ นั้น จะทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชนั้นน้อยลงสังเกตได้จากกราฟ Action Spectrum ที่ได้กล่าวถึงไปในข้างต้น

2) ความเข้มของแสง ความเข้มแสงที่ส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เท่ากับอัตราการหายใจเรียกว่า Light Compensation Point ทำให้ความสามารถในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ สุทธิเป็น 0 ส่วนจุดอิ่มแสง (Light Saturation Point) คือจุดที่เพิ่มความเข้มแสงแล้วอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นไม่เพิ่มขึ้นตาม พืชในกลุ่ม C3 นั้นจะมี Light Compensation Point และ Light Saturation Point ต่ำกว่าพืชชนิด C4 แต่ถ้าความเข้มแสงนั้นมากเกินไปจะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงในพืชทั้งสองชนิด ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเลยส่งผลให้ใบของพืชไหม้ ส่วนพืชที่อยู่ในที่ร่มใช้แสงแค่เพียงเล็กน้อยก็สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้เต็มที่ จึงมี Light Saturation Point ต่ำกว่าพืชที่อยู่ในพื้นที่โล่งแจ้ง

3) ปริมาณ CO_2 พืชจะมี CO_2 Compensation Point และ CO_2 Saturation Point เหมือนกัน แต่พืช C4 จะมี CO_2 Compensation Point และ CO_2 Saturation Point ต่ำกว่าพืชกลุ่ม C3 แต่ปริมาณ CO_2 น้อยเกินไปจะพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นศูนย์ พืชจะไม่สร้างอาหารแต่จะใช้อาหารในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ไปเรื่อยๆ นั่นคือพืชจะไม่สามารถดำรงอยู่ได้เมื่อค่าความเข้มแสงหรือ CO_2 ค่าใดค่าหนึ่งน้อยเกินไป

4) ปริมาณ O_2 จะส่งผลต่อพืชชนิด C3 เท่านั้นเนื่องจากเกี่ยวข้องกับ Photorespiration โดยเมื่อ O_2 ยิ่งมากขึ้นเท่าใดการสังเคราะห์แสงก็ลดลงเท่านั้น

5) ปริมาณน้ำในดิน ปัจจัยนี้ส่งผลต่อการเปิดปิดของปากใบซึ่งถูกควบคุมโดยแรงดันเต่งของเซลล์คุม (Guard Cell) เมื่อมีน้ำออสโมซิสเข้ามาภายในเซลล์ เซลล์จะเต่งทำให้ปากใบเปิดออก แต่เมื่อน้ำออสโมซิสออกจากเซลล์ไป เซลล์จะเหี่ยวลงส่งผลให้ปากใบนั้นปิดลง กระบวนการน้ำจะถูก

ควบคุมโดยแสงและ K^+ ในตอนเช้าแสงจะกระตุ้นให้ K^+ แพร่เข้าสู่เซลล์ทำให้ภายในเซลล์นั้นมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำจากรอบข้างเซลล์ออสโมซิสเข้ามาภายในเซลล์ทำให้ปากใบนั้นเปิดออก และเมื่อมีแสงกับแสงเพียงพอ เซลล์คุมจึงเริ่มกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้น้ำตาล และสารอินทรีย์พลังงานสูงออกมาเพื่อใช้เป็นพลังงาน และอาหารแก่พืช ภายในเซลล์นั้นมีความเข้มข้นที่น้อยลงส่งผลให้ปากใบนั้นปิดลง การเปิดปิดของปากใบส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊ส แต่ในขณะเดียวกันนั้นพืชก็ต้องสูญเสียความชื้นภายใน Mesophyll ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก เมื่อใดที่พืชขาดน้ำหรือพืชขาดน้ำในดินน้อยจนเกินไป ฮอโมน Abscissic Acid จะควบคุมบังคับให้ปากใบปิด แม้ว่าจะมีแสงก็ตาม

6) อุณหภูมิ มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ถ้าอุณหภูมิสูง หรือต่ำจนเกินไป เอนไซม์จะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อากาศที่ร้อนยังมีผลต่อปริมาณ CO_2 และการเกิด Photorespiration ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นพืชในกลุ่ม C_3 จะสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยลง แต่พืชตระกูล C_4 และ CAM ยังสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงต่อไปได้ เนื่องจากมีโครงสร้าง และการทนต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

7) อายุของใบ อย่างที่ทราบกันดีว่าใบไม้ที่มีอายุมากแล้วจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเมื่อเทียบกับใบที่มีอายุน้อยกว่า อย่างมากเนื่องจากการเสื่อมประสิทธิภาพของเซลล์ต่างๆ

8) ธาตุอาหาร เมื่อพืชขาด Mg และ N ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักทางโครงสร้างเคมีของ Chlorophyll สังเกตได้จากสมการเคมีที่กล่าวไปในส่วนของ Chlorophyll ส่งผลให้พืชขาด Chlorophyll จะทำให้ใบเหลืองซีด ธาตุอื่นๆ ก็มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น Mn + Cl ช่วยในการ Palisade Mesophyll, Cu + Fe ช่วยในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (e^-)

2.7 สถิติทดสอบเอฟ (F-test Statistic)

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยกรณีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระจากกันโดยใช้สถิติทดสอบที ซึ่งมีสูตรในการคำนวณค่าสถิติ t แบบ Pooled Variance และ Separated Variance นั้นผู้ทดสอบจะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องจึงจำเป็นจะต้องทดสอบว่าประชากรที่ศึกษามีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ ด้วยการทดสอบที่ใช้สถิติทดสอบเอฟ

นอกจากนี้การทดสอบค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มเพื่อดูว่าความแปรปรวนต่างกันหรือไม่ เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจการทดสอบจึงใช้สถิติทดสอบเอฟเช่นเดียวกัน

2.7.1 การแจกแจงเอฟ (F-distribution)

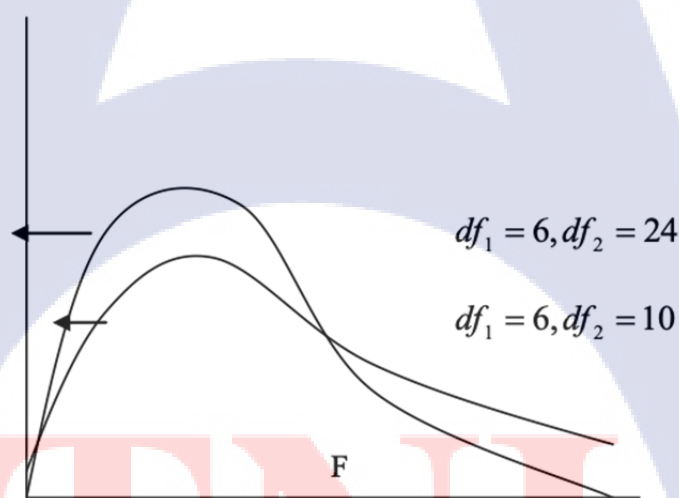
การแจกแจงแบบเอฟ (F-distribution) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากร

ถ้าให้ S_1^2 และ S_2^2 เป็นค่าความแปรปรวนจากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน และมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ n_1 และ n_2 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาโดยการสุ่มจากประชากร ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ และมีค่าความแปรปรวนของประชากรเท่ากับ σ_1^2 และ σ_2^2 ตามลำดับ

$$F = \frac{S_1^2 / \sigma_1^2}{S_2^2 / \sigma_2^2} = \frac{\sigma_2^2 \times S_1^2}{\sigma_1^2 \times S_2^2} \quad (2.9)$$

มีการแจกแจงแบบเอฟ ซึ่งมี degree of freedom เท่ากับ $df_1 = n_1 - 1$ และ $df_2 = n_2 - 1$

การแจกแจงแบบเอฟ ลักษณะของเส้นโค้งมีการแจกแจงแบบเบ้ทางบวก และค่าของ F จะเป็นบวกเสมอ นั่นคือ $0 < F < \infty$ ลักษณะของเส้นโค้งจะขึ้นกับ Degree of Freedom 2 ค่าคือ df_1 และ df_2 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแจกแจงแบบเอฟ

ภายใต้พื้นที่โค้งของการแจกแจงแบบเอฟหาได้จากตารางเอฟ เมื่อต้องการทราบค่า F จากตาราง จะต้องทราบค่าคือ df_1 และ df_2

2.7.2 สถิติทดสอบเอฟ

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้ T-test สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาสิ่งหนึ่ง คือ ความแปรปรวนของประชากรเท่ากันหรือไม่ หรือความเป็นเอกพันธ์ของค่าความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) และในการทดสอบว่า ความแปรปรวนของประชากรจะแตกต่างกันหรือไม่นั้นจะต้องใช้การทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติทดสอบเอฟ

ข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบเอฟ ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน
2. ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ
3. ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาค หรืออัตราส่วน

2.7.3 การทดลองสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของความแปรปรวนของประชากร

เมื่อต้องการทราบว่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันหรือไม่ จะทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบเอฟซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบเอฟ
2. กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับการทดสอบสองทิศทาง

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

สำหรับการทดลองแบบทิศทางเดียว

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2 \text{ หรือ } \sigma_1^2 < \sigma_2^2 \text{ อย่างใดอย่างหนึ่ง}$$

3. กำหนด α
4. คำนวณหาค่าสถิติ F จากสูตร

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ มี } df_1 = n_1 - 1 \text{ และ } df_2 = n_2 - 1$$

ในทางสถิติมักนิยมนำพหุคูณค่า F โดยใช้ค่าความแปรปรวนจากกลุ่มตัวอย่างที่มีค่ามากเป็นพิเศษ ซึ่งจะทำให้ขอบเขตวิกฤตอยู่ทางขวาเสมอ

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า F วิกฤต (F_{α, df_1, df_2})
6. สรุปผลการทดสอบ

$$F \geq F_{\text{critical}} \text{ จะปฏิเสธ } H_0$$

$$F < F_{\text{critical}} \text{ จะยอมรับ } H_0$$

2.8 สถิติทดสอบที (T-test Statistic)

เป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่ใช้ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก การทดสอบผู้วิจัยจะต้องทราบค่าความแปรปรวนประชากร หรือในกรณีที่ไมทราบค่าความแปรปรวนของประชากร เพราะในงานวิจัยจะไม่มีโอกาสทราบค่าความแปรปรวนของประชากร ผู้วิจัยอาจใช้ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแทน

2.8.1 การทดสอบที (T-test) ใช้ทดสอบกรณีต่างๆ ดังนี้

1. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว
2. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม
 - 2.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระจากกัน
 - 2.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน
3. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2.8.2 ประชากร 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน

ประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระกัน คือประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกัน การทดสอบสมมติฐานนี้ตัวสถิติทดสอบขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของข้อมูลในประชากร 2 กลุ่ม ดังนี้

กรณีไม่ทราบ σ_1^2, σ_2^2 แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ จะประมาณค่า σ_1^2, σ_2^2 ด้วยความแปรปรวนร่วม (Pooled Variance) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ S_p^2 โดยที่

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.10)$$

ดังนั้น ตัวสถิติทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.11)$$

เมื่อ $\bar{x}_1$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากตัวอย่างที่ 1
 $\bar{x}_2$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากตัวอย่างที่ 2

$\mu_1 - \mu_2$ แทนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในสมมติฐาน หรือค่า μ_0

S_p แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร่วม

n_1 แทนจำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 1

n_2 แทนจำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 2

โดยที่องศาแห่งความเป็นอิสระคือ $n_1 + n_2 - 2$

ดังนั้น ค่าวิกฤต คือ $\pm \frac{t\alpha}{2}, n_1 + n_2 - 2, t_{\alpha, n_1 + n_2 - 2}, -t_{\alpha, n_1 + n_2 - 2}$

กรณีไม่ทราบ σ_1^2, σ_2^2 แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ จะ σ_1^2, σ_2^2 ด้วย S_1^2, S_2^2 ดังนั้นตัว

สถิติทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (2.12)$$

เมื่อ $\bar{x}_1$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากตัวอย่างที่ 1

$\bar{x}_2$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากตัวอย่างที่ 2

$\mu_1 - \mu_2$ แทนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในสมมติฐาน หรือค่า μ_0

