

การแบ่งส่วนและนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค  
โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

SOMATIC CELL SEGMENTATION AND COUNTING  
IN COW MILK USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

สุวิทย์ เมาะราษี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การแบ่งส่วนและนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค  
โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

สุวิทย์ เมะราณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2558  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



|                   |  |
|-------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การแบ่งส่วนและนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค<br>โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ |
| ชื่อ - นามสกุล    | นายสุวิทย์ เมาะราณี  |
| สาขาวิชา          | วิศวกรรมไฟฟ้า  |
| อาจารย์ที่ปรึกษา  | อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.                                 |
| ปีการศึกษา        | 2558   |

## บทคัดย่อ

ปริมาณเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำนมดิบ และใช้ในการวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบในโคนม การประเมินจำนวนเซลล์โซมาติกด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่สามารถนับจำนวนเซลล์ที่ได้ผลถูกต้องมากที่สุด แต่มีข้อจำกัด คือ ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวิเคราะห์และใช้เวลานาน อย่างไรก็ตามข้อจำกัดดังกล่าวสามารถนำระบบตรวจรู้ด้วยกล้องมาช่วยในการตรวจวิเคราะห์ได้

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอระบบตรวจรู้ด้วยกล้องที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการแบ่งส่วนและนับเซลล์โซมาติกที่ย้อมด้วยสีเมทิลีนบลูจากภาพของกล้องจุลทรรศน์ โดยอัลกอริทึมประกอบด้วย การเตรียมภาพด้วยวิธีมอร์โฟโลยีและการลบภาพ แล้วทำการแบ่งส่วนเซลล์ออกจากพื้นหลังด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ และกำจัดจุดภาพที่ไม่ใช่เซลล์ด้วยค่าคุณลักษณะเด่นด้วยขนาดพื้นที่เซลล์  $f_{size}$  จากนั้นทำการจำแนกกลุ่มเซลล์เดี่ยว และเซลล์ติดกันด้วยค่าแฟกเตอร์ความเป็นรูปร่างกลม  $f_{shape}$  และการแบ่งส่วนพื้นที่ เพื่อแยกส่วนประกอบของเซลล์โซมาติกแล้วนำมาผ่านกระบวนการทางสถิติเพื่อพิจารณารวมหรือแยกเซลล์ด้วยกฎพื้นฐานการตัดแยก

ผลการทดลองวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญจากภาพตัวอย่างจำนวน 20 ภาพ พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถแบ่งส่วนและนับจำนวนเซลล์ได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญโดยมีความถูกต้องเฉลี่ย 95% และใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ย 6 วินาทีต่อภาพ ซึ่งสามารถนำมาใช้ช่วยในการตรวจวิเคราะห์และนับเซลล์โซมาติกได้

**คำสำคัญ:** การแบ่งส่วนภาพ การนับเซลล์โซมาติก แฟกเตอร์ความเป็นรูปร่างกลม

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Thesis Title</b>   | Somatic Cell Segmentation and Counting in Cow Milk<br>Using Image Processing Technique |
| <b>Name - Surname</b> | Mr.Suwit Morasee   |
| <b>Program</b>        | Electrical Engineering   |
| <b>Thesis Advisor</b> | Mr.Chatchai Suppitaksakul, Ph.D.   |
| <b>Academic Year</b>  | 2015   |

## ABSTRACT

The number of somatic cells in cow milk is an indicator that demonstrates the quality of raw milk and diagnoses mastitis in dairy cows. An estimation of the number of somatic cells under a microscope is accepted as the most accurate method, though there are a couple of limitations to be considered: 1) the results gained vary according to individual expert analysis, and 2) the process is time consuming. However, those limitations can be solved with a machine vision system.

This thesis employed a machine vision system with camera-based image processing techniques for segmentation and counting of the somatic cells from 20 microscope sampling images. To do this, the somatic cells coloured with methylene blue were first extracted and analyzed with algorithms comprised of the methods of image preprocessing using morphology and of image subtraction. Next, the images were segmented by automatic thresholding in order to segment cells from the background. Then, the size factor:  $\bar{f}_{size}$  was performed to separate and reduce the unwanted pixels. After that, the circularity shape factor:  $\bar{f}_{shape}$  and the region segmentation technique were applied in order to discriminate cells to single and touching cells. Finally, the statistic process was utilized to classify whether they were merging or splitting cells.

The experimental results were compared with an expert analysis, and revealed that the proposed algorithms could analyze and count the somatic cells in almost the same way as the expert did, with the average accuracy and the processing time of 95% and 6 second/image respectively. These results mean that the image processing techniques could be effectively utilized in segmentation and counting the somatic cells in cow milk.

**Keywords:** image segmentation, somatic cells counting, circularity shape factor

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ในระหว่างการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษานี้ ขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีเกี่ยวกับการทำวิจัย ขอขอบพระคุณอย่างสูง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรัญ จันทรลุน ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้เชี่ยวชาญทางชีววิทยา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาช่วยวิเคราะห์และนับจำนวนภาพเซลล์โซมาติก เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี และช่วยประเมินประสิทธิภาพ ให้ความเห็นการใช้โปรแกรมระบบงานในงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังเสียสละเวลาให้ความรู้เกี่ยวกับเซลล์โซมาติก และอนุเคราะห์ภาพถ่ายเซลล์โซมาติกด้วย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคณะครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนผู้วิจัยสามารถนำวิชาความรู้ทั้งหมดมาบูรณาการสามารถทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้ ขอนอบน้อมบูชาคุณมารดาบิดา คุณครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน หากผิดพลาดหรือขาดตกบกพร่องประการใดผู้วิจัยขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุวิทย์ เมาะราณี

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                         | (3)  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                      | (4)  |
| กิตติกรรมประกาศ.....                         | (5)  |
| สารบัญ.....                                  | (6)  |
| สารบัญตาราง.....                             | (9)  |
| สารบัญรูป.....                               | (10) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....               | (14) |
| บทที่ 1 บทนำ.....                            | 16   |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....      | 16   |
| 1.2 ความมุ่งหมายและกรอบแนวคิดในงานวิจัย..... | 18   |
| 1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย.....                | 19   |
| 1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....                   | 19   |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....                   | 19   |
| 1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย.....                 | 20   |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....           | 20   |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 21   |
| 2.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล.....               | 21   |
| 2.2 ภาพดิจิทัล.....                          | 23   |
| 2.3 ประเภทของภาพดิจิทัล.....                 | 25   |
| 2.4 การแปลงภาพสี RGB.....                    | 28   |
| 2.5 การแบ่งส่วนภาพ.....                      | 29   |
| 2.6 การกำหนดค่าขีดแบ่ง.....                  | 31   |
| 2.7 การหาค่าขีดแบ่งด้วยวิธีการของโอตส์.....  | 33   |
| 2.8 การดำเนินการเชิงสัจฐานวิทยา.....         | 36   |
| 2.9 การแบ่งส่วนพื้นที่.....                  | 41   |
| 2.10 การโตของบริเวณโดยการรวมกลุ่มพิกเซล..... | 42   |

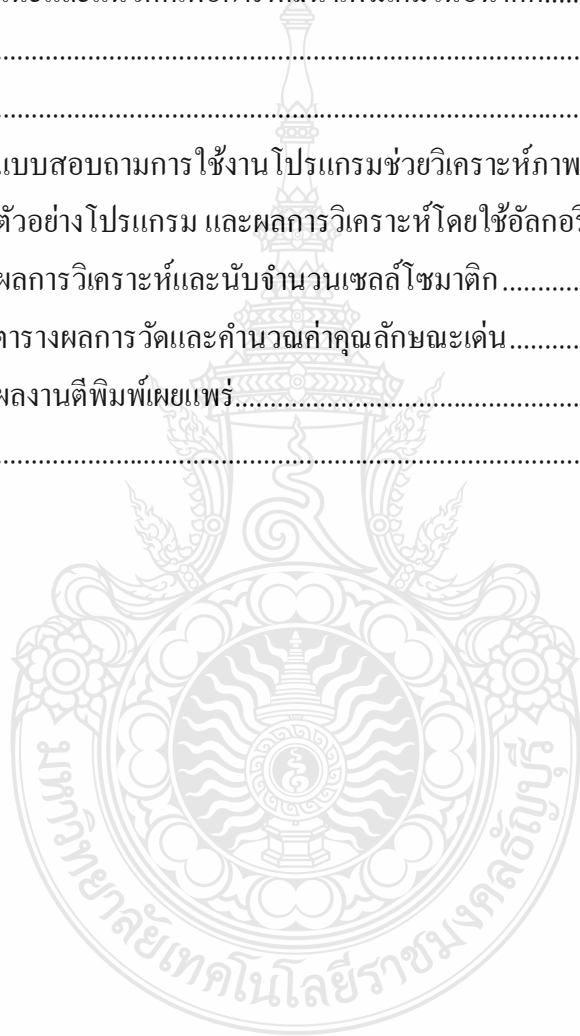
## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 2.11 ฟังก์ชันในการวัดระยะทาง.....                           | 45   |
| 2.12 ค่าปัจจัยรูปร่างความกลม.....                           | 48   |
| 2.13 ความรู้เบื้องต้นทางสถิติ .....                         | 49   |
| 2.14 การหาคุณลักษณะเด่นของวัตถุ.....                        | 51   |
| 2.15 การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย .....                   | 53   |
| 2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                             | 58   |
| 2.17 สรุป.....  | 61   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....                             | 62   |
| 3.1 บทนำ .....  | 63   |
| 3.2 การเตรียมภาพเซลล์โซมาติก.....                           | 69   |
| 3.3 การตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก .....                          | 69   |
| 3.4 การคัดแยกภาพเซลล์โซมาติกและการกำจัดสิ่งรบกวน.....       | 71   |
| 3.5 การจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติก .....                         | 73   |
| 3.6 การตัดแยกเซลล์โซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน .....           | 75   |
| 3.7 การนับจำนวนเซลล์โซมาติก.....                            | 77   |
| 3.8 การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม .....                    | 77   |
| 3.9 สรุป .....  | 79   |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....                           | 80   |
| 4.1 ผลการเตรียมภาพเซลล์โซมาติก.....                         | 80   |
| 4.2 ผลการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก.....                         | 86   |
| 4.3 ผลการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติกและการกำจัดสิ่งรบกวน.....     | 89   |
| 4.4 ผลการจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติก .....                       | 95   |
| 4.5 ผลการตัดแยกเซลล์โซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน .....         | 99   |
| 4.6 ผลการประเมินประสิทธิภาพการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติก..... | 104  |
| 4.7 สรุป.....   | 109  |



## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....                                      | 110  |
| 5.1 บทสรุป.....  | 112  |
| 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต.....              | 112  |
| บรรณานุกรม .....   | 113  |
| ภาคผนวก.....   | 116  |
| ภาคผนวก ก แบบสอบถามการใช้งาน โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์โซมาติก ..... | 117  |
| ภาคผนวก ข ตัวอย่าง โปรแกรม และผลการวิเคราะห์โดยใช้อัลกอริทึม .....     | 120  |
| ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์โซมาติก .....                  | 124  |
| ภาคผนวก ง ตารางผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่น .....                  | 135  |
| ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....                                     | 140  |
| ประวัติผู้เขียน.....   | 162  |



## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 การคำนวณค่าปัจจัยรูปร่าง (Shape Factor) ของวัตถุในรูปที่ 2.28(จ) .....      | 49   |
| ตารางที่ 2.2 ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ.....   | 52   |
| ตารางที่ 4.1 ผลการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น ( $\vec{F}_k(10)$ ) ภาพวัตถุ หมายเลข 10.....  | 91   |
| ตารางที่ 4.2 ผลการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น ( $\vec{F}_k(13)$ ) ภาพวัตถุ หมายเลข 13.....  | 92   |
| ตารางที่ 4.3 ผลการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น ( $\vec{F}_k(13)$ ) ภาพเซลล์ หมายเลข 13 ..... | 96   |
| ตารางที่ 4.4 ผลการนับเซลล์โซมาติกระหว่างอัลกอริทึมกับผู้เชี่ยวชาญ.....                   | 104  |
| ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติก .....       | 105  |



## สารบัญรูป

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1.1 เซลล์โชมานิกที่เชื่อมด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....                      | 17   |
| รูปที่ 2.1 มุมมองของผลลัพธ์แบบต่างๆ ตามความต้องการในการประมวลผลภาพ .....       | 22   |
| รูปที่ 2.2 ตำแหน่งพิกัด $(x, y)$ ของภาพดิจิทัล.....                            | 24   |
| รูปที่ 2.3 ฮิสโตแกรมของภาพระดับเทา.....  | 24   |
| รูปที่ 2.4 ภาพดิจิทัลแบบ Raster และ Vector .....                               | 25   |
| รูปที่ 2.5 ภาพขาวดำ และระดับพิกเซล 2 ค่า.....                                  | 26   |
| รูปที่ 2.6 ภาพระดับเทา และระดับพิกเซลที่เป็นไปได้ 256 ค่า.....                 | 26   |
| รูปที่ 2.7 RGB Model ขนาด 24 บิต.....  | 27   |
| รูปที่ 2.8 ภาพสี RGB และค่าระดับพิกเซล .....                                   | 27   |
| รูปที่ 2.9 ผลที่ได้จากการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา .....                   | 29   |
| รูปที่ 2.10 ผลการแบ่งส่วนภาพทั้ง 2 วิธี .....                                  | 30   |
| รูปที่ 2.11 ฮิสโตแกรมของภาพระดับเทาและค่าจัดแบ่งที่เหมาะสม.....                | 32   |
| รูปที่ 2.12 ผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าจัดแบ่ง.....                    | 32   |
| รูปที่ 2.13 ตำแหน่งค่าจัดแบ่ง $(T)$ ที่เหมาะสม .....                           | 33   |
| รูปที่ 2.14 ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัว (Distribution) ของข้อมูลลักษณะต่างๆ..... | 34   |
| รูปที่ 2.15 รูปแบบหน่วยโครงสร้าง (SE) .....                                    | 37   |
| รูปที่ 2.16 วิธีการเซาะภาพ A.....  | 38   |
| รูปที่ 2.17 ผลจากการเซาะ .....   | 38   |
| รูปที่ 2.18 วิธีการขยายภาพ A.....  | 39   |
| รูปที่ 2.19 ผลจากการขยาย .....   | 40   |
| รูปที่ 2.20 วิธีการปิดภาพ A .....  | 40   |
| รูปที่ 2.21 ผลที่ได้จากการปิด .....  | 41   |
| รูปที่ 2.22 ตัวอย่างของการทำการโตของบริเวณ โดยใช้จุดเริ่มต้นที่รู้.....        | 43   |
| รูปที่ 2.23 ผลจากวิธีการโตของบริเวณ .....                                      | 44   |
| รูปที่ 2.24 ผลจากการวัดระยะทางแบบซิดด์บ็อก.....                                | 46   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.25 การหาระยะทางแบบซิดีบล็อท .....                                     | 46   |
| รูปที่ 2.26 ผลจากการวัดระยะทางเชิงขุคลิต .....                                 | 47   |
| รูปที่ 2.27 การหาระยะทางของสมการที่ 2.17 แบบเชิงขุคลิต.....                    | 7    |
| รูปที่ 2.28 ลักษณะรูปร่างของวัตถุแบบต่างๆ .....                                | 48   |
| รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต .....                                | 50   |
| รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการหาค่ามัธยฐาน .....                                      | 50   |
| รูปที่ 2.31 ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุรูปตัว T .....                             | 51   |
| รูปที่ 2.32 การคำนวณหาคุณลักษณะเด่น Circularity Shape Factor: CSF .....        | 51   |
| รูปที่ 2.33 วัตถุที่ใช้คำนวณค่าคุณลักษณะเด่น .....                             | 52   |
| รูปที่ 2.34 วัตถุที่ได้จากกระบวนการแบ่งส่วนภาพ .....                           | 53   |
| รูปที่ 2.35 วิธีการจำแนกวัตถุโดยขนาด.....                                      | 55   |
| รูปที่ 2.36 วิธีการจำแนกวัตถุโดยรูปร่าง.....                                   | 56   |
| รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันของวิธีดำเนินการวิจัย .....                                 | 62   |
| รูปที่ 3.2 เซลล์โซมาติกในน้ำนมโคที่เชื่อมด้วยสี่เมทิลีนบลู.....                | 63   |
| รูปที่ 3.3 ลักษณะกล้อง Digital Microscope ที่ใช้ในการถ่ายภาพเซลล์โซมาติก ..... | 64   |
| รูปที่ 3.4 อัลโตแกรมที่เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของภาพเซลล์และพื้นหลัง.....       | 65   |
| รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันของขั้นตอนการแบ่งส่วนรูปที่เหมาะสมกับภาพเซลล์โซมาติก .....  | 66   |
| รูปที่ 3.6 ภาพระดับเทาที่นำไปใช้ในการแบ่งส่วนภาพและลักษณะอัลโตแกรม.....        | 67   |
| รูปที่ 3.7 ผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งและการค้นหาขอบภาพ .....   | 67   |
| รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติก.....     | 68   |
| รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันของขั้นตอนวิธีการเตรียมภาพ.....                             | 69   |
| รูปที่ 3.10 ตำแหน่งค่าขีดแบ่ง ( $T$ ) ที่เหมาะสม .....                         | 70   |
| รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันขั้นตอนวิธีการตัดแยกเซลล์โซมาติกและการกำจัดสิ่งรบกวน ..... | 72   |
| รูปที่ 3.12 ฟังก์ชันขั้นตอนวิธีการจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติก .....                 | 73   |
| รูปที่ 3.13 เซลล์โซมาติก 2 กลุ่ม มีลักษณะรูปร่างแบบต่างๆ.....                  | 74   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.14 หลักการและวิธีพิจารณา รวม-แยกเซลล์โซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน.....  | 75   |
| รูปที่ 3.15 Confusion Matrix แสดงความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ระหว่างคนกับโปรแกรม.....                                     | 77   |
| รูปที่ 4.1 ผลการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา.....  | 81   |
| รูปที่ 4.2 ผลจากการปรับภาพให้เรียบด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE)<br>ขนาด R ต่างๆ ภาพหมายเลข 10 .....                       | 81   |
| รูปที่ 4.3 ผลจากการปรับภาพให้เรียบด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE)<br>ขนาด R ต่างๆ ภาพหมายเลข 13 .....                       | 82   |
| รูปที่ 4.4 ผลจากการ Image Subtraction ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) ขนาด R ต่างๆ<br>ภาพหมายเลข 10 .....                   | 82   |
| รูปที่ 4.5 ผลจากการ Image Subtraction ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) ขนาด R ต่างๆ<br>ภาพหมายเลข 13 .....                   | 83   |
| รูปที่ 4.6 ฮิสโตแกรมของภาพหมายเลข 10 ที่ผ่านการปรับปรุงภาพแล้ว<br>ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) ขนาด R ต่างๆ.....         | 84   |
| รูปที่ 4.7 ฮิสโตแกรมของภาพหมายเลข 13 ที่ผ่านการปรับปรุงภาพแล้ว<br>ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) ขนาด R ต่างๆ.....         | 85   |
| รูปที่ 4.8 ผลการตัดแยกเซลล์จากรูปที่เตรียมด้วย SE ขนาด R ต่างๆ .....  | 86   |
| รูปที่ 4.9 ผลการตัดแยกเซลล์จากรูปที่เตรียมด้วย SE ขนาด R ต่างๆ .....  | 87   |
| รูปที่ 4.10 ภาพขาวดำที่ได้จากการปรับปรุงภาพให้เหมาะสม ภาพหมายเลข 10 .....   | 88   |
| รูปที่ 4.11 ภาพขาวดำที่ได้จากการปรับปรุงภาพให้เหมาะสม ภาพหมายเลข 13 .....   | 88   |
| รูปที่ 4.12 ค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของโอดลีย์ใช้ในการตัดแยกเซลล์โซมาติก<br>จำนวน 20 ภาพ.....                     | 89   |
| รูปที่ 4.13 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ ( $\vec{F}_k(i)$ ) .....                                       | 90   |
| รูปที่ 4.14 การกระจายตัว $\vec{F}_k(i)$ ของค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ .....   | 93   |
| รูปที่ 4.15 ผลการคัดแยกเซลล์โซมาติก และการกำจัดสิ่งรบกวนด้วยค่าคุณลักษณะเด่น<br>หรือค่าเกณฑ์ $\vec{f}_{size}$ ..... | 94   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.16 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของเซลล์ ( $\bar{F}_k(i)$ ).....   | 95   |
| รูปที่ 4.17 การกระจายตัวค่าปัจจัยรูปร่างความกลม .....  | 97   |
| รูปที่ 4.18 การกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น $FV(f_{circ}, P)$ .....  | 98   |
| รูปที่ 4.19 ผลการจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติก ภาพหมายเลข 13.....   | 98   |
| รูปที่ 4.20 ผลการตัดแยกเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน .....   | 99   |
| รูปที่ 4.20 ผลการตัดแยกเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน (ต่อ).....  | 100  |
| รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น (ส่วนประกอบเซลล์โซมาติก).....  | 101  |
| รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น $I_{Cyr}$ และ $Dist$ .....   | 102  |
| รูปที่ 4.23 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธี ระบุด้วยกรอบสีเขียว<br>เปรียบเทียบกับการนับ โดยผู้เชี่ยวชาญ ระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 08<br>มีค่า Recall = 1.....     | 107  |
| รูปที่ 4.24 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธี ระบุด้วยกรอบสีเขียว<br>เปรียบเทียบกับการนับ โดยผู้เชี่ยวชาญ ระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 15<br>มีค่า Recall = 0.846..... | 107  |
| รูปที่ 4.25 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธี ระบุด้วยกรอบสีเขียว<br>เปรียบเทียบกับการนับ โดยผู้เชี่ยวชาญ ระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 04<br>มีค่า Recall = 0.875..... | 108  |
| รูปที่ 4.26 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธี ระบุด้วยกรอบสีเขียว<br>เปรียบเทียบกับการนับ โดยผู้เชี่ยวชาญ ระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 14<br>มีค่า Recall = 0.857..... | 108  |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|                            |  |
|----------------------------|--|
| $\{x\}$                    | เซต  |
| $\in$                      | เป็นสมาชิกของ  |
| $\forall$                  | สำหรับทุกๆ   |
| $(\omega)$                 | ค่าความน่าจะเป็น   |
| $(\mu)$                    | ค่าเฉลี่ยรวม   |
| $(\sigma^2)$               | ค่าความแปรปรวน   |
| $\sigma_w^2$               | ค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม                                       |
| $\sigma_B^2$               | ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม                                     |
| $\mu_b, \mu_0$             | ค่าเฉลี่ยระดับพิกเซลของพื้นหลัง                                |
| $\mu_f, \mu_1$             | ค่าเฉลี่ยระดับพิกเซลของวัตถุ                                   |
| $\omega_b, \omega_0$       | จำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณพื้นหลัง                            |
| $\omega_f, \omega_1$       | จำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพวัตถุ                                  |
| $\Rightarrow, \rightarrow$ | มีความหมายโดยนัย   |
| $\wedge$                   | Logical AND  |
| $\vee$                     | Logical OR   |
| $\ominus$                  | การเซาะ (Morphological Erosion)                                |
| $\oplus$                   | การขยาย (Morphological Dilation)                               |
| $\cup$                     | ยูเนียน (Union)  |
| $\cap$                     | อินเตอร์เซกชัน (Intersection)                                  |
| $\bullet$                  | การปิด (Morphological Closing)                                 |
| $ x - y $                  | ค่าสัมบูรณ์  |
| $\bar{f}_{size}$           | Classification by Size   |
| $f_{circ}(i)$              | Circularity Shape Factor                                       |
| CCD/CMOS                   | Charge Coupled Device/Complementary Metal Oxide Semiconductor) |
| CMYK                       | Cyan, Magenta, Yellow, Black                                   |
| HSV                        | Hue, Saturation, Value   |
| $Max(R_i)$                 | ค่า Maximum  |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

