

การแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมจากกล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวดัดแปร  
โดยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์



นายวัชรพงศ์ ทักษเดช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTISPECTRAL IMAGE SEGMENTATION FROM MODIFIED DIGITAL SINGLE LENS REFLEX  
CAMERA BY K-MEANS CLUSTERING METHOD

Mr. Watcharapong Taksadate



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology  
Department of Imaging and Printing Technology  
Faculty of Science  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2014  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมจากกล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวตัดแปรโดยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์
โดย	นายวัชรพงศ์ ทักษเดช
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คุร์พิพัฒน์

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์พรทวี พึ่งรัมย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คุร์พิพัฒน์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา สื่อประसार)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.กิงกาญจน์ สุขคณาภิบาล)

วัชรพงศ์ ทักษเดช : การแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมจากกล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยว  
ดัดแปรโดยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ (MULTISPECTRAL IMAGE SEGMENTATION FROM  
MODIFIED DIGITAL SINGLE LENS REFLEX CAMERA BY K-MEANS CLUSTERING  
METHOD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ชวาล คุร์พิพัฒน์, 80 หน้า.

ภาพมัลติสเปกตรัมเป็นภาพที่มีการเก็บข้อมูลมากกว่า 3 แชนเนล ซึ่งสามารถนำไปใช้กับ  
การแบ่งส่วนภาพ สำหรับทางด้านการเกษตร การแพทย์ รวมทั้งทางด้านภูมิสารสนเทศ การถ่ายภาพ  
จะใช้กล้องมัลติสเปกตรัมซึ่งมีราคาแพง การใช้กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวหรือกล้องดีเอสแอล  
อาร์ (Digital single lens reflex, DSLR camera) ดัดแปรโดยถอดฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดออก  
จากตัวรับภาพ ก็สามารถบันทึกภาพมัลติสเปกตรัมได้และมีราคาไม่แพง ในงานวิจัยนี้ถ่ายภาพมัลติ  
สเปกตรัมโดยใช้ฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรด ฟิลเตอร์ IR pass และฟิลเตอร์สีเขียวแกมน้ำเงิน รวมเป็น  
3 ภาพในตำแหน่งเดียวกัน การถ่ายภาพปกติจะใช้ภาพจากกล้องดัดแปรที่ติดตั้งฟิลเตอร์กันรังสี  
อินฟราเรด โดยจะใช้เป็นตัวแทนภาพจากกล้องปกติ ภาพทั้ง 2 ชนิด จะใช้เป็นข้อมูลสำหรับการแบ่ง  
ส่วนภาพด้วยการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ และเปรียบเทียบผลการแบ่งส่วนภาพ โดยใช้โมเดลสีที่แตกต่าง  
กันคือ sRGB, CIELAB และ grayscale และใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2-10  
กลุ่ม วัดผลด้วยค่าร้อยละความถูกต้องและความผิดพลาด การวัดผลกระทำด้วยการสร้างหน้ากาก  
ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop® เพื่อกำหนดบริเวณพื้นที่ที่สนใจเทียบกับพื้นที่ที่ได้จากการแบ่ง  
ส่วนภาพ ผลการทดลองพบว่า การใช้ภาพมัลติสเปกตรัมให้ผลดีกว่าภาพปกติ โมเดลสีที่ให้ผลดี  
ที่สุดคือโมเดลสี CIELAB และจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วนได้ดีที่สุดคือ 6 กลุ่ม ผลการทดลอง  
พบว่าการแบ่งส่วนทำได้ดี แต่ยังมีข้อบกพร่องจึงต้องศึกษาวิธีพัฒนาการแบ่งส่วนภาพต่อไป

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและ  
เทคโนโลยีทางการพิมพ์

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ

ปีการศึกษา 2557

# # 5572107223 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEYWORDS: MULTISPECTRUM / IMAGE SEGMENTATION / K-MEANS CLUSTERING

WATCHARAPONG TAKSADATE: MULTISPECTRAL IMAGE SEGMENTATION FROM MODIFIED DIGITAL SINGLE LENS REFLEX CAMERA BY K-MEANS CLUSTERING METHOD. ADVISOR: ASST. PROF. CHAWAN KOOPIPAT, Ph.D., 80 pp.

Multispectral imaging acquires more than 3 channels of data. It can be used in image segmentation for various fields such as agricultural, medical and geoinformatical image analysis application. Multispectral camera used for multispectral image acquisition is expensive. Digital single lens reflex camera (DSLR) modified by removing IR blocking filter, is an optional inexpensive camera used for multispectral image acquisition. In this study, multispectral images consisted of 3 filtered images. The filters were IR blocking filter, IR pass and the blue green filters. K-means clustering method was used to determine segmentation area from image data in different color models (sRGB, CIELAB and grayscale) and different number of cluster (2-10 clusters) taken by modified DSLR camera. Multispectral image is the image from 3 filters and ordinary image is the image from only IR blocking filter (represent as image from ordinary camera). Both type of image were used as input of K-means clustering method. Evaluation was determined by making the mask from Adobe Photoshop® manually and comparing with clustered image to calculate percent of correction and false. The experimental result is shown that multispectral image is better than ordinary image; CIELAB is the best for color model and 6 clusters is the best cluster number for this experiment. The result show good segment performance however there are some drawbacks so the further improvement is required.

Department: Imaging and Printing  
Technology

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Field of Study: Imaging Technology

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวาล คุรุพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง รวมทั้งให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรทิวี พึ่งรัศมี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา สื่อประสาร และ อาจารย์ ดร.กิงกาญจน์ สุขคณาภิบาล กรรมการสอบ ที่สละเวลาให้คำแนะนำในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ช่วยกันประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ช่วยพัฒนาความรู้ความสามารถ อันเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และยังเป็นประโยชน์ในการทำงานและในการใช้ชีวิตต่อไป ขอขอบพระคุณบุคลากรภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ช่วยดำเนินการเกี่ยวกับการศึกษา และการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยกันสนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญกราฟ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.5 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวหรือกล้องดีเอสแอลอาร์ (Digital Single Lens Reflex, DSLR).....	5
2.1.1 ส่วนประกอบสำคัญของกล้องดีเอสแอลอาร์.....	5
2.1.1.1 เลนส์.....	6
2.1.1.2 กระจกสะท้อน.....	6
2.1.1.3 เพนทาปริซึม (Pentaprism).....	6
2.1.1.4 ตัวรับภาพ.....	7
2.1.2 การทำงานของกล้องดีเอสแอลอาร์.....	7
2.1.3 ข้อดีของกล้องดีเอสแอลอาร์.....	7

2.2 ตัวรับภาพ (Image sensor).....	8
2.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของตัวรับภาพ.....	8
1. ซีเอฟเอ (Color Filter Array, CFA) .....	8
2. ฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรด (infrared blocking filter).....	9
3. Optical Low Pass Filter (OLPF) .....	10
4. ไมโครเลนส์อะเรย์ (microlens array).....	11
2.2.2 ชนิดของตัวรับภาพ .....	11
2.2.2.1 ซีซีดี.....	12
2.2.2.2 ซีมอส.....	14
2.3 Optical filter.....	16
2.3.1 Interference filter .....	16
2.3.2 Absorption filter .....	16
2.4 การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ (K-means clustering).....	17
2.4.1 การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์โดยใช้โปรแกรม MATLAB .....	18
2.4.1.1 'emptyaction'.....	19
2.4.1.2 'start' .....	20
2.4.1.3 'distance' .....	20
2.4.1.4 'replicate' .....	21
2.4.2 การกำหนดจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ .....	21
2.4.3 การวัดความสามารถในการจัดกลุ่ม.....	21
2.5 การแปลงโมเดลสี.....	22
2.5.1 โมเดลสี (color model).....	22
2.5.1.1 โมเดลสี sRGB.....	23



2.5.1.2 โมเดลสี CIELAB .....	23
2.5.2 การแปลงโมเดลสี.....	24
2.5.2.1 การแปลงโมเดลสีจาก sRGB เป็น CIELAB.....	25
2.5.2.2 การแปลงโมเดลสีจาก sRGB เป็น grayscale.....	26
บทที่ 3     วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 การเตรียมอุปกรณ์.....	27
3.2 การถ่ายภาพ .....	28
3.3 การแบ่งส่วนภาพ .....	29
3.4 การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ.....	32
บทที่ 4     ผลการวิจัย.....	35
4.1 การถ่ายภาพ .....	35
4.2 การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ.....	37
4.2.1 การวัดผลความถูกต้อง.....	38
4.2.1.1 อีฐ.....	39
4.2.1.2 ใบตอง.....	43
4.2.1.3 น้ำ.....	49
4.2.2 การวัดผลความผิดพลาด.....	53
4.2.2.1 อีฐ.....	53
4.2.2.2 ใบตอง.....	55
4.2.2.3 น้ำ.....	57
บทที่ 5     สรุปและวิจารณ์ผล.....	65
5.1 สรุปและวิจารณ์ผล.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	67

รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	76
ภาคผนวก ค.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	80



## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 การสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ น้ำ และดิน และการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของดาวเทียมไทยโชติ (THEOS).....	2
ภาพที่ 2.1 ลักษณะของกล้องดีเอสแอลอาร์(ด้านซ้าย) และกล้องคอมแพ็ค (ด้านขวา).....	6
ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบสำคัญของกล้องดีเอสแอลอาร์.....	7
ภาพที่ 2.3 การเรียงตัวของซีเอฟเอในแบบต่าง ๆ.....	9
ภาพที่ 2.4 การตอบสนองเชิงสเปกตรัมของตัวรับภาพและตามนุษย์.....	10
ภาพที่ 2.5 ปรากฏการณ์ aliasing.....	10
ภาพที่ 2.6 ไมโครเลนส์อะเรย์.....	11
ภาพที่ 2.7 MOS และการเกิดประจุเมื่อมีปฏิกิริยากับแสง.....	13
ภาพที่ 2.8 การถ่ายโอนประจุของแต่ละพิกเซลในตัวรับภาพซีซีดี.....	13
ภาพที่ 2.9 การอ่านข้อมูลของตัวรับภาพแบบซีซีดี.....	14
ภาพที่ 2.10 ด้านบน passive pixel sensor ด้านล่าง active pixel sensor.....	15
ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์.....	18
ภาพที่ 2.12 การแสดงค่าสีของโมเดลสี RGB.....	23
ภาพที่ 2.13 การแสดงค่าสีของโมเดลสี CIELAB.....	24
ภาพที่ 3.1 กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยว Canon EOS 100D (ซ้าย) กับ เลนส์ Canon EF 50mm f/1.8 II.....	27
ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างสำหรับการถ่ายภาพ.....	28
ภาพที่ 3.3 การติดตั้งกล้อง.....	29
ภาพที่ 3.4 ข้อมูลภาพที่ถูกแปลงให้อยู่ในรูปอะเรย์.....	30
ภาพที่ 3.5 คำสั่งการจัดกลุ่มเค-มีนส์ที่ใช้ในการทดลอง.....	31

ภาพที่ 3.6 ภาพที่ได้จากการทำหน้าฉากหลังจากการแบ่งส่วนภาพ .....	31
ภาพที่ 3.7 แผนผังแสดงวิธีการประเมินผล .....	33
ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจากการทดลอง.....	35
ภาพที่ 4.2 การสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของน้ำ พรรณไม้ และดิน.....	37
ภาพที่ 4.3 การแบ่งส่วนภาพที่ยังไม่สมบูรณ์โดยใช้จำนวนกลุ่มน้อยเกินไป (ซ้าย) และการแบ่ง ส่วนภาพจากการถ่ายภาพแบบปกติโดยใช้โมเดลสี grayscale (ขวา).....	38
ภาพที่ 4.4 ภาพของอิฐที่ถูกแบ่งส่วนออกจากกัน.....	42
ภาพที่ 4.5 ภาพของใบไม้ซึ่งถูกแบ่งส่วนออกจากกัน.....	46
ภาพที่ 4.6 ภาพของน้ำซึ่งถูกแบ่งส่วนออกจากกัน .....	52
ภาพที่ 4.7 การแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกับค่าความผิดพลาดของอิฐ .....	55
ภาพที่ 4.8 การแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกับค่าความผิดพลาดของใบตอง .....	57
ภาพที่ 4.9 การแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกับค่าความผิดพลาดของน้ำ .....	59

## สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 4.1 การส่องผ่านเชิงสเปกตรัมของฟิลเตอร์.....	36
กราฟที่ 4.2 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (อิฐ).....	39
กราฟที่ 4.3 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (อิฐ).....	40
กราฟที่ 4.4 พิกัดสีของข้อมูลอิฐเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ B .....	41
กราฟที่ 4.5 พิกัดสีของข้อมูลอิฐเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ G .....	41
กราฟที่ 4.6 พิกัดสีของข้อมูลอิฐเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน B กับ G.....	42
กราฟที่ 4.7 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (ใบตอง).....	43
กราฟที่ 4.8 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (ใบตอง).....	44
กราฟที่ 4.9 พิกัดสีของข้อมูลใบตองเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ B .....	45
กราฟที่ 4.10 พิกัดสีของข้อมูลใบตองเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ G.....	45
กราฟที่ 4.11 พิกัดสีของข้อมูลใบตองเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน B กับ G.....	46
กราฟที่ 4.12 พิกัดสีของภาพที่ 4.1A โดยแสดงจุด centroid สำหรับการแบ่งกลุ่ม 9 กลุ่ม ใช้ โมเดลสี CIELAB พล็อตด้วยแกน $a^*$ กับ $b^*$ .....	47
กราฟที่ 4.13 พิกัดสีของภาพที่ 4.1A โดยแสดงจุด centroid สำหรับการแบ่งกลุ่ม 9 กลุ่ม ใช้ โมเดลสี CIELAB พล็อตด้วยแกน $L^*$ กับ $a^*$ .....	48
กราฟที่ 4.14 พิกัดสีของภาพที่ 4.1A โดยแสดงจุด centroid สำหรับการแบ่งกลุ่ม 9 กลุ่ม ใช้ โมเดลสี CIELAB พล็อตด้วยแกน $L^*$ กับ $b^*$ .....	48
กราฟที่ 4.15 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (น้ำ) .....	49
กราฟที่ 4.16 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (น้ำ) .....	50
กราฟที่ 4.17 พิกัดสีของข้อมูลน้ำเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ G.....	51
กราฟที่ 4.18 พิกัดสีของข้อมูลน้ำเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ B.....	51

กราฟที่ 4.19 พิกัดสีของข้อมูลน้ำเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน B กับ G.....	52
กราฟที่ 4.20 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (อิฐ).....	54
กราฟที่ 4.21 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (อิฐ).....	55
กราฟที่ 4.22 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (ใบตอง) .....	56
กราฟที่ 4.23 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (ใบตอง) .....	57
กราฟที่ 4.24 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (น้ำ).....	58
กราฟที่ 4.25 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (น้ำ).....	59
กราฟที่ 4.26 ร้อยละของความถูกต้องในการแบ่งส่วนโดยใช้ภาพจากกล้องปกติและกล้องตัดแปร ..	60
กราฟที่ 4.27 ร้อยละของความผิดพลาดในการแบ่งส่วนโดยใช้ภาพจากกล้องปกติ และกล้องตัดแปร .....	60
กราฟที่ 4.28 การกระจายตัวของค่าสีจากภาพที่ 4.1A ในโมเดลสี sRGB.....	61
กราฟที่ 4.29 การกระจายตัวของค่าสีจากภาพที่ 4.1A ในโมเดลสี CIELAB.....	62
กราฟที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยรวมของร้อยละของความถูกต้อง .....	63
กราฟที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยรวมของร้อยละของความผิดพลาด.....	63
กราฟที่ 4.32 การพล็อตกราฟระหว่างร้อยละความถูกต้องกับร้อยละของความผิดพลาด โดยใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนที่ต่างกัน .....	64
กราฟที่ 4.33 ระยะห่างระหว่างจุดที่ดีที่สุด (0,100) กับข้อมูลภาพที่แบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่แตกต่างกัน.....	64

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 แสดงร้อยละความถูกต้องและความผิดพลาดเฉลี่ยของโมเดลสี่และการใช้กล้องที่ต่างกัน.....	66
ตารางที่ ก. 1 ร้อยละของความถูกต้องของภาพปกติ .....	74
ตารางที่ ก. 2 ร้อยละของความถูกต้องของภาพมัลติสเปกตรัม .....	74
ตารางที่ ก. 3 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพปกติ.....	75
ตารางที่ ก. 4 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพมัลติสเปกตรัม.....	75
ตารางที่ ข. 1 ร้อยละของความถูกต้องของภาพปกติ .....	76
ตารางที่ ข. 2 ร้อยละของความถูกต้องของภาพมัลติสเปกตรัม .....	76
ตารางที่ ข. 3 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพปกติ.....	77
ตารางที่ ข. 4 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพมัลติสเปกตรัม.....	77
ตารางที่ ค. 1 ร้อยละของความถูกต้องของภาพปกติ .....	78
ตารางที่ ค. 2 ร้อยละของความถูกต้องของภาพมัลติสเปกตรัม .....	78
ตารางที่ ค. 3 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพปกติ.....	79
ตารางที่ ค. 4 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพมัลติสเปกตรัม.....	79

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

การถ่ายภาพทั่วไปจะเก็บข้อมูลเพียง 3 แชนเนล แต่การถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่า หลักการถ่ายภาพมีหลายรูปแบบ แต่จุดร่วมคือการเก็บข้อมูลของแสงหรือรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน อาจใช้ฟิลเตอร์ในการคัดเลือกความยาวคลื่น หรือใช้อุปกรณ์อื่นๆ ที่สามารถแยกแสงหรือรังสีออกเป็นช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

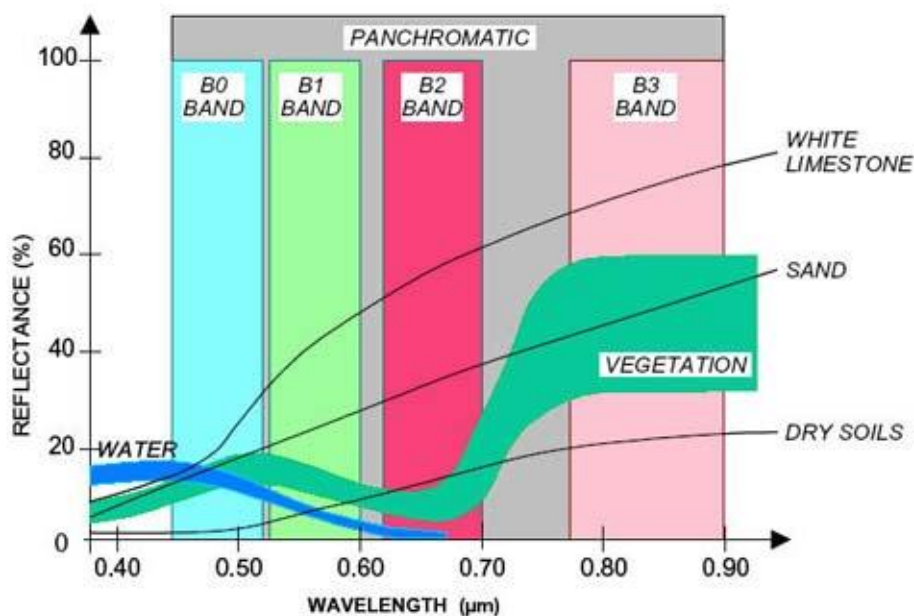
มีงานวิจัยด้านต่างๆ ที่ใช้การถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม ทางด้านอุตสาหกรรมการเกษตร[1] ใช้หลักการนี้ตรวจสอบการบ่งชี้ของผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนั้นยังมีการนำไปใช้ในการทางการแพทย์[2] เพื่อช่วยในการตรวจวินิจฉัยได้ และที่สำคัญกล้องจากดาวเทียมสามารถถ่ายภาพ มัลติสเปกตรัมได้ โดยสามารถแยกแยะบริเวณที่เป็นพืชพรรณ น้ำ หรือดินได้ ซึ่งใช้ข้อมูลเชิงสเปกตรัมช่วยในการวิเคราะห์ การสำรวจทรัพยากรโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในเว็บไซต์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISDA นั้นมีทั้งการรายงานสถานะน้ำท่วมในแต่ละปี[3] นอกจากนั้นยังมีโครงการที่ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินพื้นที่เพาะปลูกข้าว[4] การถ่ายภาพแบบมัลติสเปกตรัมจึงมีประโยชน์มากในหลายๆ ด้าน รวมทั้งทางด้าน การสำรวจทรัพยากร

กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยว (Digital single lens reflex, DSLR) หรือกล้องดีเอสแอลอาร์เป็นกล้องถ่ายภาพที่ให้คุณภาพของภาพค่อนข้างสูง ในปัจจุบันมีราคาไม่แพงมาก สามารถหาซื้อได้ง่าย จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับใช้ในการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม และที่สำคัญสามารถดัดแปรให้ตัวรับภาพรับรังสีอินฟราเรดใกล้เคียงได้ด้วย ซึ่งจากสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำตัวรับภาพสามารถตอบสนองกับรังสีช่วงอินฟราเรดใกล้เคียงได้[5] กล้องสำหรับถ่ายภาพสีโดยปกติจึงใช้ฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดกันไว้ ทำให้กล้องทั่วไปไม่สามารถรับรังสีอินฟราเรดได้ แต่เมื่อนำฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดออกจากตัวรับภาพ จะทำให้สามารถรับรังสีอินฟราเรดได้[6] ตัวอย่างของการนำกล้อง



ดีเอสแอลอาร์ดัดแปรมาใช้ ได้แก่ การนำกล้องดีเอสแอลอาร์ดัดแปรใช้ในการถ่ายภาพทางดาราศาสตร์[7] และการใช้กล้องดัดแปรช่วยในงานวิจัยทางโบราณคดี[8]

จากที่กล่าวไปเบื้องต้นกล้องจากดาวเทียมสามารถถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมได้ ซึ่งจะแยกแยะพื้นที่ที่มีข้อมูลเชิงสเปกตรัมต่างกันออกจากกัน ซึ่งข้อมูลเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ แสดงในภาพที่ 1.1 [9] ซึ่งพืชพรรณ ดิน และน้ำ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ประกอบกับข้อมูลการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของกล้องดีเอสแอลอาร์ดัดแปร มีการตอบสนองตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-1000 นาโนเมตร สามารถตอบสนองต่อแสงที่ตามองเห็น (ช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็นประมาณ 400-700 นาโนเมตร) และรังสีอินฟราเรดใกล้ (ช่วงความยาวคลื่นของอินฟราเรดใกล้ประมาณ 800-2500 นาโนเมตร[10]) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้กล้องดีเอสแอลอาร์ในการถ่ายภาพเพื่อแยกแยะบริเวณของพืชพรรณ น้ำ สิ่งก่อสร้างอื่นๆ ออกจากกันได้



ภาพที่ 1.1 การสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ น้ำ และดิน และการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของดาวเทียมไทยโชติ (THEOS)

## 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมจะใช้กล้องมัลติสเปกตรัมในการถ่ายภาพ ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตเพื่อขายสำหรับผู้ที่ต้องการใช้งาน แต่กล้องมัลติสเปกตรัมมีราคาค่อนข้างสูง บางโครงการที่ต้องการใช้กล้องมัลติสเปกตรัมแต่ทุนไม่เพียงพอกับการซื้อ จึงทำให้ไม่สามารถริเริ่มโครงการได้ การใช้กล้องชนิดอื่นซึ่งมีราคาถูกกว่านำมาดัดแปร จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งกล้องดีเอสแอลอาร์ดัดแปรสามารถถ่ายภาพได้ทั้งแสงที่ตามองเห็นและรังสีอินฟราเรดใกล้ได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้กล้องดีเอสแอลอาร์ในการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม โดยใช้ฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรด เพื่อเก็บข้อมูลช่วงแสงที่ตามองเห็น และฟิลเตอร์ IR pass เพื่อเก็บข้อมูลช่วงรังสีอินฟราเรด น่าจะใช้ทดแทนกล้องมัลติสเปกตรัมได้ ซึ่งกล้องนี้จะนำไปใช้ในการแบ่งส่วนภาพถ่ายทางอากาศ จึงต้องสามารถแบ่งส่วนพืชพรรณ น้ำ และสิ่งก่อสร้างออกจากกันได้

มีงานวิจัยที่แบ่งส่วนภาพโดยใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์กับภาพมัลติสเปกตรัมจากภาพถ่ายดาวเทียม[11] และจากเว็บไซต์ของ MathWorks<sup>®</sup> [12] ได้แนะนำวิธีการแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์และแปลงข้อมูลจากโมเดลสี sRGB เป็น CIELAB ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมโดยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ ต้องการเปรียบเทียบความสามารถในการแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมของกล้องดีเอสแอลอาร์ดัดแปร กับดีเอสแอลอาร์ปกติ อีกทั้งยังเปรียบเทียบระหว่างโมเดลสีที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปใช้ในการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle, UAV) ซึ่งการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมในลักษณะนี้จะให้ความละเอียดของภาพมากกว่าภาพถ่ายดาวเทียม มีความเป็นไปได้ที่จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ที่ได้ละเอียดมากขึ้น

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมจากกล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวดัดแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้วิธีการแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมจากกล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวดัดแปรด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับแยกแยะบริเวณที่เป็นพรรณไม้ น้ำ และสิ่งปลูกสร้าง และสามารถนำไปใช้พัฒนาต่อเพื่อใช้กับการถ่ายภาพทางอากาศ สำหรับการสำรวจทรัพยากรได้

#### 1.5 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัตถุแต่ละชนิดมีการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำ กับพรรณไม้ ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมากในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ จะสามารถแบ่งบริเวณน้ำ และพรรณไม้ ออกจากกันได้ โดยกล้องมัลติสเปกตรัมในแต่ละเซนเนลจะคัดเลือกแสงหรือรังสีในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแล้วบันทึกเป็นค่าสีในแต่ละเซนเนล เมื่อนำมาแบ่งส่วนภาพด้วยการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ จะถูกจัดกลุ่มให้บริเวณที่มีค่าสีในแต่ละเซนเนลใกล้เคียงกัน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และบริเวณที่มีค่าสีแตกต่างกัน อยู่ต่างกลุ่ม จึงทำให้สามารถแยกวัตถุที่มีการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมแตกต่างกัน เช่น พืชพรรณน้ำ และสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ออกจากกันได้

#### 1.6 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาวิธีการแบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัม ซึ่งการศึกษานั้นจะเริ่มตั้งแต่ การใช้ฟิลเตอร์สำหรับการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ โดยใช้จำนวนกลุ่มตั้งแต่ 2-10 กลุ่ม และใช้โมเดลสี sRGB CIELAB และ grayscale

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยวหรือกล้องดีเอสแอลอาร์ (Digital Single Lens Reflex, DSLR)