S_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของตัวอย่างกลุ่มที่ 1

S_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของตัวอย่างกลุ่มที่ 2

n_1 แทนจำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 1

n_2 แทนจำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 2

โดยที่องศาแห่งความเป็นอิสระคือ V เมื่อ

$$V = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}} \quad (2.13)$$

ดังนั้น ค่าวิกฤต คือ $\pm \frac{t\alpha}{2}, V, t_{\alpha, V}, -t_{\alpha, V}$

2.9 การประเมินแบบจำลองจากการแบ่งหมวดหมู่ (Evaluation Model by Classification)

วิธีการที่ใช้เป็นมาตรฐานในการประเมิน หรือวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model) นั้นมีหลากหลายวิธีด้วยกัน วิธีการหนึ่งที่เป็นพื้นฐาน คือการแบ่งหมวดหมู่ของผลลัพธ์ โดยเราจะต้องมีข้อมูลของผลลัพธ์ที่เก็บค่าจริง และผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ โดยในวิธีประเมินนี้ มีค่าสำคัญที่จะต้องทราบก่อนอยู่หลายค่าหลักๆ คือ

ผลบวกจริง (True Positive, TP)

ผลบวกปลอม (True Negative, TN)

ผลลบจริง (False Positive, FP)

ผลลบปลอม (False Negative, FN)

ความถูกต้อง (Accuracy)

ความเที่ยง (Precision) หรือ ค่าทำนายผลบวก (Positive Predictive Value)

ความไว (Sensitivity) หรืออัตราผลบวกจริง (True Positive Value)

ความจำเพาะ (Specificity) หรืออัตราผลลบจริง (True Negative Rate)

เป็นตัวที่ใช้บ่งบอกประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผ่านค่าสำคัญที่มีสมการดังนี้

2.9.1 ความถูกต้อง (Accuracy)

ใช้สำหรับวัดว่าโมเดลนั้นทำนายได้ถูกต้องแค่ไหน โดยนำค่าที่ทำนายได้ถูกต้องทั้งหมดหารด้วยค่าทั้งหมดที่ให้โมเดลทำนาย แต่มีปัญหาอยู่ว่าถ้าเป็นการจำแนกที่ประเภทมากกว่า 2 คลาสขึ้นไปวิธีนี้จะไม่สามารถวัดค่าความแม่นยำบนแต่ละคลาสได้ และถ้าชุดข้อมูลไม่บาลานซ์กันนั้นก็ส่งผลให้ผลลัพธ์ของวิธีนี้ผิดพลาดได้ ดังสมการที่ 2.14

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (2.14)$$

2.9.2 ความเที่ยง (Precision)

มองในมุมที่ว่าโมเดลทำนายได้แม่นยำแค่ไหนในค่าที่สนใจ ดังสมการที่ 2.15

$$\text{Precision} = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (2.15)$$

2.9.3 ความไว (Sensitivity) หรือ (Recall)

มองในมุมที่ว่าโมเดลทำนายได้ถูกต้องแค่ไหน ดังสมการที่ 2.16

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (2.16)$$

2.9.4 ความจำเพาะ (Specificity)

แสดงถึงความบ่งชี้การทดสอบให้ผลลบ จากตัวอย่างผลบวก โดยอธิบาย ดังสมการที่

2.17

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{(TN + FP)} \quad (2.17)$$

2.10 ประวัติความเป็นมาของแคคตัส

ได้มีการสันนิษฐานว่าต้นตระกูลของแคคตัสนั้นเกิดในช่วงปลายยุคเมโสโซอิก และช่วงต้นของยุคเทอร์เชียรี ซึ่งเป็นยุคที่พืชดอกมีการพัฒนามากที่สุด ในยุคนั้นแคคตัสมีลำต้นแตกกิ่งก้าน ใบ และดอกเหมือนต้นไม้ทั่วไป โดยจะยังสามารถเห็นได้จากแคคตัสในสกุล ปิริสเคีย (Pereskia) ซึ่งชนิดที่สามารถเห็นได้ในประเทศไทย ได้แก่ กุหลาบมะลำเลิง และกุหลาบพุกาม ที่ยังคงมีลักษณะตามที่ได้กล่าวมาอยู่

เป็นระยะเวลาหลายล้านปีที่สภาพแวดล้อมของโลกได้มีการเปลี่ยนแปลง เกิดมหาสมุทร และภูเขาขึ้นมา โดยส่วนใหญ่จะอยู่ทางทิศตะวันตกของทวีปต่างๆ ส่งผลให้ฝนไม่สามารถพัดผ่านมาทางด้านทิศตะวันตกได้ ทำให้พื้นที่เริ่มแห้งแล้ง และกลายเป็นทะเลทรายพืชพันธุ์ต่างๆ ที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณนั้นจึงมีการปรับตัวของตัวเองให้ยังสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งต่อไปได้

แคคตัสได้พัฒนาการโครงสร้างให้สามารถเก็บสะสมน้ำไว้ในลำต้นได้ถึง 80% - 90% ทำให้ลำต้นของแคคตัสนั้นอวบอ้วน และสั้นลง รากของแคคตัสส่วนมากจะอยู่ใกล้บริเวณผิวดิน ไม่หยั่งลึกลงไปมากนัก เพื่อที่จะดูดซับน้ำ ความชื้นได้ง่าย และการพัฒนาที่สำคัญคือการลดขนาดใบให้เล็กลง และเปลี่ยนรูปเป็นหนามจำนวนมาก ช่วยในการพรางความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ

แคคตัสส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ พบมากในพื้นที่แถบทะเลทรายแต่ก็มีบางประเภทที่เติบโตอยู่ในเขตป่าร้อนชื้น ซึ่งแคคตัสกลุ่มนี้มักจะมีลำต้นแบน ต่างจากแคคตัสที่เติบโตในทะเลทราย ทั้งนี้เพื่อให้ต้นนั้นมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการค้นพบแคคตัสที่เจริญเติบโตบริเวณทุ่งหญ้า เกาะอาศัยอยู่กับต้นไม้ใหญ่ในป่าดิบชื้น บนภูเขา หรือแม้กระทั่งชายฝั่งทะเล

2.11 ยิมโนคาไลเซียม มิฮาโนวิชชียา (Gymnocalycium Mihanovichii)

ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์: Gymnocalycium mihanovichii

ชื่อสามัญ : -

ชื่ออื่น : Chin Cactus

วงศ์ : CACTACEAE

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

- 1) ต้น ไม้ล้มลุกหลายปี จำพวกกระบองเพชร อวบน้ำ สีเขียวอ่อนจนถึงเขียวเข้ม มีพู (Ribs) 8-12 พู สามารถแตกหน่อจากตุ่มเนินหนามได้จำนวนมาก
- 2) ใบ ลดรูปเป็นหนามขนาดเล็กถึงกลาง
- 3) ดอก เป็นดอกเดี่ยวก้านดอกยาว ดอกสีชมพูหรือดอกสีขาว กลีบดอกจำนวนมาก เกสรเพศเมียอยู่ลึกภายในดอกเกสรเพศผู้อยู่เหนือเกสรเพศเมีย ออกดอกในช่วงฤดูร้อน
- 4) ผล เป็นรูปรี ขยายมาจากรังไข่ซึ่งอยู่บริเวณก้านดอก ในช่วงพัฒนาจะมีสีเขียว เมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดง

ข้อมูลทั่วไป

1. การปลูกเลี้ยง

แม้ต้นกระบองเพชรเป็นพืชที่ไม่ต้องการน้ำมากนัก แต่ก็ต้องการน้ำอย่างต่อเนื่องนั้น เมื่อต้นโตเต็มที่แล้ว ควรหมั่นให้น้ำอย่างน้อย 7-10 วันต่อครั้ง บำรุงด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก 5-6 ครั้งต่อปี หมั่นตัดส่วนที่เป็นโรคทิ้ง สิ่งที่ต้องระวังในการปลูกต้นกระบองเพชรคือ ลำต้นเหี่ยว มีรอยย่น และแคระแกร็น โคนโยก รากเน่า เพราะความชื้นสูงเกินไป และปัญหาเรื่องศัตรูพืช

การเลี้ยงแคคตัสให้ออกดอกอย่างสม่ำเสมอคือ วางให้โดนแดดโดยตรงในช่วงที่กำลังเติบโต ประมาณ 4-6 ชั่วโมงต่อวัน นอกเหนือจากนี้ก็วางกระถางในที่ที่มีแดดรำไร และหมั่นรดน้ำเป็นประจำ เมื่อหน้าดินแห้ง โดยรดน้ำให้ชุ่มหรือให้น้ำซึมลงไปจากหน้าดินประมาณ 2 นิ้ว นอกจากนี้ก็หมั่นใส่ปุ๋ยอย่าให้ขาด โดยเป็นปุ๋ยที่ใช้สำหรับบำรุงแคคตัสเท่านั้น หรือเป็นปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสกับโพแทสเซียมสูงแต่ไนโตรเจนต่ำหากทำการเปลี่ยนกระถางไม่ควรรดน้ำโดยทันที แต่ให้ทำการเว้นการรดน้ำเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนจะรดน้ำในครั้งต่อไป

2. การขยายพันธุ์

2.1 การปลูกกระบองเพชรด้วยเมล็ด

นำเมล็ดแก่หรือเมล็ดจากผลที่ปริแตก มาแช่น้ำ 2-5 นาที จากนั้นล้างเมือกออก แล้วตากแดดให้แห้งประมาณ 1-2 วัน พักทิ้งไว้อีกเป็นระยะเวลาประมาณ 1-2 เดือน ค่อยนำมาปลูกลงในกระถางพลาสติกเล็กๆ เพื่อทำการเพาะ ก่อนนำเมล็ดมาโรยแล้วเกลี่ยดินกลบเล็กน้อย ก่อนจะรดน้ำเป็นประจำ หากพบว่าเมล็ดงอกเป็นต้นอ่อนได้ 2-3 วัน ค่อยย้ายไปปลูกในกระถางใหญ่

2.2 การปักชำต้นกระบองเพชร

วิธีการขยายพันธุ์ต้นกระบองเพชรที่ง่าย และรวดเร็ว เลยเป็นที่นิยมกันมาก โดยเตรียมวัสดุปลูกเหมือนกันกับการปลูกในกระถาง จากนั้นนำต้นหรือกิ่งจากต้นแม่มาปักชำลงกระถางวางไว้ที่แดดรำไร และรดน้ำ 2 วันต่อครั้ง หลังจากกิ่งชำติดแล้วลดเหลือ 3 วันต่อครั้ง

3. การใช้ประโยชน์

3.1 กระบองเพชรเป็นต้นไม้ที่มีลักษณะแปลกตา สีสดใสสวยงาม หลายๆ คน จึงมักนิยมไปปลูกประดับบ้าน หรืออาคาร เช่น ตั้งบนโต๊ะทำงานหรือวางตามมุมห้องต่างๆ

3.2 ดอก และผลของต้นกระบองเพชรบางสายพันธุ์สามารถนำมารับประทานได้ หรือประกอบอาหารได้ แต่ต้องกำจัดยางออกให้หมดก่อน

3.3 น้ำมันในเมล็ดของผลกระบองเพชรสามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอางได้

3.4 สารสกัดต้นกระบองเพชรมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย ทั้งวิตามินเอ วิตามินซี ไฟเบอร์ อีกทั้งยังช่วยลดการดูดซึมไขมัน ลดคอเลสเตอรอล และช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดอีกด้วย

3.5 หนามที่มีลักษณะแหลมคล้ายเข็มของกระบองเพชรสามารถนำมาเย็บแผลได้ แต่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่สะอาดด้วยวิธีที่ถูกต้อง

3.6 สามารถเติมน้ำในลำต้นของกระบองเพชรแก่กระหายเมื่อขาดแหล่งน้ำ อย่างเช่น กลางทะเลทรายได้