|            |                      |
|------------|----------------------|
| $Min(R_i)$ | ค่า Minimum          |
| RGB        | Red, Green, Blue     |
| SE         | Structuring Element  |
| $T$        | ค่าขีดแบ่ง Threshold |





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอาชีพการเลี้ยงโคนมได้แพร่หลายไปสู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากคนไทยได้ให้ความสำคัญกับสุขภาพและเข้าใจคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมมากขึ้น ถึงแม้ในปัจจุบัน การเลี้ยงโคนมจะเป็นอาชีพที่ได้รับความนิยม แต่การเลี้ยงและดูแลมีปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหาจากพันธุกรรม อาหารและการให้อาหาร การจัดการเลี้ยงดูและการจัดการสุขภาพ เป็นต้น ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ปัญหาโรคเต้านมอักเสบ (Mastitis) เป็นโรคที่เกิดจากการอักเสบของเนื้อเยื่อเต้านม ทำให้เต้านมและน้ำนมเกิดการเปลี่ยนแปลงผิดไปจากปกติ แม่โคจะให้ผลผลิตและคุณภาพน้ำนมลดลง ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมไม่สามารถนำน้ำนมที่มีคุณภาพมาจำหน่ายได้ จึงเกิดการสูญเสียรายได้ และทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ [1]

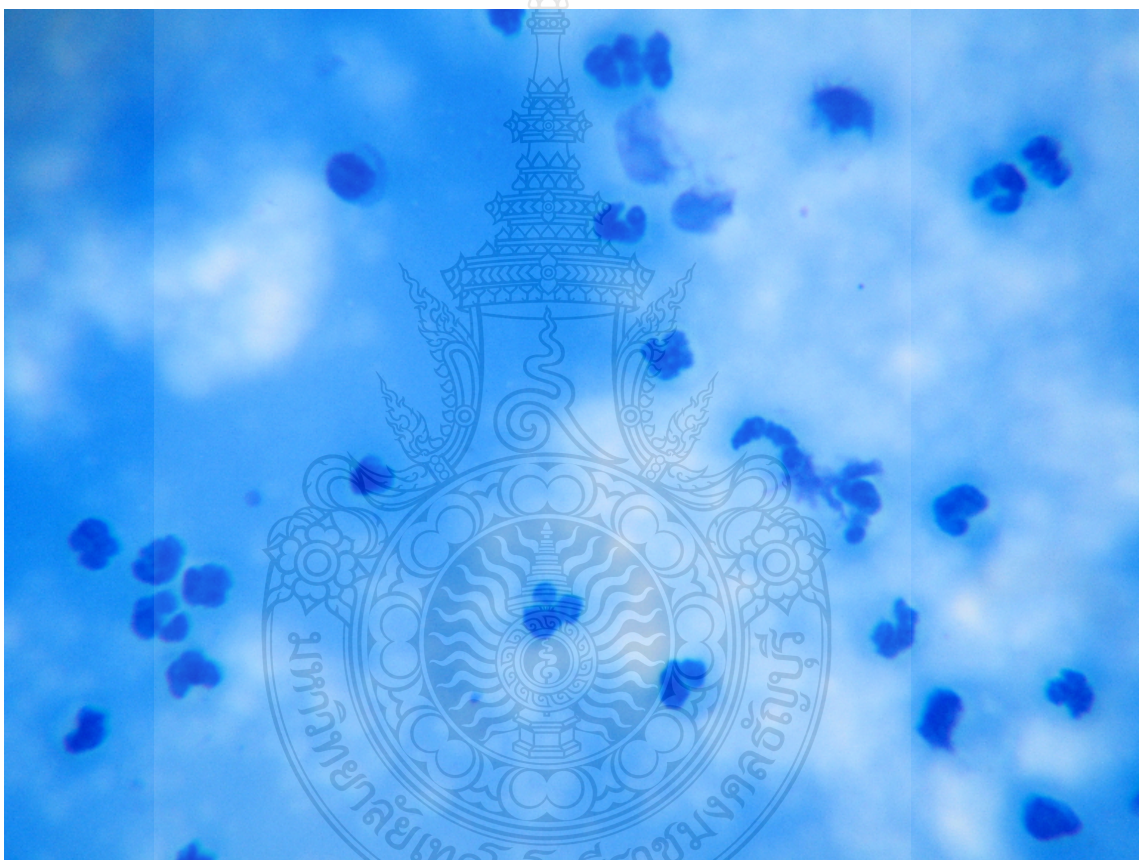
การวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบ สามารถตรวจได้ 2 วิธีการใหญ่ๆ คือ (1) การตรวจสอบโดยตรง เป็นการตรวจดูการเปลี่ยนแปลงของเต้านม และการเปลี่ยนแปลงของน้ำนม เช่น การตรวจคลำเต้านม การตรวจความผิดปกติของน้ำนมก่อนรีดนม เป็นต้น (2) การตรวจสอบทางอ้อม เป็นการนับประเมินจำนวนเซลล์โซมาติก (Somatic cell) ซึ่งเป็นเซลล์ร่างกายหรือเซลล์เม็ดเลือดขาวที่พบในน้ำนมดิบ การประเมินจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมสามารถทำได้หลายวิธี และวิธีที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ การตรวจโดยใช้น้ำยาทดสอบซีเอ็มที (California Mastitis Test: CMT) การตรวจด้วยเครื่องแบบอัตโนมัติ (Fossomatic Somatic Cell Count: FSSCC) และการนับโดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Direct Microscopic Somatic Cell Count: DMSCC) [2]