ในปัจจุบัน กล้องถ่ายภาพมีให้เลือกใช้หลากหลายประเภท แต่ที่เป็นที่นิยมคือกล้องคอมแพ็ค และกล้องดีเอสแอลอาร์ โดยที่กล้องคอมแพ็คจะมีราคาถูกและมักมีขนาดเล็กกว่ากล้องดีเอสแอลอาร์ แต่เนื่องด้วยกล้องดีเอสแอลอาร์ให้คุณภาพของภาพดีกว่า ประกอบกับปัจจุบันกล้องดีเอสแอลอาร์มีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับในอดีต มีการนำกล้องดีเอสแอลอาร์ไปใช้ประโยชน์หลายๆ ด้าน เช่น ทางทันตกรรม[13] ทางการแพทย์[14] และดาราศาสตร์[15] เป็นต้น

กล้องชนิดนี้มีการพัฒนามาจากกล้องสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยว (Single Lens Reflex) ซึ่งใช้ฟิล์มในการรับภาพ แต่ต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่สามารถรับแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ในปี 1969 โดยผู้คิดค้นคือ Willard S. Boyle และ George E. Smith ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวคือ Charge Couple Device, CCD หรือซีซีดีต่อมาถูกพัฒนาเพื่อนำไปใช้กับกล้องโดยที่ในปี 1991 บริษัท Kodak ได้วางตลาดกล้องดีเอสแอลอาร์ในทางการตลาดตัวแรก[16]

##### 2.1.1 ส่วนประกอบสำคัญของกล้องดีเอสแอลอาร์

กล้องดีเอสแอลอาร์เป็นกล้องที่ใช้หลักการสะท้อนของแสงเพื่อให้ภาพที่มองจากช่องมองภาพเป็นภาพเดียวกันกับที่ถ่ายจึงทำให้สามารถถ่ายภาพได้สะดวกขึ้น ลักษณะภายนอกจะคล้ายคลึงกันโดยจะมีจุดเด่นคือบริเวณด้านบนของตัวกล้องจะมีลักษณะนูนขึ้นมาซึ่งมาจากส่วนประกอบหนึ่งของกล้อง ลักษณะจะแตกต่างจากกล้องคอมแพ็คซึ่งถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัดกว่า ดังภาพที่ 2.1 ต่อไปจะกล่าวถึงส่วนประกอบของกล้องดีเอสแอลอาร์เพื่ออธิบายหลักการทำงานต่อไป ซึ่งกล้องดีเอสแอลอาร์มีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้ (ดังภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของกล้องดีเอสแอลอาร์(ด้านซ้าย) และกล้องคอมแพ็ค (ด้านขวา)

#### 2.1.1.1 เลนส์

เป็นส่วนประกอบแรกที่สัมผัสกับแสงก่อนถึงตัวรับภาพ (แสดงดังหมายเลข 1 ในภาพที่ 2.2) ทำหน้าที่รวมแสงให้เกิดเป็นภาพ กล้องดีเอสแอลอาร์สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ เช่น เลนส์มุมกว้าง (wide angle lens) เหมาะสำหรับการถ่ายภาพทิวทัศน์หรืองานที่ต้องการมุมมองที่กว้าง เลนส์เทเลโฟโต้ (Telephoto lens) เหมาะกับการถ่ายภาพสัตว์ป่าหรืองานที่ตัวแบบอยู่ในระยะไกล เป็นต้น

#### 2.1.1.2 กระจกสะท้อน

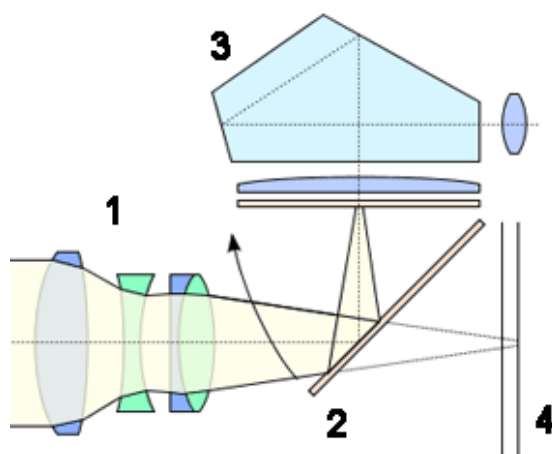
ทำมุมเอียง 45 องศากับทิศทางแสง (แสดงดังหมายเลข 2 ในภาพที่ 2.2) เพื่อให้แสงสามารถสะท้อนเข้าสู่เพนทaprism ซึ่งอยู่ส่วนบนของกล้องได้

#### 2.1.1.3 เพนทaprism (Pentaprism)

เป็นปริซึมที่มีลักษณะเป็น 5 เหลี่ยม (แสดงดังหมายเลข 3 ในภาพที่ 2.2) ทำหน้าที่สะท้อนภาพจากกระจกสะท้อนเข้าสู่ช่องมองภาพซึ่งจะทำให้ได้ภาพเดียวกับภาพที่เข้ามาภายในเลนส์ และสามารถกลับภาพที่เป็นภาพหัวกลับให้กลับมาเป็นภาพหัวตั้งเหมือนกับภาพปกติ

#### 2.1.1.4 ตัวรับภาพ

เป็นส่วนที่รับภาพแล้วแปลงจากภาพเป็นข้อมูลเชิงดิจิทัล (แสดงดังหมายเลข 4 ในภาพที่ 2.2) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อตัวรับภาพ



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบสำคัญของกล้องดีเอสแอลอาร์

#### 2.1.2 การทำงานของกล้องดีเอสแอลอาร์

การทำงานของกล้องดีเอสแอลอาร์จะเริ่มจากแสงจะส่องผ่านจากเลนส์แล้วตกกระทบบนกระจก จากนั้นสะท้อนขึ้นไปไปที่เพนทาปริซึม แล้วแสงจากเพนทาปริซึมจะส่องผ่านแล้วสะท้อนอีกสองครั้งเพื่อให้ภาพหัวหลักกลายเป็นภาพหัวตั้ง แล้วส่องผ่านไปยังช่องมองภาพ เมื่อกดชัตเตอร์ กระจกสะท้อนยกตัวขึ้นเพื่อให้แสงจากเลนส์ผ่านไปยังชัตเตอร์ และเมื่อชัตเตอร์เปิดออก แสงจะส่องเข้าไปตกกระทบที่ตัวรับภาพ ทำให้ได้ภาพมา[17]

#### 2.1.3 ข้อดีของกล้องดีเอสแอลอาร์

กล้องดีเอสแอลอาร์ให้ภาพที่มีคุณภาพสูง มีสัญญาณรบกวนน้อย เนื่องจากตัวรับภาพมีขนาดใหญ่กว่ากล้องคอมแพ็คทั่วไป นอกจากนั้นกล้องดีเอสแอลอาร์สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์เพื่อใช้เลนส์ที่เหมาะสมกับสถานการณ์ได้ มีเลนส์ให้เลือกใช้หลายชนิด อีกทั้ง

ยังให้มุมมองของภาพจากช่องมองภาพเหมือนหรือใกล้เคียงกับภาพที่ถ่าย[18] เพราะว่าภาพจากเลนส์สะท้อนเข้าสู่ช่องมองภาพ เป็นภาพเดียวกับที่ตัวรับภาพได้รับ

## 2.2 ตัวรับภาพ (Image sensor)

ตัวรับภาพเป็นส่วนประกอบสำคัญของกล้องดิจิทัล ทำหน้าที่รับแสงจากเลนส์ แล้วเปลี่ยนข้อมูลความเข้มแสงให้เป็นข้อมูลเชิงดิจิทัล ตัวรับภาพถูกผลิตด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง แสงที่มีความเข้มต่างกันจะทำให้เกิดความต่างศักย์ต่างกัน ซึ่งเรียกส่วนที่รับแสงนี้ว่าโฟโตไดโอด (photodiode) จากนั้นสามารถแปลงให้ระดับความเข้มแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ และจะถูกแปลงเป็นเลขดิจิทัลด้วยเอดีซี (analog-to-digital converter, ADC) ตัวรับภาพจะประกอบด้วยหน่วยย่อยหลาย ๆ หน่วย ซึ่งแต่ละหน่วยจะแทนด้วย 1 จุดของภาพหรือพิกเซล (pixel) เมื่อนำข้อมูลของแต่ละพิกเซลมาประกอบกันจึงเกิดเป็นภาพขึ้น

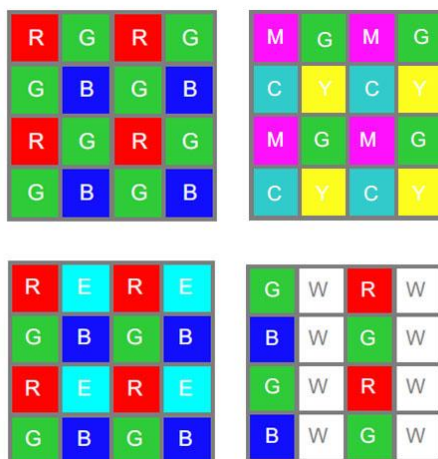
### 2.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของตัวรับภาพ

ตัวรับภาพก็ยังประกอบด้วยฟิลเตอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ด้านบน ทำหน้าที่แตกต่างกัน ซึ่งมีทั้งหมดดังนี้[19]

#### 1. ซีเอฟเอ (Color Filter Array, CFA)

เป็นฟิลเตอร์สีขนาดเล็ก ติดอยู่ด้านบนหน่วยย่อยของตัวรับภาพ ทำหน้าที่กรองแสงเพื่อให้ได้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ โดยทั่วไปจะใช้ฟิลเตอร์ที่เป็นแม่สีแสง คือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และการเรียงตัวของซีเอฟเอมีหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมนำมาใช้คือการเรียงตัวแบบเบเยอร์ (Bayer) ดังภาพที่ 2.3 (ซ้ายบน) ซึ่งจะเรียงสลับกันระหว่างสีเขียวกับสีน้ำเงินหรือแดง โดยที่สีเขียวจะมีจำนวนมากเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับสีแดงและน้ำเงิน เหตุผลคือฟิลเตอร์สีเขียวมีการตอบสนองเชิงสเปกตรัมคล้ายกับเซลล์โคนสีเขียวของตาคน ซึ่งตอบสนองต่อความสว่างได้ดี ดังนั้นฟิลเตอร์สีเขียวจึงเกี่ยวข้องกับ ความสว่างและ ฟิลเตอร์สีแดงกับสีน้ำเงินเกี่ยวข้องกับการรับรู้สี ทั้งนี้ซีเอฟเอมีรูปแบบ

การเรียงตัวอีกหลายแบบ เช่น complementary mosaic pattern, RGBE filter pattern และ RGBW filter pattern ดังภาพที่ 2.3 [20]

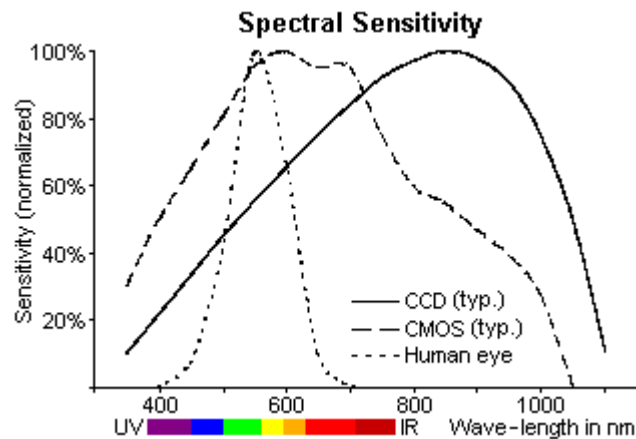


ภาพที่ 2.3 การเรียงตัวของซีเอฟเอในแบบต่าง ๆ

## 2. ฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรด (infrared blocking filter)

ตัวรับภาพสามารถตอบสนองกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-1100 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2.4 [21] ซึ่งครอบคลุมช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงที่ตามองเห็น ไปจนถึงรังสีอินฟราเรดใกล้ ดังนั้นสำหรับกล้องถ่ายภาพที่ต้องการให้ภาพมีสีเหมือนกับที่ตามนุษย์มองเห็น จึงต้องใช้ฟิลเตอร์ที่สามารถป้องกันรังสีต่าง ๆ ที่ไม่ใช่แสงในช่วงที่ตามองเห็นเข้าสู่ตัวรับภาพได้ ฟิลเตอร์นี้จะติดอยู่บนตัวรับภาพ สำหรับงานถ่ายภาพแบบอื่นๆ เช่น การถ่ายภาพอินฟราเรด สามารถถอดฟิลเตอร์นี้และใส่ฟิลเตอร์ที่ให้เฉพาะรังสีอินฟราเรดผ่านเพื่อให้กล้องสามารถเก็บภาพอินฟราเรดได้ แต่จะไม่สามารถถ่ายภาพสีได้เหมือนเดิม





ภาพที่ 2.4 การตอบสนองเชิงสเปกตรัมของตัวรับภาพและตามนุษย์

### 3. Optical Low Pass Filter (OLPF)

เป็นฟิลเตอร์ที่ทำหน้าที่กรองส่วนของภาพที่มีความถี่สูงออก OLPF นี้ติดตั้งอยู่บนตัวรับภาพ เพื่อลดการเกิด aliasing ที่จะไปรบกวนในภาพได้ ดังภาพที่ 2.5 [22] โดย aliasing นั้นเกิดจากภาพที่มีความถี่มากกว่าความถี่ของโฟโตไดโอด 2 เท่าขึ้นไป จึงทำให้ตัวรับภาพไม่สามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้ครบและเกิดเป็นความถี่ต่ำในภาพที่มีความถี่สูง หรือเกิดลวดลายใหม่ในภาพ

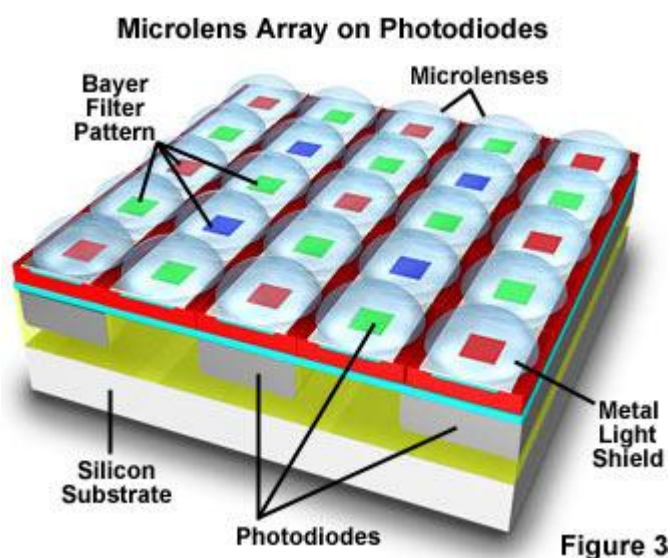
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2.5 ปรากฏการณ์ aliasing

#### 4. ไมโครเลนส์อะเรย์ (microlens array)

ติดตั้งอยู่บนซีเอฟเอ มีลักษณะเป็นเลนส์นูนเล็ก ๆ เรียงตัวกัน ซึ่งทำหน้าที่รวมแสง เพื่อให้แสงสามารถเข้าสู่ตัวรับภาพได้มากขึ้น ที่ต้องใช้ไมโครเลนส์อะเรย์เพราะลักษณะของโฟโตไดโอดที่อยู่ลึกเข้าไป ดังภาพที่ 2.6 [23] จะทำให้แสงที่ส่องเข้ามาจากมุมอื่นเข้าไปไม่ถึง ดังนั้นการติดตั้งไมโครเลนส์อะเรย์จะช่วยให้แสงจากมุมอื่นสามารถหักเหเข้าสู่โฟโตไดโอดได้ จึงทำให้ได้รับแสงมากขึ้น



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.6 ไมโครเลนส์อะเรย์

#### 2.2.2 ชนิดของตัวรับภาพ

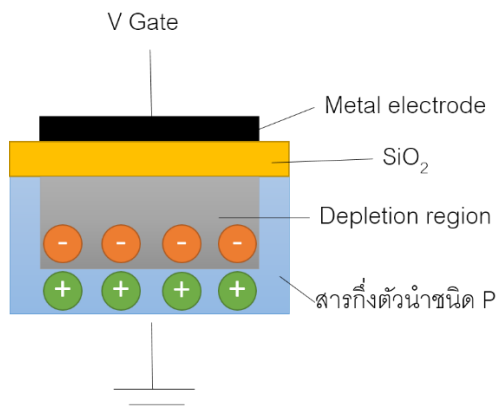
ตัวรับภาพที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีทั้งหมด 2 ชนิด คือ ซีซีดี (Charged Couple Device, CCD) และ ซีโมส (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS) ซึ่งทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกัน รายละเอียดมีดังนี้คือ

### 2.2.2.1 ซีซีดี

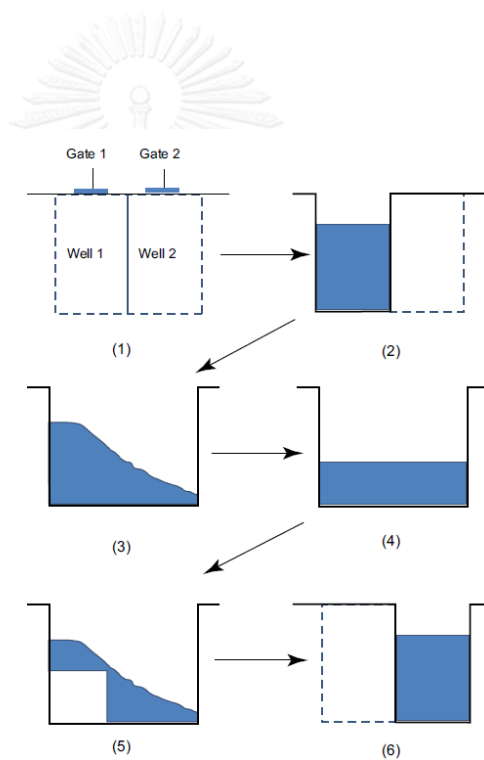
ประกอบด้วยมอส (Metal Oxide Semiconductor, MOS) ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือวีเกต (V Gate) ทำหน้าที่สร้างประจุบวกจะทำให้หลุม (hole) ในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) ซึ่งทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน มีการเคลื่อนที่ออกไปยัง ground electrode เพื่อให้เกิดเขตปลอดพาหะ (depletion region) ภายในชั้นของสารกึ่งตัวนำ เมื่อมีแสงตกกระทบและถูกดูดกลืน จะเกิดคู่ของอิเล็กตรอนกับหลุมขึ้น อิเล็กตรอนจะยังคงอยู่ในเขตปลอดพาหะในขณะที่ประจุบวกย้ายลงไปที่กราวนด์อิเล็กโทรด (ground electrode) ถ้าประจุบวกไม่ได้ถูกใช้ไป อิเล็กตรอนกับหลุมจะรวมตัวกันใหม่แล้วปลดปล่อยพลังงานความร้อน[24] แสดงได้ดังภาพที่ 2.7

หลักการอ่านข้อมูลของซีซีดีเมื่อแสงตกกระทบที่ตัวรับภาพจะเกิดประจุที่เวล (well) แรก จากนั้นจะให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกต (gate) 2 ทำให้เกิดการถ่ายโอนประจุจากเวล 1 ไปสู่เวล 2 ได้โดยที่ประจุจะเข้าสู่สภาวะสมดุลก่อน จากนั้นเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่เกต 1 ลดลงประจุจะถูกถ่ายโอนไปยังเวล 2 ทั้งหมด สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.8 [25] ซึ่งหมายความว่าในกระบวนการอ่านข้อมูลของซีซีดีจะกระทำอย่างเป็นอนุกรม (serial) โดยข้อมูลแต่ละพิกเซลจะถูกส่งผ่านมายังเอดีซี ตามแนวแถวหรือคอลัมน์ขึ้นอยู่กับรูปแบบของซีซีดีเพื่อแปลงจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลดังภาพ 2.9 [25]

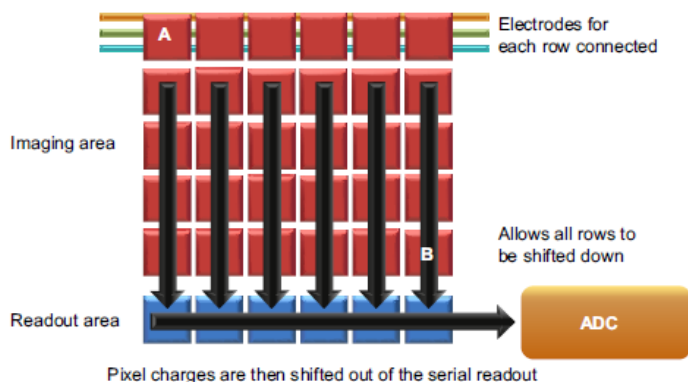
การอ่านข้อมูลเช่นนี้จะส่งผลให้ความเร็วในการส่งข้อมูลช้าเพราะเอดีซี จะแปลงข้อมูลจากครั้งละแถวหรือครั้งละหลักเท่านั้น ใช้พลังงานมากกว่าซีมอสแต่ข้อดีของซีซีดีเมื่อเทียบกับซีมอสคือมีพื้นที่รับแสงที่มากกว่าจึงทำให้ภาพมีสัญญาณรบกวนที่น้อยกว่า ทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดีกว่า[26]



ภาพที่ 2.7 MOS และการเกิดประจุเมื่อมีปฏิกิริยากับแสง



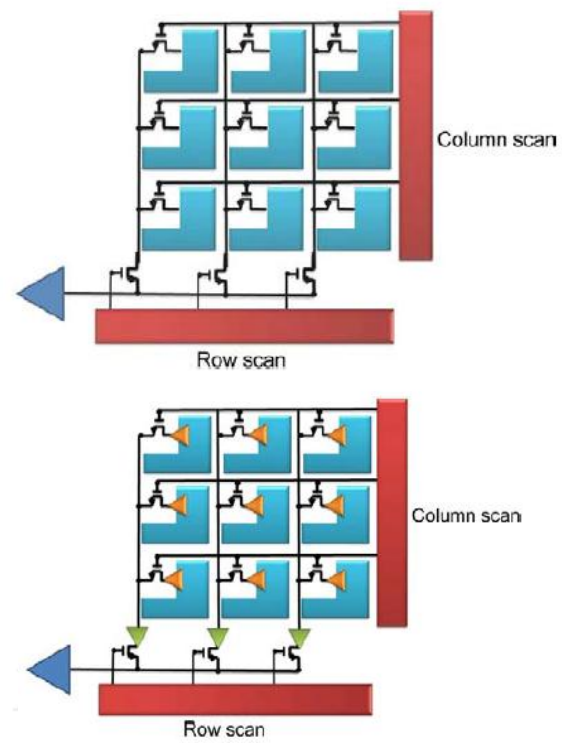
ภาพที่ 2.8 การถ่ายโอนประจุของแต่ละพิกเซลในตัวรับภาพซีซีดี



ภาพที่ 2.9 การอ่านข้อมูลของตัวรับภาพแบบซีซีดี

#### 2.2.2.2 ซีมอส

ส่วนประกอบสำคัญคือโฟโตไดโอด ซึ่งจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N) และชนิดพี (P) ประกบกัน การเกิดเขตปลอดพาหะจะเกิดขึ้นโดยไม่ได้ใช้การให้ความต่างศักย์ แต่จะเกิดจากการใช้สารกึ่งตัวนำสองชนิดประกบติดกัน โดยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะให้อิเล็กตรอนกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี จึงทำให้เกิดเขตปลอดพาหะขึ้น เมื่อแสงตกกระทบจะเกิดการดูดกลืนในชั้นเขตปลอดพาหะในการอ่านข้อมูลนั้น ในแต่ละพิกเซลของซีมอสจะมีวงจรมีวงจรถูกสร้างที่อ่านข้อมูลของแต่ละพิกเซลได้ ถ้าไม่มีตัวขยายสัญญาณในแต่ละพิกเซลจะเรียกว่า passive pixel sensor ในทางกลับกันถ้ามีตัวขยายสัญญาณจะเรียกว่า active pixel sensor (APS) ดังภาพที่ 2.10 [27] ข้อดีของตัวรับภาพชนิดนี้คือ สามารถอ่านข้อมูลได้เร็ว ประหยัดพลังงานมากกว่าซีซีดีแต่ข้อเสียคือมีสัญญาณรบกวนจากสายสัญญาณในวงจรแต่ละพิกเซล และพื้นที่รับแสงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับซีซีดีทำให้คุณภาพของภาพด้อยกว่า[28]



ภาพที่ 2.10 ด้านบน passive pixel sensor ด้านล่าง active pixel sensor

## 2.3 Optical filter

เป็นฟิลเตอร์ที่ใช้ในการคัดเลือกแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ หรือตัดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการออกไป[29] ซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้ 2 ประเภท ตามลักษณะการคัดเลือกคือ interference filter กับ absorption filter รายละเอียดมีดังนี้

### 2.3.1 Interference filter

เป็นฟิลเตอร์ที่ใช้หลักการแทรกสอดกันของคลื่น เพื่อคัดเลือกคลื่นในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ โดยจะใช้วัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกัน จะทำให้เกิดการสะท้อนหลายครั้งในฟิลเตอร์ ถ้าระยะห่างระหว่างชั้นของวัสดุเหมาะสม ลำแสงที่สะท้อนกันจะเกิดการแทรกสอดกัน[30] ข้อดีของฟิลเตอร์ชนิดนี้คือสามารถเลือกแสงในช่วงความยาวคลื่นแคบๆ ได้ และสามารถปรับช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้ง่าย โดยใช้การเปลี่ยนมุมที่ใช้ในการส่องผ่านฟิลเตอร์

### 2.3.2 Absorption filter

เป็นฟิลเตอร์ที่อาศัยหลักการดูดกลืนแสงของสาร ซึ่งจะผสมอยู่ในเนื้อวัสดุของฟิลเตอร์ สารนั้นเป็นสีย้อมซึ่งจะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการ และให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการส่องผ่านไปได้ ฟิลเตอร์ชนิดนี้มักจะเลือกความยาวคลื่นในช่วงที่กว้าง นอกจากคัดเลือกแสงในช่วงที่ตามองเห็นแล้ว ในช่วงคลื่นอินฟราเรด และอัลตราไวโอเล็ตก็สามารถคัดเลือกได้เช่นกัน[31] วัสดุที่ใช้ในการผลิตฟิลเตอร์มีทั้งแก้ว หรือเจลาติน โดยที่แก้วนั้นมีข้อดีคือให้ผลที่เสถียรกว่า แต่ราคาแพงกว่าและแตกได้ ส่วนเจลาตินมีราคาถูกกว่า ไม่แตก ไม่ขาดง่าย แต่ข้อเสียคือไม่เหมาะกับงานที่ต้องใช้การส่องแสงเป็นระยะเวลานานๆ อุณหภูมิสูง และความชื้นสูง เพราะอาจทำให้ฟิลเตอร์เสื่อมได้[32, 33]