2.12 โรครากเน่า

2.12.1 โรคเน่าละ (Soft Rot) เกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า *Erwinia carotovora* pv. *Carotovora* โดยลักษณะอาการของโรค จะเริ่มจากอาการเป็นจุดดำน้ำ ซึ่งจะเน่าอย่างรวดเร็วทำให้น้ำเนื่อเยื่อของต้นแคคตัสเปื่อยละเป็นน้ำเยิ้ม และส่งกลิ่นเหม็นภายในระยะเวลา 2-3 วัน แคคตัสจะเน่ายุบหายไปหมดทั้งต้น หรือแห้งเป็นสีน้ำตาลอยู่ที่ผิวดิน อาการเน่าจะเกิดจากส่วนใดก่อนก็ได้ แต่โดยปกติจะเริ่มที่ราก หรือโคนต้น เชื้อแบคทีเรียจะเข้าไปทางบาดแผล ซึ่งอาจเกิดจากหนอนทำลาย หรือ

โดนดินบาด การสัมผัสเชื้อกับส่วนของพืช ติดไปกับเครื่องมือทางการเกษตร สามารถป้องกันได้หลายวิธี คือ ทำการพลิกหน้าดินขึ้นตากก่อนที่จะไปทำการเพาะปลูก เพื่อทำลายเชื้อ อย่าทำให้พืชชุ่มน้ำจนเกินไป หรือเกิดบาดแผล

2.12.2 โรครากเน่า และโคนเน่า (Sclerotium Root Rot) เกิดจากเชื้อราที่เรียกว่า Sclerotium Rolfsii Sacc. โดยลักษณะอาการของโรค มักจะไม่แสดงอาการในช่วงแรก เมื่อผ่านไปสักระยะหนึ่งต้นอาจมีอาการเหลืองซีด หรือเหี่ยวยืนต้นตาย บริเวณรากจะมีใยขาว และเม็ดสเคอโรเทียสีขาว ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ เม็ดสเคอโรเทียนี้จะสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้เป็นเวลานาน มักระบาดมากในสภาพความชื้นสูง โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน

2.13 ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry pi)

เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ต่างก็มักจะเพียงจะเป็นเรื่องของประสิทธิภาพในการประมวลผลที่ไม่สามารถทำได้เท่ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป แต่มักจะถูกเลือกมาใช้ในการงานด้าน IOT (Internet of Thing) นั่นก็เพราะว่าราสเบอร์รี่พายนั้นมีสิ่งที่เรียกว่า GPIO (General Purpose Input/Output) จากความสามารถนี้ทำให้เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม และรับค่าจากอุปกรณ์ภายนอกนั้นไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น ควบคุม Relay Switch การอ่านข้อมูลต่างๆ จากเซ็นเซอร์ และยังมีราคาถูกอีกด้วย

ความสามารถของ Raspberry pi

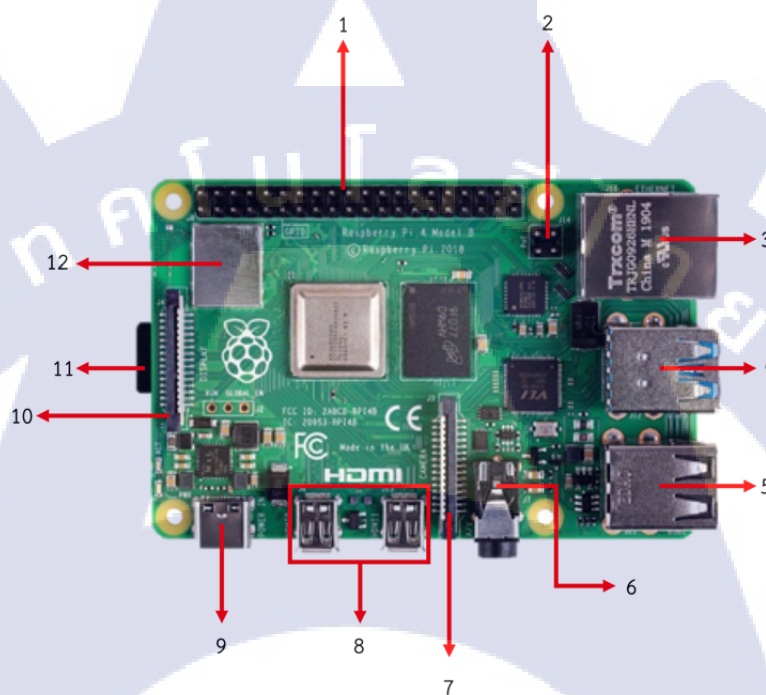
เนื่องจาก Raspberry pi นั้นมีความสามารถเหมือนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ดังนั้นสิ่งที่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำได้ Raspberry pi ก็สามารถทำได้ เช่น

- ใช้ในการเล่นอินเทอร์เน็ต
- ใช้ในการเก็บข้อมูล
- ใช้สำหรับประมวลผลข้อมูล

ส่วนประกอบของราสเบอร์รี่พาย

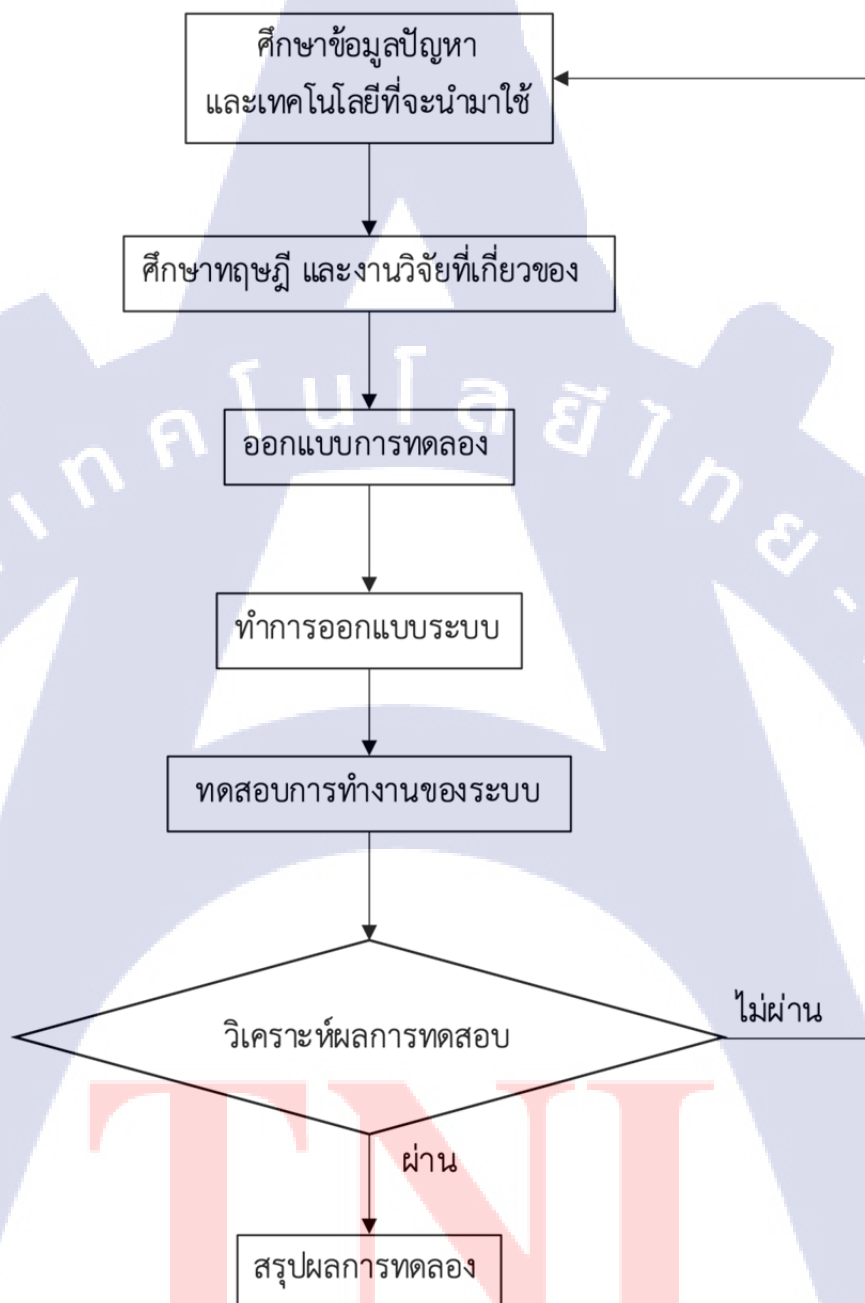
1. 40 Pin General-Purpose Input/Output Header
2. PoE HAT Header
3. Gigabit Ethernet
4. USB 3.0
5. USB 2.0
6. 4-Pole Stereo Audio
7. 2-Lane MIPI CSI Camera Port

8. Micro HDMI Ports
9. USB-C Power Port 5V/3A
10. 2-Lane MIPI DSI Display Port
11. Micro SD Card Slot
12. 2.4/5GHz Wireless Bluetooth 5.0



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของราสเบอร์รี่พาย

3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินวิจัย

3.4 วิเคราะห์ปัญหาที่เป็นปัจจัยของงานวิจัย

3.4.1 ศึกษาข้อมูลและปัญหา

การศึกษาข้อมูล และงานวิจัย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะหาปัจจัยในการเจริญเติบโตของกระบองเพชร เช่น โรค กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของกระบองเพชร

3.4.2 วิเคราะห์แนวทางปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการเลือกหัวข้อวิจัย ผู้จัดทำได้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อนำไปใช้ในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลต่อไป โดยการวิเคราะห์การสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นจะนำค่า ดัชนีความต่างพืชพรรณมาคิดคำนวณ เพื่อดูว่าพืชนั้นมีการสังเคราะห์ด้วยแสงมากหรือน้อย มาช่วยในการป้องกันโรคที่ไม่แสดงอาการ ภาวะขาดน้ำในกระบองเพชร และทำการสรุปผล

3.4.3 เสนอหัวข้อกับอาจารย์ที่ปรึกษา

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา มา ผู้จัดทำวิจัยได้นำมาประยุกต์กับอุปกรณ์ เพื่อสร้างระบบที่ใช้เพื่อใช้ในการป้องกันโรค หลังจากนั้นผู้จัดทำวิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่ศึกษามาเสนอหัวข้อกับอาจารย์ที่ปรึกษา