การตรวจด้วยน้ำยา CMT เป็นเพียงการตรวจน้ำนมดิบในเชิงคุณภาพของเบื้องต้นเท่านั้น เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่ายเกษตรกรสามารถตรวจสอบน้ำนมได้เองที่ฟาร์มและตรวจได้ทันทีภายหลังการเก็บตัวอย่างจากแม่โคหรือน้ำนมในถังรวมฟาร์ม

การตรวจด้วยเครื่องนับแบบอัตโนมัติ เช่น เครื่อง SomaCount เป็นการตรวจเชิงปริมาณเท่านั้น ไม่สามารถนับจำนวนแบคทีเรียในน้ำนมได้ เป็นวิธีที่ตรวจได้อย่างรวดเร็ว และตรวจตัวอย่างที่มีจำนวนมากได้โดยไม่เสียเวลามาก ใช้งานในระดับห้องปฏิบัติการน้อย แต่มีข้อเสียคือ มีราคาแพง มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์แต่ละครั้งสูง อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง การตรวจในแต่ละครั้งจะต้องมีจำนวนตัวอย่างมากพอและต้องเป็นห้องปฏิบัติการที่มีตัวอย่างน้ำนมส่งเข้ามา

ตรวจเป็นประจำจึงจะคุ้มค่า นอกจากนี้ จะต้องมีการทดสอบมาตรฐานของเครื่องอยู่เสมอเพื่อปรับค่าเครื่องให้เครื่องอ่านค่าได้ถูกต้อง

ถ้าหากต้องการประเมินจำนวนเซลล์ให้ใกล้เคียงกับจำนวนโซมาติกที่แท้จริงในน้ำนม จะต้องอาศัยวิธีการอื่นที่ให้ค่าถูกต้องมากขึ้น ได้แก่ การนับเซลล์โซมาติกด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ การตรวจด้วยวิธีการนี้สามารถนับเซลล์ที่สามารถมองเห็นด้วยกำลังขยายสูง โดยตรง จะทำให้การประเมินจำนวนเซลล์ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมากขึ้น วิธีการนี้สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจมากเกินไป [3]



รูปที่ 1.1 เซลล์โซมาติกที่ย้อมด้วยสีเมทิลีนบลู (Methylene blue)

การตรวจด้วยวิธีการต่างๆ ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ต้องมีการตรวจสอบผลของการประเมินจำนวนเซลล์เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้น การประเมินจำนวนเซลล์โซมาติกโดยการใช้อุปกรณ์โดยตรง จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมและมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถมองเห็น

ภาพเซลล์ทางกายภาพได้ แต่ว่า ความถูกต้อง และรวดเร็วจะขึ้นอยู่กับตัวบุคคลและประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ ซึ่งต้องส่องกล้องตรวจวิเคราะห์และนับเซลล์ไม่ต่ำกว่า 10 บริเวณภาพที่ไม่ซ้ำกันหรือมากกว่านั้น [1] จึงมีผลต่อสายตาของผู้นับ เป็นงานประจำที่น่าเบื่อและเสียเวลามาก เมื่อต้องตรวจวิเคราะห์น้ำหนักตัวอย่างเป็นจำนวนมาก

ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ศึกษาค้นคว้าเทคนิค และขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพ (Image processing) และกระบวนการทางสถิติ (Statistics) เพื่อออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมแล้วนำไปสร้างเป็นโปรแกรมให้สามารถตัดแยกและนับเซลล์ไขมันได้ โดยนำระบบคอมพิวเตอร์มาประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลแทนคนด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับภาพเซลล์ไขมัน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโดยอัลกอริทึม จะนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้การวิเคราะห์และนับโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้อง และเป็นการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม วิธีการที่นำเสนอตั้งกล่าวนี จะเพิ่มความสะดวก รวดเร็วในการทำงาน ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์ไขมันโดยที่ผู้วิเคราะห์ไม่ต้องทำการระบุสิ่งใดๆ ลงในภาพ

## 1.2 ความมุ่งหมายและกรอบแนวคิดในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) ทำการสกัดภาพเซลล์ไขมันที่ได้จากกล้องดิจิทัล โดยใช้วิธีการแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation) เพื่อตัดแยกเซลล์ไขมันออกจากพื้นหลัง การดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา (Morphological Operations) ช่วยปรับปรุงภาพให้เหมาะสมและดีขึ้น การตัดแยกเซลล์และการกำจัดสิ่งรบกวน การจำแนกกลุ่มเซลล์เพื่อการตัดแยกเซลล์ที่ติดกัน ด้วยวิธีการจำแนกโดยอาศัยคุณลักษณะเด่นแบบต่างๆ และการตัดแยกส่วนประกอบของเซลล์ไขมัน โดยจะกล่าวรายละเอียดของเทคนิคและขั้นตอนวิธีในบทที่ 2 และ 3 และการนับจำนวนเซลล์ ต่อจากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการวิเคราะห์ และนับโดยผู้เชี่ยวชาญต่อไป

### 1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีการ หรือขั้นตอนวิธีต่างๆ ในการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อการตัดแยกภาพเซลล์ไขมันออกจากพื้นหลัง

1.3.2 เพื่อออกแบบ และพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตัดแยกและนับเซลล์ไขมัน

1.3.3 เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีต้นแบบที่ช่วยวิเคราะห์เซลล์ไขมัน เพื่อเพิ่มความสะดวกและความถูกต้อง แม่นยำ ในการนับเซลล์ไขมันให้แก่ผู้เชี่ยวชาญ

### 1.4 สมมุติฐานการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน และการวินิจฉัยปัญหาโรคเต้านมอักเสบด้วยวิธีการประเมินจำนวนเซลล์ไขมันในน้ำมัน โคนั้น มีหลายวิธี การประเมินจำนวนเซลล์ไขมันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้ผลการประเมินจำนวนเซลล์มีค่าใกล้เคียงกับจำนวนที่แท้จริง เนื่องจากสามารถมองเห็นเซลล์ทางกายภาพ ได้ด้วยกำลังขยายของกล้อง โดยผู้เชี่ยวชาญต้องใช้สายตาส่องกล้องตรวจวิเคราะห์ เป็นงานประจำที่น่าเบื่อและเสียเวลามาก เมื่อมีตัวอย่างน้ำมันจำนวนมาก

การนำคอมพิวเตอร์มาประมวลผลข้อมูลภาพเซลล์ไขมัน แทนการตรวจวิเคราะห์และนับโดยผู้เชี่ยวชาญ จะเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความสะดวก และรวดเร็วให้กับผู้เชี่ยวชาญ การได้มาซึ่งอัลกอริทึมที่ดีและเหมาะสมนั้น จะต้องศึกษาเทคนิค ขั้นตอนวิธีต่างๆ ในการประมวลผลภาพดิจิทัล แล้วนำมาออกแบบ พัฒนาอัลกอริทึมและสร้าง โปรแกรมให้สามารถตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง ทำการนับจำนวนเซลล์ และแสดงผลพร้อมออกมาได้ จะเป็นการเพิ่มความรวดเร็วในการทำงาน ลดความเบื่อหน่าย เมื่อผู้วิเคราะห์ต้องตรวจนับภาพจำนวนมาก

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อการตัดแยกภาพเซลล์ไขมันในน้ำมัน โคลที่ข้อมด้วยสีเมทิลีนบลู

1.5.2 ใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งในการตัดแยกภาพเซลล์ไขมันออกจากพื้นหลัง

1.5.3 นับจำนวนภาพเซลล์ไขมันทั้งหมดในภาพ

1.5.4 เปรียบเทียบผลการนับเซลล์ระหว่างขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพกับผู้เชี่ยวชาญ

1.5.5 ออกแบบอัลกอริทึมในการตัดแยกเซลล์ที่ติดกัน

1.5.6 พัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการนับจำนวนเซลล์ไขมัน และรายงานผลได้

## 1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย

- 1.6.1 ขั้นตอนวิธีใช้กับภาพเซลล์โซมาติกที่เชื่อมด้วยสีเมทิลีนบลู
- 1.6.2 ความคมชัดของภาพขึ้นอยู่กับคุณภาพของกล้องดิจิทัลที่ใช้ถ่ายภาพ
- 1.6.3 การตัดแยกเซลล์ออกจากพื้นหลังจะใช้ภาพในโหมดระดับเทา
- 1.6.4 การได้มาซึ่งภาพเซลล์โซมาติกได้จากการถ่ายภาพบนพื้นผิวของแผ่นสไลด์ ที่ได้ผ่านกระบวนการเสมีร์น้ำนม และเลือกถ่ายภาพบริเวณที่เหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้โปรแกรมต้นแบบที่ช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค
- 1.7.2 ได้ขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์เซลล์โซมาติกขั้นตอนวิธีใหม่ เพื่อนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมประมวลผลภาพเพื่อใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมหรือธุรกิจ
- 1.7.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางเลือกที่มีต้นทุนต่ำ เพื่อใช้ในการปรับเทียบกับการนับด้วยเครื่องแบบอัตโนมัติซึ่งมีราคาแพง
- 1.7.4 เพิ่มความสะดวกและรวดเร็วให้แก่ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินจำนวนเซลล์โซมาติกด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรง

## บทที่ 2

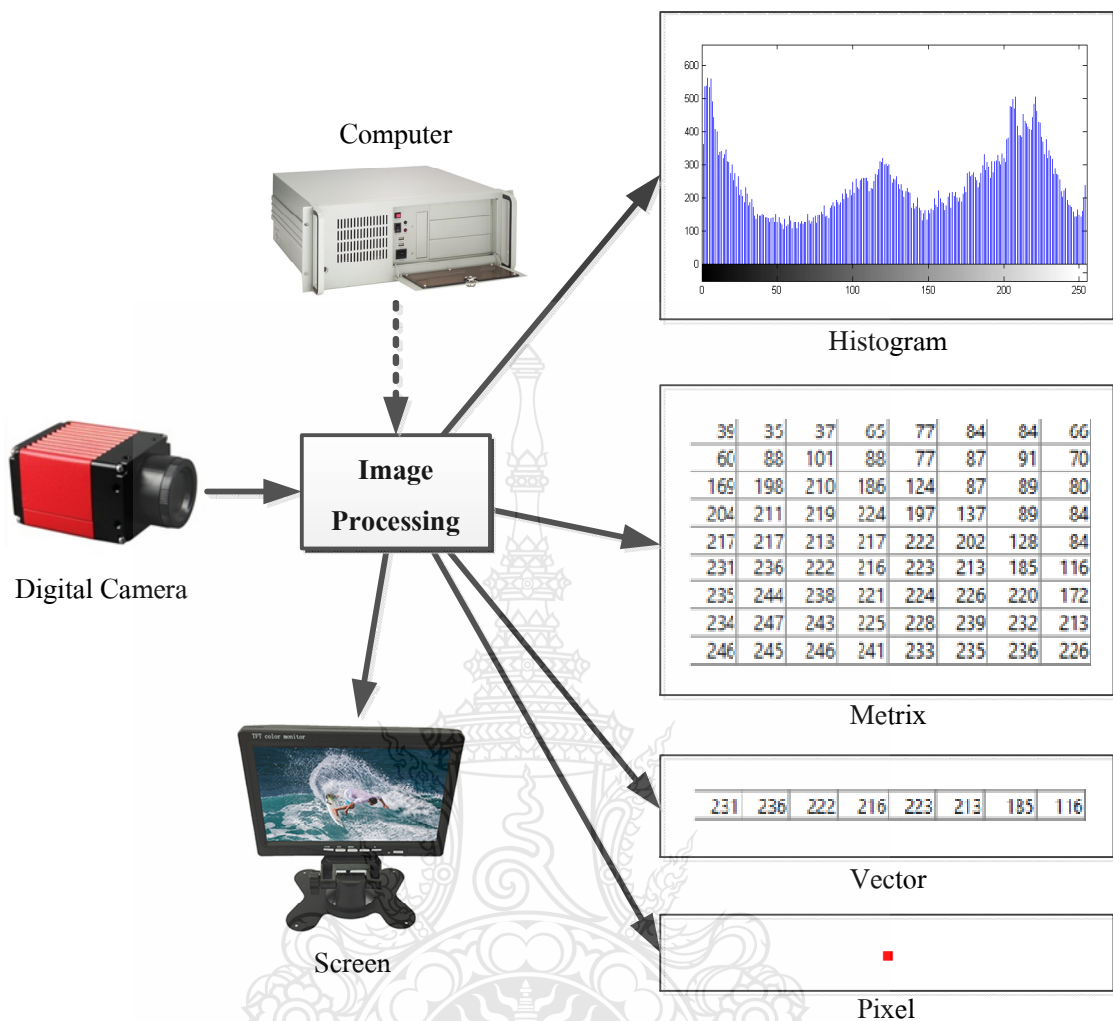
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงงานวิจัยที่ใกล้เคียงหรืออาจมีความเหมาะสมกับการนำมาประมวลผลภาพเซลล์โซมาติก ส่วนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึง ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิทัล ประเภทของภาพดิจิทัล มาตรฐานของสี ภาพสี RGB การแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำโดยใช้ค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการของโอตสึ (Otsu's method) การดำเนินการทางสัณฐานวิทยา (Morphological operation) เพื่อใช้ในการปรับปรุงภาพ การแยกส่วนประกอบของเซลล์โซมาติกโดยใช้วิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ (Region Segmentation) สถิติพื้นฐาน (Statistics) เพื่อใช้ในการจำแนกวัตถุ (Classification) โดยใช้คุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) ที่ได้จากการวัดและคำนวณภาพวัตถุ ด้วยวิธีจำแนกวัตถุ (Classifier) แบบต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) [4] คือ การนำคอมพิวเตอร์มาทำการประมวลผลข้อมูลภาพ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าเป็นภาพอะไร มีวัตถุหรือสิ่งที่ต้องการค้นหาอยู่ในภาพหรือไม่ โดยที่ไม่ต้องให้มนุษย์มาช่วยคิดและตัดสินใจใดๆ การประมวลผลข้อมูลนั้นมีมากมายหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีประโยชน์แตกต่างกันไป เช่น การนำค่าความเข้มระดับพิกเซลเพียงจุดเดียวมาวิเคราะห์ หรือจะวิเคราะห์หลายๆ จุดรวมกันเป็นพื้นที่ การวิเคราะห์จากความหยาบละเอียดพื้นผิว (Texture) หรือการวิเคราะห์รูปร่างของวัตถุ (Shape) เป็นต้น วิธีการดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจว่าวัตถุที่กำลังค้นหาว่ามีอยู่หรือไม่ หรือเพื่อการปรับภาพให้มีความเหมาะสมขึ้น มีความคมชัดขึ้น เป็นต้น

ดังที่กล่าวมา การประมวลผลภาพดิจิทัล จึงเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัล สามารถที่จะนำเอาข้อมูลภาพมาจัดการผ่านขั้นตอนวิธีต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ “ภาพดิจิทัล” เป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆ เรียกว่า “พิกเซล” (Pixel) โดยที่แต่ละพิกเซลจะใช้ตัวเลขแทนค่าระดับความเข้มสีหรือระดับความสว่าง สามารถเปลี่ยนแปลงระดับค่าพิกเซลให้ได้ภาพผลลัพธ์ตามต้องการได้ การประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่มหลักๆ [4] ได้แก่ การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) การกู้คืนภาพ (Image Restoration) การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) การสังเคราะห์ภาพ (Image Synthesis) และการบีบอัดภาพ (Image compression)



รูปที่ 2.1 มุมมองผลลัพธ์แบบต่างๆ ตามความต้องการในการประมวลผลภาพ

ดังนั้น ภาพดิจิทัล จึงสามารถนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อปรับปรุงภาพตามที่ต้องการด้วยขั้นตอนวิธีต่างๆ ได้ ซึ่งกระบวนการหรือขั้นตอนวิธีจะเป็นการนำตัวเลขในแต่ละพิกเซล มาวิเคราะห์และประมวลผล จะทำการวิเคราะห์เพียงแค่พิกเซลเดียวหรือจะทำการวิเคราะห์เป็นกลุ่มพิกเซล และหรืออาจจะวิเคราะห์พิกเซลหมดทั้งภาพ ผลลัพธ์ที่ได้นั้น ถ้าหากมองในด้านของการคำนวณ ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปของเมทริกซ์ (Matrix) หรือเวกเตอร์ (Vector) แต่ถ้ามองในด้านของการแสดงผลแล้ว ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปของภาพหนึ่งภาพ กราฟ หรือจะเป็นระดับค่าสี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการแสดงผลภาพ หรือต้องการเฉพาะค่าจากการคำนวณ มุมมองผลลัพธ์ที่ต้องการซึ่งได้จากกระบวนการหรือขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพ แสดงดังรูปที่ 2.1

## 2.2 ภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัล (Digital Images) [5, 6] ได้จากการถ่ายภาพจากสิ่งแวดล้อม หรือจากการทำสำเนาภาพเอกสารต่างๆ บันทึกไว้ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัล เอกสารจากเครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น ซึ่งภาพดิจิทัลจะประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆ มีรูปแบบเป็นแผ่นตาราง โดยแต่ละช่องจะเป็นส่วนหนึ่งของภาพ เรียกว่า “พิกเซล” แต่ละพิกเซลจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมและนำมาเรียงต่อกันทำให้เกิดเป็นภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็น “เมทริกซ์” แต่ละพิกเซลจะมีค่าตัวเลขบ่งบอกถึงระดับความเข้มสี หรือระดับความสว่าง ดังนั้น คุณภาพของภาพจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของแต่ละพิกเซลด้วย

เมื่อภาพประกอบด้วยพิกเซลที่มีตัวเลขบ่งบอกระดับความเข้มสีที่แสดงอยู่ในรูปของตารางหรือเมทริกซ์ จึงสามารถนิยามเมทริกซ์ของภาพได้ดังสมการที่ 2.1 [7]