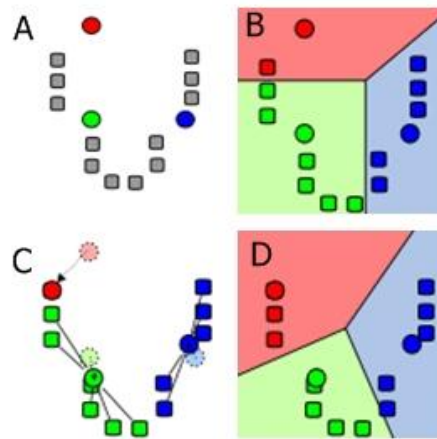
## 2.4 การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ (K-means clustering)

การวิเคราะห์กลุ่ม (cluster analysis) เป็นการแบ่งกลุ่มของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันออกจากกัน โดยให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกันจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน วัตถุประสงค์ของการจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อต้องการทราบโครงสร้างหรือลักษณะของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวเป็นอย่างไร เมื่อทราบโครงสร้างของข้อมูล สามารถนำไปใช้ในการแบ่งส่วนของข้อมูล หรือเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมของข้อมูลแต่ละกลุ่มได้[34] มีการนำไปใช้ในหลายๆ ด้าน เช่น การตลาด จิตวิทยา สังคมศาสตร์ และชีวสารสนเทศ นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้กับเทคโนโลยีทางภาพ ซึ่งใช้ในการแบ่งส่วนภาพได้ ซึ่งวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมในการวิเคราะห์กลุ่มคือการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์

การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ เป็นการวิเคราะห์กลุ่มประเภทหนึ่ง เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ไม่ต้องอาศัยการสอน (unsupervised method) หลักการคือกำหนดจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่ต้องการ แล้วคัดเลือกข้อมูลที่จะแบ่งกลุ่ม โดยให้มีระยะทางระหว่างข้อมูลนั้นกับจุดศูนย์กลาง (centroid) ของกลุ่มน้อยที่สุด สำหรับขั้นตอนการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์แสดงดังภาพที่ 2.11 [35] โดยที่วงกลมแทนจุดศูนย์กลาง และสี่เหลี่ยมแทนด้วยข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดศูนย์กลางของข้อมูล อาจใช้การสุ่มหรือกำหนดโดยผู้ศึกษา (ภาพที่ 2.11 A)
2. คำนวณหาระยะห่างของข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของข้อมูล สามารถคำนวณได้หลายแบบ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดต่อไป
3. จัดข้อมูลให้อยู่กลุ่มใหม่โดยข้อมูลที่มีระยะทางระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มน้อยกว่าจะได้อยู่กลุ่มนั้น (ภาพที่ 2.11 B)
4. คำนวณหาจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มใหม่โดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มเป็นจุดศูนย์กลางใหม่ (ภาพที่ 2.11 C) แล้วจัดข้อมูลให้อยู่ในกลุ่มใหม่ดังข้อ 3.
5. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2. ถึงข้อ 4. จนกระทั่งไม่สามารถย้ายข้อมูลได้อีกหรือมีความแตกต่างระหว่างจุดศูนย์กลางสุดท้ายกับจุดศูนย์กลางก่อนหน้า





ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์

#### 2.4.1 การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

เนื่องจากการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์เป็นวิธีการที่ต้องใช้การทำซ้ำ และทำกับข้อมูลในปริมาณมาก การคำนวณอาจทำได้ซ้ำถ้าไม่ใช่เครื่องมือช่วย ในปัจจุบันโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมสามารถจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ได้อาทิ เช่น SPSS SAS และ MATLAB เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการแบ่งส่วนภาพโดยวิธีการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ ซึ่งในโปรแกรม MATLAB นั้นมีคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับจัดกลุ่มโดยวิธีนี้ ซึ่งต่อไปจะอธิบายในการใช้พอสั่งเขปซึ่งมีดังนี้

คำสั่งที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์เป็นดัง syntax ด้านล่างดังนี้

```
[IDX, C, sumd, D ]= kmeans(X,k,
...,parameter1, value1, parameter2, value2,...)
```

โดยที่ X คือ เมทริกซ์ขนาด  $n \times p$

k คือ จำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งกลุ่ม

IDX คือ ดัชนีซึ่งบ่งบอกกลุ่มโดยใช้เป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง k แสดงค่าเป็นเวกเตอร์ขนาด  $n \times 1$

C คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่ม แสดงค่าเป็นเมทริกซ์ขนาด  $k \times p$

sumd คือ ผลรวมของระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม แสดงค่าเป็นเวกเตอร์ขนาด  $1 \times k$

D คือ ระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลาง แสดงค่าเป็น เมทริกซ์ขนาด  $n \times k$

นอกจากนั้น parameter และ value นั้น สามารถกำหนดได้หลายรูปแบบโดยใส่ค่าของพารามิเตอร์ที่ต้องการแทนที่คำว่า parameter และใส่ตัวเลือกของแต่ละพารามิเตอร์ลงในคำว่า value ซึ่งมีคำอธิบายเพิ่มเติมใน[36] แต่ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะที่ใช้ในการวิจัยซึ่งได้แก่

#### 2.4.1.1 'emptyaction'

เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดการกระทำเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่มีบางกลุ่มเมื่อกำหนดจุดศูนย์กลางใหม่แล้วไม่มีสมาชิกเหลืออยู่ ซึ่งยกตัวอย่างตัวเลือกคือ

'error' เมื่อไม่มีสมาชิกในกลุ่มให้ขึ้นคำเตือนว่าเกิดความผิดพลาดและหยุดการทำงาน ตัวเลือกนี้ถูกใช้เป็นค่าเริ่มต้นถ้าไม่มีการระบุพารามิเตอร์นี้

'singleton' สร้างกลุ่มใหม่โดยที่มีสมาชิกอยู่ 1 จุดที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มนั้นมากที่สุด

### 2.4.1.2 'start'

ใช้ในการกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นในการจัดกลุ่ม ซึ่งยกตัวอย่าง ตัวเลือกอยู่ 2 แบบคือ

'sample' กำหนดจุดเริ่มต้นโดยใช้การสุ่ม ซึ่งตัวเลือกนี้เป็น ค่าเริ่มต้นหากไม่มีการระบุพารามิเตอร์นี้

'cluster' กำหนดจุดเริ่มต้นโดยสุ่มกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 10 จากข้อมูลทั้งหมดแล้วจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ ในการจัดกลุ่มในขั้นตอนนี้ ใช้การกำหนดจุดเริ่มต้นด้วยการสุ่ม

### 2.4.1.3 'distance'

เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดวิธีการวัดระยะห่างระหว่างข้อมูลกับ จุดศูนย์กลาง ซึ่งยกตัวอย่างดังนี้

'sqEuclidean' วัดระยะทางโดยใช้วิธีผลต่างกำลังสอง (Square Euclidean distance) ดังสมการที่ 2.1 [37] ซึ่งเป็นค่า เริ่มต้นเมื่อไม่ได้กำหนดพารามิเตอร์

$$D_{ij} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (2.1)$$

โดยที่  $D_{ij}$  คือ ระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลาง

$N$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$K$  คือ จำนวนกลุ่มที่ใช้ในการจัดกลุ่ม

$x_{ij}$  คือ ข้อมูลที่  $i$  ในกลุ่มที่  $j$

$\bar{x}_j$  คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่มที่  $j$

#### 2.4.1.4 'replicate'

กำหนดการทำซ้ำของคำสั่ง สามารถกำหนดได้เป็นจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งค่า  $\text{sumd}$  จะแสดงผลจากจำนวนซ้ำครั้งที่ให้ค่าน้อยที่สุด

#### 2.4.2 การกำหนดจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มแบบเค-มินส์

การกำหนดจุดเริ่มต้นของการจัดกลุ่มแบบเค-มินส์นั้นมีความสำคัญมาก เพราะถ้ากำหนดจุดเริ่มต้นได้ใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางสุดท้าย จะสามารถหาจุดศูนย์กลางสุดท้ายที่ควรจะเป็นได้ ในทางกลับกัน หากกำหนดจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มห่างจากจุดศูนย์กลางสุดท้าย จะทำให้การจัดกลุ่มผิดพลาดได้ [38] การกำหนดจุดเริ่มต้นจึงต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม

ในปี 1998 Paul S. Bradley และ Usama M. Fayyad ได้ปรับแต่งการกำหนดจุดเริ่มต้นโดยการสุ่มกลุ่มตัวอย่างข้อมูลมาจัดกลุ่มในเบื้องต้นก่อน เพื่อให้เป็นแนวทางในการกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น แล้วจากนั้นทำการจัดกลุ่มข้อมูลทั้งหมด โดยใช้จุดศูนย์กลางสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่าง เป็นจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มข้อมูลทั้งหมด [39] ซึ่งวิธีดังกล่าวใกล้เคียงกับการกำหนดจุดเริ่มต้นแบบ 'cluster' ในโปรแกรม MATLAB

#### 2.4.3 การวัดความสามารถในการจัดกลุ่ม

การทำ cluster analysis นั้นข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือการวัดค่าความถูกต้องของการจัดกลุ่ม ในการจัดกลุ่มแบบเค-มินส์จึงต้องมีการพิจารณาด้วย เพื่อใช้สำหรับในการพัฒนาวิธีการจัดกลุ่มให้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น การวัดความถูกต้องมีวิธีวัดหลายแบบ ในปี 1997 งานวิจัยของ James Theiler และ Galen Gisler[11] ได้วัดค่าด้วยความแปรปรวนภายในกลุ่มและเรียกใหม่ว่า ความไม่กระชับ (noncompactness) ซึ่งถ้ามีค่ามากแสดงว่า

กลุ่มนั้นมีความไม่กระชับมาก ในทางกลับกันถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความไม่กระชับน้อย ในงานวิจัยนี้แบ่งส่วนภาพมัลติสเปกตรัมที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม

นอกจากนั้นในงานวิจัยของ Siddheswar Ray. และ Rose H. Turi [40] ปี 1999 ได้นำเสนอวิธีการวัดค่าด้วยอัตราส่วนระหว่างผลรวมของระยะทางระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม และระยะห่างระหว่างกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าการแบ่งส่วนภาพนั้นทำได้ดี ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างเป็นภาพสี

ปี 2009 Ali Ridho Barakbah และ Yasushi Kiyoki [41] ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีนส์ โดยใช้การเพิ่มประสิทธิภาพให้เค-มินส์ ด้วยแนวคิดในการกำหนดจุดเริ่มต้นในลักษณะเดียวกับการตั้งเสาหลักให้บ้านแข็งแรง ซึ่งในการวัดผลของการแบ่งส่วนนั้นจะใช้ความแปรปรวนทั้งในกลุ่ม และระหว่างกลุ่ม

จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัยต่างๆ ได้ใช้วิธีการวัดผลที่คล้ายคลึงกันคือค่าความแปรปรวนภายใน และระหว่างกลุ่ม ซึ่งสามารถเข้าใจได้ง่าย ถ้าค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมาก แสดงว่าสามารถจัดกลุ่มโดยให้แต่ละกลุ่มมีการกระจายมาก ไม่ปะปนกัน หมายความว่า การจัดกลุ่มทำได้ดี ถ้าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มมีค่าน้อย แสดงว่าสามารถจัดกลุ่มให้มีความกลมกลืนกันมาก หมายความว่าจัดกลุ่มได้ดีอีกเช่นกัน

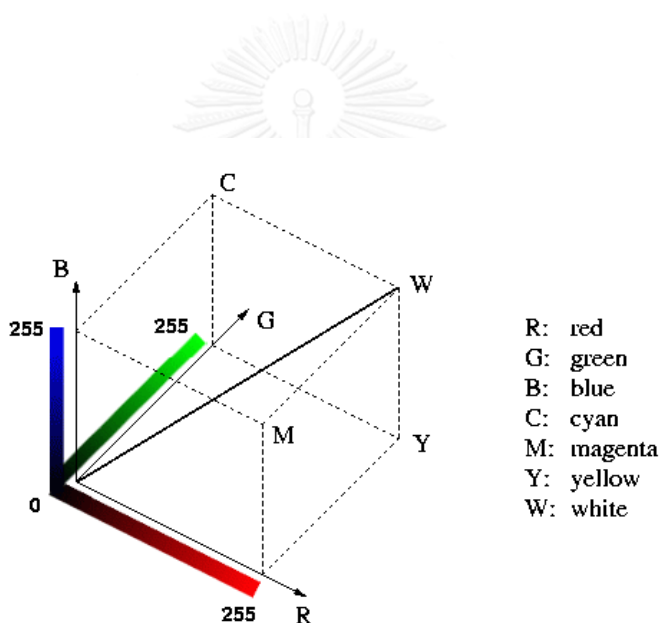
## 2.5 การแปลงโมเดลสี

### 2.5.1 โมเดลสี (color model)

โมเดลสีคือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายคุณสมบัติของสี[42] อาจเป็นการแสดงความสว่าง สีสีน ความอิ่มตัว หรือความเป็นสีของแต่ละแม่สี ขึ้นอยู่กับหลักการของแต่ละโมเดลสี ทั้งนี้การแสดงผลจะแสดงด้วยปริภูมิสี (color space) สำหรับโมเดลสีนี้มีอยู่หลายแบบ แต่ในครั้งนี้จะนำเสนอโมเดลสี sRGB, CIELAB

### 2.5.1.1 โมเดลสี sRGB

บริษัท Hewlett-Packard (HP) และ Microsoft ได้นำเสนอโมเดลสีใหม่ในปี 1996 ในระบบปฏิบัติการของ Microsoft ผลิตภัณฑ์ของ HP และอินเทอร์เน็ต เพื่อช่วยการจัดการสีให้ดีขึ้น โดยมีรากฐานมาจากโมเดลสี RGB โดยพัฒนาให้เหมาะกับหน้าจอแสดงผลซีอาร์ที (cathode ray tube, CRT), โทรทัศน์, กล้อง, สแกนเนอร์ และระบบการพิมพ์[43] การแสดงผลจะแสดงค่าของแม่สีคือ สีแดงแสดงค่าด้วย R สีเขียวแสดงค่าด้วย G และสีน้ำเงินแสดงค่าด้วย B ดังภาพที่ 2.12 ถ้าค่าเท่ากันทั้งสามค่า จะแสดงสี achromatic color



ภาพที่ 2.12 การแสดงค่าสีของโมเดลสี RGB

### 2.5.1.2 โมเดลสี CIELAB

CIELAB เป็นโมเดลสีที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กร CIE [44] ซึ่งพัฒนามาจากโมเดลสี XYZ โดยพยายามพัฒนาให้ CIELAB มีความต่างสีสม่ำเสมอในส่วนต่างๆ ของปริภูมิสี (uniform) โมเดลสีนี้จะถูกแสดงผลด้วยแกน 3 แกนดังภาพที่ 2.13 คือ  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- $L^*$  เป็นค่าความสว่างที่เปรียบเทียบกับสีขาวอ้างอิง ซึ่งหมายถึง บริเวณที่สว่างที่สุดหรือแหล่งกำเนิดแสง  $L^*$  มีค่าตั้งแต่ 0-100 คำนวณได้จากสมการที่ 2.3
- $a^*$  เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดงหรือเขียว ถ้ามีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีแดง ถ้าค่าเป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว คำนวณได้จากสมการที่ 2.4 และ 2.6
- $b^*$  เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลือง ถ้ามีค่าเป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีเหลือง ถ้าค่าเป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน คำนวณได้จากสมการที่ 2.5 และ 2.6

ข้อดีของโมเดลสี CIELAB คือง่ายต่อการสื่อสารเพราะ เมื่อทราบค่า CIELAB จะทำให้พอทราบถึงสีในเบื้องต้น



ภาพที่ 2.13 การแสดงค่าสีของโมเดลสี CIELAB

### 2.5.2 การแปลงโมเดลสี

การแปลงโมเดลสีเป็นการแปลงค่าสีจากโมเดลหนึ่งไปสู่อีกโมเดลหนึ่ง เพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานหรือวัตถุประสงค์อื่น ในงานวิจัยนี้ใช้การแปลงโมเดลสี 2 แบบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.5.2.1 การแปลงโมเดลสีจาก sRGB เป็น CIELAB

ขั้นตอนแรกเริ่มจากการแปลงจากโมเดลสี sRGB ให้เป็น XYZ ก่อนโดยใช้สมการที่ 2.2 [45] จากนั้นแปลงจากค่า XYZ เป็น CIELAB ในสมการที่ 2.3 ถึง 2.6 [46] โดยงานวิจัยนี้ใช้ค่า XYZ ของสีขาวอ้างอิง D50 คือ 96.42, 100.00, 82.49 ตามลำดับ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4361 & 0.3851 & 0.1431 \\ 0.2225 & 0.7169 & 0.0606 \\ 0.0139 & 0.0971 & 0.7141 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

โดยที่  $R', G', B'$  คือ ค่าพิกเซลของแชนเนล R, G, B ซึ่งทำการ Normalize ด้วยค่า 255 (มีค่าตั้งแต่ 0-1)

$X, Y, Z$  คือ ค่าสี X, Y, Z

$$L^* = \begin{cases} 116(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{if } Y/Y_n > 0.00856 \\ 903.3(Y/Y_n) & \text{if } Y/Y_n \leq 0.00856 \end{cases} \quad (2.3)$$

$$a^* = 500 * (f(X/X_n) - f(Y/Y_n)) \quad (2.4)$$

$$b^* = 500 * (f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)) \quad (2.5)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, & \text{if } t > 0.00856 \\ 7.787 * t + 16/116, & \text{if } t \leq 0.00856 \end{cases} \quad (2.6)$$

โดยที่  $L^*$  คือ ค่าความสว่างเมื่อเทียบกับสีขาวอ้างอิง



$a^*$	คือ ความเป็นสีแดง-เขียว ถ้าค่าเป็นบวกเป็นสีแดง ถ้าค่าเป็นลบเป็นสีเขียว
$b^*$	คือ ความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ถ้าค่าเป็นบวกเป็นสีเหลือง ถ้าค่าเป็นลบเป็นสีน้ำเงิน
$X_n, Y_n, Z_n$	คือ ค่าสี XYZ ของสีขว้างอิง

### 2.5.2.2 การแปลงโมเดลสีจาก sRGB เป็น grayscale

สำหรับ grayscale เป็นการแปลงภาพสีให้อยู่ในรูปของภาพขาวดำ โดยใช้ค่าสีของแต่ละสีถ่วงน้ำหนักแล้วแสดงด้วยความเข้มหรือความสว่าง[47]

การแปลงให้เป็น grayscale นั้นสามารถแปลงได้โดยใช้ผลรวมของค่า RGB ถ่วงน้ำหนัก ซึ่งการถ่วงน้ำหนักนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ สำหรับงานวิจัยนี้แปลงโดยใช้สมการที่ 2.7 [48]

$$I=0.2989R+0.5870G+0.1140B \quad (2.7)$$

โดยที่  $I$  คือ ค่าพิกเซลสำหรับ grayscale

$R,G,B$  คือ ค่าพิกเซลของแชนเนล R, G และ B ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การเตรียมอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ประกอบด้วย

1. กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยว Canon รุ่น EOS 100D ซึ่งตัดแปรรูปโดยถอดฟิลเตอร์กันอินฟราเรดออกจากตัวรับภาพ และติดตั้งเลนส์ Canon รุ่น EF 50mm f/1.8 II ดัง

ภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กล้องดิจิทัลสะท้อนแสงเลนส์เดี่ยว Canon EOS 100D (ซ้าย) กับ เลนส์ Canon EF 50mm f/1.8 II

2. ฟิลเตอร์เจลละตินของ Fujifilm รหัส BPB50 และ IR76 กับฟิลเตอร์สำหรับกันอินฟราเรดของ Rocolax
3. ตัวอย่างสำหรับการถ่ายภาพประกอบด้วยอิฐขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 7.4x17.8x5.6 เซนติเมตร น้ำบรรจุสูง 20 เซนติเมตร ภายในภาชนะพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.6 เซนติเมตร ใบตองขนาด 11x11 เซนติเมตร และ Gretag Macbeth Mini ColorChecker โดยใช้กระดาษสีเทาเป็นฉากหลัง ดังภาพที่ 3.2 การใช้

ตัวอย่างเหล่านี้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของ สิ่งก่อสร้าง พรรณไม้ และแหล่งน้ำ ซึ่งแทนด้วย อิฐ ใบบตอง และน้ำ



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างสำหรับการถ่ายภาพ

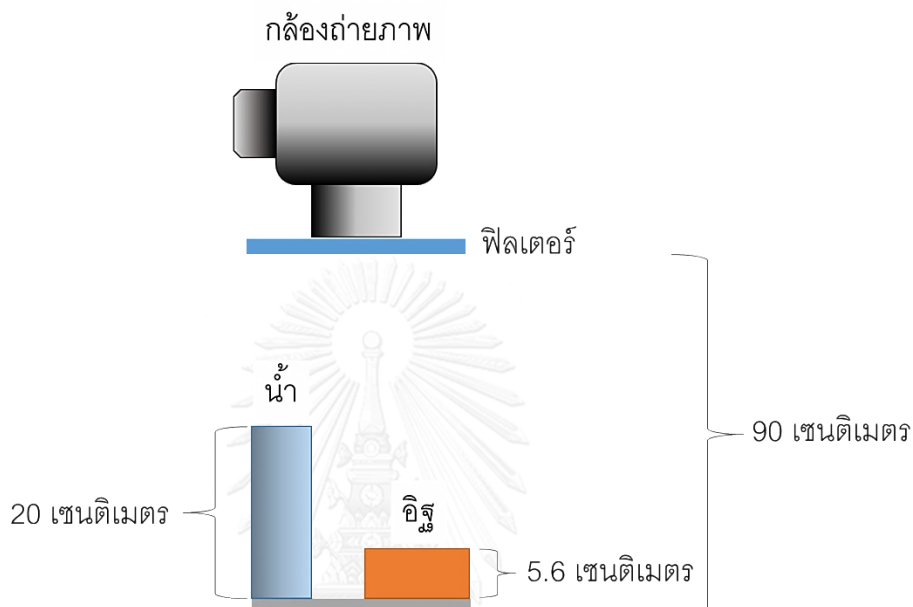
4. โปรแกรม MATLAB<sup>®</sup> รุ่น R2012a สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์แบบ 64 บิต ซึ่ง toolbox ที่ใช้ประกอบด้วย statistics toolbox, image processing toolbox โดยใช้สำหรับแปลงโมเดลสีของภาพ แบ่งส่วนภาพด้วยการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ คำนวณความถูกต้องและความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพ
5. โปรแกรม Digital Photo Professional รุ่น 3.13 ของบริษัท Canon Inc. ใช้ในการแปลงไฟล์ภาพจาก RAW เป็นนามสกุล .tiff และย่อขนาดไฟล์ภาพ
6. โปรแกรม Adobe Photoshop CS6 สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์แบบ 64 บิต ใช้สำหรับสร้างหน้าฉากเพื่อนับจำนวนพิกเซลของ อิฐ น้ำ และใบบตอง ในขั้นตอนการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ
7. คอมพิวเตอร์ของบริษัท ASUS รุ่น A43S หน่วยประมวลผล Intel core i5-2450M, 2.5GHz แรม 4 GB หน่วยความจำสำรอง 750 GB ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7 แบบ 64 บิต

### 3.2 การถ่ายภาพ

การถ่ายภาพจะใช้ฟิลเตอร์ทั้งหมด 3 ฟิลเตอร์ ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1. การตั้งค่าสำหรับการถ่ายภาพ โดยตั้งค่ารูรับแสงไว้ที่ f/11 ความไวชัตเตอร์อัตโนมัติ และค่าความไวแสงที่ ISO 400 การเก็บภาพจะใช้ไฟล์ภาพแบบ RAW

2. การติดตั้งกล้องและสภาวะของการถ่ายภาพ ติดตั้งโดยให้กล้องอยู่สูงจากพื้น 90 เซนติเมตร และหน้ากล้องทำมุมในแนวระนาบเดียวกันกับพื้น เพื่อให้ได้ภาพจากมุมด้านบนตามลักษณะดังภาพ 3.3 และติดตั้งฉากตามภาพ 3.2 ถ่ายภาพโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง



ภาพที่ 3.3 การติดตั้งกล้อง

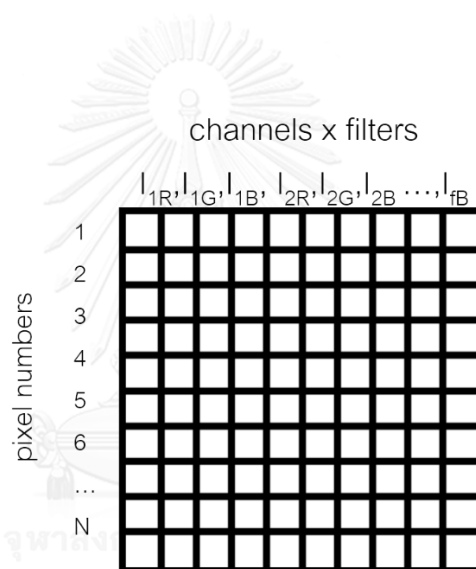
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ถ่ายภาพด้วยกล้อง Canon EOS 100D ซึ่งดัดแปรแล้ว การถ่ายภาพจะใช้ฟิลเตอร์บังหน้ากล้องโดยที่ภาพที่ 1 ใช้ฟิลเตอร์กันอินฟราเรด ภาพที่ 2 ใช้ฟิลเตอร์ IR76 และภาพที่ 3 ใช้ฟิลเตอร์ BPB50 และการถ่ายภาพจะถ่ายทั้งหมด 3 ชุด โดยสลับตำแหน่งของวัตถุในภาพเป็น 3 แบบ ซึ่งจะแสดงภาพในบทที่ 4

### 3.3 การแบ่งส่วนภาพ

การแบ่งส่วนภาพจะใช้การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำภาพ RAW มาแปลงให้เป็นนามสกุล .tiff และภาพจะถูกย่อให้เป็นขนาด 480 x 720 พิกเซล ด้วยโปรแกรม Digital Photo Professional
2. ดังนั้นจึงต้องแปลงข้อมูลสีของภาพจาก sRGB เป็น CIELAB และ grayscale ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งวิธีการแปลงข้อมูลสีอยู่ในบทที่ 2
3. ข้อมูลภาพของทุกแชนเนลและฟิลเตอร์จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปอะเรย์ (array) โดยที่แถวเป็นข้อมูลของภาพในแต่ละตำแหน่ง และคอลัมน์เป็นข้อมูลภาพในแต่ละแชนเนลและฟิลเตอร์ดังภาพที่ 3.4 โดยที่จำนวนแถวคือจำนวนพิกเซลของแต่ละแชนเนล จำนวนคอลัมน์คือจำนวนแชนเนล RGB คูณกับจำนวนฟิลเตอร์