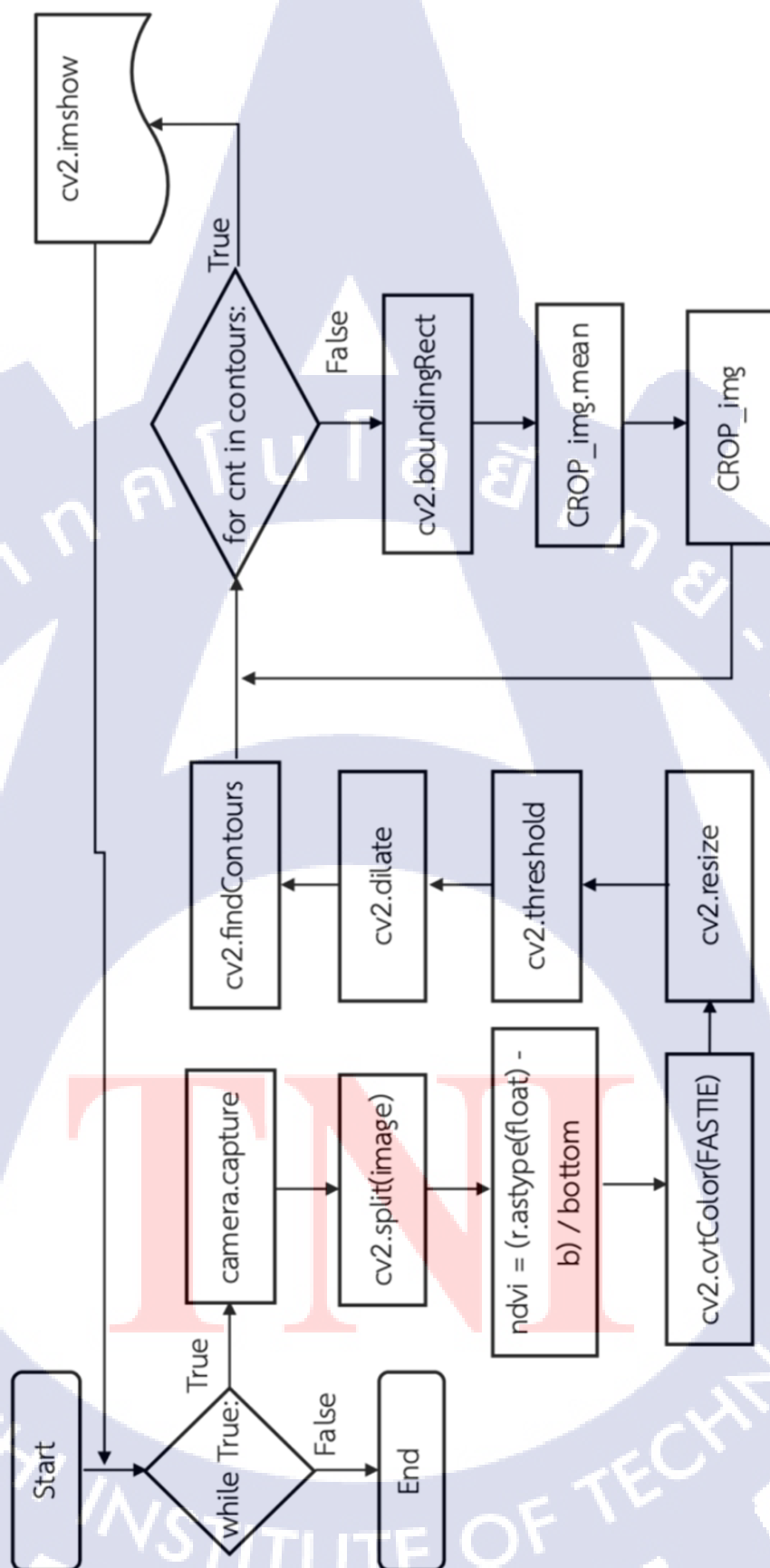
3.5 ออกแบบ และพัฒนาระบบ

ในส่วนจะเป็นการออกแบบระบบ ฟังก์ชัน ที่ใช้ในการรับข้อมูล และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยได้ทำการออกแบบการรับข้อมูลที่ได้มาจากกล้อง หลังจากได้รับข้อมูลภาพถ่ายมาแล้วจึงจะนำข้อมูลเหล่านั้นที่ได้มาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยการใช้โมเดลของการประมวลผลภาพในการมาจำแนกหากระบองเพชรพันธุ์ยิมโนคาไลเซียม และใช้การวัดค่าดัชนีความต่างพืชพรรณในการหาต้นที่มีอาการผิดปกติ แนวทางการทดลองจะนำต้นกระบองเพชรพันธุ์ยิมโนคาไลเซียมมาวางเรียงแล้วทำการถ่ายภาพแล้วในระบบจำแนกต้นกระบองเพชรพันธุ์ยิมโนคาไลเซียมออกมา

3.6 วิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาพบว่าการใช้ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณสามารถบ่งบอกถึงความผิดปกติในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ไม่ว่าจะเป็นภาวะขาดน้ำ หรือโรคที่ไม่แสดงอาการ เป็นต้น โดยการนำค่าดัชนีความต่างพืชพรรณจากกล้องที่สามารถถ่ายภาพที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง NIR นำเข้าสมการ NDVI เพื่อดูความสมบูรณ์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

3.7 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของระบบ

3.7.1 cv2.split()

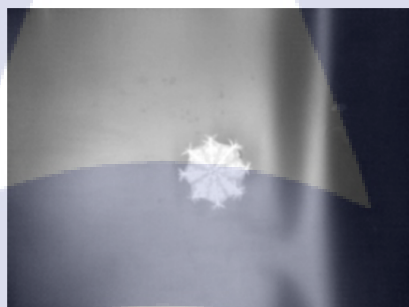
ไว้ใช้แยกสีของภาพออกเป็นลิสต์ของค่าสีแต่ละสี เช่นระบบสี RGB ก็จะแยกค่าสีทั้งสามตัวออกมาเก็บไว้ค่าสีละตัวแปร

3.7.2 cv2.cvtColor()

ไว้ใช้ในการแสดงผลสีในคอมพิวเตอร์นั้น โดยทั่วไปจะคุ้นเคยกับระบบสี RGB ในขณะที่ opencv จะสลับลำดับของสีแดงกับสีน้ำเงิน กลายเป็น BGR และยังสามารถแปลงให้อยู่ในระบบสีอื่นได้อีก

3.7.3 cv2.resize()

ไว้ใช้สำหรับย่อ หรือขยายขนาดภาพให้เป็นไปตามขนาดที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 การลดความคมชัด

3.7.4 cv2.threshold()

ไว้ใช้เพื่อแบ่ง หรือคัดกรองส่วนของรูปภาพ โดยพิจารณาจากความสว่างในภาพ ทั่วไปจะใช้พิจารณาความสว่างของสีเดียว ถ้าเป็นภาพสีก็จะแปลงเป็นขาวดำก่อน



รูปที่ 3.4 กรองภาพโดยใช้การพิจารณาความสว่าง

3.7.5 cv2.dilate()

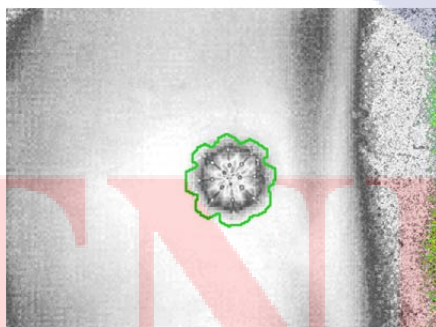
เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวกรอง (Filter) โดยสิ่งที่ทำจะเป็นการไปไล่กวาดรูปดูบนภาพทีละช่องเมื่อใช้ การพองตัว นั่นหากมีช่องใดช่องหนึ่งเป็นสีขาวก็จะได้ผลเป็นสีขาวทันทีที่ดั่งนั้นบริเวณที่อยู่ใกล้สีขาวก็จะเป็นสีขาวไปด้วย ทำให้บริเวณสีขาวขยายตัวขึ้น



รูปที่ 3.5 การพองตัว

3.7.6 cv2.findContours()

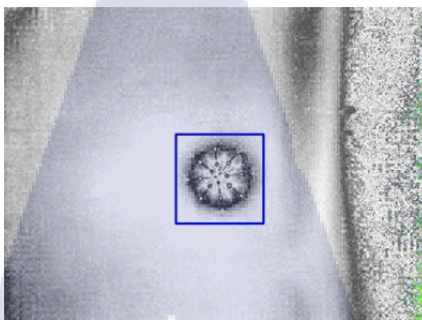
เส้นเค้าโครง คือ เส้นที่แบ่งเขตเชื่อมระหว่างสีขาวกับดำในภาพ เส้นนี้มีความสำคัญ ถ้าหาเส้นเค้าโครงได้ก็สามารถเอาไปใช้ทำอะไรต่อได้อีกมาก



รูปที่ 3.6 หาเส้นเค้าโครง

3.7.7 cv2.boundingRect

จะนำค่าตำแหน่งทั้งสี่มุมของสี่เหลี่ยมที่สามารถคลุมเส้นเค้าโครงได้หมด มาเก็บไว้ในตัวแปร 4 ตัว เพื่อที่จะใช้ในการวาดกรอบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.7 สร้างกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าล้อมเส้นเคาโครง

3.7.8 cv2.imshow()

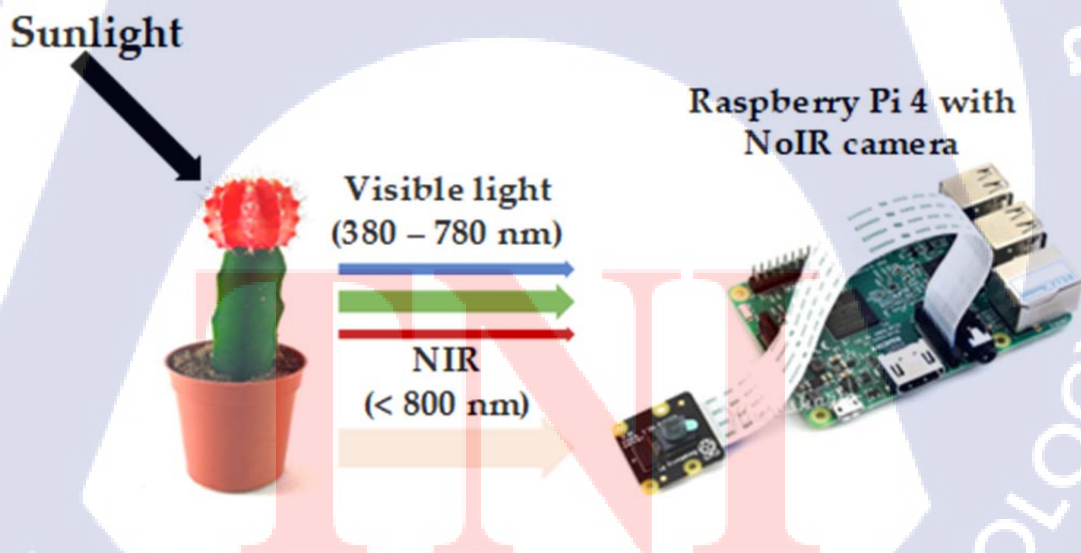
เป็นหนึ่งในคำสั่งของ opencv ใช้ในการสั่งให้แสดงผลภาพขึ้นบนหน้าจอ

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้เป็นองค์ความรู้สำหรับประกอบการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และโรครากเน่าที่ส่งผลต่อการวัดค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ โดยใช้การวิเคราะห์ผลจากคลื่นแสงในช่วงใกล้อินฟราเรด ผู้จัดทำวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อศึกษา และสร้างอุปกรณ์ในการตรวจจับโรครากเน่าในกระบองเพชรโดยใช้ Raspberry Pi 4 ในการตรวจหาต้นกระบองเพชรที่มีอาการของโรครากเน่า ในการควบคุม และดูแลสภาพแวดล้อม พร้อมทั้งเก็บข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อใช้ในการหาค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ในการวิเคราะห์อาการโรครากเน่า

4.1 ระบบวัดค่า NDVI

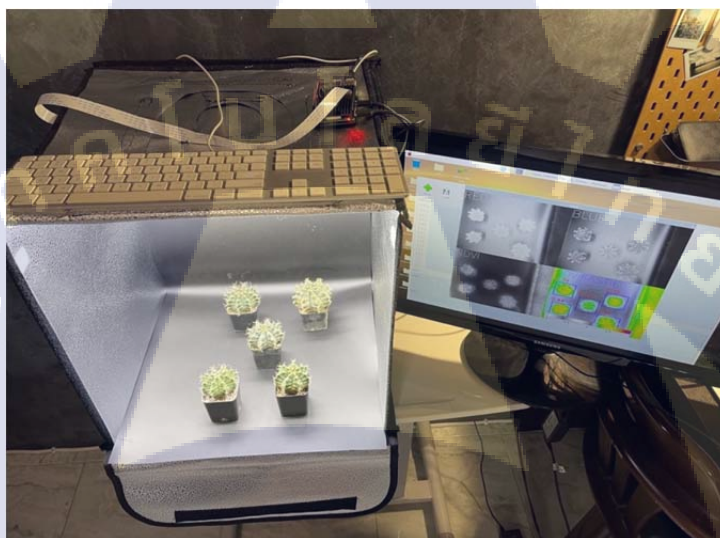
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบ และพัฒนาระบบสถาปัตยกรรม เพื่อใช้ในการช่วยเก็บข้อมูลค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ เพื่อทำการบันทึกภาพแล้วคำนวณหาค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ และแสดงผลค่าดัชนีความต่างพืชพรรณขึ้นแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์



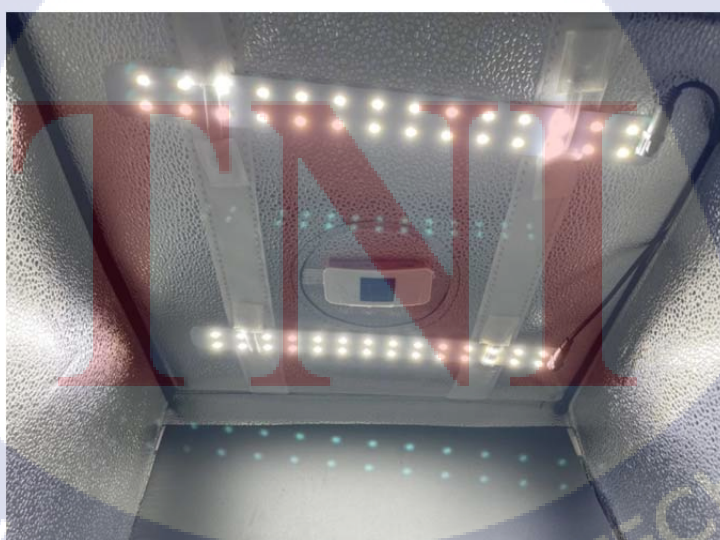
รูปที่ 4.1 หลักการทำงานการรับค่า NDVI โดยใช้ Raspberry รับค่า