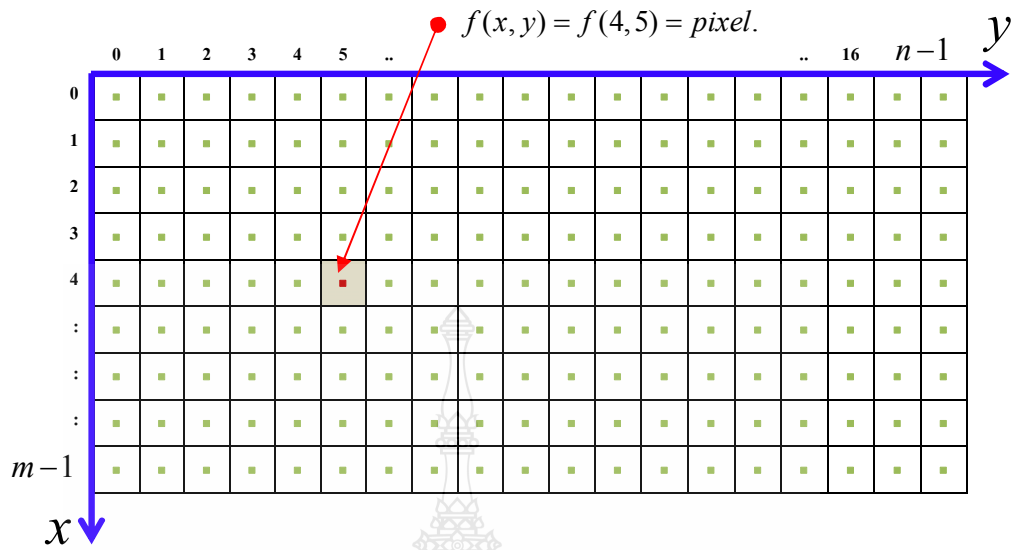
$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & a_{0,2} & \dots & a_{0,n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m-1,0} & a_{m-1,1} & a_{m-1,2} & \dots & a_{m-1,n-1} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $A$  คือ เมทริกซ์ของภาพ สมาชิกของเมทริกซ์ คือ  $a_{0,0}, a_{0,1}, \dots, a_{m-1,n-1}$  หรือ  $a_{i,j}$  ซึ่งตัวแปร  $i, j$  เป็นดัชนีของเมทริกซ์  $A$  โดยที่  $i, j$  เป็นดัชนีของแถวและคอลัมน์ตามลำดับ

ดังนั้น ถ้าหากต้องการเข้าถึงข้อมูลภาพแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 6 สามารถอ้างอิงพิกัดได้โดยใช้พิกัดว่า  $a_{5,6}$  และนิยามภาพเป็นฟังก์ชันสองมิติซึ่งแสดงอยู่ในรูปแบบของ  $f(x, y)$  เมื่อ  $f(x, y)$  มีค่ามากกว่า 0 และมีขอบเขต ( $f(x, y) \in (0, \infty)$ ) ดังนั้น  $f(x, y)$  คือ “ตัวเลขของภาพ ณ ตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$ ” ตัวเลขนี้หากมองเป็นเซ็นเซอร์รับภาพ จะหมายถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้า หากมองเป็นภาพสีจะเป็นค่าสีที่ผสมกันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน หากมองเป็นภาพระดับเทาจะเป็นค่าระดับพิกเซล

ตัวเลขแต่ละค่าที่อยู่ในเมทริกซ์ พิกัด  $(0,0)$  จะอยู่ด้านซ้ายมือตำแหน่งบนสุดของภาพ ลำดับตำแหน่งของแต่ละจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวา พิกัดของระดับค่าความเข้มแสงหรือระดับพิกเซลของภาพดิจิทัล แสดงดังรูปที่ 2.2





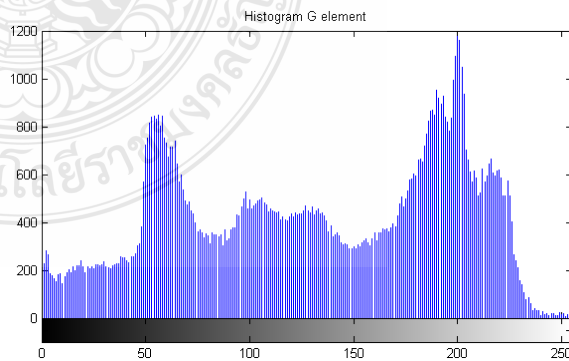
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ของภาพดิจิทัล

“พิกเซล” หรือจุดภาพ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “องค์ประกอบของภาพ” (Picture element) เป็นหน่วยพื้นฐานของภาพ หมายถึง จุดใดๆ ในตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  เป็นฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ที่แสดงค่าระดับพิกเซลหรือความเข้มของภาพ จากสมการ 2.1 สามารถแทนด้วยพิกเซล แสดงดังรูปที่ 2.2

“ฮิสโตแกรม” (Histogram) คือ กราฟที่แสดงจำนวนความถี่ของระดับของพิกเซลแต่ละระดับ โดยที่ แกน  $x$  คือ ระดับของพิกเซล มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 และแกน  $y$  คือ จำนวนความถี่ของระดับพิกเซลระดับนั้นๆ แสดงดังรูปที่ 2.3



(ก) ภาพระดับเทา



(ข) กราฟฮิสโตแกรมของภาพระดับเทา

รูปที่ 2.3 ฮิสโตแกรมของภาพระดับเทา

## 2.3 ประเภทของภาพดิจิทัล

รูปแบบของภาพดิจิทัล แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ (1) Vector Graphics และ (2) Raster Graphics [6] ลักษณะประเภทของภาพดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 2.4 ภาพดิจิทัลประเภท Vector คือ ภาพที่มีลักษณะเป็นเส้นที่มีรูปทรงและสามารถกำหนดรูปร่างได้ เช่น เส้นตรง เส้นโค้ง เป็นต้น ซึ่งสามารถถอดแยกชิ้นออกมาเป็นรูปทรงเรขาคณิตได้ ส่วนภาพประเภท Raster คือ ภาพที่ไม่มีกำหนดรูปทรงที่แน่นอน อาจเป็นวงกลม วงรี หรือเส้นตรง เป็นต้น ไม่สามารถถอดแยกออกมาเป็นรูปทรงเรขาคณิตได้ ซึ่งเรียกภาพชนิดนี้ว่า ภาพ Bit-Map เป็นภาพที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างพิกเซลของภาพ ซึ่งอาจจะได้มาจากเครื่องสแกนเนอร์ (Scanners) หรือกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล (Digital cameras) เป็นต้น ภาพดิจิทัลในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงภาพดิจิทัลประเภท Raster ได้แก่ ภาพขาวดำ ภาพระดับเทา และภาพสี RGB



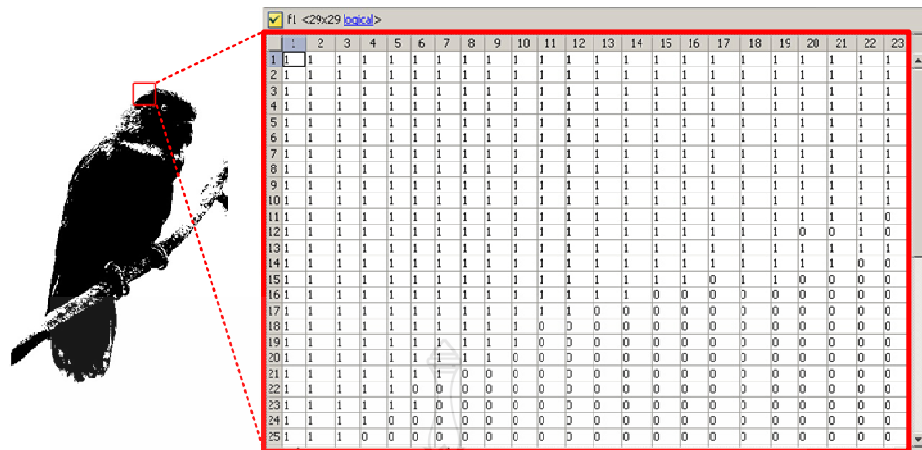
(ก) Raster Graphics

(ข) Vector Graphics

### รูปที่ 2.4 ภาพดิจิทัลแบบ Raster และ Vector [8]

#### 2.3.1 ภาพขาวดำ (Black –White Images)

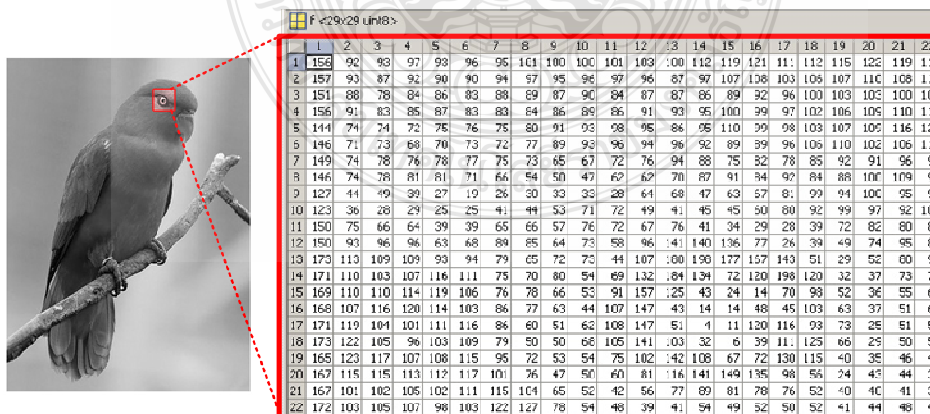
ภาพขาวดำ หรือภาพไบนารี (Binary Images) เป็นภาพดิจิทัลที่แต่ละพิกเซลจะมีค่าเพียงแค่ 2 ค่า คือ “0” หรือสีดำ และ “1” เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ภาพสองระดับ (Bi-level Images) ภาพขาวดำในหนึ่งพิกเซลจะใช้เนื้อที่เก็บข้อมูลเพียง 1 บิต ค่าพิกเซลเพียง 2 ค่า จะเป็นการประมวลผลภาพที่ให้ผลลัพธ์อยู่ในรูปแบบที่แน่นอน เมื่อต้องการแยกภาพวัตถุออกจากพื้นหลัง เช่น ใช้ในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) แสดงตัวอย่างภาพขาวดำ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพขาวดำและระดับพิกเซล 2 ค่า