ภาพที่ 3.4 ข้อมูลภาพที่ถูกแปลงให้อยู่ในรูปอะเรย์

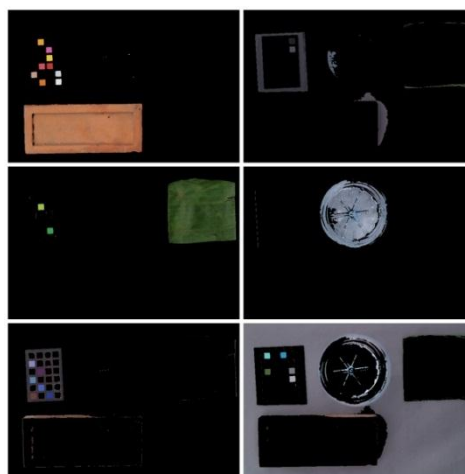
4. แบ่งส่วนภาพโดย สภาวะที่ใช้ในการแบ่งส่วนจะใช้การวัดระยะทางแบบ square Euclidean กำหนดจุดเริ่มต้นของการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ โดยใช้การจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์โดยสุ่มข้อมูลบางส่วนมาเป็นจำนวนร้อยละ 10 ของจำนวนพิกเซล เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นก่อน สุดท้ายเมื่อได้จุด centroid ของการจัดกลุ่มเค-มีนส์เบื้องต้นในครั้งนี้นี้ จะนำไปใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์กับข้อมูลทั้งหมดต่อไป สำหรับการซ้ำจะทำ 10 ครั้ง ถ้าพบว่ามียุคที่ไม่มีสมาชิก สร้างกลุ่มใหม่โดยที่สมาชิกอยู่ห่างจากจุด centroid นั้นมากที่สุด ส่วนจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งใช้ตั้งแต่ 2-10 กลุ่ม เพื่อ

ทดสอบจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม การแบ่งส่วนภาพในครั้งนี้นำอัลกอริทึมสำเร็จรูปจากโปรแกรม MATLAB<sup>®</sup> ใช้คำสั่งดังภาพที่ 3.5 โดยที่ idx คือ ฉลากที่บอกหมายเลขกลุ่มของข้อมูลนั้น และ centroid คือจุดกึ่งกลางของแต่ละกลุ่ม Im คือข้อมูลภาพที่แปลงให้อยู่ในรูปอะเรย์ ดังภาพที่ 3.5 ส่วนรายละเอียดคำสั่งสามารถศึกษาได้จากบทที่ 2 สำหรับการแบ่งส่วนภาพจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกเป็นการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ข้อมูลภาพที่ถ่ายด้วยฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดเพียงภาพเดียว ใช้เป็นตัวแทนของการถ่ายภาพแบบปกติหรือภาพจากกล้องปกติที่ไม่ได้ตัดแปร สำหรับกลุ่มที่ 2 จะใช้ข้อมูลภาพจากทุกฟิลเตอร์ ใช้เป็นตัวแทนของการถ่ายภาพแบบมัลติสเปกตรัมหรือภาพจากกล้องตัดแปร

```
[idx centroid]=kmeans(Im,2,...
'emptyaction', 'singleton',...
'replicates', 10,...
'start', 'cluster');
```

ภาพที่ 3.5 คำสั่งการจัดกลุ่มเค-มีนส์ที่ใช้ในการทดลอง

- เมื่อแบ่งส่วนภาพแล้วจะใช้ข้อมูลภาพที่ถ่ายด้วยฟิลเตอร์กันอินฟราเรด เป็นภาพหลัก แล้วนำผลที่ได้จากการแบ่งส่วนมาทำเป็นหน้ากาก เพื่อแสดงบริเวณที่ได้รับการจัดกลุ่มว่าบริเวณนั้นอยู่กลุ่มเดียวกัน โดยแล้วแยกออกเป็นกลุ่มละภาพดังภาพที่ 3.6

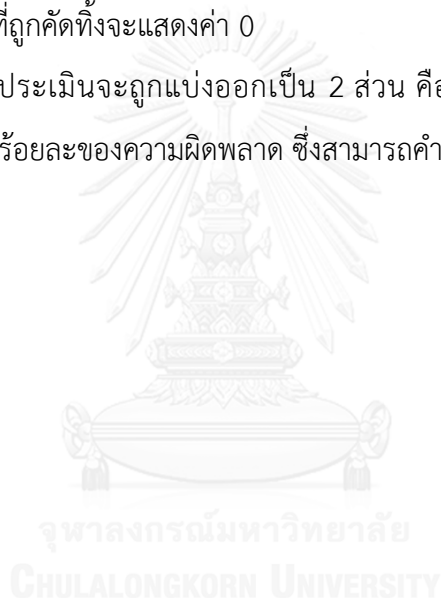


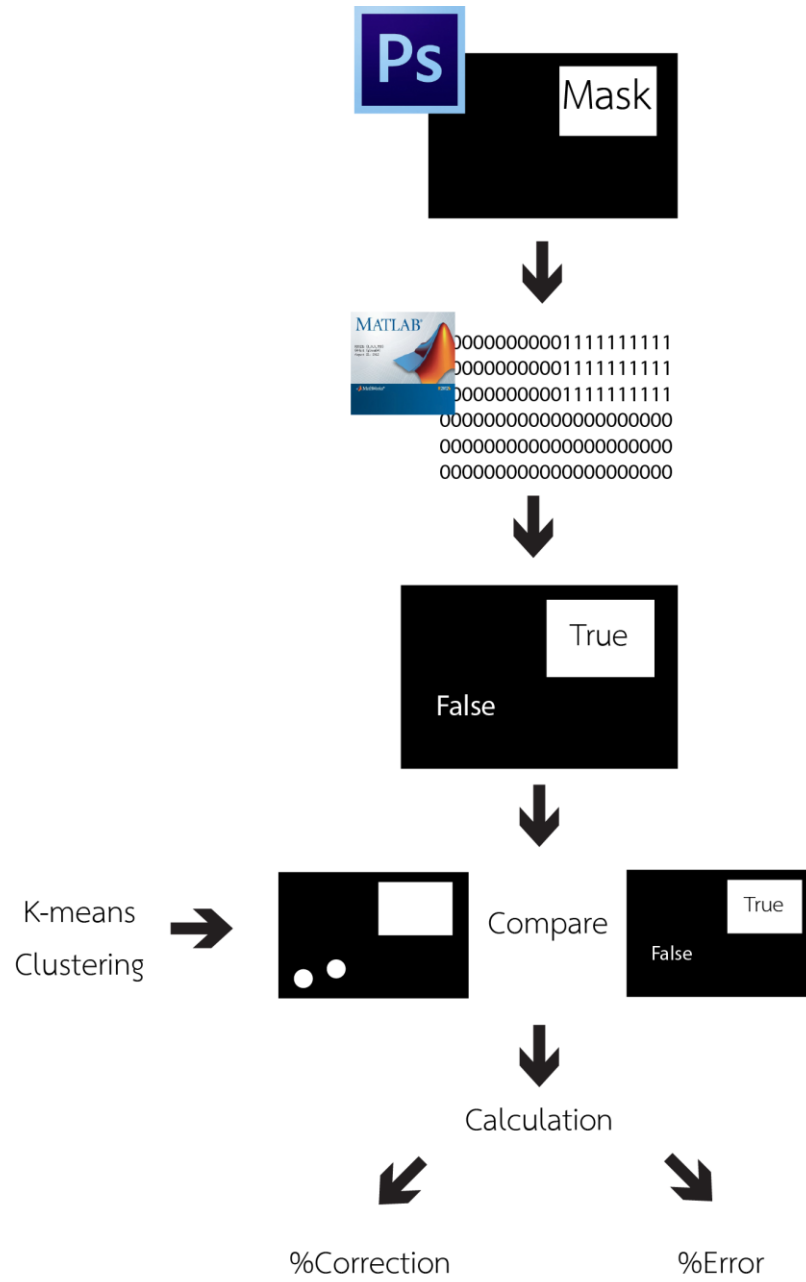
ภาพที่ 3.6 ภาพที่ได้จากการทำหน้ากากหลังจากการแบ่งส่วนภาพ

### 3.4 การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ

การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพจะประเมินโดยนับจำนวนพิกเซลของวัตถุที่สนใจก่อนการแบ่งส่วนภาพ เปรียบเทียบกับหลังการแบ่งส่วนภาพซึ่งแสดงขั้นตอนดังภาพที่ 3.6 มีรายละเอียดดังนี้

1. ใช้โปรแกรม Adobe<sup>®</sup> Photoshop<sup>®</sup> สร้างหน้ากากเพื่อคัดเลือกเฉพาะบริเวณวัตถุที่สนใจ ซึ่งคือบริเวณอิฐ น้ำ และใบตอง โดยใช้สีขาวแสดงบริเวณที่คัดเลือก ส่วนบริเวณสีดำจะถูกคัดออก
2. ใช้โปรแกรม MATLAB<sup>®</sup> แปลงให้เป็นข้อมูลแบบ logical โดยใช้คำสั่ง `im2bw` ตั้งค่าระดับไว้ที่ 0.5 ซึ่งสามารถศึกษาได้จากภาคผนวก บริเวณที่ถูกคัดเลือกจะแสดงค่า 1 ส่วนบริเวณที่ถูกคัดทิ้งจะแสดงค่า 0
3. สำหรับการประเมินจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวัดผลด้วยร้อยละของความถูกต้อง และร้อยละของความผิดพลาด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2





ภาพที่ 3.7 แผนผังแสดงวิธีการประเมินผล



$$C = \frac{A_s}{A_m} \times 100 \quad (3.1)$$

C คือ ร้อยละความถูกต้อง

$A_m$  คือ พื้นที่ของวัตถุที่สนใจซึ่งได้จากการสร้างหน้ากาดด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop (พิกเซล)

$A_s$  คือ พื้นที่ของวัตถุที่สนใจซึ่งได้จากการแบ่งส่วนภาพ (พิกเซล)

$$F = \frac{A_f}{A_m} \times 100 \quad (3.2)$$

F คือ ร้อยละของความผิดพลาด

$A_f$  คือ พื้นที่ของบริเวณอื่นที่ไม่ได้อยู่ในบริเวณวัตถุที่สนใจซึ่งได้จากการแบ่งส่วนภาพ (พิกเซล)

จากสมการที่ 3.1  $A_m$  เป็นพื้นที่อ้างอิงของวัตถุที่สนใจ ซึ่งถ้าหากภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนสามารถแบ่งได้ตรงกับพื้นที่บริเวณ  $A_m$  มาก แสดงว่าการแบ่งส่วนภาพสามารถทำได้ดี ดังนั้นค่า  $A_s$  จะมีค่าใกล้เคียงกับ  $A_m$  จะส่งผลให้ค่าร้อยละความถูกต้องมีค่าเข้าใกล้ 100 ส่วนสมการที่ 3.2 ถ้าหากภาพที่ได้การแบ่งส่วนภาพอยู่นอกบริเวณพื้นที่  $A_m$  น้อย แสดงว่าการแบ่งส่วนภาพสามารถทำได้ดี ดังนั้นค่า  $A_f$  จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งจะส่งผลให้ร้อยละความผิดพลาดมีค่าเข้าใกล้ 0 เช่นกัน

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

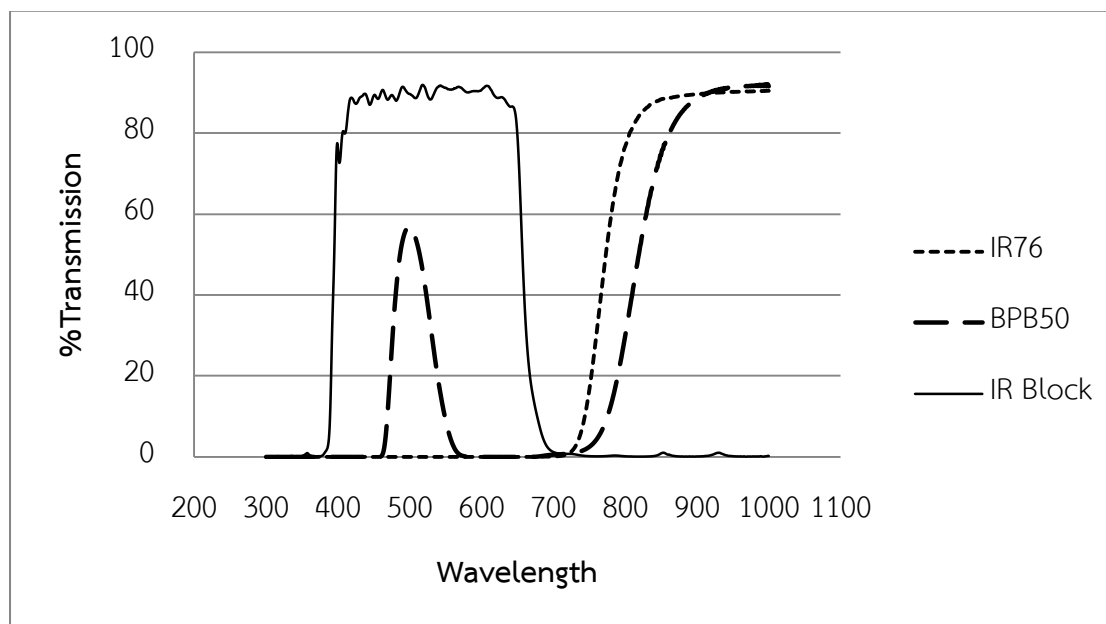
#### 4.1 การถ่ายภาพ

ผลของการถ่ายภาพได้ผลดังภาพที่ 4.1 ซึ่งภาพ A,D,G ถ่ายภาพโดยใช้ฟิลเตอร์กันอินฟราเรด ภาพ B,E,H ใช้ฟิลเตอร์ IR76 และภาพ C,F,I ใช้ฟิลเตอร์ BPB50 เมื่อสังเกตภาพ A,D,G นั้นยังให้สีเหมือนกับสีที่ตามองเห็นเพราะยังใช้ฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดผ่านบังหน้ากล้อง ถึงแม้จะใช้กล้องที่ดัดแปรให้สามารถรับรังสีอินฟราเรดได้แล้วนั้น สีของภาพจึงยังเหมือนกับที่ตามองเห็น สำหรับภาพ B,E,H พบว่ามีสีที่แตกต่างกันกับภาพ A,D,G โดยที่บริเวณใบตองมีความสว่างมากกว่าใบตองในภาพ A,D,G และบริเวณน้ำมีความสว่างน้อยกว่าภาพ A,D,G ส่วนภาพ C,F,I พบว่าใบตองมีสีชมพูซึ่งแตกต่างกันกับภาพ A,D,G



ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจากการทดลอง

จากข้อมูลการส่องผ่านเชิงสเปกตรัมของแต่ละฟิลเตอร์ในกราฟที่ 4.1 ซึ่งได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA 900 UV/VIS/NIR พบว่าฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดจะให้แสงเฉพาะช่วงแสงที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร) ผ่านเท่านั้น ส่วนฟิลเตอร์ IR76 จะยอมให้แสงผ่านตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700 นาโนเมตร เป็นต้นไป ส่วนฟิลเตอร์ BPB50 จะยอมให้แสงผ่านสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตร และยอมให้ผ่านอีกครั้งที่ความยาวคลื่นประมาณ 750 นาโนเมตร

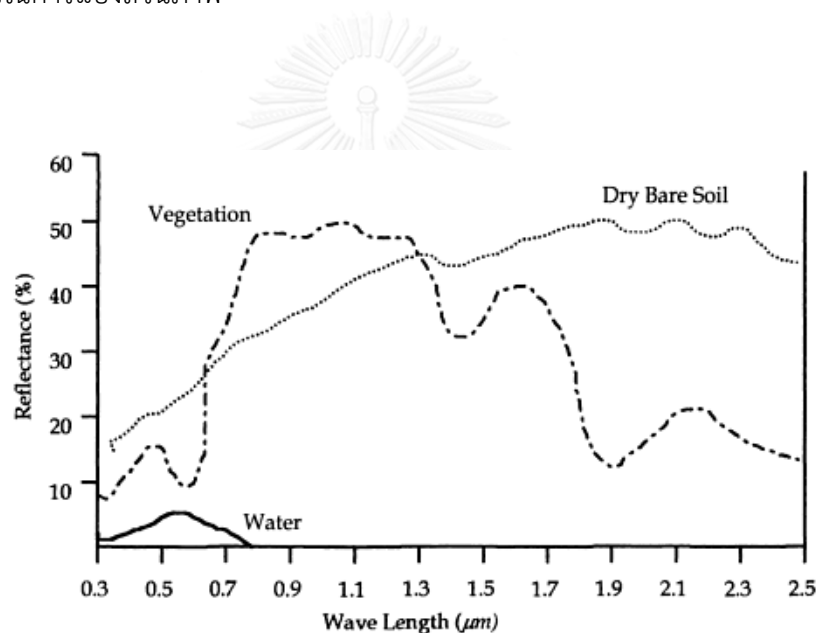


กราฟที่ 4.1 การส่องผ่านเชิงสเปกตรัมของฟิลเตอร์

เมื่อสังเกตภาพที่ 4.2 [49] จะพบว่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของพรรณไม้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรขึ้นไป การส่องผ่านเชิงสเปกตรัมของฟิลเตอร์ IR76 ในกราฟที่ 4.1 มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ประมาณ 700 นาโนเมตร และการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของตัวรับภาพดังภาพที่ 2.4 ซึ่งสามารถรับแสงได้ความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-1000 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าใช้กล้องตัดแปรที่นำฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดภายในตัวรับภาพออก และใส่ฟิลเตอร์ที่ยอมให้เฉพาะรังสีอินฟราเรดใกล้ผ่าน มาถ่ายภาพบริเวณที่เป็นพรรณไม้หรือใบไม้ จะมีความสว่างมากกว่าการถ่ายภาพ

ด้วยกล้องปกติซึ่งติดตั้งฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรด ก็จะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างการถ่ายภาพด้วยกล้องทั้งสองแบบได้ สำหรับน้ำก็เช่นกัน เมื่อสังเกตจากภาพที่ 4.2 จะพบว่ามีการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมที่ลดลงในช่วงตั้งแต่ประมาณ 700 นาโนเมตรขึ้นไป ดังนั้นเมื่อถ่ายภาพด้วยกล้องตัดแปรที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสีอินฟราเรดไถ่ผ่านจะให้ผลคือ บริเวณที่เป็นน้ำจะมีความสว่างน้อยกว่าบริเวณอื่น

จากผลดังกล่าวจึงตั้งสมมติฐานว่า การใช้ภาพที่มีการเก็บข้อมูลแสงช่วงอินฟราเรดใกล้ มาใช้ในการแบ่งส่วนภาพ จะช่วยให้แยกบริเวณที่เป็นใบไม้หรือน้ำ ออกจากบริเวณอื่นได้ดีกว่าการไม่ใช้ภาพดังกล่าวในการแบ่งส่วนภาพ



ภาพที่ 4.2 การสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของน้ำ พรรณไม้ และดิน

#### 4.2 การประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ

สำหรับการวัดผลการแบ่งส่วนภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการวัดผลความถูกต้อง และการวัดผลความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพ

#### 4.2.1 การวัดผลความถูกต้อง

การแบ่งส่วนภาพจะใช้โมเดลสีและจำนวนกลุ่มที่แตกต่างกัน แต่จากการแบ่งส่วนภาพพบว่าการใช้จำนวนกลุ่มในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์น้อยเกินไป จะส่งผลให้ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพได้สมบูรณ์ ดังนั้นจำนวนกลุ่มที่จะแสดงผลจะมีตั้งแต่ 6-10 กลุ่มเท่านั้น โดยเลือกจากจำนวนกลุ่มที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกองค์ประกอบ อีฐ ใบตอง และน้ำ ออกจากฉากหลังได้ในทุกโมเดลสี และรูปแบบของข้อมูลภาพ (ภาพปกติและมัลติสเปกตรัม) ซึ่งแสดงการแบ่งส่วนภาพที่ยังไม่สมบูรณ์ดังภาพที่ 4.3 ด้านซ้าย ซึ่งน้ำยังไม่สามารถแบ่งออกจากฉากหลังได้

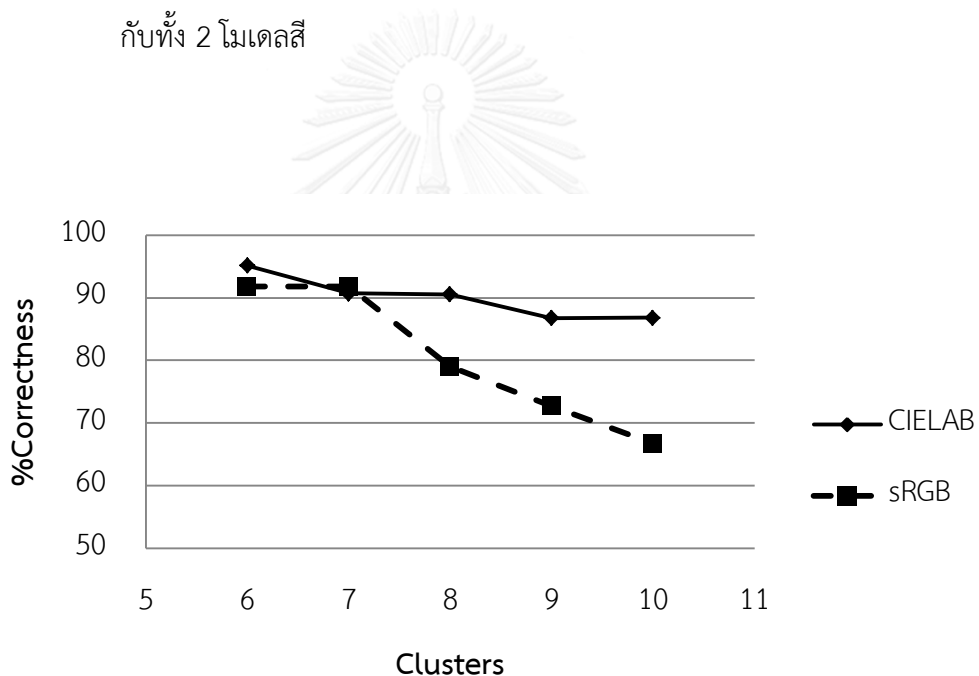
นอกจากนั้นการใช้โมเดลสี grayscale ในการถ่ายภาพแบบปกติยังไม่สามารถแบ่งส่วนภาพได้สมบูรณ์โดยที่ส่วนของอีฐและน้ำ ยังรวมให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันดังภาพที่ 4.3 ด้านขวา จึงไม่นำมาแสดงผลด้วยกราฟ เพราะผลจากภาพแสดงให้เห็นแล้วว่าไม่สามารถแบ่งส่วนภาพได้ดี ดังนั้นการแสดงผลในครั้งนี้จะแสดงเฉพาะโมเดลสี CIELAB และ sRGB โดยใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนภาพตั้งแต่ 6-10 กลุ่ม การแสดงผลจะแยกตามวัตถุที่สนใจ ซึ่งให้ผลดังนี้



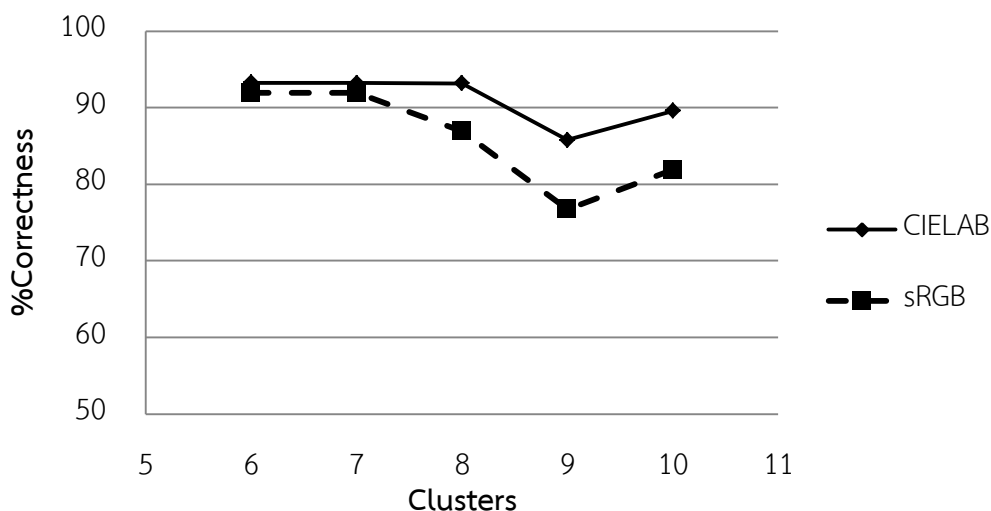
ภาพที่ 4.3 การแบ่งส่วนภาพที่ยังไม่สมบูรณ์โดยใช้จำนวนกลุ่มน้อยเกินไป (ซ้าย) และการแบ่งส่วนภาพจากการถ่ายภาพแบบปกติโดยใช้โมเดลสี grayscale (ขวา)

#### 4.2.1.1 อีฐ

จากกราฟที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าการใช้โมเดลสี CIELAB ให้ค่าความถูกต้องที่สูงกว่า sRGB ทั้งการใช้ภาพปกติและภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งค่าเฉลี่ยของร้อยละความถูกต้องของ CIELAB และ sRGB สำหรับภาพปกติคือ 89.99 และ 80.42 ตามลำดับ ส่วนภาพมัลติสเปกตรัม ค่าเฉลี่ยของร้อยละความถูกต้องของ CIELAB และ sRGB คือ 91.01 และ 85.90 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้อุปกรณ์ภาพปกติกับภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพพบว่า การใช้อุปกรณ์ภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 2 โมเดลสี