4.1.1 สตูดิโอพหุภาพสำหรับควบคุมสภาพแวดล้อมการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลมีปัจจัยต่างๆ ที่ต้องควบคุม จึงจำเป็นต้องสร้างสภาพแวดล้อมในการเก็บข้อมูลทุกครั้งนั้นมีค่าเท่ากัน จึงต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมเช่น ปริมาณแสง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สตูดิโอแบบพหุภาพขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร เป็นโครงสร้างเหล็ก พร้อมทั้งมีฉากกันแสงเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้ามา และมีการติดตั้งกล่อง Pi Noir เพื่อทำการเก็บค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ เป็นดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทำงานของระบบเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 4.3 ไฟภายในสตูดิโอแบบพหุภาพ และการติดตั้งกล่อง Pi Noir

4.1.2 ส่วนประกอบภายในสตูดิโอแบบพกพา

ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบฮาร์ดแวร์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ นั้นประกอบไปด้วยบอร์ดที่ใช้ในการควบคุมระบบ รับข้อมูล และคำนวณ เซ็นเซอร์ NDVI Pi NoIR

1) บอร์ด Raspberry pi 4

Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมีความสามารถในการใช้งานทั่วไปและมีคุณสมบัติเด่น คือติดต่อ และควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ใช้ระบบปฏิบัติการ Rapsbian

2) Pi NoIR Camera V2

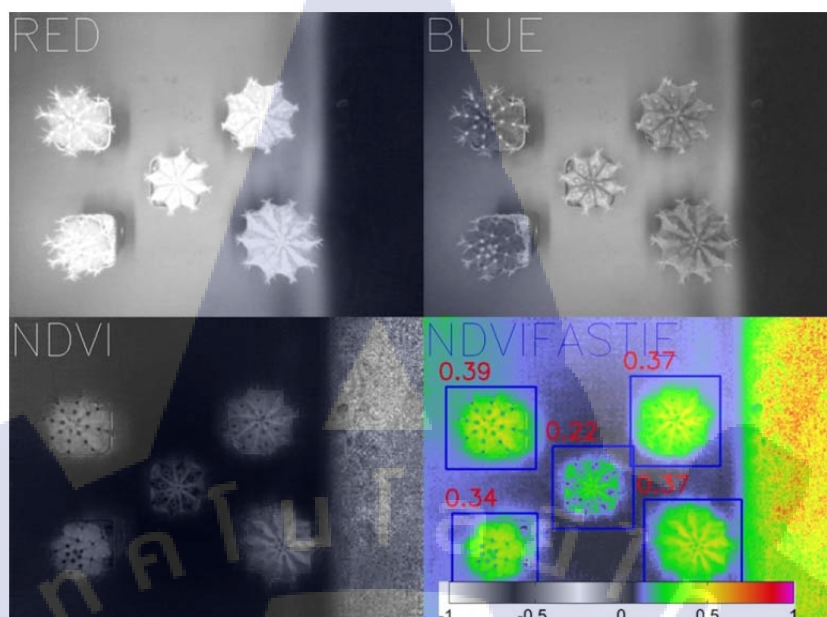
Pi NoIR Camera V2 คือกล้องที่มีความสามารถถ่ายภาพในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอินฟราเรดได้ โดยนำภาพถ่ายดังกล่าวมาทำการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลค่า NDVI ขึ้นมาโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์

4.2 การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

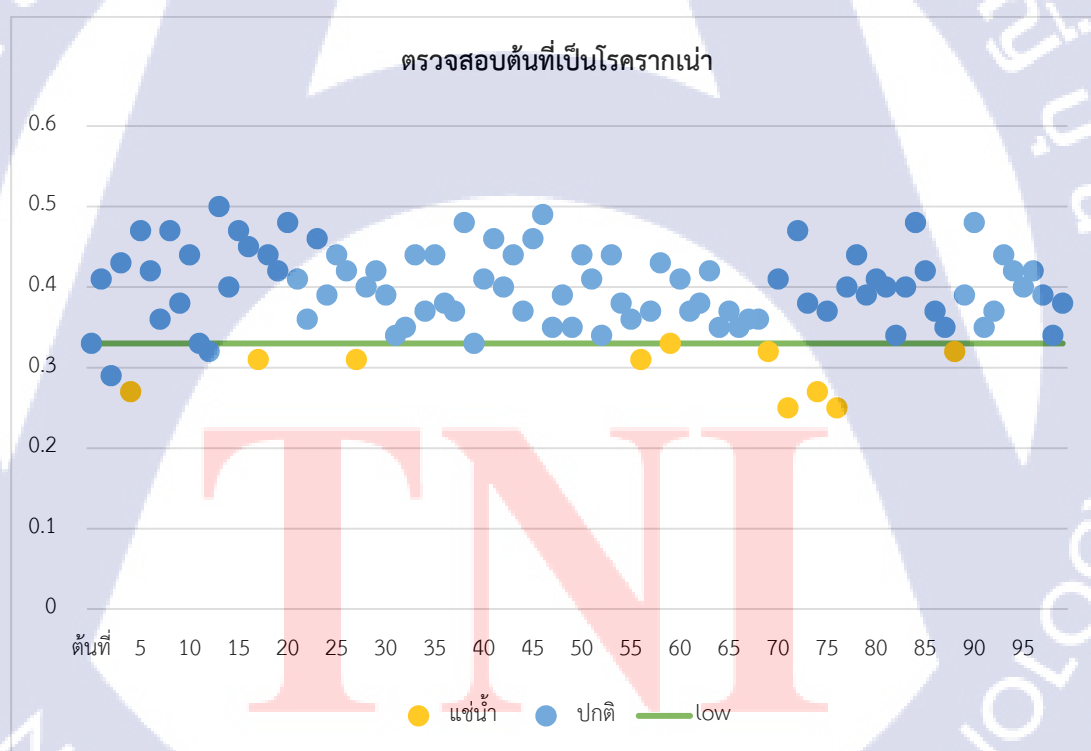
การเตรียมการเก็บข้อมูลผู้ทำวิจัยจะเตรียมต้นตัวอย่างแคะตัสตัวอย่างที่เป็นโรครากเน่า โดยวิธีการนำต้นแคะตัสจำนวน 10 ต้น ไปแช่น้ำไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน จุดประสงค์เพื่อให้ต้นแคะตัสทั้ง 10 ต้นนั้นเป็นโรครากเน่า แล้วนำไปคละกับต้นที่ปกติอีก 90 ต้นเพื่อวัดหาประสิทธิภาพในการตรวจจับแคะตัสที่เป็นโรครากเน่า

4.2.1 วัดประสิทธิภาพในการตรวจจับกลุ่มตัวอย่างโรครากเน่า

ผลการวัดประสิทธิภาพในการตรวจจับกลุ่มตัวอย่างโรครากเน่าด้วยวิธีการวัดค่าดัชนีความต่างพีชพรรณ ผลลัพธ์ที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถตรวจจับต้นที่มีอาการโรครากเน่าได้ 90% จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการเตรียมเอาไว้โดยวิธีการที่ได้กล่าวไปในข้างต้น โดยผู้ทำวิจัยได้ใช้ค่าทางทฤษฎีมาใช้ในการแบ่งว่าต้นใดเป็นโรครากเน่า โดยให้ค่าในช่วงดัชนีความต่างพีชพรรณที่มีค่าน้อยกว่า 0.33 เป็นต้นที่มีอาการโรครากเน่า จากผลการเก็บข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นโรครากเน่า ค่าที่เก็บได้มีค่าเฉลี่ย 0.29 ค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.25 และค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.33 ในกลุ่มตัวอย่างต้นที่ปกติ ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.40 ค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.29 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.5 ซึ่งหลังจากได้เก็บข้อมูลผู้ทำวิจัยได้มีความสนใจที่จะเก็บค่าสำหรับต้นที่มีสุขภาพดี โดยกลุ่มตัวอย่างของต้นที่มีสุขภาพดีได้จากกลุ่มตัวอย่างที่ให้ปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ และมีการหมุนต้นกระบองเพชรเพื่อให้ได้รับแสงอย่างทั่วถึง ค่าที่เก็บได้มีค่าเฉลี่ย 0.63 ค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.53 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.74



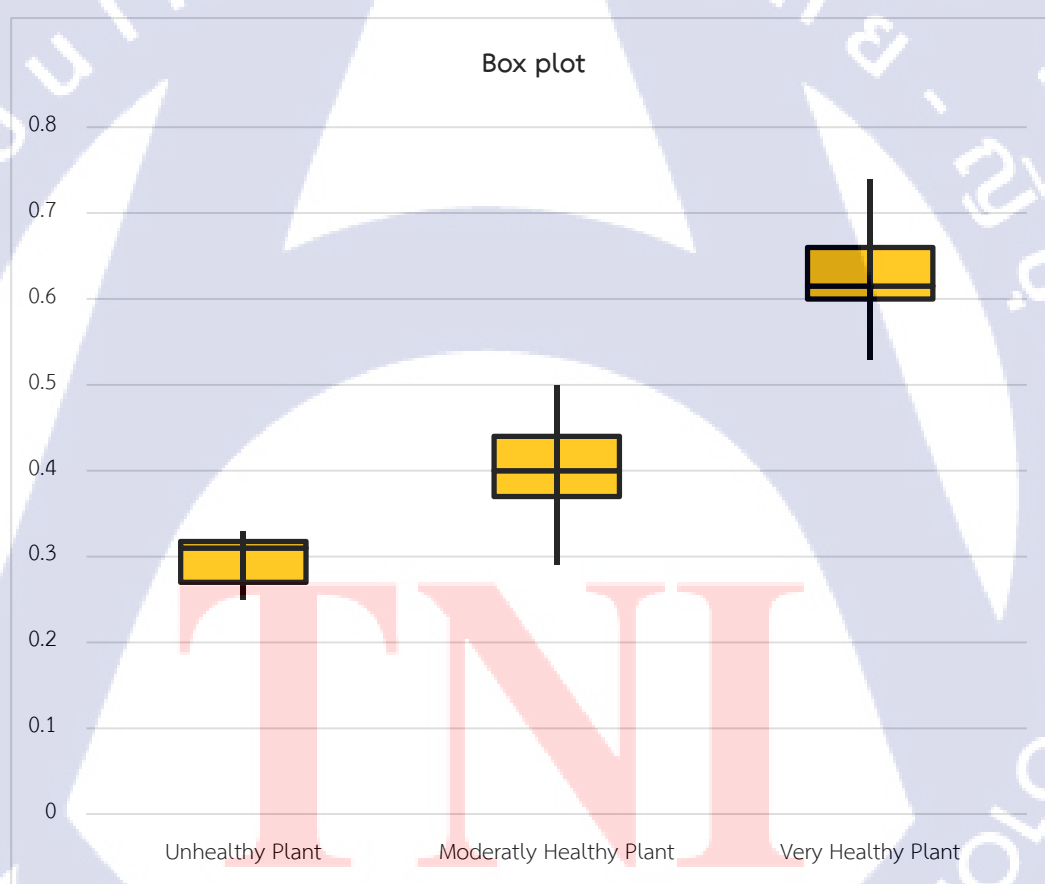
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่วัดค่าได้