### 2.3.2 ภาพระดับเทา (Gray Level Image)

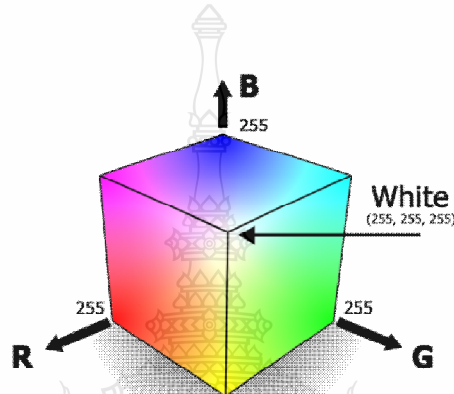
ภาพระดับเทา เป็นภาพที่มีค่าความเข้มหรือระดับพิกเซลเป็นปริมาณสเกลาร์ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ภาพสีเดียว” (Monotone color) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.6 ภาพระดับเทาเกิดจากการกำหนดค่าความเข้มแสงให้แก่ละพิกเซล ซึ่งมีขนาด 8 บิต (1 ไบต์) จึงสามารถแสดงความเข้มแสงได้ 256 ระดับ คือ 0 ถึง 255 ค่า “0” พิกเซลจะเป็นสีดำ ระดับของความเข้มแสงจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จากสีดำจนถึงค่า “255” จะเป็นสีขาว ภาพระดับเทาเป็นรูปแบบภาพที่นิยมนำมาใช้ในการประมวลผลภาพมากอีกแบบหนึ่ง เพราะข้อมูลภาพมีรายละเอียดของความหยابละเอียดสูงต่ำของพื้นผิวที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ภาพอย่างยิ่ง รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างภาพระดับเทาและระดับพิกเซล



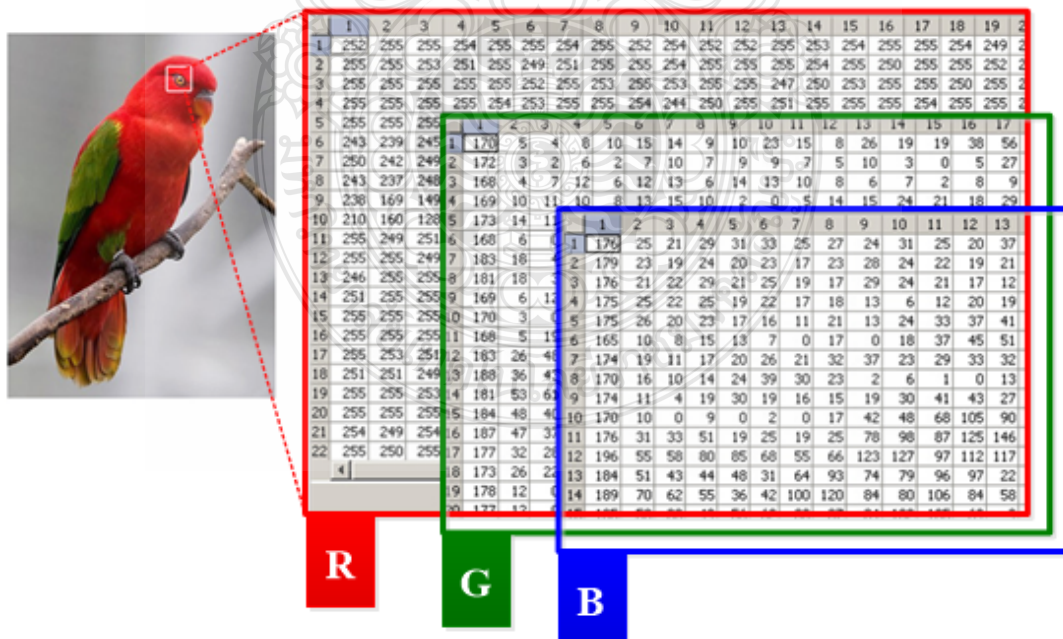
รูปที่ 2.6 ภาพระดับเทา และระดับพิกเซลที่เป็นไปได้ 256 ค่า

### 2.3.3 ภาพสี RGB

ภาพสี RGB เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ภาพสีจริง” (True color images) เป็นภาพที่ได้จากการรวมกันของ 3 สี คือสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) แต่ละสีมีค่าระดับพิกเซลแตกต่างกัน 256 ค่า ตั้งแต่ 0 - 255 แสดงดังรูปที่ 2.8 แต่ละพิกเซลใช้เนื้อที่จัดเก็บข้อมูลขนาด 24 บิต สีละ 8 บิต รวมเป็น 24 บิต ดังนั้น ภาพจึงมีระดับสีมากถึง  $256^3 = 16,777,216$  ระดับ [7] แสดงดังปริภูมิสี RGB (RGB model) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 RGB Model ขนาด 24 บิต [9]



รูปที่ 2.8 ภาพสี RGB และค่าระดับพิกเซล

## 2.4 การแปลงภาพสี RGB

การแปลงภาพสี RGB เป็นกระบวนการหนึ่งที่น่ามาใช้เพื่อตัดแยกภาพที่สนใจออกจากพื้นหลังจากภาพที่ทำการแปลงเป็นภาพระดับเทาแล้ว เพราะว่า ภาพระดับเทานั้นจะมีลักษณะของพื้นผิววัตถุแสดงรายละเอียด สูงต่ำ ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวมีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์วัตถุเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้มี 2 กระบวนการแปลงภาพ คือ การแปลงภาพสีในโหมด RGB เป็นภาพระดับเทา และการแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ

### 2.4.1 การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา

การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา โดยที่ค่าระดับเทาจะเป็นค่าบ่งบอกถึงความสว่างหรือความเข้มมีค่าตั้งแต่ 0 - 255 ซึ่งภาพสี RGB จะประกอบด้วย 3 องค์ประกอบภาพ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบภาพจะมีค่าระดับพิกเซลตั้งแต่ 256 ค่า คือ 0 - 255 เหมือนภาพระดับเทา ดังนั้นการแปลงภาพสี RGB จึงเป็นการรวม 3 องค์ประกอบเข้าด้วยกัน มีรูปแบบดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 [10]

$$I = (R + G + B) / 3 \quad (2.2)$$

$$I = (w_1R + w_2G + w_3B) \quad (2.3)$$

โดยที่

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \text{ และ } w_1, w_2, w_3 > 0$$

$I$  คือ ภาพระดับเทา

$R, G, B$  คือ ค่าระดับพิกเซลขององค์ประกอบสี  $R, G$  และ  $B$

$w_1, w_2, w_3$  คือ ค่าน้ำหนักของสี  $R, G$  และ  $B$  ตามลำดับ

พิจารณาจากสมการที่ 2.2 จะเป็นการเฉลี่ยค่าสีได้จากทั้ง 3 องค์ประกอบ ผลลัพธ์ที่ได้สีของภาพระดับเทาจะไม่ตรงตามที่สายตามนุษย์มองเห็น ดังนั้น เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกับการมองเห็นของสายตามนุษย์มากที่สุด จึงได้มีกำหนดค่าน้ำหนักในแต่ละสีที่เหมาะสมขึ้นซึ่งได้จากการทดลอง โดยใช้สมการที่ 2.4 [7] ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.9(ข)

$$Intersity = (0.298R + 0.5870G + 0.1140B) \quad (2.4)$$



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพระดับเทา

รูปที่ 2.9 ผลที่ได้จากการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา [10]

#### 2.4.2 การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ

การแปลงภาพระดับเทาที่มีระดับพิกเซล ตั้งแต่ 0 - 255 ให้เป็นภาพขาวดำ ซึ่งมีระดับพิกเซลเพียง 2 ระดับ คือ “0” สีดำ และ “1” สีขาว (Normalized Value) โดยใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สำคัญและนิยมใช้ในการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เพื่อตัดแยกภาพวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลัง จะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.6

### 2.5 การแบ่งส่วนภาพ

การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นกระบวนการที่แบ่งบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนย่อยๆ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการแยกวัตถุที่สนใจออกจากพื้นหลังได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยจะใช้ขั้นตอนวิธีใด หรือเงื่อนไขใดในการตัดแยกนั้น คือ จะพิจารณาว่า ระดับพิกเซลหรือกลุ่มพิกเซลที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น คือ พื้นที่หรือบริเวณใดในภาพ จะให้จัดเป็นพื้นที่ของวัตถุ (Object) หรือให้จัดเป็นพื้นหลัง (Background) กระบวนการแบ่งส่วนภาพมีหลากหลายกรณีศึกษาเพื่องานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ 2 วิธีเพื่อทดลองเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งส่วนภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ Region-based segmentation และ Edge-based segmentation [4, 7, 11]