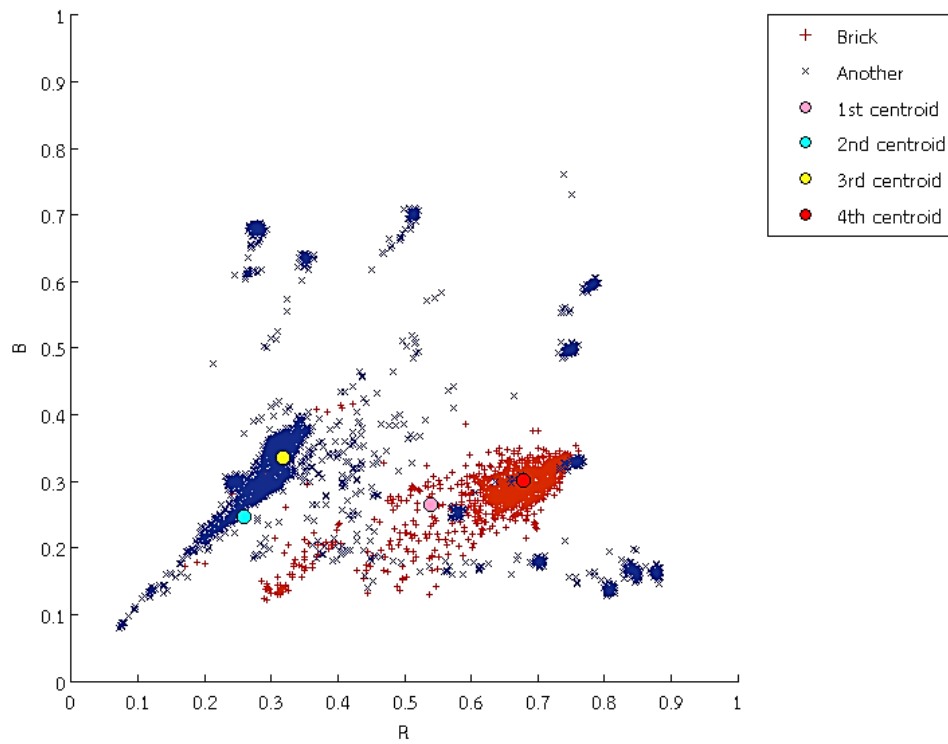


กราฟที่ 4.2 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (อีฐ)

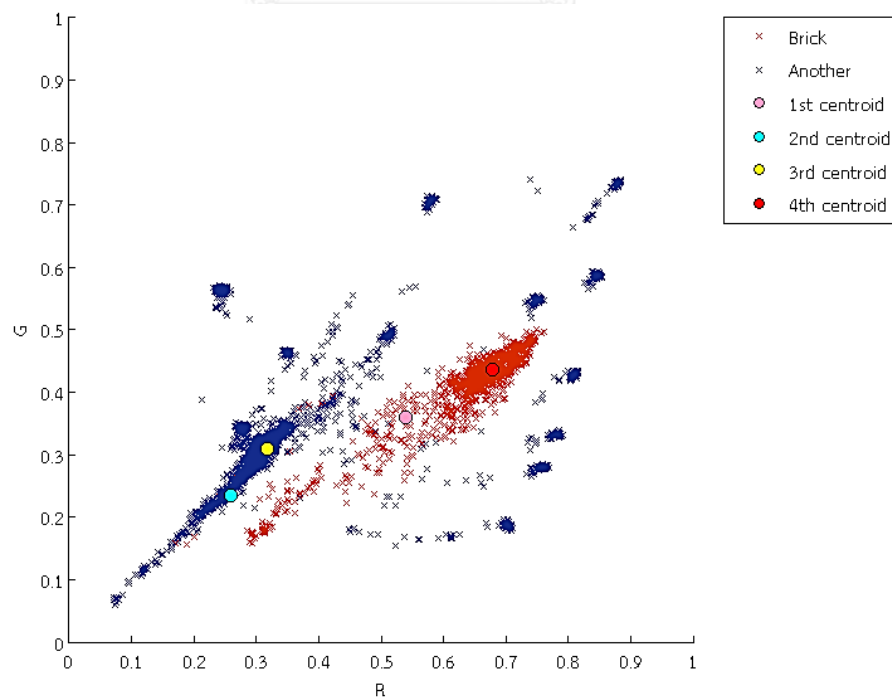


กราฟที่ 4.3 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (อิฐ)

เมื่อใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนภาพเพิ่มขึ้น ความถูกต้องมีแนวโน้มที่จะลดลง เป็นเพราะการใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นจะส่งผลให้ข้อมูลสีของวัตถุที่มีความแตกต่างกันถูกแบ่งออกไปเป็นอีกกลุ่มหนึ่ง ตัวอย่างอิฐซึ่งแสดงอยู่ในภาพที่ 4.1 มีความแตกต่างของค่าสีอยู่มาก โดยเฉพาะบริเวณด้านข้างและขอบบนของอิฐ ซึ่งมีสีที่แตกต่างจากบริเวณด้านบนของอิฐ จึงถูกแบ่งให้ไปรวมอยู่กับบริเวณอื่นที่มีความใกล้เคียงมากกว่า ดังการแสดงค่าในพิกัดสี CIELAB ของภาพที่ถ่ายด้วยฟิลเตอร์ป้องกันอินฟราเรดจากภาพที่ 4.1 D เนื่องจากภาพดังกล่าวมีส่วนด้านข้างของอิฐที่เห็นชัดเจนจึงนำข้อมูลภาพมาแสดงเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของข้อมูลสี เมื่อนำข้อมูลที่ได้ออกมาพล็อตจะได้ดังกราฟที่ 4.4-4.6 ข้อมูลของอิฐแสดงด้วย Brick ส่วนข้อมูลของบริเวณอื่นนอกจากอิฐแสดงด้วย Another เมื่อสังเกตจากกราฟพบว่าอิฐมีค่าสีที่ต่างกัน จึงทำให้บางส่วนถูกแบ่งส่วนออกไปโดยสังเกตจาก centroid ที่ 2 กับ 3 ซึ่งในบริเวณที่ใกล้กับ centroid ดังกล่าวก็ยังมีข้อมูลสีของอิฐอยู่ใกล้กับข้อมูลสีของบริเวณอื่นนอกจากวัตถุที่สนใจ จึงทำให้บางส่วนของอิฐถูกแบ่งส่วนออกจากบริเวณอิฐส่วนใหญ่ และสามารถยืนยันผลได้จากภาพที่ 4.4 ซึ่งแสดงส่วนของอิฐที่ถูกแบ่งส่วนออกจากกัน โดยที่ภาพที่ A ถึง D นั้นมี centroid ของข้อมูลใน centroid ที่ 1 ถึง 4 ในกราฟที่ 4.4-4.6

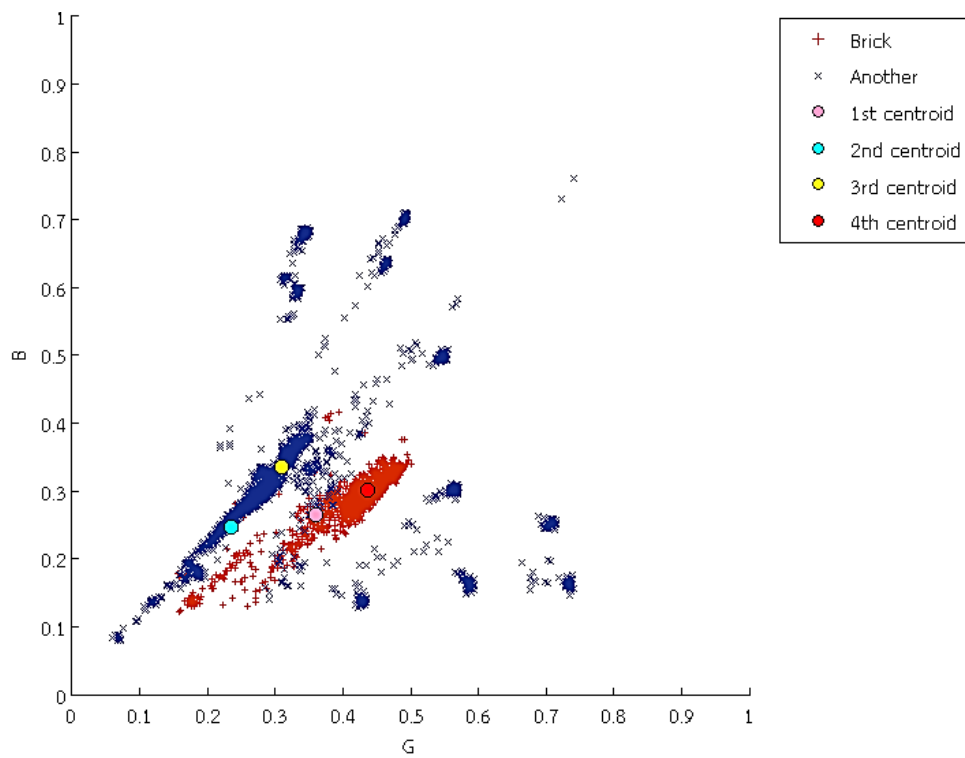


กราฟที่ 4.4 พิกัดสีของข้อมูลอิฐเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ B

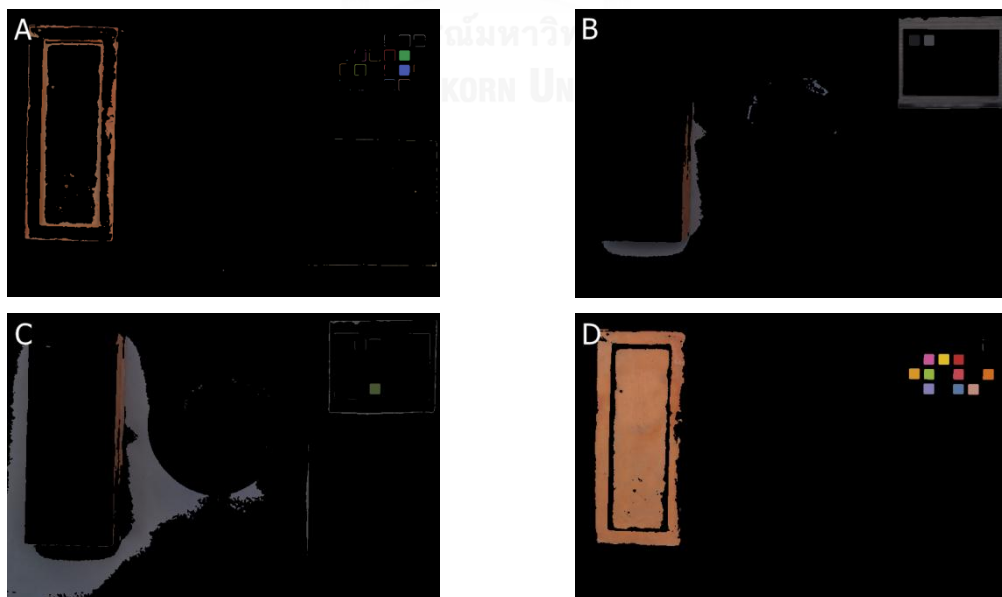


กราฟที่ 4.5 พิกัดสีของข้อมูลอิฐเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ G





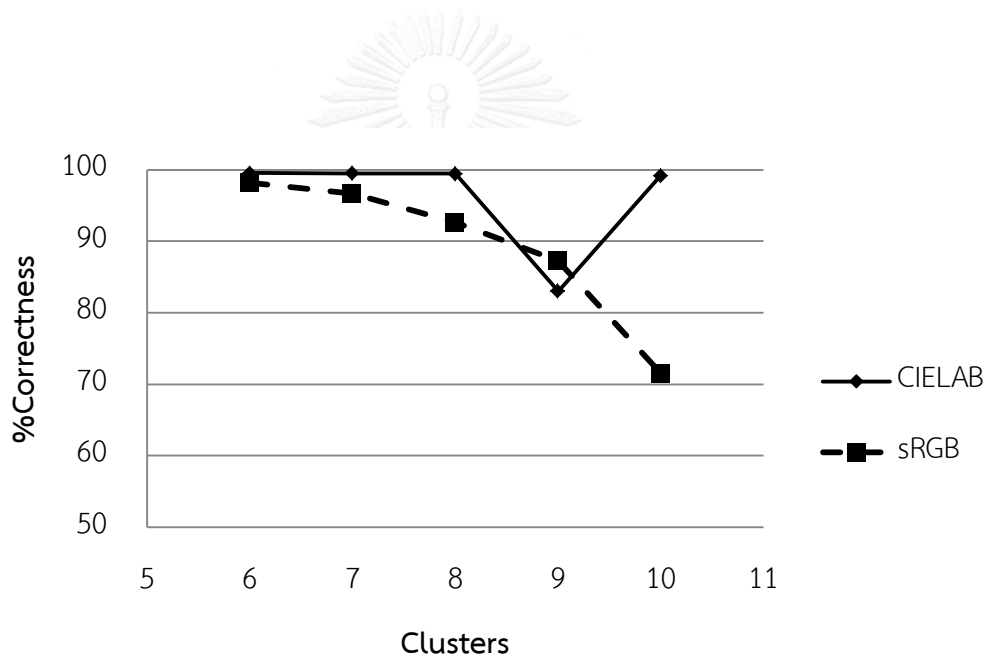
กราฟที่ 4.6 พิกัดสีของข้อมูลอิฐเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน B กับ G



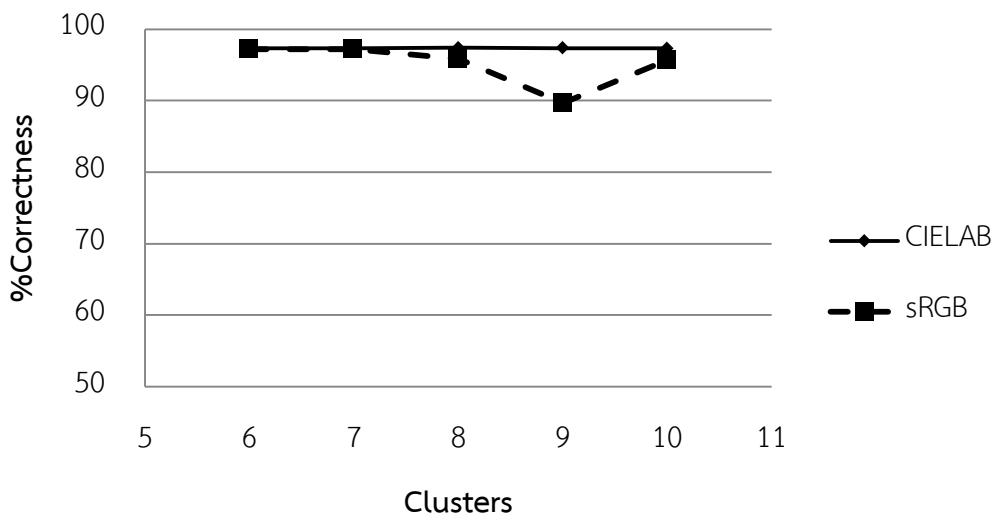
ภาพที่ 4.4 ภาพของอิฐที่ถูกแบ่งส่วนออกจากกัน

#### 4.2.1.2 ใตอง

ร้อยละความถูกต้องของภาพปกติที่แปลงเป็นโมเดลสี CIELAB มีค่ามากกว่า sRGB เมื่อสังเกตจากกราฟที่ 4.5 โดยที่ค่าเฉลี่ยของร้อยละความถูกต้องของ CIELAB มีค่า 96.14 ส่วน sRGB มีค่า 89.23 สำหรับภาพมัลติสเปกตรัมเมื่อสังเกตจากกราฟที่ 4.6 พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันโดยที่ค่าเฉลี่ยร้อยละความถูกต้องของ CIELAB มีค่า 97.36 ส่วน sRGB มีค่า 95.11 และจากผลดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ภาพปกติกับภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพพบว่าการใช้ภาพมัลติสเปกตรัมให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 2 โมเดลสี

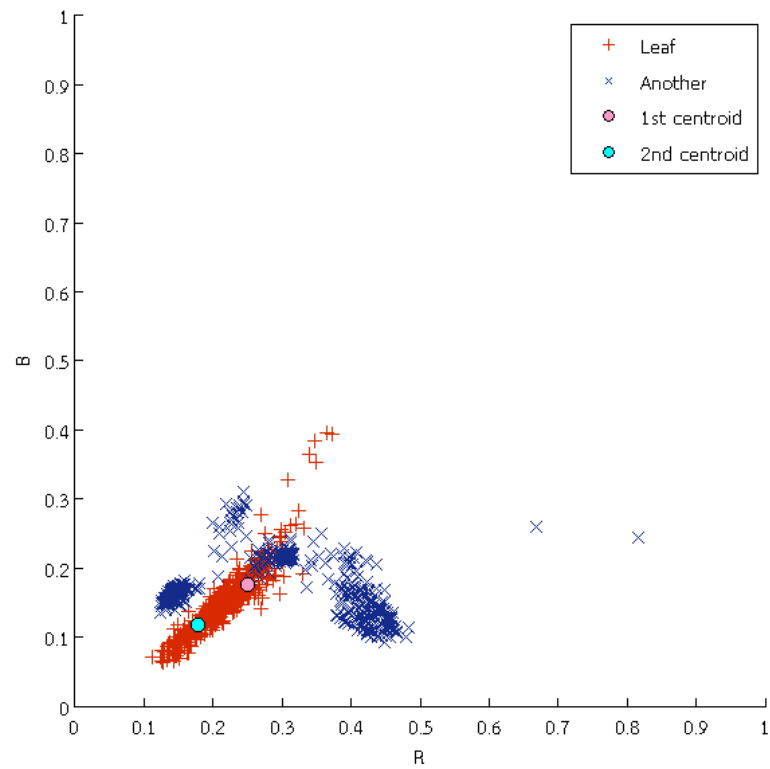


กราฟที่ 4.7 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (ใตอง)

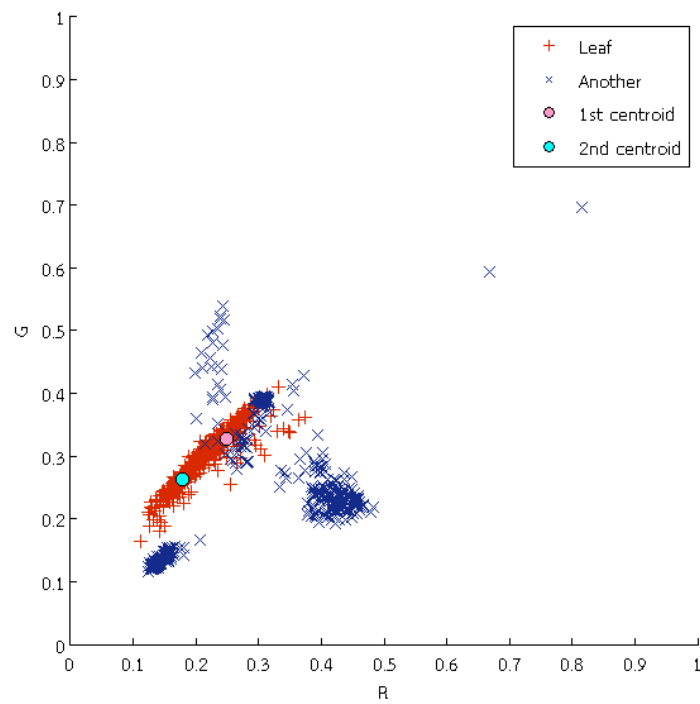


กราฟที่ 4.8 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (ใบตอง)

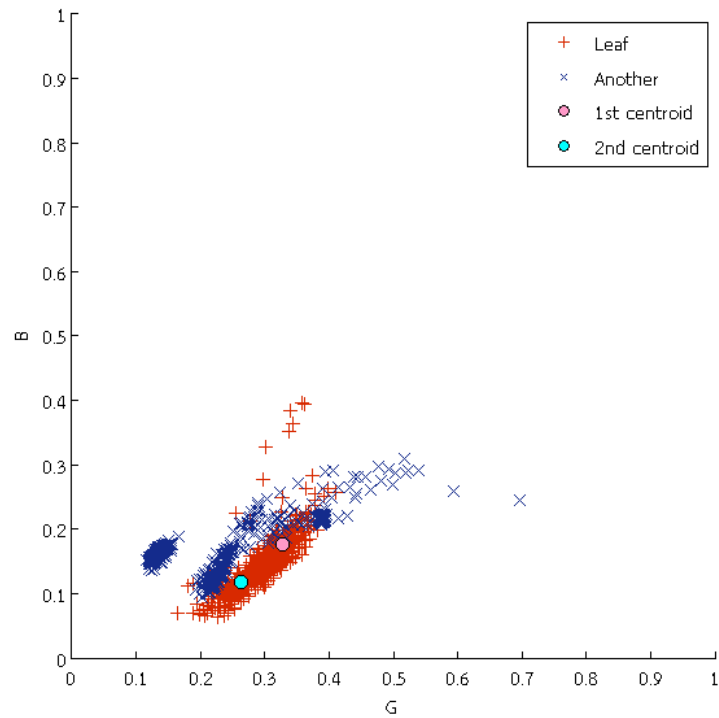
เมื่อใช้จำนวนกลุ่มมากขึ้นพบว่าภาพปกติเมื่อใช้โมเดลสี sRGB จะมีค่าร้อยละความถูกต้องลดลง ซึ่งเป็นเพราะข้อมูลสีของใบตองนั้นถูกแบ่งออกจากกัน เป็นเพราะใบตองมีข้อมูลสีที่มีความแตกต่างกัน จากกราฟที่ 4.9-4.11 แสดงข้อมูลของใบตอง (แสดงด้วย Leaf) เทียบกับบริเวณอื่นที่ถูกแบ่งส่วนมารวมกัน (แสดงด้วย Another) ซึ่งได้จากการแบ่งส่วนภาพโดยใช้โมเดลสี sRGB และ ใช้ข้อมูลภาพมัลติสเปกตรัม เมื่อสังเกตจากจุด centroid ทั้งสอง และภาพที่ 4.5 โดยที่ภาพ A มี centroid ของข้อมูลเป็น centroid ที่ 1 และภาพ B มี centroid ของข้อมูลเป็น centroid ที่ 2 พบว่าข้อมูลของใบตองนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ จึงทำให้เมื่อใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนที่มากขึ้น ใบตองจะถูกแบ่งส่วนแยกออกจากกัน สำหรับโมเดลสี CIELAB ให้ค่าค่อนข้างคงที่ แต่ที่จำนวน 9 กลุ่มกลับให้ค่าน้อยกว่า 8 กลุ่ม กับ 10 กลุ่ม ซึ่งเป็นเพราะที่ 9 กลุ่ม ใบตองถูกแบ่งออกจากกันเป็น 2 ส่วนใหญ่ เมื่อสังเกตจากกราฟที่ 4.12-4.14 ซึ่งแสดงพิกัดค่าสีของภาพที่ 4.1A พบว่า 2 ส่วนนั้นมีค่า  $L^*$  ที่แตกต่างกันจึงทำให้ 2 ส่วนนั้นถูกแบ่งออกจากกัน



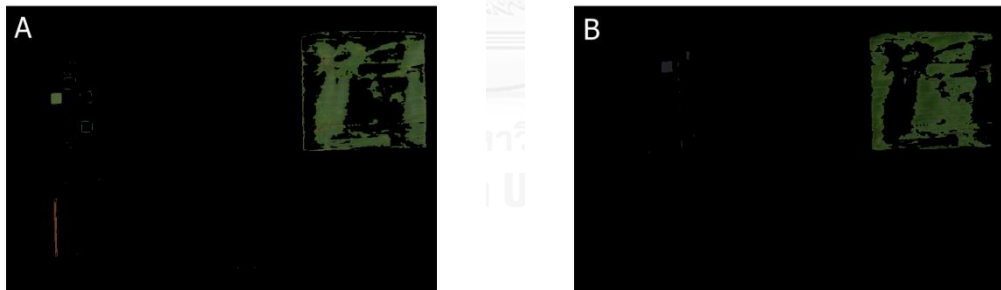
กราฟที่ 4.9 พิกัดสีของข้อมูลใบตองเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ B



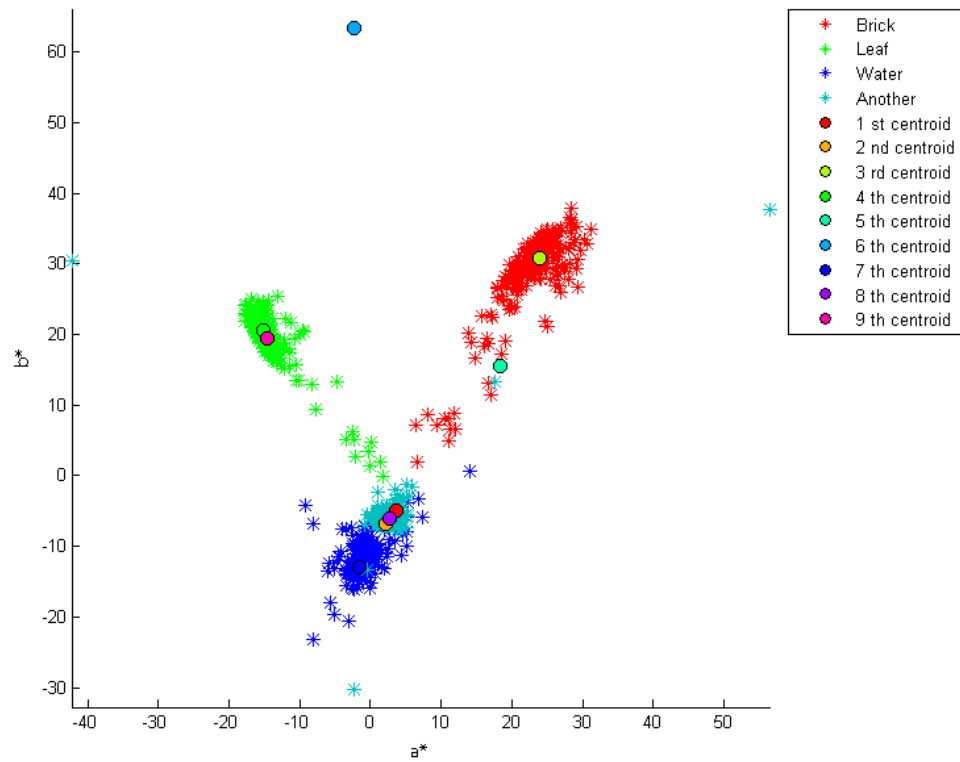
กราฟที่ 4.10 พิกัดสีของข้อมูลใบตองเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ G



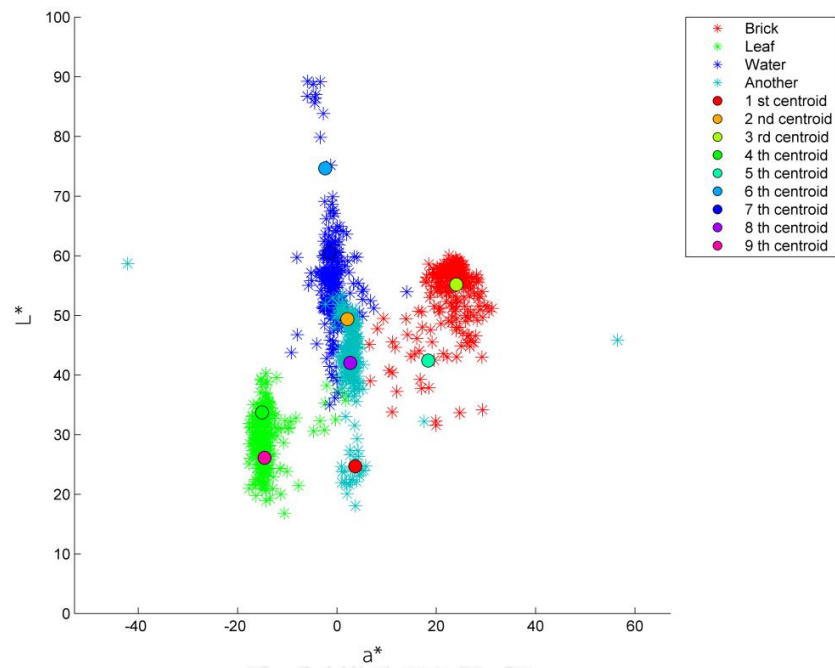
กราฟที่ 4.11 พิกัดสีของข้อมูลใบตองเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน B กับ G