รูปที่ 4.5 การตรวจสอบต้นที่เป็นโรครากเน่า

จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้เกณฑ์ตามทฤษฎีที่ต้นสุขภาพไม่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.33 ผลที่ได้คือสามารถตรวจจับต้นที่แน่ชัดได้ทั้งหมด 9 ต้น ซึ่งคิดเป็น 90% แต่จะเห็นได้ว่าต้นที่ปลูกแบบปกติบางส่วนเข้าเกณฑ์ของต้นที่ป่วย ซึ่งอาจเกิดจากกลุ่มตัวอย่างของต้นที่ปลูกแบบปกติบางต้นอาจมีภาวะโรครากเน่า ตามที่เคยได้กล่าวว่าโรครากเน่านั้นไม่สามารถตรวจสอบด้วยได้ตาเปล่าดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อยืนยันว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่างที่เก็บมานั้นมีความต่างกันอย่างไรมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ผู้จัดทำวิจัยนี้จึงทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับต้นที่ปลูกอย่างดีโดยกลุ่มตัวอย่างมีขนาด 10 ตัวอย่าง เพื่อดูว่าค่าดัชนีความต่างพืชพรรณของต้นที่ปลูกอย่างดีนั้นมีความต่างจากต้นที่ปลูกแบบปกติตามทฤษฎีหรือไม่

4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา



รูปที่ 4.6 Box Plot เพื่อดูค่าของกลุ่มตัวอย่างที่เก็บมาแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

4.2.3 การทดสอบแบบเอฟ (F-Test)

การทดสอบแบบเอฟ (F-Test) เป็นการทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนของข้อมูล 2 ชุด ที่ได้จากสภาวะการ ทดสอบที่ต่างกัน เช่น วิธีทดสอบ ผู้ทดสอบ หรือเครื่องมือ เป็นต้น การทดสอบแบบเอฟใช้ในการทดสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบ ผู้ทดสอบ หรืออื่นๆ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการทดสอบ การหาค่าสถิติ F กำหนดให้ Alpha : 0.05

ตารางที่ 4.1 การทดสอบเอฟ

F-test Two-Sample for Variances		
	Unhealthy Plant	Moderatly Healthy Plant
Mean	0.294	0.400777778
Variance	0.000937778	0.00204995
Observations	10	90
df	9	89
F	0.457463718	
P(F<=f) one-tail	0.100891942	
F Critical one-tail	0.293084468	

หมายเหตุ : σ_1^2 แทนความแปรปรวนค่าดัชนีความต่างพืชพรรณของกลุ่มตัวอย่างแคคตัสที่ปกติ
 σ_2^2 แทนความแปรปรวนค่าดัชนีความต่างพืชพรรณของกลุ่มตัวอย่างแคคตัสที่แช่น้ำ

สมมติฐานเชิงสถิติ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

พิจารณาจากค่า F = 0.4575 เปรียบเทียบกับค่า F Critical One-Tail = 0.2931 พบว่าค่า F มากกว่าค่า F Critical One-Tail ดังนั้นจึงสรุปว่า ค่าความแปรปรวนของข้อมูล 2 ชุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปฏิเสธ H_0

จากค่าความแปรปรวนของ 2 ตัวอย่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ให้เลือก T-Test Two-Sample Assuming Unequal Variances

4.2.4 การทดสอบแบบที (T-test)

การทดสอบแบบทีเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล เช่น ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดตัวอย่างกับค่า อ้างอิง หรือค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ชุด ที่ได้จากการวัดด้วยสภาวะที่ต่างกัน การทดสอบแบบทีใช้ในการทดสอบความแม่นยำ ของวิธีทดสอบหรือของชุดทดสอบ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ การทดสอบค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ 2 ชุด

ตารางที่ 4.2 การทดสอบที

T-test : Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	Unhealthy Plant	Moderatly Healthy Plant
Mean	0.294	0.400777778
Variance	0.000937778	0.00204995
Observations	10	90
df	14	
t Stat	-9.890435671	
P(T<=t) one-tail	5.35268E-08	
t Critical one-tail	1.761310136	

หมายเหตุ : μ_1 แทนค่าเฉลี่ยดัชนีความต่างพืชพรรณของกลุ่มตัวอย่างแคคตัสที่ปกติ

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยดัชนีความต่างพืชพรรณของกลุ่มตัวอย่างแคคตัสที่แช่น้ำ

สมมติฐานเชิงสถิติ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

พิจารณาค่า t Stat = 9.89 ซึ่งมากกว่า T Critical Two-Tail = 2.51 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติ H_0 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความต่างพืชพรรณของกลุ่มตัวอย่างแคคตัสที่ปกติมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความต่างพืชพรรณของกลุ่มตัวอย่างแคคตัสที่แช่น้ำ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.2.5 การวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยการแบ่งหมวดหมู่ (Model Evaluation)

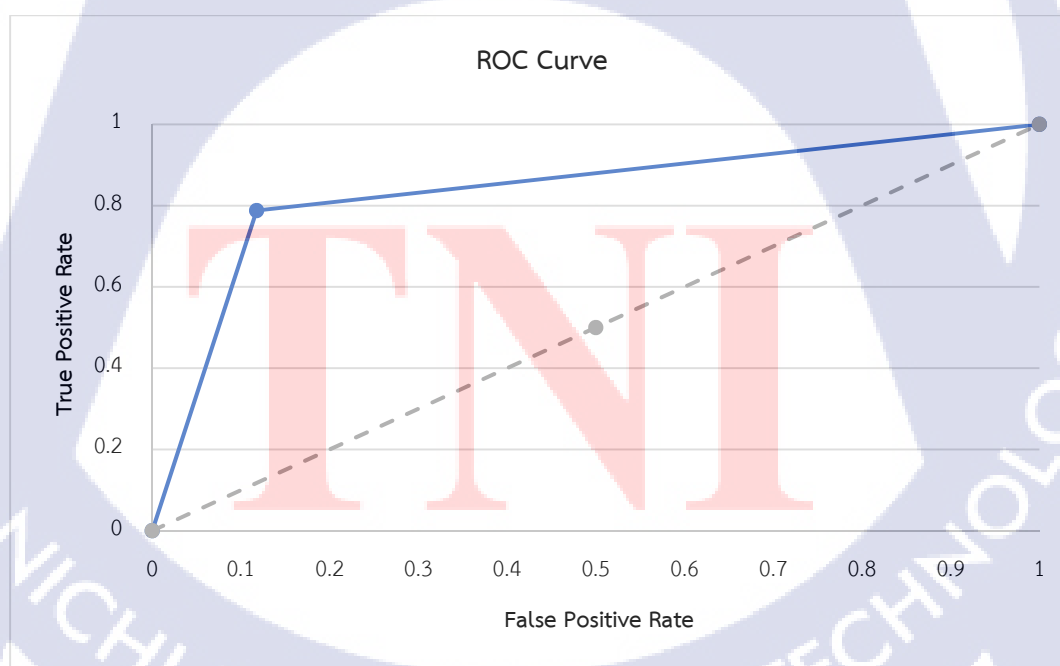
ผลการจากการวัดประสิทธิภาพโมเดลที่นำมาใช้จากกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม 50 ต้น การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพด้วยการหาความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และ ค่าความไว (Recall) สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโมเดลดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 Confusion Matrix

		Prediction	
		ไม่เป็นโรค	เป็นโรค
Actual	ไม่เป็นโรค	26	7
	เป็นโรค	2	15

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโมเดล

Accuracy	82%
Precision	93%
Recall	79%
F1 Measure	85%



รูปที่ 4.7 กราฟ ROC Curve

บทที่ 5

บทสรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่องการจำแนกโรคในต้นกระบองเพชรโดยใช้การประมวลผลภาพในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ ดังที่กล่าวไปในส่วนบทที่ 1 โดยจะนำเสนอข้อสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการสรุปผลงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้จัดทำสรุปผลตามวัตถุประสงค์ในแต่ละหัวข้อที่ได้กล่าวไปในส่วนของบทที่ 1 ดังต่อไปนี้

การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับใช้ในการจำแนกโรคในต้นกระบองเพชรโดยใช้การประมวลผลภาพในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ซึ่งนำมาวิเคราะห์ด้วยการคำนวณหาค่าดัชนีความต่างพีชพรรณ มาจากการที่ทำการถ่ายภาพด้วยกล้อง Pi NoIR Camera ผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงินโดยใช้ Raspberry pi 4 ที่เป็น Slave Controller ในการประมวลผลภาพโดยใช้ไลบรารีของ Opencv ในการช่วยประมวลผลภาพ ซึ่งเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา Python ที่คอยควบคุม และประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาจากกล้อง Pi NoIR เพื่อให้ได้ค่าดัชนีความต่างพีชพรรณมาสำหรับในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะใช้เครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของต้นกระบองเพชรที่นำไปแช่ไว้ในน้ำเป็นระยะเวลา 1 เดือน เป็นจำนวน 10 ต้น เทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ปลูกแบบปกติเป็นจำนวน 90 ต้น โดยทำการคละต้นกัน และได้ทำสัญลักษณ์ต้นที่แช่น้ำไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบภายหลัง หลังจากได้เก็บข้อมูลสามารถตรวจจับต้นแคคตัสที่เป็นโรครากเน่าได้ 9 ต้น จากทั้งหมด 10 ต้น ซึ่งมีประสิทธิภาพในการตรวจจับคิดเป็น 90% แต่จะมีต้นที่เลี้ยงแบบปกติเข้าเกณฑ์ของต้นที่ป่วยด้วยจำนวนหนึ่งจึงใช้เครื่องมือทางสถิติในการตั้งสมมติ โดยการใช้การทดสอบ t-Test ในตั้งสมมติฐาน ซึ่งผลสรุปออกมาว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นจึงทำการแบ่งช่วงของข้อมูลเพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดแยกกลุ่มแคคตัสที่มีอาการผิดปกติ

อีกทั้งการใช้อุปกรณ์สำหรับคัดแยกแคคตัสต้นที่เป็นโรครากเน่ายังช่วยลดเวลาในการตรวจสอบ และคัดแยกต้นที่เป็นโรคออก ยังสามารถนำมาปรับใช้ในการวิเคราะห์การปลูกเพื่อให้การปลูกแคคตัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นการลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นลง และยังมาปรับใช้เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลสำหรับทดสอบวิธีการปลูกว่าแคคตัสแบบไหนเหมาะกับการปลูกแบบไหน

5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำวิจัย

5.2.1 ในขั้นตอนการเขียนโปรแกรมบน Raspberry pi พบปัญหาในการเรียกใช้ Library ของ Opencv ไม่สามารถติดตั้งได้เนื่องจากลง Python ผิดเวอร์ชันจึงต้องทำการติดตั้งใหม่

5.2.2 ความล่าช้าของการรับ-พัสดุ และอุปกรณ์ที่จำเป็น เนื่องมาจากภัยการระบาดของโรค Covid-19 ทำให้การหาอุปกรณ์นั้นทำได้ยากขึ้น เนื่องจากการระบาดของโรคทำให้ร้านค้าต่างๆ รวมทั้งห้างสรรพสินค้า ถูกสั่งให้ปิดชั่วคราวตามคำสั่งของรัฐบาล

5.2.3 ส่วนประมวลผลเกินความร้อนสูงขณะใช้งานส่งผลให้บางครั้งเครื่องค้างไปจนถึงรีบูตเอง เลยต้องหาเคสแบบมีพัดลมระบายความร้อนมาช่วยให้การระบายความร้อนของเครื่อง Raspberry pi

5.2.4 การปรับตั้งค่าเกณฑ์ของแสงภายในโปรแกรมที่ใช้ในการถ่าย จะต้องอยู่ภายใต้แสงที่มีความคงที่เสมอเพื่อความแม่นยำของข้อมูล หากจำเป็นต้องเปลี่ยนปริมาณแสงหรือค่าอุณหภูมิสีของแสง ที่ใช้จะต้องทำการปรับตั้งค่าเกณฑ์ของแสงภายในโปรแกรมใหม่ โดยการถ่ายภาพขาวล้วนแล้วค่อยๆ ปรับเกณฑ์ของแสง เพื่อให้ค่าดัชนีความต่างพีชพรรณเป็น 0 ส่งผลให้การคำนวณนั้นแม่นยำ

5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.3.1 สำหรับการวิจัยนี้ สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อใช้ในการทดลองกับแคคตัสชนิดอื่นที่มีสีเขียว เพื่อเป็นการคัดแยกแคคตัสต้นที่มีอาการเป็นโรครากเน่า ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลา และต้นทุนที่การคัดแยก