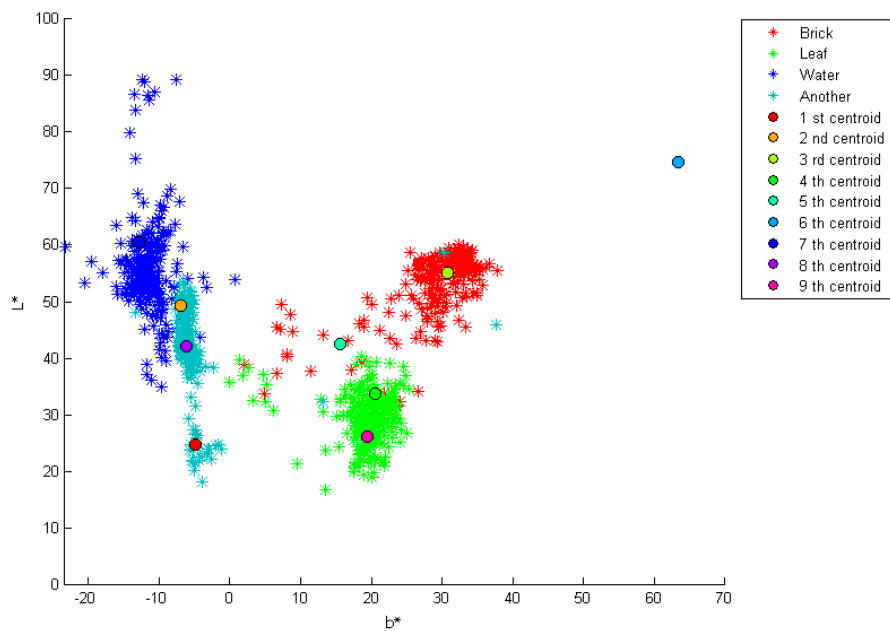
ภาพที่ 4.5 ภาพของใบไม้ซึ่งถูกแบ่งส่วนออกจากกัน



กราฟที่ 4.12 พิกัดสีของภาพที่ 4.1A โดยแสดงจุด centroid สำหรับการแบ่งกลุ่ม 9 กลุ่ม ใช้  
โมเดลสี CIELAB พล็อตด้วยแกน  $a^*$  กับ  $b^*$



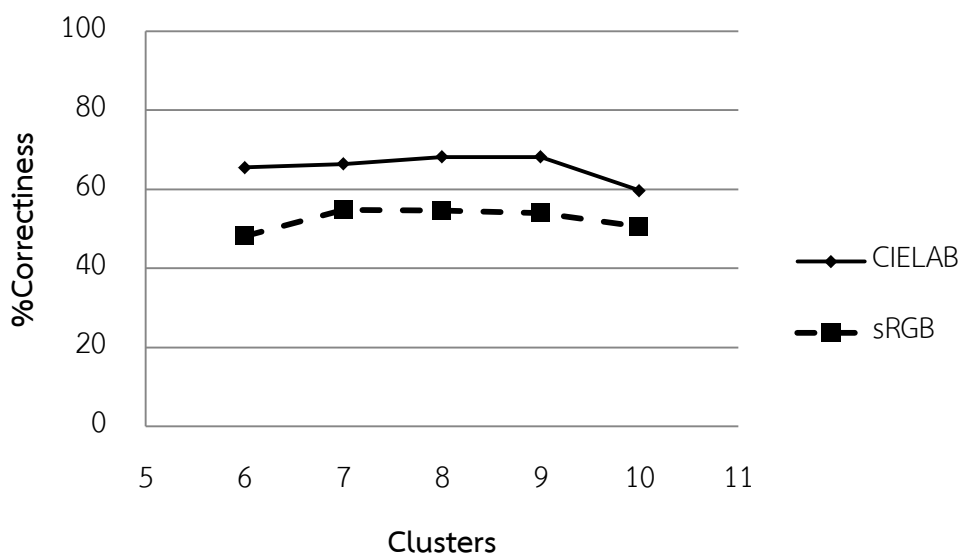
กราฟที่ 4.13 พิกัดสีของภาพที่ 4.1A โดยแสดงจุด centroid สำหรับการแบ่งกลุ่ม 9 กลุ่ม ใช้โมเดลสี CIELAB พล็อตด้วยแกน  $L^*$  กับ  $a^*$



กราฟที่ 4.14 พิกัดสีของภาพที่ 4.1A โดยแสดงจุด centroid สำหรับการแบ่งกลุ่ม 9 กลุ่ม ใช้โมเดลสี CIELAB พล็อตด้วยแกน  $L^*$  กับ  $b^*$

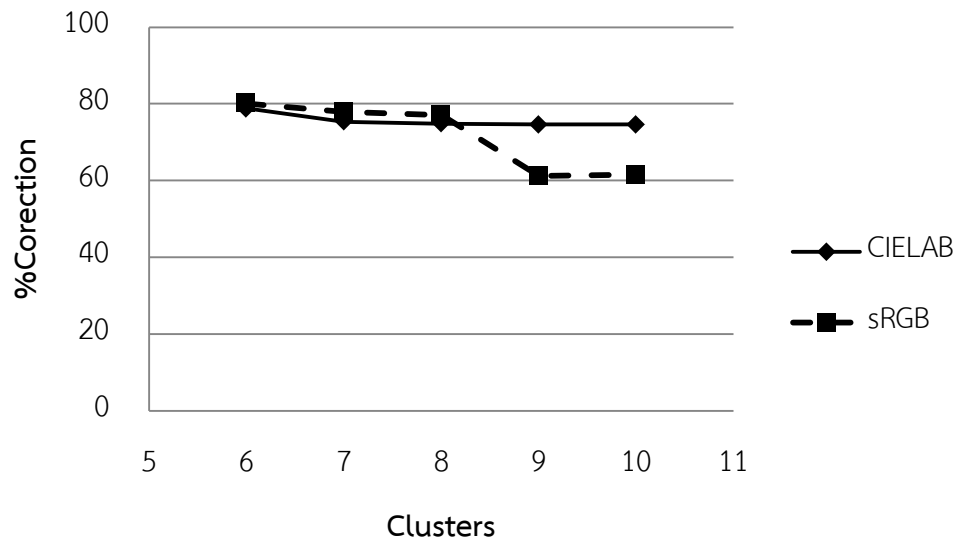
#### 4.2.1.3 น้ำ

ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกตินั้น โมเดลสี CIELAB ให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่า sRGB โดยที่ค่าเฉลี่ยของร้อยละความถูกต้องของโมเดลสี CIELAB เท่ากับ 65.58 ส่วนโมเดลสี sRGB เท่ากับ 52.42 สำหรับการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัมนั้นโมเดลสี CIELAB ก็มีค่าเฉลี่ยร้อยละของความถูกต้องที่มากกว่า โมเดลสี sRGB โดยที่ของโมเดลสี CIELAB มีค่าเท่ากับ 75.64 ส่วนของ sRGB มีค่าเท่ากับ 71.59 จากผลที่กล่าวมาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพปกติกับภาพมัลติสเปกตรัมพบว่าเมื่อเทียบโมเดลสีเดียวกัน การใช้ภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพมีร้อยละความถูกต้องมากกว่าการใช้ภาพปกติ



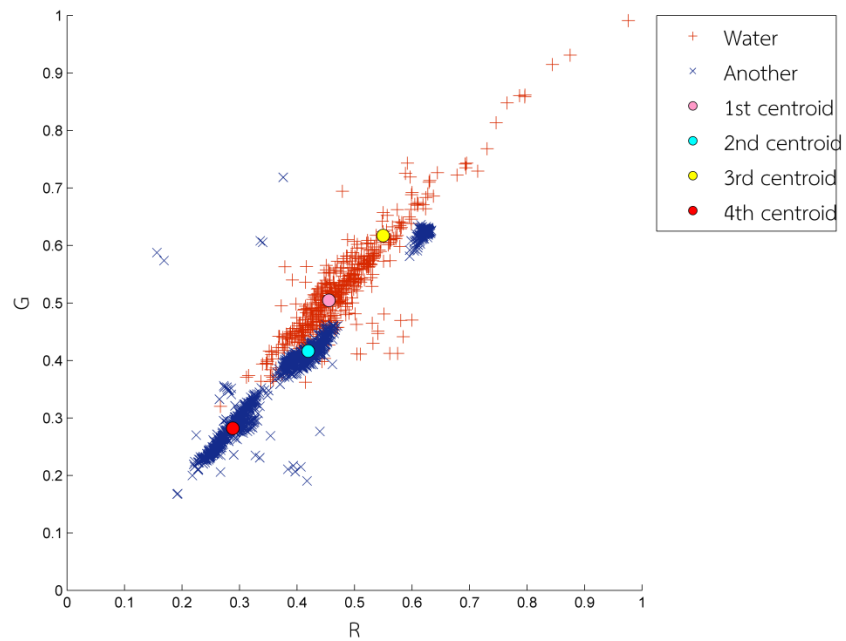
กราฟที่ 4.15 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (น้ำ)



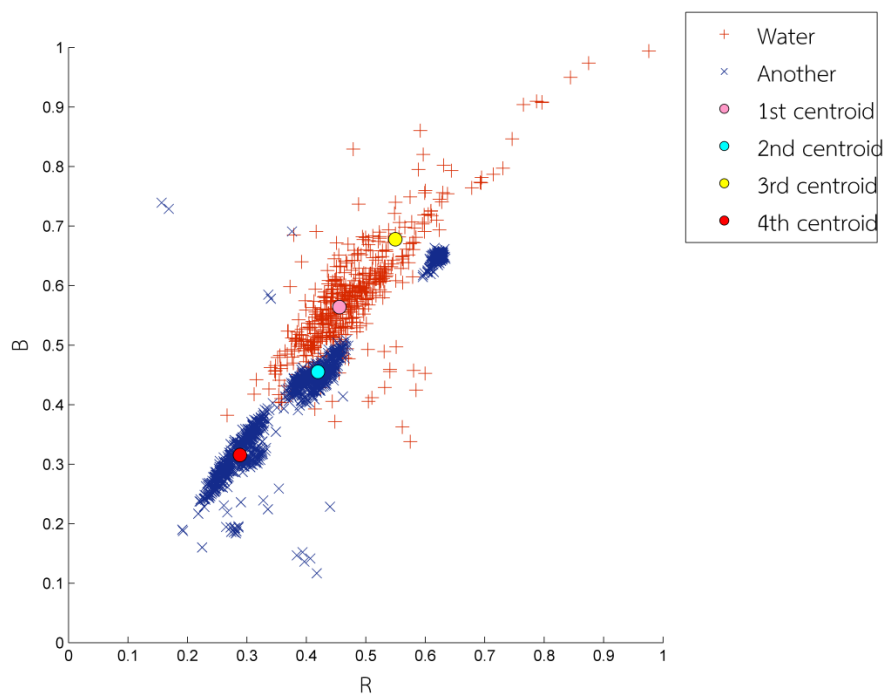


กราฟที่ 4.16 ร้อยละความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (น้ำ)

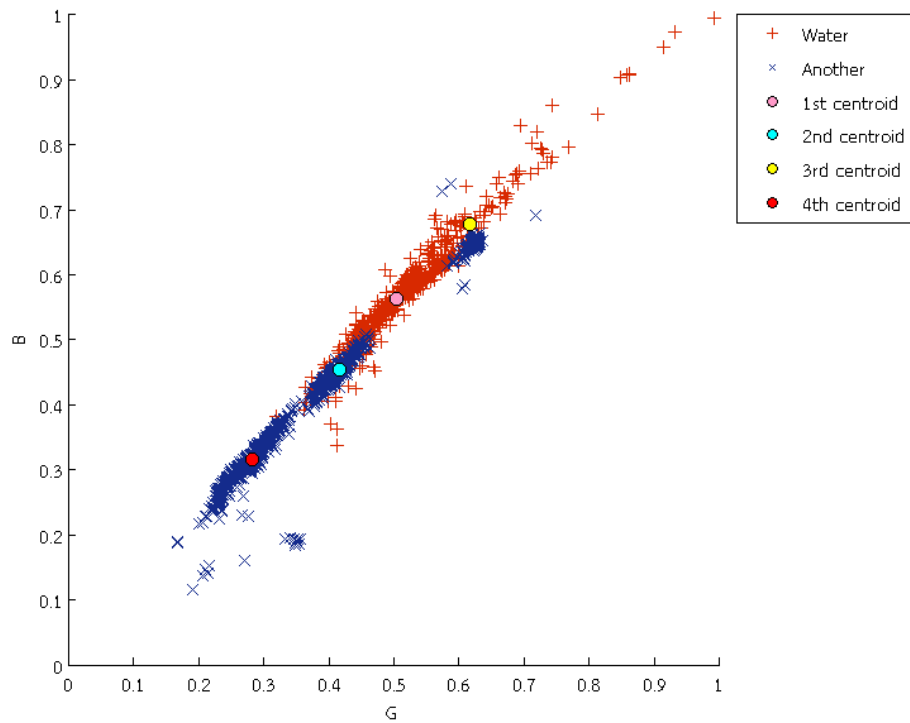
เมื่อพิจารณาถึงจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วนพบว่า ในการใช้ภาพปกติในการแบ่งส่วนภาพมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยทั้งในโมเดลสี CIELAB กับ sRGB ส่วนการใช้ภาพมัลติสเปกตรัมพบว่าโมเดลสี CIELAB ก็ยังให้ร้อยละความถูกต้องที่ค่อนข้างคงที่ แต่สำหรับโมเดลสี sRGB พบว่าเมื่อใช้จำนวนกลุ่มตั้งแต่ 9 ขึ้นไปพบว่าร้อยละความถูกต้องมีค่าที่ลดลงเมื่อสังเกตจากกราฟที่ 4.17-4.19 พบว่าบริเวณข้อมูลพิกัดสีของน้ำมีจุด centroid อยู่ 2 จุด และมีข้อมูลใกล้เคียงกับข้อมูลอื่น ดังนั้นข้อมูลจะถูกแบ่งแยกออกจากกันและถูกนำไปรวมกับบริเวณอื่นของภาพ จึงทำให้ภาพบริเวณที่เป็นน้ำถูกแบ่งส่วนให้ออกจากกัน ยืนยันผลได้จากภาพที่ 4.6 ซึ่งแสดงส่วนของน้ำที่ถูกแบ่งส่วนออกจากกันแล้วไปรวมกับบริเวณอื่นของภาพ โดยที่ภาพ A-D มี centroid ของข้อมูลคือ centroid ที่ 1-4 ตามลำดับ ซึ่งแสดงในกราฟที่ 4.17-4.19



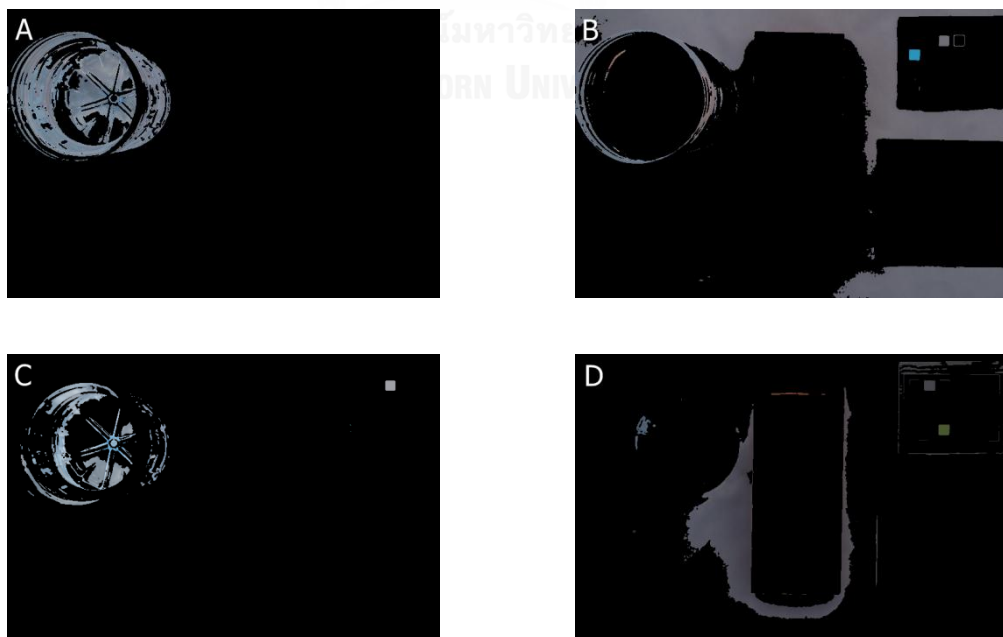
กราฟที่ 4.17 พิกัดสีของข้อมูลน้ำเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ G



กราฟที่ 4.18 พิกัดสีของข้อมูลน้ำเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน R กับ B



กราฟที่ 4.19 พิกัดสีของข้อมูลน้ำเทียบกับข้อมูลอื่นโดยใช้โมเดลสี sRGB ในแกน B กับ G



ภาพที่ 4.6 ภาพของน้ำซึ่งถูกแบ่งส่วนออกจากกัน

จากผลทั้งหมดพบว่าการใช้ภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพนั้นให้ค่าร้อยละความถูกต้องที่มากกว่าการใช้ภาพปกติ ซึ่งเป็นเพราะการใช้ภาพมัลติสเปกตรัมนั้นมีข้อมูลที่ภาพที่มากกว่า

#### 4.2.2 การวัดผลความผิดพลาด

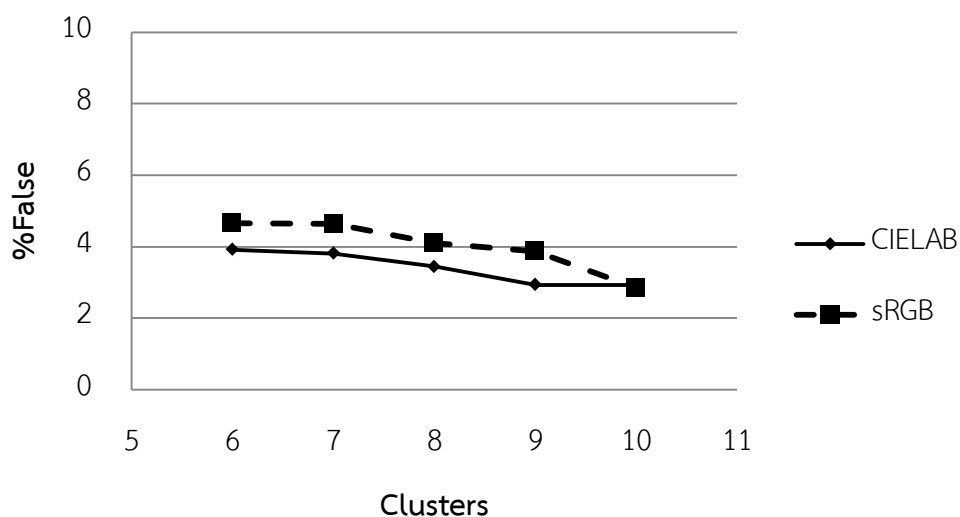
สืบเนื่องจากผลของการแบ่งส่วนที่ยังไม่สมบูรณ์ของโมเดลสี grayscale และการใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนภาพที่น้อยเกินไปจากหัวข้อที่ 4.2.1 ดังนั้นการแสดงผลจะแสดงเฉพาะโมเดลสี sRGB และ CIELAB ส่วนจำนวนกลุ่มที่ใช้จะแสดงตั้งแต่ 6-10 กลุ่ม เช่นเดียวกับการวัดผลความถูกต้อง ซึ่งผลมีดังต่อไปนี้

##### 4.2.2.1 อีฐ

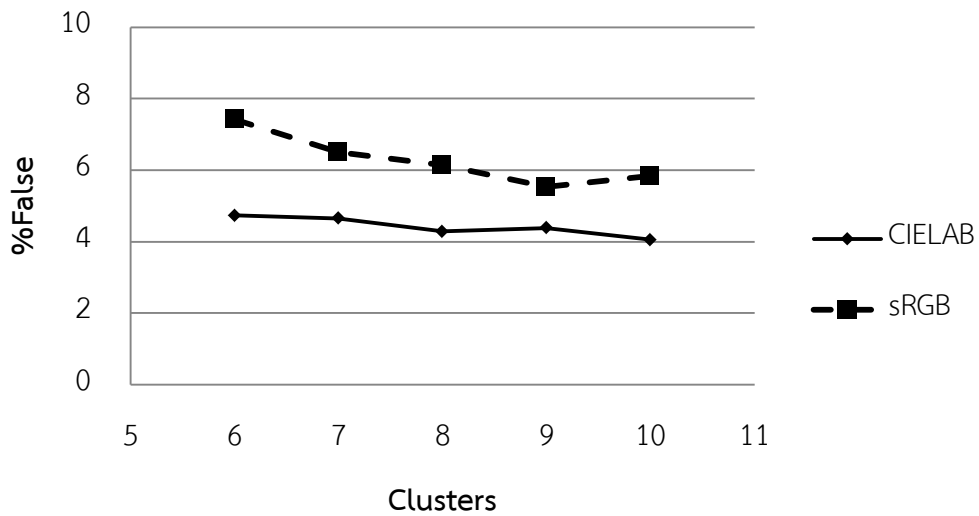
ร้อยละของความผิดพลาดในการแบ่งส่วนด้วยภาพปกติแสดงในกราฟที่ 4.20 ซึ่งพบว่าการใช้โมเดลสี CIELAB ให้ค่าร้อยละของความผิดพลาดน้อยกว่าโมเดลสี sRGB โดยที่ค่าเฉลี่ยของ CIELAB เท่ากับ 3.41 ส่วนค่าเฉลี่ยของ sRGB เท่ากับ 4.02 สำหรับการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัมนั้นแสดงในกราฟที่ 4.21 พบว่าโมเดลสี CIELAB ก็ให้ค่าร้อยละความผิดพลาดที่น้อยกว่า sRGB เช่นกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยของ CIELAB เท่ากับ 4.42 ส่วนค่าเฉลี่ยของ sRGB เท่ากับ 6.29 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ภาพปกติกับภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพพบว่า การใช้ภาพปกตินั้นให้ร้อยละความผิดพลาดที่น้อยกว่าการใช้ภาพมัลติสเปกตรัม

ส่วนการใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละความผิดพลาดมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งเป็นเพราะจำนวนกลุ่มที่ใช้มากขึ้นจะทำให้บริเวณที่มีความแตกต่างกันมากถูกแบ่งส่วนออกไป ดังนั้นบริเวณที่แบ่งส่วนผิดในการใช้จำนวนกลุ่มน้อยๆ จะถูกแบ่งส่วนออกไป จึงทำให้ร้อยละความผิดพลาดมีค่าลดลงเมื่อสังเกตจากกราฟที่

4.20-4.21 เมื่อสังเกตจากภาพที่ 4.7 ซึ่งภาพซ้ายเป็นภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนโดยใช้จำนวน 6 กลุ่ม ภาพกลางเป็นภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนโดยใช้ 10 กลุ่ม และภาพขวาแสดงบริเวณของตัวอย่างสี GretagMacbeth ซึ่งถูกย้ายกลุ่มไปอยู่อีกกลุ่มหนึ่ง (ในวงกลมสีแดง) ดังนั้นการใช้จำนวนกลุ่มที่น้อยเกินไป จะส่งผลให้การแบ่งส่วนยังพบความผิดพลาดมาก แต่เมื่อใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนที่มากขึ้น จะส่งผลให้บริเวณที่มีค่าสีที่แตกต่างมากถูกแบ่งส่วนไปอยู่อีกกลุ่ม ทำให้ความผิดพลาดในการแบ่งส่วนนั้นลดลง



กราฟที่ 4.20 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (อีฐู)



กราฟที่ 4.21 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (อิฐ)



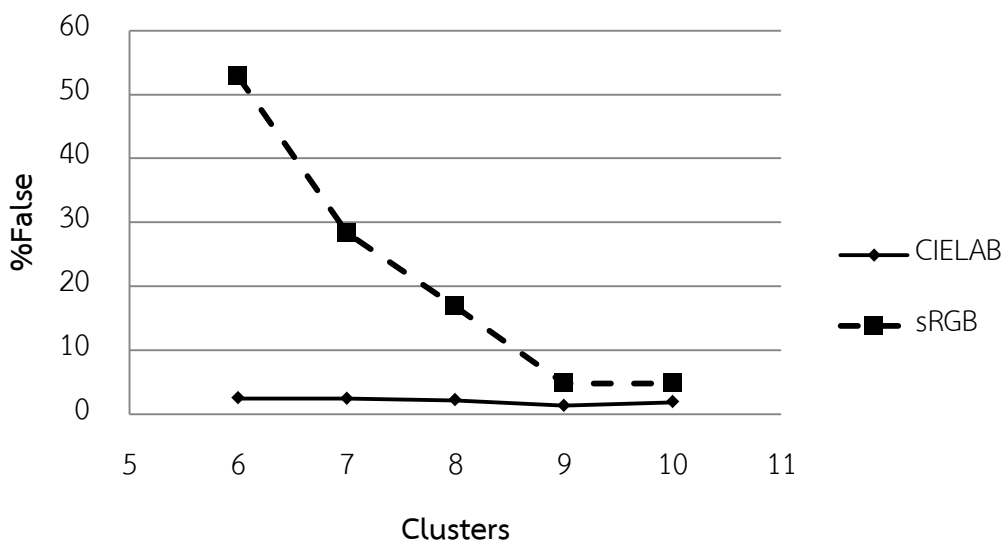
ภาพที่ 4.7 การแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกับค่าความผิดพลาดของอิฐ

#### 4.2.2.2 ใตอง

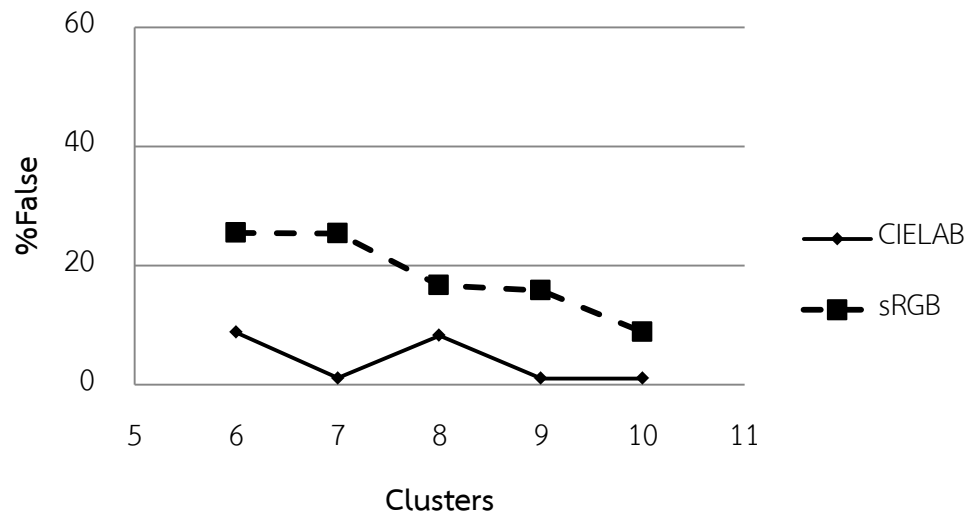
ร้อยละของความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ภาพปกติแสดงในกราฟที่ 4.22 จากกราฟพบว่าโมเดลสี CIELAB นั้นให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่าโมเดลสี sRGB ซึ่งค่าเฉลี่ยของร้อยละของความผิดพลาดสำหรับ CIELAB และ sRGB เท่ากับ 2.01 และ 21.50 ตามลำดับ ส่วนร้อยละความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ภาพมัลติสเปกตรัมแสดงในกราฟที่ 4.23 จากกราฟพบว่าโมเดลสี CIELAB นั้นก็ให้ค่าร้อยละของความผิดพลาดที่น้อยกว่าการใช้โมเดลสี sRGB โดยที่ค่าเฉลี่ยของร้อยละของความผิดพลาดสำหรับ CIELAB และ sRGB เท่ากับ 4.02 และ 18.40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบร้อยละความผิดพลาดระหว่างการใช้อุปกรณ์กับ

ภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วน พบว่าการใช้ภาพปกติให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่าการใช้ภาพมัลติสเปกตรัมสำหรับโมเดลสี CIELAB ส่วนโมเดลสี sRGB นั้นให้ผลที่กลับกัน

สำหรับจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วนนั้นพบว่าในโมเดลสี sRGB เมื่อใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความผิดพลาดนั้นลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่อใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้น บริเวณที่แบ่งส่วนผิดพลาดซึ่งใช้จำนวนกลุ่มน้อย จะถูกแบ่งส่วนเป็นอีกกลุ่มหนึ่ง เนื่องจากข้อมูลมีระยะห่างระหว่างจุด centroid เดิมมากกว่า จุด centroid ที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้บริเวณที่แบ่งส่วนผิดพลาดนั้นถูกแบ่งส่วนออกไป จากที่กล่าวมานี้ยืนยันได้จากภาพที่ 4.8 โดยที่ภาพด้านซ้ายเป็นภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพซึ่งใช้จำนวน 6 กลุ่ม ส่วนภาพด้านขวาใช้จำนวน 10 กลุ่ม จากภาพพบว่า บริเวณอื่นนอกจากใบตองที่ถูกแบ่งส่วนเข้ามามีน้อยลง



กราฟที่ 4.22 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (ใบตอง)



กราฟที่ 4.23 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (ใบตอง)



ภาพที่ 4.8 การแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกับค่าความผิดพลาดของใบตอง

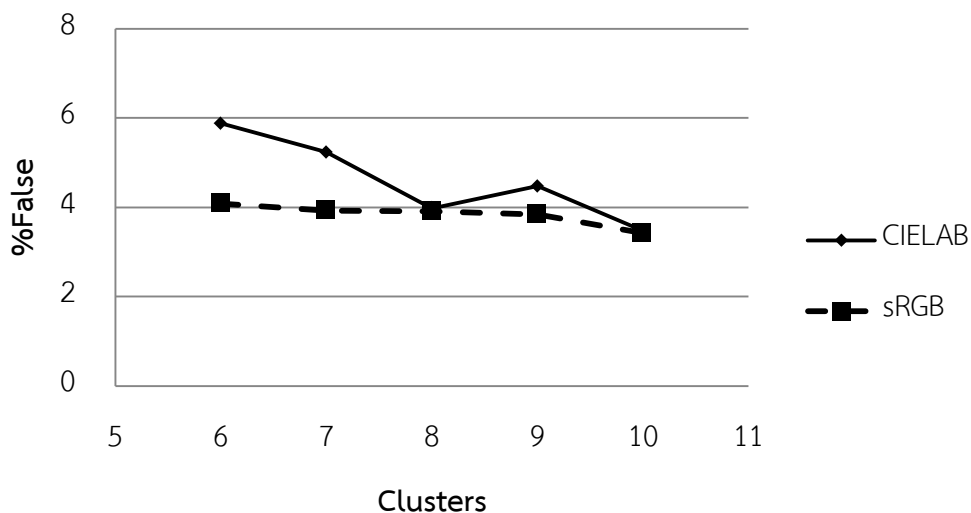
#### 4.2.2.3 น้ำ

ร้อยละของความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติแสดงดังกราฟที่ 4.24 จากกราฟพบว่าการใช้โมเดลสี sRGB ให้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า CIELAB ซึ่งค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดของ sRGB เท่ากับ 3.84 ส่วน CIELAB มีค่าเท่ากับ 4.61 สำหรับร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัมนั้นพบว่าให้ผลเช่นเดียวกันคือ sRGB ให้ค่าร้อยละความผิดพลาดที่น้อยกว่า CIELAB เช่นเดียวกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของร้อยละของความผิดพลาดในโมเดลสี

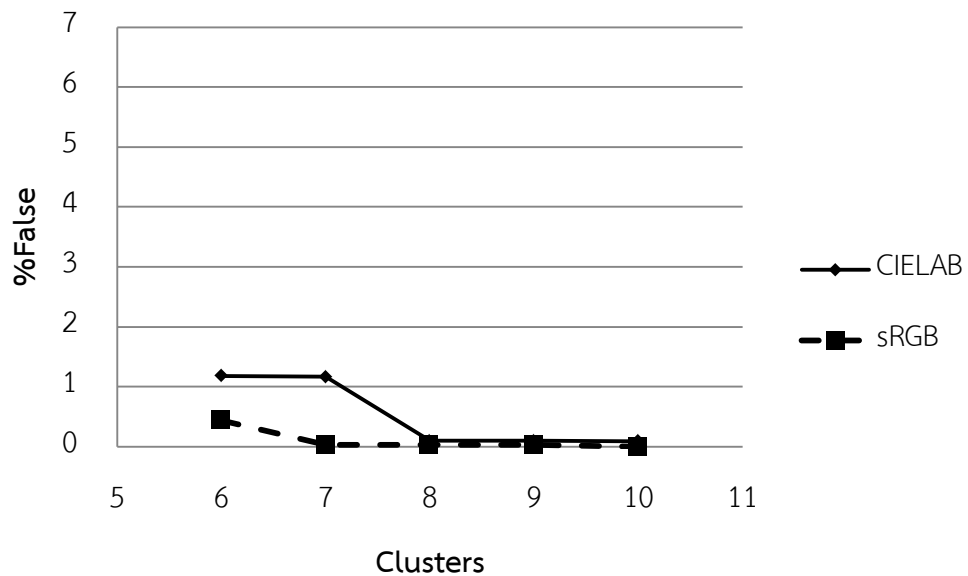


sRGB เท่ากับ 0.11 ส่วน CIELAB เท่ากับ 0.53 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้อภาพปกติกับภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพพบว่า การใช้อภาพมัลติสเปกตรัมนี้ให้ค่าร้อยละของความผิดพลาดน้อยกว่าการใช้อภาพปกติในการแบ่งส่วนภาพ

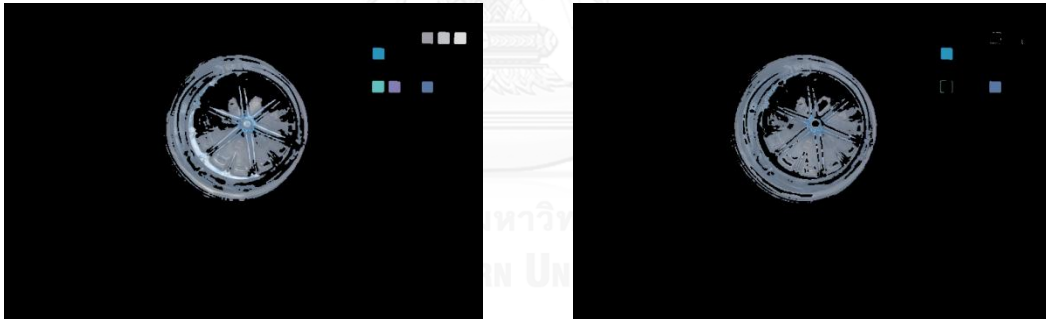
เมื่อสังเกตผลจากจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วนพบว่า เมื่อใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนเพิ่มมากขึ้น ร้อยละของความผิดพลาดมีแนวโน้มที่จะลดลง ทั้งโมเดลสี CIELAB กับ sRGB และการใช้อภาพปกติกับภาพมัลติสเปกตรัม ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นจะดึงข้อมูลที่มีระยะห่างค่อนข้างมาก ให้อยู่ในกลุ่มใหม่ที่เพิ่มขึ้นซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 4.9 โดยที่ภาพด้านซ้ายเป็นภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพโดยใช้จำนวนกลุ่ม 6 กลุ่ม ส่วนภาพด้านขวาเป็นภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพโดยใช้จำนวน 10 กลุ่ม ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าบริเวณอื่นนอกจากน้ำนั้นจำถูกแบ่งส่วนเข้ามาน้อยลง จึงทำให้ความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาบน้อยลง



กราฟที่ 4.24 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพปกติ (น้ำ)



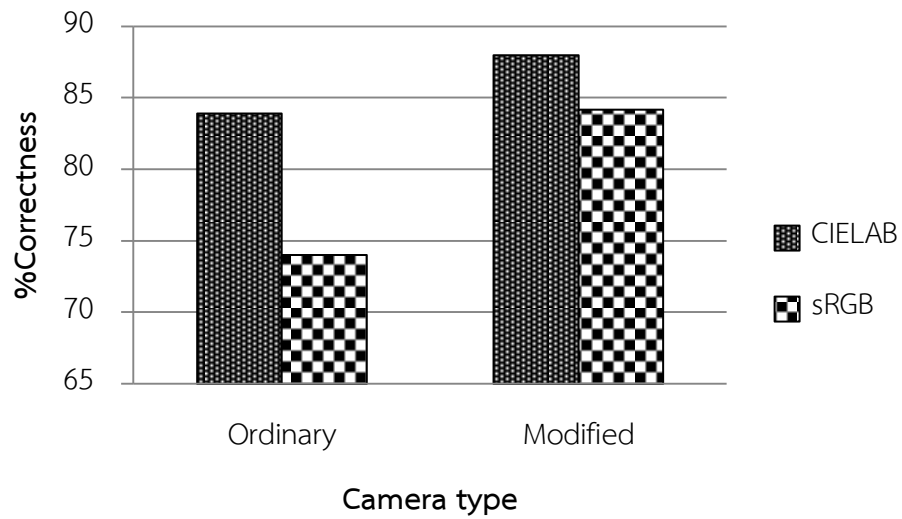
กราฟที่ 4.25 ร้อยละความผิดพลาดของการแบ่งส่วนภาพด้วยภาพมัลติสเปกตรัม (น้ำ)



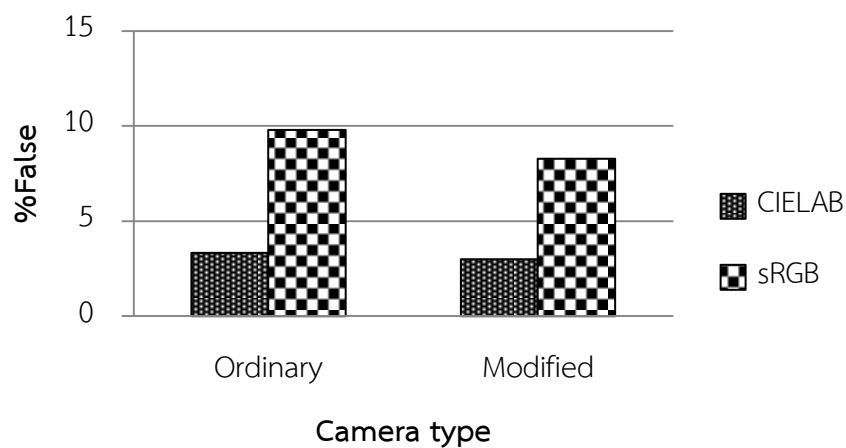
ภาพที่ 4.9 การแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่มากขึ้นซึ่งส่งผลกับค่าความผิดพลาดของน้ำ

เมื่อนำข้อมูลจากการแบ่งส่วนภาพในบริเวณ อีฐู ใบตอง และน้ำ มาพิจารณาค่าร้อยละความถูกต้องเฉลี่ยรวมแล้วให้ผลดังกราฟที่ 4.26 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบในโมเดลสีเดียวกันภาพจากกล้องดัดแปรนั้นให้ค่าร้อยละของความถูกต้องที่สูงกว่าภาพจากกล้องปกติ ซึ่งโมเดลสี CIELAB ให้ค่าร้อยละของความถูกต้องมากกว่า sRGB ส่วนค่าร้อยละของความผิดพลาดเมื่อพิจารณาจากกราฟที่ 4.27 พบว่าที่โมเดลสีเดียวกันนั้น ภาพกล้องดัดแปรให้ค่าร้อยละของความผิดพลาดที่น้อยกว่าภาพจากกล้องปกติ โดยที่โมเดลสี CIELAB ให้ค่าร้อยละความผิดพลาดน้อยกว่าโมเดลสี sRGB ดังนั้นสำหรับ

งานวิจัยนี้ภายใต้ขอบเขตของงานวิจัย (รายละเอียดในบทที่ 1) การใช้กล้องตัดแปรงและโมเดลสี CIELAB ในการแบ่งส่วนภาพโดยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์นั้นให้ผลที่ดีที่สุด

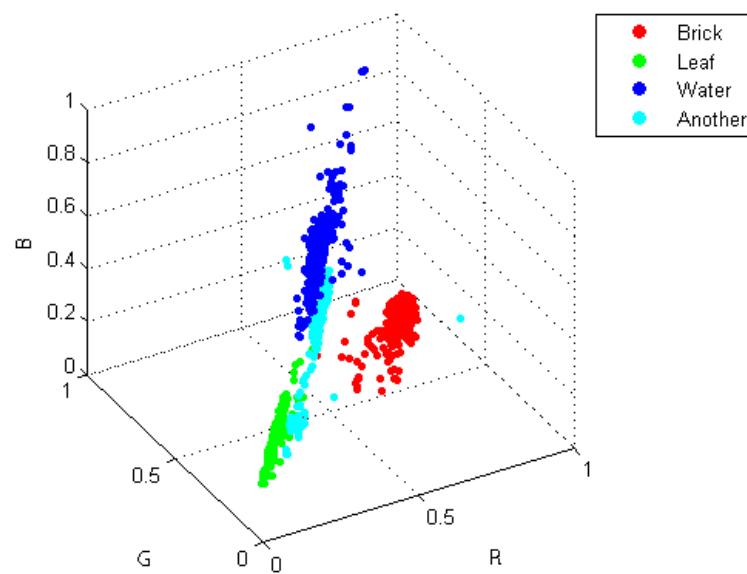


กราฟที่ 4.26 ร้อยละของความถูกต้องในการแบ่งส่วนโดยใช้ภาพจากกล้องปกติและกล้องตัดแปรง

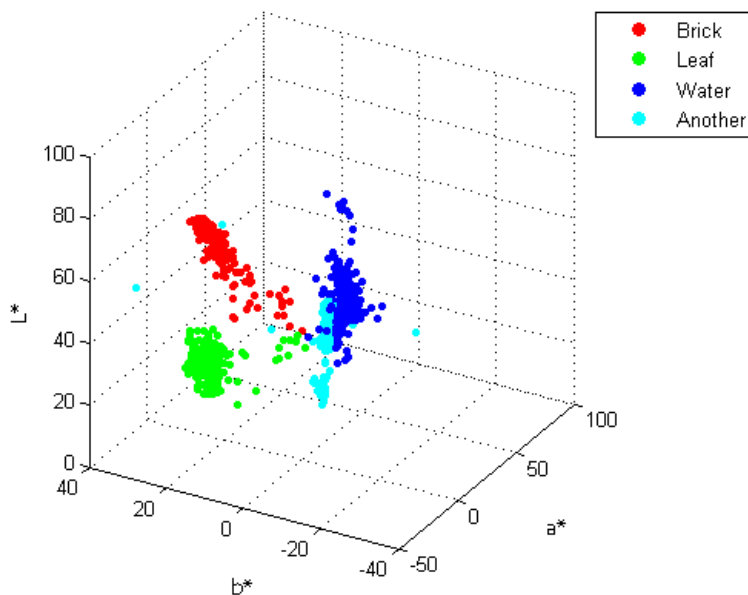


กราฟที่ 4.27 ร้อยละของความผิดพลาดในการแบ่งส่วนโดยใช้ภาพจากกล้องปกติ และกล้องตัดแปรง

ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลจะส่งผลต่อการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ดังจะสังเกตได้จากกราฟที่ 4.28 การกระจายตัวของค่าสีของอิฐ น้ำ และใบตอง ในโมเดลสี sRGB นั้นมีลักษณะไม่เป็นทรงกลม ซึ่งจะส่งผลให้การแบ่งส่วนอาจทำได้ไม่ดี[50] จึงทำให้การใช้โมเดลสี CIELAB ในการแบ่งส่วนภาพทำได้ดีกว่าการใช้โมเดลสี sRGB โดยสังเกตจากข้อมูลสีในกราฟที่ 4.29

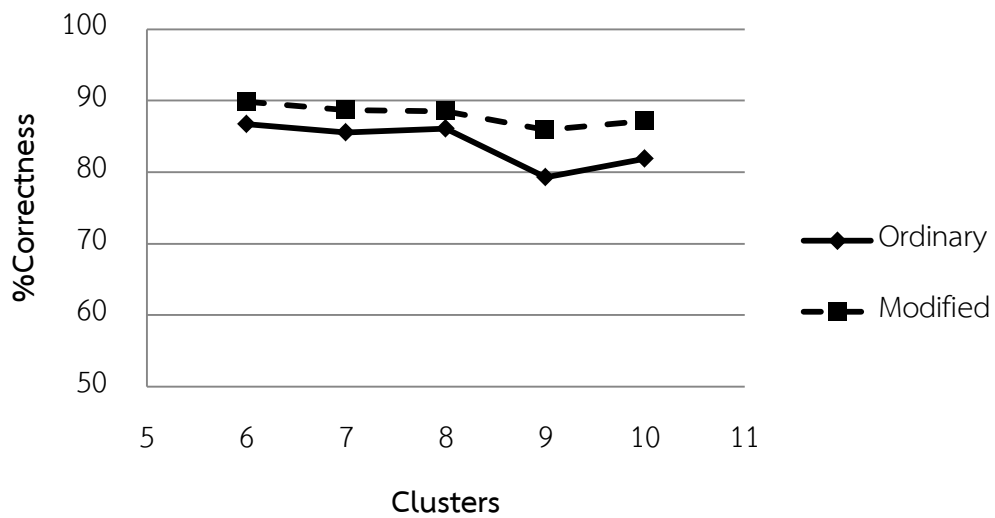


กราฟที่ 4.28 การกระจายตัวของค่าสีจากภาพที่ 4.1A ในโมเดลสี sRGB

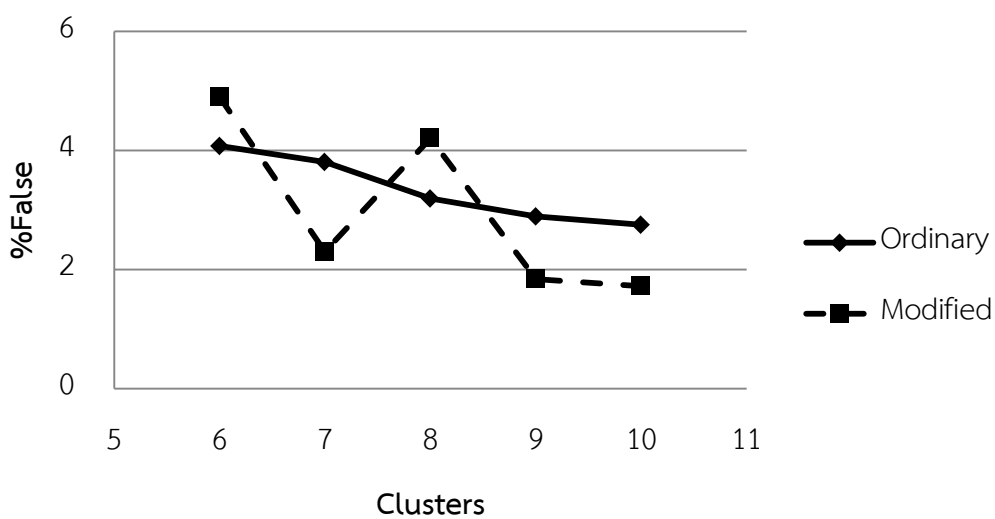


กราฟที่ 4.29 การกระจายตัวของค่าสีจากภาพที่ 4.1A ในโมเดลสี CIELAB

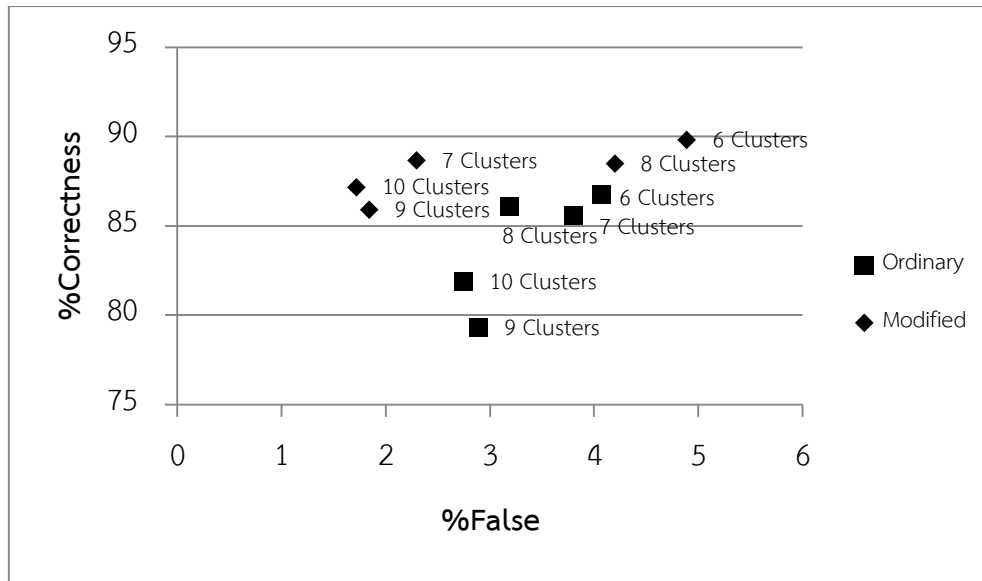
สำหรับการใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนภาพที่แตกต่างกันนั้นพบว่า ค่าความถูกต้องที่ได้จากการเฉลี่ยรวมทั้ง อิฐ น้ำ และใบไม้ จะมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้ 6 กลุ่มในการแบ่งส่วนภาพ โดยที่ค่าจะลดลงมากที่จำนวน 9 กลุ่ม (จากกราฟที่ 4.30) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความผิดพลาดพบว่า ค่าความผิดพลาดจะน้อยที่สุดเมื่อใช้ 10 กลุ่ม (จากกราฟที่ 4.31) ในการแบ่งส่วนภาพดังนั้นการแบ่งส่วนภาพถ้าต้องการให้ได้ค่าความถูกต้องมากที่สุดควรใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนให้น้อยที่สุด ที่เริ่มแยกองค์ประกอบที่สนใจออกจากกันได้ แต่ในขณะเดียวกันการใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนน้อย จะทำให้ค่าความผิดพลาดมาก จึงควรพิจารณาด้วยกัน จากกราฟที่ 4.32 เป็นการพล็อตระหว่างร้อยละความถูกต้องและความผิดพลาด ถ้าข้อมูลใดมีค่าร้อยละความถูกต้องเข้าใกล้ 100 และร้อยละความผิดพลาดเข้าใกล้ 0 ซึ่งเป็นจุดที่ดีที่สุด แสดงว่าสามารถแบ่งส่วนได้ดีกว่า ซึ่งเมื่อคำนวณระยะห่างแล้วสามารถแสดงผลดังกราฟที่ 4.33 พบว่าที่จำนวน 6 กลุ่มนั้นให้ระยะห่างที่น้อยที่สุด ดังนั้นการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ในครั้งนี้ใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วน 6 กลุ่มจะให้ผลดีที่สุด



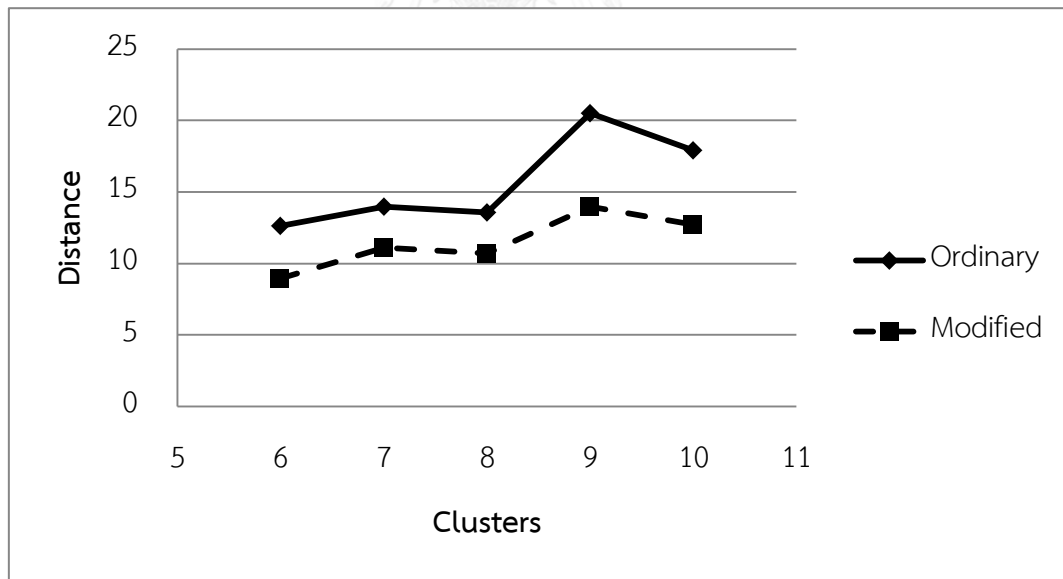
กราฟที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยรวมของร้อยละของความถูกต้อง