5.3.2 สำหรับการเพิ่มจำนวนต้นต่อรอบในการตรวจสอบ สามารถเพิ่มได้โดยการถอยกล้องให้ห่างจากวัตถุออกมาเพื่อที่จะสามารถเก็บภาพได้จำนวนต้นเพิ่มขึ้นต่อรอบ ส่งผลให้สามารถตรวจคัดแยกได้รวดเร็วขึ้น



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] Verified Market Research, “Global Succulent & Cactus Plants Market Precise Scenario Covering Trends,” [Online]. Available : <https://www.marketandresearch.biz/sampler-equest/175526>. [Accessed : March 4, 2023].
- [2] K. Specht et al., “Urban agriculture of the future : an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings,” *Agriculture and Human Journal*, vol. 31, no. 1, pp. 33-51, May 2014.
- [3] S. Chung et al., “Smartphone near infrared monitoring of plant stress,” *Computers and Electronics in Agriculture Journal*, vol. 154, no. 1, pp. 93-98, November 2018.
- [4] N. S. Beisel et al., “Utilization of single-image normalized difference vegetation index (SI- NDVI) for early plant stress detection,” *Applications in Plant Sciences Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 23-27, September 2018.
- [5] D. Groeneveld, “Remotely-sensed groundwater evapotranspiration from alkali scrub affected by declining water table,” *Journal of Hydrology*, vol. 358, no. 3, pp. 294–303, September 2018.
- [6] S. Phadikar et al., “Vegetation indices-based segmentation for automatic classification of brown spot and blast diseases of rice,” *IEEE International Conference on Recent Advances in Information Technology*, RAIT, Dhanbad, India, March 3-5, 2016, pp. 74-88.
- [7] C. Aguilara et al., “NDVI as an indicator for changes in water availability to woody vegetation,” *Ecological Indicators Journal*, vol. 23, no. 2, pp. 290-300, March 2012.
- [8] A. Blum, *Plant Breeding for Stress Environments*, Boca Raton : CRC Press, 2018.
- [9] J. W. Rouse, *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation*, Washington DC : Pearson Prentice Hall, 1973.
- [10] Y. Kim et al., “Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees,” *Computers and Electronics in Agriculture Journal*, vol. 77, no. 2, pp. 155-160, July 2011.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.
โค้ดโปรแกรมส่วนคำนวณ

TNI

```

import sys
import time
import numpy as np
import cv2
import picamera
import picamera.array
font=cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
def label(image, text):
    """
    Labels the given image with the given text
    """
    return cv2.putText(image, text, (0, 50), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 2, 255)
def contrast_stretch(im):
    """
    Performs a simple contrast stretch of the given image, from 5-100%.
    """
    in_minNDVI = np.percentile(im, 0)
    in_maxNDVI = np.percentile(im,100)
    in_minfastie = -1
    in_maxfastie = 1
    out_min = 0.0
    out_max = 255.0
    outfastie = im - in_minfastie
    outfastie *= ((out_min - out_max) / (in_minfastie - in_maxfastie))
    outfastie += in_minfastie
    outNDVI = im - in_minNDVI
    outNDVI *= ((out_min - out_max) / (in_minNDVI - in_maxNDVI))
    outNDVI += in_minNDVI
    return outfastie,outNDVI
def fastieColorMap(ndvi) :
    fastie = np.zeros((256, 1, 3), dtype=np.uint8)

```

`fastie[:, 0, 1] = [255, 250, 246, 242, 238, 233, 229, 225, 221, 216, 212, 208, 204,`
`200, 195, 191, 187, 183, 178, 174, 170, 166, 161, 157, 153, 149, 145, 140, 136, 132,`
`128, 123, 119, 115, 111, 106, 102, 98, 94, 90, 85, 81, 77, 73, 68, 64, 60, 56, 52, 56`
`60, 64, 68, 73, 77, 81, 85, 90, 94, 98, 102, 106, 111, 115, 119, 123, 128, 132, 136,`
`140, 145, 149, 153, 157, 161, 166, 170, 174, 178, 183, 187, 191, 195, 200, 204, 208,`
`212, 216, 221, 225, 229, 233, 238, 242, 246, 250, 255, 250, 245, 240, 235, 230, 225,`
`220, 215, 210, 205, 200, 195, 190, 185, 180, 175, 170, 165, 160, 155, 151, 146, 141,`
`136, 131, 126, 121, 116, 111, 106, 101, 96, 91, 86, 81, 76, 71, 66, 61, 56, 66, 77, 87,`
`98, 108, 119, 129, 140, 147, 154, 161, 168, 175, 183, 190, 197, 204, 211, 219, 226,`
`233, 240, 247, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255,`
`255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255,`
`255, 255, 249, 244, 239, 233, 228, 223, 217, 212, 207, 201, 196, 191, 185, 180, 175,`
`170, 164, 159, 154, 148, 143, 138, 132, 127, 122, 116, 111, 106, 100, 95, 90, 85, 79,`
`74, 69, 63, 58, 53, 47, 42, 37, 31, 26, 21, 15, 10, 5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,`
`0, 0, 0]`

```

color = cv2.LUT(ndvi, fastie)

return color;

def disp_multiple(im1=None, im2=None, im3=None, im4=None):

    height, width = im1.shape

    combined = np.zeros((2 * height, 2 * width, 3), dtype=np.uint8)

    combined[0 : height, 0:width, :] = cv2.cvtColor(im1, cv2.COLOR_GRAY2RGB)
    combined[height:, 0:width, :] = cv2.cvtColor(im2, cv2.COLOR_GRAY2RGB)
    combined[0:height, width:, :] = cv2.cvtColor(im3, cv2.COLOR_GRAY2RGB)
    combined[height:, width:, :] = im4

    return combined

def run():

    with picamera.PiCamera() as camera:

        # Set the camera resolution

        x = 400

        camera.resolution = (544,x)

        camera.awb_mode = "off"

        camera.awb_gains = (2.6, 0.5)

        camera.iso = 0

```

```

camera.hflip = True
camera.vflip = True
if len(sys.argv) == 2:
    camera.rotation = sys.argv[1]
# Need to sleep to give the camera time to get set up properly
time.sleep(1)
with picamera.array.PiRGBArray(camera) as stream:
    # Loop constantly
    while True:
        # Grab data from the camera, in colour format
        # NOTE: This comes in BGR rather than RGB, which is important
        # for later!
        camera.capture(stream, format='bgr', use_video_port=True)
        image = stream.array
        image1=image
        img=image
        # Get the individual colour components of the image
        b, g, r = cv2.split(image)
        # Calculate the NDVI
        bottom = (r.astype(float) + b.astype(float))
        bottom[bottom == 0] = 0.01 # Make sure we don't divide by zero!
        ndvi = (r.astype(float) - b) / bottom
        ndviforCrop = ndvi
        NDVIFASTIE,ndvi = contrast_stretch(ndvi)
        ndvi = ndvi.astype(np.uint8)
        NDVIFASTIE = NDVIFASTIE.astype(np.uint8)
        ndviforfastie = cv2.cvtColor(NDVIFASTIE, cv2.COLOR_GRAY2RGB)
        ndvifastie = fastieColorMap(ndviforfastie)
        ret,thresh
=cv2.threshold(cv2.resize(r,(272,200),cv2.INTER_NEAREST),200,255,0)

```

```

dilated=cv2.dilate(thresh,cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE,(5,5)),iterations=2)

contours,hierarchy=cv2.findContours(cv2.resize(dilated,(544,400)),cv2.INTER_NEAREST,0,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

for cnt in contours:
    x,y,w,h = cv2.boundingRect(cnt)
    y1=y+(h)*0.2
    y2=y+(h)*0.8
    x1=x+(w)*0.2
    x2=x+(w)*0.8
    CROP_img = ndviforCrop[int(y1):int(y2),int(x1):int(x2)]
    Mean_Crop_img = 0
    Mean_Crop_img = CROP_img.mean()
    cv2.rectangle(ndvifastie,(x,y),(x+w,y+h),(255,0,0),2)
    cv2.putText(ndvifastie,"{0:.2f}".format(Mean_Crop_img),(x-10,y-10),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,1,(0,0,255),2)

# Do the labelling
label(r, 'RED')
label(ndvi, 'NDVI')
label(b, 'BLUE')
label(ndvifastie, 'NDVIFASTIE')
# Combine ready for display
combined = disp_multiple( r, ndvi, b, ndvifastie)
colorbar= cv2.imread ("/home/pi/Desktop/NDVI
CACTUS/NDVIColorbar.jpg",1)
colorbar=cv2.resize (colorbar,None,
fx=.4,fy=.4,interpolation=cv2.INTER_CUBIC)
rows,cols,channels = colorbar.shape
roi = colorbar[0:rows, 0:cols ]

```

```
# Now create a mask of logo and create its inverse mask also
img2gray = cv2.cvtColor(colorbar,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret, mask = cv2.threshold(img2gray, 10, 255, cv2.THRESH_BINARY)
mask_inv = cv2.bitwise_not(mask)
# Now black-out the area of logo in ROI
img1_bg = cv2.bitwise_and(roi,roi,mask = mask_inv)
# Take only region of logo from logo image.
img2_fg = cv2.bitwise_and(colorbar,colorbar,mask = mask)
# Put logo in ROI and modify the main image
dst = cv2.add(img1_bg,img2_fg)
combined[747:(747+rows), 564:(564+cols)] = dst
# Display
cv2.imshow('image', combined)
stream.truncate(0)
# If we press ESC then break out of the loop
c = cv2.waitKey(7) % 0x100
if c == 27:
    break
# Important cleanup here!
cv2.destroyAllWindows()
if __name__ == '__main__':
    run()
```

ภาคผนวก ข.
การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

TNI



ICBIR 2022

2022 7th International Conference
on Business and Industrial Research

May 19-20, 2022

Thai-Nichi Institute of Technology (TNI)
and Artificial Intelligence Association of Thailand (AIAT)
Bangkok, Thailand

TNI

THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Classification of Cactus Disease Based on Infrared Wavelength Image Processing

Nattapol Phattanajindakij

Intelligent Electronics Systems Research Laboratory
Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology
Bangkok, Thailand
pa.nattapol_st@tni.ac.th

Chatchai Wannaboon

Intelligent Electronics Systems Research Laboratory
Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology
Bangkok, Thailand
chatchai@tni.ac.th

Abstract—Cactus is one of the important cash crops of Thailand. Due to relatively easy to maintain, it has widely gained a lot of popularity in the field of ornamental plants. Cactus plants with soft rot is the crucial disease, since it does not indicate or effect to the appearance of the plant. This paper presents an application to analyze the cactus disease using infrared wavelength image processing. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and OpenCV algorithm are utilized to determine the health of cactus plant. The overall application is operated on a Raspberry Pi with No InfraRed (NoIR) camera. The results show a capability of soft-rot detection in a group of cacti with a single image. This application offers a cost-effective plant health monitoring system for better production.

Index Terms—Plant disease detection, NDVI, image processing, Raspberry Pi.

I. INTRODUCTION

Cactus has become a popular ornamental plant during the last decade, due to its easy to grow without a lot of maintain. Botanical oddities of their species result in difference of the flower shapes, aesthetics of their stems, and spines which may return to a highly benefit to the agriculturist. The market of cactus and succulent plants will rise 16.8 % per year until 2027, revealed by the Global Succulent & Cactus Plants Market Report 2021 [1]. For this reason, several agriculturists have mostly attempted to achieve a mass production. Controlling the soil moisture is one of the challenges because too much moisture will accelerate bacterial diseases, such as soft-rot. The cactus with soft-rot is a critical issue, which not only halt the growth plant but also difficult to detect. Unlike general leafy plants, such a disease does not indicate or effect to the appearance of the cactus. Fig. 1 shows the different health condition of two cactus. It can be seen that both cacti nearly have a similarity in color, shape of spines and stems, however, one of them has the soft-rot disease. Root observation is the only solution in order to detect the disease, which is relatively impractical in the mass production.