กราฟที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยรวมของร้อยละของความผิดพลาด



กราฟที่ 4.32 การพล็อตกราฟระหว่างร้อยละความถูกต้องกับร้อยละของความผิดพลาด โดยใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนที่ต่างกัน



กราฟที่ 4.33 ระยะห่างระหว่างจุดที่ดีที่สุด (0,100) กับข้อมูลภาพที่แบ่งส่วนโดยใช้จำนวนกลุ่มที่แตกต่างกัน

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผล

#### 5.1 สรุปและวิจารณ์ผล

การถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมเป็นการถ่ายภาพโดยใช้ข้อมูลภาพมากกว่า 3 แชนเนลขึ้นไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การถ่ายภาพจากกล้องดีเอสแอลอาร์ดัดแปร โดยถอดฟิลเตอร์กันรังสีอินฟราเรดออกจากตัวรับภาพ ซึ่งทำให้สามารถรับแสงช่วงอินฟราเรดใกล้ได้ การถ่ายภาพผ่านฟิลเตอร์ที่ยอมให้เฉพาะรังสีอินฟราเรดผ่าน จะทำให้ได้ภาพอินฟราเรดซึ่งวัตถุบางชนิดที่มีค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมในช่วงอินฟราเรดใกล้มีค่ามาก จะส่งผลให้วัตถุในภาพมีความสว่างมาก ซึ่งใบไม้มีค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมในช่วงนี้มากจึงทำให้ใบไม้มีความสว่างมากกว่าบริเวณอื่น ในทางกลับกันถ้าค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมในช่วงนี้น้อย จะส่งผลให้วัตถุในภาพนั้นมีความสว่างน้อย ซึ่งน้ำก็มีสมบัติเช่นนี้จึงทำให้ในการถ่ายภาพด้วยฟิลเตอร์ที่ยอมให้เฉพาะรังสีอินฟราเรดผ่าน บริเวณที่เป็นน้ำจะมีความสว่างน้อยกว่าบริเวณอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่เป็นสีปกติ นั้น ใบไม้ที่มีสีเขียวเข้มก็จะมี ความสว่างน้อยเมื่อเทียบกับภาพที่ถ่ายด้วยฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่าน ส่วนน้ำซึ่งโปร่งแสงเมื่อถ่ายภาพปกติจะให้สีใกล้เคียงกับฉากหลัง แต่เมื่อถ่ายภาพด้วยฟิลเตอร์ที่ยอมให้รังสีอินฟราเรดผ่านนั้นน้ำให้สีที่เข้มว่า จึงทำให้สามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยน้ำกับใบไม้ออกจากกันได้ดีขึ้นเมื่อใช้ภาพจากการถ่ายภาพอินฟราเรด

การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ โดยใช้โมเดลสี grayscale นั้นให้ผลไม่ค่อยดีซึ่งอาจเป็นเพราะข้อมูลที่ใช้ในการแบ่งส่วนมีน้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างของแต่ละองค์ประกอบได้ดี การใช้โมเดลสี grayscale ในการทดลองนี้จึงไม่เหมาะสม ส่วนการใช้โมเดลสี sRGB นั้นสามารถแบ่งส่วนได้แต่พบว่าเมื่อใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนที่มากขึ้น จะส่งผลให้มีค่าความถูกต้องน้อยลงเพราะการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็นทรงกลม ซึ่งการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์จะสามารถแบ่งส่วนได้ดีเมื่อข้อมูลมีการกระจายตัวในแบบทรงกลม [50] และ การใช้โมเดลสี CIELAB พบว่าสามารถแบ่งส่วนได้ผลดีที่สุด (แสดงผลในตารางที่ 5.1) ซึ่งอาจเป็นเพราะการกระจายตัวของข้อมูลสีในแต่ละวัตถุมีความใกล้เคียงกับทรงกลมมากกว่า



ตารางที่ 5.1 แสดงร้อยละความถูกต้องและความผิดพลาดเฉลี่ยของโมเดลสีและการใช้กล้องที่ต่างกัน

Camera type	CIELAB		sRGB	
	%Correctness	%False	%Correctness	%False
Ordinary	83.90	3.34	74.02	9.78
Modified	88.00	2.99	84.20	8.26

จำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพที่ให้ผลดีที่สุดคือจำนวน 6 กลุ่ม โดยมีร้อยละความถูกต้องเฉลี่ย 89.81 และร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ย 4.89 สำหรับภาพจากกล้องตัดแปรรูป ซึ่งในภาพจากกล้องปกติก็ให้ผลในลักษณะเดียวกันคือ จำนวนกลุ่มที่ดีที่สุดที่ใช้ในการแบ่งส่วนคือ 6 กลุ่ม แต่การใช้จำนวนกลุ่มในการแบ่งส่วนภาพที่มากขึ้น ค่าความถูกต้องมีแนวโน้มที่จะลดลง และค่าความผิดพลาดก็มีแนวโน้มที่จะลดลงเช่นกัน เนื่องจากการแบ่งส่วนโดยใช้จำนวนที่มากขึ้นจะลดความแตกต่างระหว่างข้อมูลลง ทำให้ข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมากถูกแบ่งส่วนให้อยู่อีกกลุ่มหนึ่ง จึงทำให้ส่วนที่ผิดพลาดซึ่งเป็นส่วนที่มีความแตกต่างกันมากถูกแบ่งส่วนออกไป ดังนั้นจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วนจึงมีความสำคัญมากในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ เนื่องจากการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์เป็นวิธีที่ไม่ต้องอาศัยการสอน จึงสามารถนำไปใช้กับข้อมูลได้หลากหลายโดยที่ไม่ต้องมีการเรียนรู้ก่อน แต่เนื่องจากวิธีนี้ต้องมีการกำหนดจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการแบ่งส่วน ดังนั้นควรมีวิธีการคำนวณจำนวนกลุ่มที่ดีที่สุดในแต่ละภาพก่อนการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งในปัจจุบันสามารถทราบถึงจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ที่ดีที่สุดได้หลายวิธี[40, 51]

การใช้ภาพมัลติสเปกตรัมจากกล้องตัดแปรรูปในการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งมีภาพที่รับคลื่นช่วงอินฟราเรด สามารถแบ่งส่วนภาพได้ดีกว่าการใช้ภาพปกติในการแบ่งส่วนภาพ เมื่อเทียบกับโมเดลสีเดียวกัน เป็นเพราะมีทั้งข้อมูลของภาพที่รับแสงที่ช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดใกล้และแสงที่ตามองเห็น จะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่าง อิฐ ไม้ และน้ำได้ดียิ่งขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้พบความแตกต่างของค่าร้อยละความผิดพลาดและร้อยละความถูกต้องในแต่ละภาพที่ใช้ฟิลเตอร์เดียวกันแต่สลับตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งเกิดจากมุมมองของวัตถุมีความแตกต่างกัน วัตถุที่อยู่บริเวณขอบภาพจะสังเกตเห็นด้านข้างของวัตถุ มีค่าสีที่แตกต่างกันมากกับบริเวณด้านบนของวัตถุ จึงทำให้บริเวณดังกล่าวถูกแบ่งส่วนออกไปอยู่กลุ่มอื่น จึงทำให้ค่าความถูกต้องมีค่าที่ลดลง ในการทดลองนี้จึงใช้ภาพที่วางวัตถุแต่ละตำแหน่งที่แตกต่างกัน แล้วเฉลี่ยค่าความถูกต้องนั้น การพัฒนาควรให้สามารถตรวจจับบริเวณที่ได้รับแสงไม่เท่ากัน หรือบริเวณเงาของภาพ เพื่อการวิเคราะห์ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการแบ่งส่วนภาพใบไม้พบว่าส่วนกรอบของตัวอย่างสี GretagMacbeth นั้นมีค่าสีใกล้เคียงกันกับใบไม้ในภาพที่ใช้ฟิลเตอร์ IR76 จึงทำให้เมื่อแบ่งส่วนภาพแล้ว ค่าความผิดพลาดของการใช้ภาพมัลติสเปกตรัมนั้นมีมากกว่าใช้ภาพปกติ ซึ่งในการนำไปใช้จริงอาจต้องพิจารณาถึงความใกล้เคียงกันของค่าการสะท้อนแสงเชิงสเปกตรัมของวัตถุ มิฉะนั้นอาจวิเคราะห์ข้อมูลผิดได้

สำหรับการนำไปใช้จริง การกำหนดจำนวนกลุ่มที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ ควรกำหนดใหม่ทุกครั้งที่องค์ประกอบของภาพเปลี่ยน เพราะจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมในการจัดกลุ่มนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล สำหรับการพัฒนาด้านนี้อาจเขียนอัลกอริทึมกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมในการจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้จริงได้ดียิ่งขึ้น

การใช้ภาพมัลติสเปกตรัมในการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีจัดกลุ่มแบบเค-มีนส์ ให้ผลที่ดีกว่าการใช้ภาพปกติ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่ควรใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนมิติของข้อมูลที่มากเกินไป เพราะจะทำให้การจัดกลุ่มทำได้ไม่ดี[51]

## รายการอ้างอิง

- [1] Kim, M.S., et al., *Multispectral detection of fecal contamination on apples based on hyperspectral imagery: Part I. Application of visible and near-infrared reflectance imaging*. TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2002. **45**(6): p. 2027-2038.
- [2] Levenson, R.M. and J.R. Mansfield, *Multispectral imaging in biology and medicine: Slices of life*. Cytometry Part A, 2006. **69A**(8): p. 748-758.
- [3] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. การใช้ข้อมูลดาวเทียมกับสถานการณ์ต่าง ๆ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.gistda.or.th/gistda\\_n/index.php/menu-project-important/381-monitoring-and-evaluation-of-rice-growing-areas-2009-2010](http://www.gistda.or.th/gistda_n/index.php/menu-project-important/381-monitoring-and-evaluation-of-rice-growing-areas-2009-2010). [29 มิถุนายน 2557]
- [4] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. โครงการการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการติดตามและประเมินพื้นที่ปลูกข้าวปี 2552/53 รอบที่ 2 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.gistda.or.th/gistda\\_n/index.php/gallery-events](http://www.gistda.or.th/gistda_n/index.php/gallery-events). [29 มิถุนายน 2557]
- [5] Nakamura, J., *Image sensors and signal processing for digital still cameras*. 2005: CRC Press.
- [6] Busch, D.D., *David Busch's Digital Infrared Pro Secrets*. 2007: Thomson Course Technology.
- [7] astronomiser. *Astronomy Modified Canon EOS dSLR cameras*. [cited 2014 29 June]; Available from: <http://www.astronomiser.co.uk/moddeddslrs.htm>.
- [8] Verhoeven, G., *Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography*. Journal of Archaeological Science, 2008. **35**(12): p. 3087-3100.
- [9] GISTDA. *Thaichote Characteristics*. [cited 2014 29 June]; Available from: [http://www.gistda.or.th/gistda\\_n/en/index.php?option=com\\_content&view=article&id=21:thaichote-characteristics&catid=35:products-satellite&Itemid=34](http://www.gistda.or.th/gistda_n/en/index.php?option=com_content&view=article&id=21:thaichote-characteristics&catid=35:products-satellite&Itemid=34).

- [10] Burgess, C. and J. Hammond, *Wavelength standards for the near-infrared spectral region*. SPECTROSCOPY-SPRINGFIELD THEN EUGENE THEN DULUTH-, 2007. **22**(4): p. 40.
- [11] Theiler, J. and G. Gisler. *A contiguity-enhanced k-means clustering algorithm for unsupervised multispectral image segmentation*. in *Proc. SPIE*. 1997. **3159**: p. 108-118
- [12] MathWorks. *Color-Based Segmentation Using K-Means Clustering*. [cited 2014 29 June]; Available from:  
<http://www.mathworks.com/help/images/examples/color-based-segmentation-using-k-means-clustering.html>.
- [13] Terry, D.A., S.R. Snow, and E.A. McLaren, *CE 1-Contemporary Dental Photography: Selection and Application*. Compendium, 2008. **29**(8): p. 432.
- [14] de Meijer, P., et al., *A guideline to medical photography: a perspective on digital photography in an orthopaedic setting*. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 2012. **20**(12): p. 2606-2611.
- [15] Garg, A., *Image processing in amateur astro-photography*. *Resonance*, 2010. **15**(2): p. 170.
- [16] Nobelprize.org. *The Nobel Prize in Physics 2009*. 2009 [cited 2014 June 11]; Available from:  
[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2009/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/press.html).
- [17] Allen, E. and E. Bilissi, *Digital single-lens reflex (DSLR) cameras*, in *The Manual of Photography (Tenth Edition)*, E. Allen and S. Triantaphillidou, Editors. 2011, Focal Press: Oxford. p. 279.
- [18] Busch, D.D., *Mastering Digital SLR Photography*. 2008: Thomson Course Technology.
- [19] Jenkin, R., *Chapter 9 - Image sensors*, in *The Manual of Photography (Tenth Edition)*, E. Allen and S. Triantaphillidou, Editors. 2011, Focal Press: Oxford. p. 155-173.

- [20] Allen, E. and E. Bilissi, *Colour filter array (CFA) cameras*, in *The Manual of Photography (Tenth Edition)*, E. Allen and S. Triantaphillidou, Editors. 2011, Focal Press: Oxford. p. 271.
- [21] PTS Walter Preiss Technology Systems. *Spectral sensitivity*. [cited 2014 2 February]; Available from: <http://www.fen-net.de/walter.preiss/e/slomoinf.html>.
- [22] Wikipedia. *Aliasing*. [cited 2014 29 June]; Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing>.
- [23] Olympus America Inc. *MicroLens Arrays*. [cited 2014 29 June]; Available from: <http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/concepts/microlensarray.html>.
- [24] Tetsuo, Y., *CCD Image Sensors*, in *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*. 2005, CRC Press. p. 95-141.
- [25] Jenkin, R., *CCD readout*, in *The Manual of Photography (Tenth Edition)*, E. Allen and S. Triantaphillidou, Editors. 2011, Focal Press: Oxford. p. 161-162.
- [26] Junichi, N., *Basics of Image Sensors*, in *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*. 2005, CRC Press. p. 53-93.
- [27] Jenkin, R., *CMOS readout*, in *The Manual of Photography (Tenth Edition)*, E. Allen and S. Triantaphillidou, Editors. 2011, Focal Press: Oxford. p. 164.
- [28] Jacobson, R.E., *The Manual of Photography: Photographic and Digital Imaging*. 2000: Focal Press.
- [29] Wyszecski, G. and W.S. Stiles, *Optical Filters*, in *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. Second Edition*. 2000, Wiley, John, and Sons, New York, N.Y. p. 30.
- [30] Wyszecski, G. and W.S. Stiles, *Interference Filters*, in *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. Second Edition*. 2000, Wiley, John, and Sons, New York, N.Y. p. 40.
- [31] Ray, S., *UV and IR filters*, in *The Manual of Photography (Tenth Edition)*, E. Allen and S. Triantaphillidou, Editors. 2011, Focal Press: Oxford. p. 195-196.

- [32] Wyszecki, G. and W.S. Stiles, *Glass Filters*, in *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. Second Edition*. 2000, Wiley, John, and Sons, New York, N.Y. p. 34.
- [33] Wyszecki, G. and W.S. Stiles, *Gelatin Filters*, in *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. Second Edition*. 2000, Wiley, John, and Sons, New York, N.Y. p. 35.
- [34] MacKay, D., *An example inference task: clustering*. Information Theory, Inference and Learning Algorithms, 2003: p. 284-292.
- [35] Wikipedia. *k-means clustering*. [cited 2014 29 June]; Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/K-means\\_clustering](http://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering).
- [36] MathWorks. *kmeans*. [cited 2014 30 June]; Available from: <http://www.mathworks.com/help/stats/kmeans.html>.
- [37] Deza, M.M. and E. Deza, *Encyclopedia of distances*. 2009: Springer.
- [38] Barakbah, A.R. and Y. Kiyoki. *A pillar algorithm for k-means optimization by distance maximization for initial centroid designation*. in *Computational Intelligence and Data Mining, 2009. CIDM'09. IEEE Symposium on*. 2009. IEEE. p. 61-68
- [39] Bradley, P.S. and U.M. Fayyad, *Refining Initial Points for K-Means Clustering*, in *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Machine Learning*. 1998, Morgan Kaufmann Publishers Inc. p. 91-99.
- [40] Ray, S. and R.H. Turi. *Determination of number of clusters in k-means clustering and application in colour image segmentation*. in *Proceedings of the 4th international conference on advances in pattern recognition and digital techniques*. 1999. p. 137-143
- [41] Barakbah, A.R. and Y. Kiyoki, *A new approach for image segmentation using Pillar-kmeans algorithm*. World Academy of Science, Engineering and Technology Journal, 2009. **59**: p. 23-28.
- [42] Ibraheem, N.A., et al., *Understanding Color Models: A Review*. ARPN Journal of Science and Technology, 2012. **2**(3): p. 265-275.

- [43] Anderson, M., et al. *Proposal for a standard default color space for the internet—srgb*. in *Color and Imaging Conference*. 1996. Society for Imaging Science and Technology. **1996**: p. 238-245
- [44] Lawless, H.T. and H. Heymann, *Color and appearance*, in *Sensory Evaluation of Food*. 2010, Springer. p. 283-301.
- [45] Bruce Lindbloom.com. *RGB/XYZ Matrices*. [cited 2014 30 June]; Available from: [http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn\\_RGB\\_XYZ\\_Matrix.html](http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html).
- [46] Ford, A. and A. Roberts, *Colour space conversions*. Westminster University, London, 1998. **1998**: p. 1-31.
- [47] Bala, R. and K.M. Braun. *Color-to-grayscale conversion to maintain discriminability*. in *Electronic Imaging 2004*. 2003. International Society for Optics and Photonics. **5293**: p. 196-202
- [48] MathWorks. *rgb2gray*. [cited 2014 30 June]; Available from: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/rgb2gray.html>.
- [49] Mather, P. and B. Tso, *Surface Material Reflectance*, in *Classification methods for remotely sensed data*. 2003, CRC press. p. 7.
- [50] Wu, J., *K-means Clustering: An Ageless Algorithm*, in *Advances in K-means Clustering: A Data Mining Thinking*. 2012, Springer. p. 8.
- [51] Jain, A.K., M.N. Murty, and P.J. Flynn, *Data clustering: a review*. ACM computing surveys (CSUR), 1999. **31**(3): p. 264-323.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



## ภาคผนวก ก

## ผลการวัดความถูกต้องและความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพในส่วนของอิฐ

ตารางที่ ก. 1 ร้อยละของความถูกต้องของภาพปกติ

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	97.94	89.09	98.34	<b>95.12</b>	91.65	87.19	96.54	<b>91.79</b>
7	89.47	84.26	98.34	<b>90.69</b>	91.66	87.18	96.53	<b>91.79</b>
8	89.05	84.25	98.35	<b>90.55</b>	74.26	87.30	75.61	<b>79.05</b>
9	88.74	84.24	87.29	<b>86.75</b>	73.22	69.25	75.68	<b>72.72</b>
10	88.69	84.46	87.27	<b>86.81</b>	72.94	51.69	75.66	<b>66.76</b>

ตารางที่ ก. 2 ร้อยละของความถูกต้องของภาพมัลติสเปกตรัม

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	92.90	89.14	97.74	<b>93.26</b>	92.53	87.19	96.07	<b>91.93</b>
7	92.93	89.02	97.74	<b>93.23</b>	92.67	87.15	96.13	<b>91.98</b>
8	92.46	89.01	98.11	<b>93.19</b>	89.06	87.18	84.55	<b>86.93</b>
9	83.70	87.55	86.03	<b>85.76</b>	70.59	74.41	85.15	<b>76.72</b>
10	83.70	87.59	97.47	<b>89.59</b>	89.06	72.34	84.40	<b>81.93</b>

ตารางที่ ก. 3 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพปกติ

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	3.54	3.86	4.36	<b>3.92</b>	4.57	4.32	5.06	<b>4.65</b>
7	3.35	3.73	4.36	<b>3.81</b>	4.57	4.31	5.03	<b>4.64</b>
8	3.35	3.73	3.26	<b>3.45</b>	3.85	4.31	4.12	<b>4.09</b>
9	2.25	3.73	2.81	<b>2.93</b>	3.84	3.63	4.11	<b>3.86</b>
10	2.25	3.74	2.81	<b>2.93</b>	3.84	0.60	4.13	<b>2.86</b>

ตารางที่ ก. 4 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพมัลติสเปกตรัม

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	5.19	4.08	4.92	<b>4.73</b>	7.82	6.23	8.20	<b>7.42</b>
7	4.61	4.49	4.85	<b>4.65</b>	6.48	6.22	6.80	<b>6.50</b>
8	4.07	4.49	4.28	<b>4.28</b>	6.40	6.23	5.81	<b>6.14</b>
9	3.94	4.49	4.71	<b>4.38</b>	6.05	5.80	4.75	<b>5.53</b>
10	3.94	3.97	4.24	<b>4.05</b>	6.38	5.33	5.79	<b>5.83</b>

ภาคผนวก ข

ผลการวัดความถูกต้องและความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพในส่วนของไปไม้

ตารางที่ ข. 1 ร้อยละของความถูกต้องของภาพปกติ

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	99.97	99.30	99.31	<b>99.53</b>	98.06	97.57	98.78	<b>98.14</b>
7	99.95	99.25	99.29	<b>99.50</b>	95.95	97.50	96.42	<b>96.62</b>
8	99.86	99.25	99.29	<b>99.47</b>	96.33	85.22	96.45	<b>92.67</b>
9	50.50	99.24	99.28	<b>83.01</b>	96.18	84.38	81.10	<b>87.22</b>
10	99.10	99.19	99.28	<b>99.19</b>	49.52	83.99	80.99	<b>71.50</b>

ตารางที่ ข. 2 ร้อยละของความถูกต้องของภาพมัลติสเปกตรัม

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	93.37	99.19	99.52	<b>97.36</b>	92.53	99.23	99.78	<b>97.18</b>
7	93.37	99.15	99.52	<b>97.35</b>	92.67	99.22	99.78	<b>97.22</b>
8	93.31	99.15	99.77	<b>97.41</b>	89.06	99.22	99.19	<b>95.82</b>
9	93.37	99.16	99.51	<b>97.35</b>	70.59	99.09	99.28	<b>89.65</b>
10	93.40	99.13	99.42	<b>97.32</b>	89.06	98.76	99.19	<b>95.67</b>

ตารางที่ ข. 3 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพปกติ

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	2.56	2.41	2.30	<b>2.42</b>	55.12	41.82	61.21	<b>52.71</b>
7	2.52	2.27	2.30	<b>2.37</b>	1.51	41.55	41.88	<b>28.31</b>
8	2.51	2.27	1.63	<b>2.14</b>	0.85	7.84	41.82	<b>16.84</b>
9	0.04	2.27	1.50	<b>1.27</b>	0.84	7.22	6.36	<b>4.81</b>
10	1.75	2.27	1.50	<b>1.84</b>	1.08	7.05	6.27	<b>4.80</b>

ตารางที่ ข. 4 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพมัลติสเปกตรัม

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	1.81	23.96	0.52	<b>8.76</b>	25.86	26.31	24.11	<b>25.43</b>
7	1.80	0.89	0.52	<b>1.07</b>	25.81	26.22	24.02	<b>25.35</b>
8	1.77	0.89	22.00	<b>8.22</b>	1.52	25.52	22.81	<b>16.62</b>
9	1.78	0.91	0.43	<b>1.04</b>	1.48	23.13	22.88	<b>15.83</b>
10	1.80	0.85	0.41	<b>1.02</b>	1.52	1.95	22.80	<b>8.76</b>

ภาคผนวก ค

ผลการวัดความถูกต้องและความผิดพลาดในการแบ่งส่วนภาพในส่วนองน้ำ

ตารางที่ ค. 1 ร้อยละของความถูกต้องของภาพปกติ

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	75.16	61.02	60.40	<b>65.52</b>	62.97	22.62	58.92	<b>48.17</b>
7	74.60	59.85	64.69	<b>66.38</b>	62.31	43.65	58.30	<b>54.75</b>
8	71.53	68.34	64.66	<b>68.18</b>	62.24	43.43	58.30	<b>54.66</b>
9	74.59	65.58	64.31	<b>68.16</b>	60.22	43.43	58.11	<b>53.92</b>
10	69.95	64.85	44.21	<b>59.67</b>	60.19	43.44	48.14	<b>50.59</b>

ตารางที่ ค. 2 ร้อยละของความถูกต้องของภาพมัลติสเปกตรัม

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	75.07	85.57	75.80	<b>78.81</b>	85.63	80.83	73.87	<b>80.11</b>
7	73.43	82.12	70.61	<b>75.39</b>	81.35	79.51	72.92	<b>77.93</b>
8	73.63	80.77	70.16	<b>74.85</b>	80.89	77.97	72.34	<b>77.07</b>
9	73.50	80.73	69.56	<b>74.60</b>	80.87	42.75	60.15	<b>61.26</b>
10	73.36	80.38	69.97	<b>74.57</b>	48.50	77.76	58.57	<b>61.61</b>

ตารางที่ ค. 3 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพปกติ

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	7.57	5.53	4.54	<b>5.88</b>	5.28	3.76	3.22	<b>4.09</b>
7	7.55	5.53	2.62	<b>5.23</b>	4.73	3.82	3.21	<b>3.92</b>
8	5.90	3.41	2.62	<b>3.98</b>	4.71	3.82	3.21	<b>3.91</b>
9	7.55	3.25	2.62	<b>4.47</b>	4.47	3.82	3.21	<b>3.83</b>
10	6.55	1.78	2.11	<b>3.48</b>	4.47	3.82	1.99	<b>3.42</b>

ตารางที่ ค. 4 ร้อยละของความผิดพลาดของภาพมัลติสเปกตรัม

จำนวน กลุ่ม	CIELAB				sRGB			
	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ค่าเฉลี่ย
6	0.29	0.00	3.26	<b>1.18</b>	0.13	0.00	1.19	<b>0.44</b>
7	0.29	0.00	3.21	<b>1.17</b>	0.09	0.00	0.00	<b>0.03</b>
8	0.28	0.00	0.00	<b>0.10</b>	0.09	0.00	0.00	<b>0.03</b>
9	0.29	0.00	0.00	<b>0.10</b>	0.09	0.00	0.00	<b>0.03</b>
10	0.27	0.00	0.00	<b>0.09</b>	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัชรพงศ์ ทักษเดช เกิดเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2551-2554 เข้าทำงานเป็นพนักงานโครงการของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สังกัดศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