Recently, utilization of electronic and Internet-of-Things (IoT) devices has become a new method in order to obtain more accurate results of plant health condition, compared to the manual observation by humans. Several research aims to using of machine vision to observe Chlorophyll content per leaf area which can be considered as an indicator for plant health and subsequently plant stress [2]-[4]. Certain

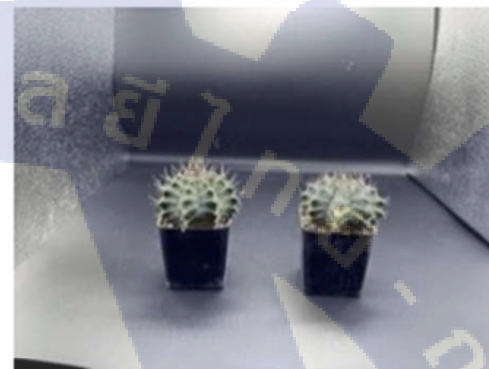


Fig. 1. Two different health condition of cactus.

research has been focused on detection of green coloration under controlled environments [5]. However, green reflectance is much weaker than infrared (IR) wavelength reflectance and can be extremely varied by ambient conditions, thus may not provide accurate information on the plant condition. IR based thermal imaging has been widely gained a great attention. This technique can evaluate the plants' water content by using mapping temperature distribution and measuring the IR absorption by water [6]. However, the results are mainly affected by environmental, e.g., temperature and humidity. In addition, using IR thermal imaging cameras are costly. The normalized difference vegetation index (NDVI) has become a major indicator for the health status of plants, in recent decade. It has been used by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) Earth Observatory to monitor global vegetation health [7]. In general, the technique is based on measuring the difference between the plant's red reflectance and near-infrared (NIR) reflectance due to the pigment absorption by chlorophyll and the scattering by cellular (spongy mesophyll) structure, respectively. It is given by

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

where NIR is the reflection in the near-infrared spectrum

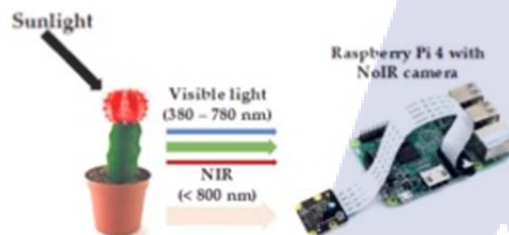


Fig. 2. Proposed system.

and Red is the reflection in the red range of the spectrum. Various research has been reported that NDVI can be used to determine plants' water consumption [8], plant stress [9] as well as plant health status [10]. However, stable environment, i.e., light ambient, temperature, and humidity is the major issue for achieving a high quality of measurement.

This paper therefore presents an application for classification of cactus disease. The well-known species of cactus, i.e., *Gymnocalycium Mihanovichii* is used as a major sample. The cactus health condition is determined by NDVI indicator with an image processing technique. The overall system is demonstrated on a Raspberry Pi 4 Model B with No InfraRed (NoIR) camera. Ambient environment is controlled by a low-cost designed of studio box. The results show a capability of soft-rot detection in a group of cacti with a single image. This proposed system is a potential alternative of a cost-effective plant health monitoring system for improving quality of cactus in the mass production.

II. THE PROPOSED INFRARED WAVELENGTH IMAGE PROCESSING

A. Image Processing

Fig. 2 depicts the overall of the proposed system. Initially, the image of cactus is captured by NoIR camera. The image dataset is fed and stored in the Raspberry Pi 4 Model B as a main computational device. In this process, the image is pre-processed by eliminate the noise and contamination, e.g., dust, spores, and other foreign materials, in order to improve the quality of the image. Then, the color of each pixel is separated and saved in terms of set of arrays. The OpenCV algorithm is used to provide an image segmentation and recognition. Otherwise, the image is resized according to ratio, so that the image does not display skewed or distorted, as can be written by

$$r = \frac{100}{\text{image.shape}[1]} \quad (2)$$

$$\text{dim} = (100, \text{integer}(\text{image.shape}[0] \times r)) \quad (3)$$

where r and dim are the size ratio and area dimension of the image, respectively. This process allows cropping for

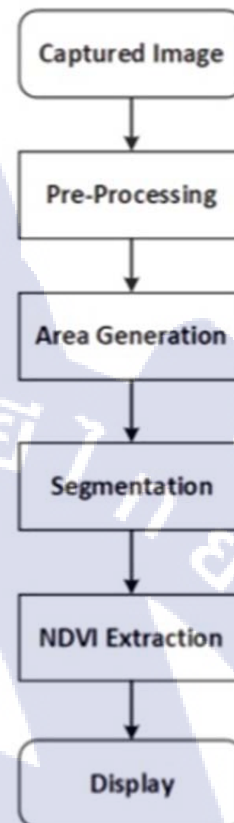


Fig. 3. Block diagram of the imaging process.

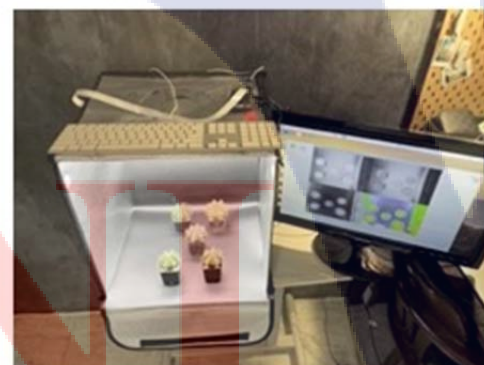


Fig. 4. The implemented prototype of the proposed system.

dimension specified by the programmer. Likewise, multiple filter algorithms are employed, e.g., erosion and dilation, in order to increase a sharpness of image and reduce the noise formed by environmental. After the area of cactus is defined, the parameter of the cropped image is computed, i.e., color, texture, and shape. In this case, the NDVI is calculated in order to measure of the state of plant health based on how the plant reflects light at certain frequencies, follows by (1). The result of calculated NDVI is real-time displayed on the screen. Fig. 3 illustrates the block diagram of imaging process, operated on the Raspberry Pi.

B. Image Processing

According to (1), the density of vegetation (NDVI) on each point of the image is equal to the difference between the intensities of reflected light in the red and infrared range divided by the sum of these intensities. The index of NDVI is defined from -1.0 to 1.0 , basically green color is emphasized. The negative values are mainly caused by clouds, water and snow, and values that closed to zero are primarily formed by rocks and bare soil. Small number of values (less than 0.1) represented to empty areas of rocks, sand or dust. Moderate values (from 0.2 to 0.3) represents shrubs and meadows, while large values (from 0.6 to 0.8) indicates temperate and tropical forests.

In this case, the color index file retains the NDVI score calculated for each individual pixel and divides the scores into 256 categories termed "color index values". Using this increment system, a score of -1.0 will be categorized to color index value 0 , a score of 0.0 to color index value 127 , and a score of 1.0 to color index value 255 . For example, a pixel with a score of -1.00 will be categorized to color index value 0 and colored white, whereas a pixel with a score of 1.00 will be categorized to color index value 255 and colored dark.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed system is implemented through a fundamental IoT device, i.e., Raspberry Pi 4 Model B, NoIR camera and a studio box. Fig. 4 shows the prototype of the proposed system. It is apparent that, the light ambient, temperature and humidity can be controlled satisfactory. Multiple cactus can be examined within 3 minutes per round. In this experiment, 95 cacti were tested, and 10 of them has deliberately infected by fungal and bacterial at the root. As mention above, attempting to distinguish the disease by human eyes is barely impractical. Fig. 5 illustrates the demonstration of the proposed system. First, the red and blue color of the captured image are extracted as shown in Fig. 5(a) and (b). The noise and unwanted object are eliminated by the pre-processing as shown in Fig. 5(c). Fig. 5(d) depicts the complete segmentation process and NDVI extraction of the tested cacti. In this experiment, the cactus in the middle is the soft-rot infected. It can be clearly seen that. The cactus in the middle has 0.22 of NDVI score, while the other surrounded have over 0.33 of NDVI score. This score criteria indicates that the cactus in the middle (NDVI = 0.22) has a low performance of the Chlorophyll photosynthesis,

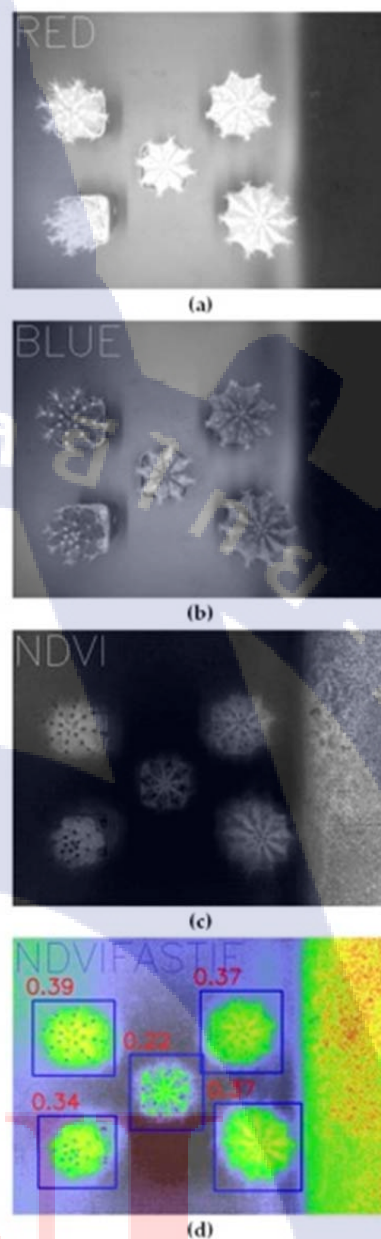


Fig. 5. Imaging results displayed on the screen, (a) extraction of red and (b) blue color, (c) after pre-processing image and (d) a complete recognition and NDVI calculation image.

therefore, has a feasibility to be diseased. Furthermore, the proposed system can detect 9 of 10 infected samples from total 95 cacti which can be achieved 90% of classification performance.

IV. CONCLUSIONS

This paper has presented an application for classification of cactus disease. The well-known species of cactus, i.e., *Gymnocalycium Mihanovichii* is used as a major sample. Image processing with near-infrared camera is utilized to recognize a multiple plant in a single image. The NDVI indicator is the major criteria to determine the cactus health condition. Overall system is implemented on a Raspberry Pi 4 Model B which is simple and low-cost. Ambient environment is controlled by a low-cost designed of studio box. The results indicate a capability of soft-rot detection in a group of cacti with a single image. Detection performance could be enhanced by applying machine learning algorithm in the image processing. This proposed system offers a cost-effective plant health monitoring system for improving quality of cactus production in the mass scale.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Thai-Nichi Institute of Technology and Intelligent Electronics System (IES) Laboratory for research fund supports.

REFERENCES

- [1] "Global Succulent & Cactus Plants Market Precise Scenario Covering Trends, Opportunities and Growth Forecast during 2021 to 2027", www.marketresearch.biz/sampler-request/175526.
- [2] S. Chung, L. E. Breshers, and J.-Y. Yoon, "Smartphone near infrared monitoring of plant stress", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 154, pp. 93-98, 2018.
- [3] A. Blum, "Plant Breeding for Stress Environments", *CRC Press*, Boca Raton, 2018.
- [4] N. S. Beisel, J. B. Callahan, N. J. Sng, D. J. Taylor, A. Paul, and R. J. Ferl, "Utilization of single- image normalized difference vegetation index (SI- NDVI) for early plant stress detection", *Applications in Plant Sciences*, vol. 10, 2018.
- [5] K. Specht, R. Siebert, I. Hartmann, U. B. Freisinger, M. Sawicka, A. Werner, S. Thomaier, D. Henckel, H. Walk, and A. Dierich, "Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings", *Agric Hum Values*, vol. 31, pp. 33-51, 2014.
- [6] D. Groeneveld, "Remotely-sensed groundwater evapotranspiration from alkali scrub affected by declining water table", *Journal of Hydrology*, vol. 358, pp. 294-303, 2008.
- [7] J. W. Rouse, "Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation", *Type I Progress Report NASA*, Washington, DC., 1973.
- [8] C. Aguilara, J. C. Zinnerbe, M. José Polo, and D. R. Young, "NDVI as an indicator for changes in water availability to woody vegetation", *Ecological Indicators*, vol. 23, pp. 290-200, 2012.
- [9] Y. Kim, D. M. Glenn, J. Park, H. K. Ngugi, and B. L. Lehman, "Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 77, pp. 155-160, 2011.
- [10] S. Phadikar, and J. Goswami, "Vegetation indices-based segmentation for automatic classification of brown spot and blast diseases of rice", *IEEE International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, Jul., 2016.