#### 2.5.1 การแบ่งส่วนภาพโดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง

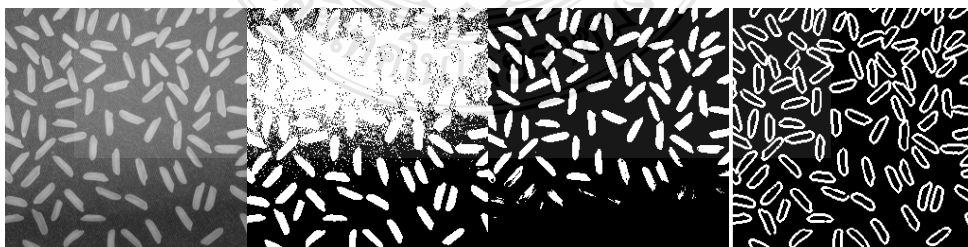
การแบ่งส่วนภาพโดยการกำหนดด้วยค่าขีดแบ่ง (Thresholding) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “Area-based Segmentation” [10] เป็นการเลือกค่าขีดแบ่งเพื่อให้มีความเหมาะสมกับภาพ มีหลายวิธีจะเลือกใช้วิธีใดให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.6 การกำหนดค่าขีดแบ่ง และหัวข้อที่ 2.7 การกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการของ โอตสึ (Otsu’s method)

## 2.5.2 การแบ่งส่วนภาพโดยใช้ขอบของวัตถุ

การแบ่งส่วนภาพโดยใช้ขอบของวัตถุ (Edge-based Segmentation) จะคำนวณหาขอบของวัตถุ ซึ่งขอบของวัตถุ คือ พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับพิกเซลหรือความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระดับพิกเซลนี้สามารถตรวจจับได้โดยใช้ตัวตรวจจับขอบวัตถุ (Edge Detector) มีอยู่หลายแบบ เช่น Sobel Prewitt และ Candy เป็นต้น [12]

ผลของการแบ่งส่วนภาพออกเป็นส่วนๆ ทั้ง 2 วิธีนั้น ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.10 จากภาพวิเคราะห์ได้ว่า การเลือกใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวทั้งภาพ (Global Thresholding) เพื่อสกัดภาพเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลังนั้น ไม่สามารถดึงภาพเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลังได้ทั้งหมดหลายๆ เมล็ดจะมีรูปร่างไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถแยกวัตถุออกมาได้ไม่ว่าจะทดลองด้วยค่าขีดแบ่งค่าใดๆ แสดงดังรูปที่ 2.10(ข), (ค) สาเหตุเนื่องจากระดับพิกเซลในภาพระดับเทามีการกระจายตัวของข้อมูลพื้นหลังไม่สม่ำเสมอ ดูได้จากความสว่างแต่ละบริเวณของพื้นหลังไม่เท่ากัน เมื่อทำการสกัดภาพเมล็ดข้าวด้วยการใช้ขอบวัตถุคือขอบของเมล็ดข้าว โดยการใช้อัตราตรวจจับขอบแบบ Sobel ปรากฏว่า สามารถแยกเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลังได้ได้สมบูรณ์และเหมาะสมกว่าการกำหนดค่าขีดแบ่ง แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.10(ง)

การแบ่งส่วนภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวกันทั้งภาพ จะได้ภาพผลลัพธ์ที่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับวิธีการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ตัวตรวจจับขอบ อย่างไรก็ตาม วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งจะมีความเหมาะสมกว่าเมื่อนำไปใช้เพื่อการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะใช้การคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุมาทำการจำแนกผลิตภัณฑ์ อีกอย่างหนึ่ง สามารถนำไปคำนวณหาค่าคุณลักษณะเด่นพื้นฐานอื่นๆ เช่น พื้นที่วัตถุ ความยาวรอบรูป และจุดศูนย์กลางของวัตถุ เป็นต้น ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีการแบ่งส่วนภาพด้วยการใช้ขอบของวัตถุ เพื่อลดและแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถที่จะจัดแสงให้มีความสม่ำเสมอและเหมาะสมได้



(ก) Gray scale

(ข)  $T = 100$

(ค)  $T = 153$

(ง) Sobel method

รูปที่ 2.10 ผลการแบ่งส่วนภาพทั้ง 2 วิธี [13]

## 2.6 การกำหนดค่าขีดแบ่ง

การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) เป็นวิธีการแปลงข้อมูลภาพที่มีระดับพิกเซลหลายระดับให้เป็นภาพที่มีระดับพิกเซลเพียง 2 ระดับ คือ “0” คือ สีดำ และ “1” คือ สีขาว เป็นวิธีการที่สำคัญและนิยมใช้ในการตัดแยกหรือแบ่งส่วนภาพอย่างแพร่หลาย จุดประสงค์เพื่อต้องการแยกวัตถุที่สนใจออกจากพื้นหลัง แสดงดังรูปที่ 2.12 หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการพิจารณาว่าพิกเซลที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจัดเป็นวัตถุใดในภาพ หรือพิกเซลใดเป็นบริเวณของพื้นหลัง

กระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง จะเลือกค่าระดับพิกเซลเพียงค่าเดียว เป็นค่าขีดแบ่ง (Threshold value) หากพิกเซลใดมีระดับพิกเซลมากกว่าค่าขีดแบ่ง จะกำหนดให้พิกเซลนั้นมีค่าใหม่เป็น “1” เรียกว่า “วัตถุ” (Object) ภาพจะมีสีขาว ถ้าหากพิกเซลใดมีค่าระดับพิกเซลน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง จะกำหนดให้พิกเซลนั้นมีค่าใหม่เป็น “0” หรือสีดำ เรียกว่า “พื้นหลัง” (Background) เงื่อนไขการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง แสดงดังสมการที่ 2.5 [7, 11]

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2.5)$$

โดยที่

$g(x, y)$  คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดค่าขีดแบ่ง มีค่าเป็น “0” หรือ “1”

$f(x, y)$  คือ ค่าความเข้มหรือค่าระดับเทาของพิกเซลที่พิกัด  $(x, y)$

$T$  คือ ค่าขีดแบ่ง

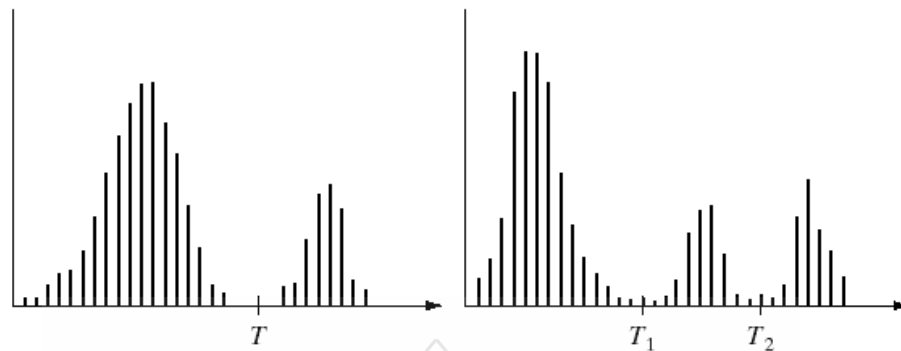
วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งมี 2 แบบ คือ [7]

Global Thresholding คือ การแบ่งส่วนภาพที่ใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวทั้งภาพ

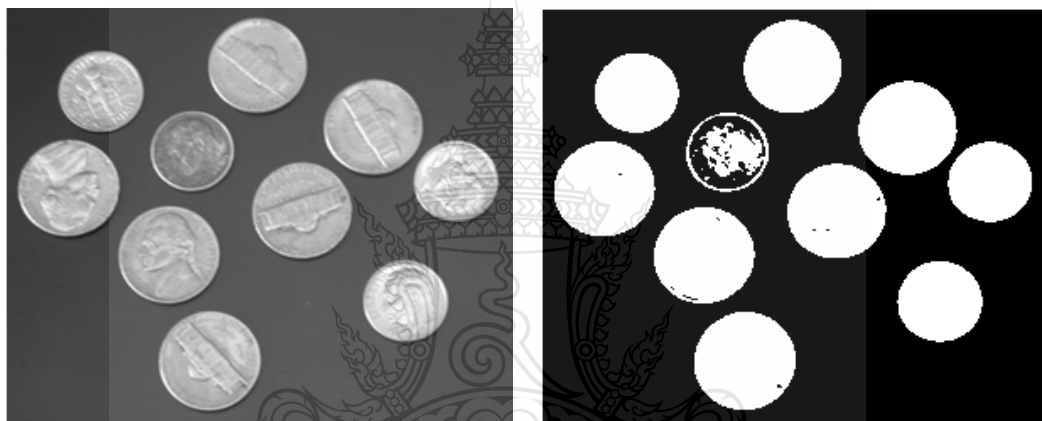
Adaptive Thresholding คือ การแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ ซึ่งแต่ละภาพย่อยจะใช้ค่าขีดแบ่งเฉพาะของภาพย่อยนั้นๆ [10, 12]

การแบ่งส่วนภาพด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง เป็นขั้นตอนแรกก่อนที่จะนำภาพไปใช้ในการวิเคราะห์หรือเพื่อการประมวลผลอื่นๆ เช่น เพื่อการรู้จำทะเบียนรถ เมื่อคำนวณได้ตำแหน่งทะเบียนรถแล้วจึงทำการตัดแยกตัวอักษรแต่ละตัวออกมา เมื่อได้ตัวอักษรแต่ละตัวแล้ว จึงนำตัวอักษรไปทำการรู้และจำ (Recognition) เพื่อการจำแนกให้ได้ว่าอักษรนั้นคืออักษรอะไร จะเห็นได้ว่า หากขั้นตอนแรกซึ่งเป็นขั้นตอนการตัดแยกตัวอักษรทำได้ไม่ดีไม่ถูกต้องแล้วจะส่งผลให้ขั้นตอนอื่นๆ เช่น การจำแนกอักษรผิดพลาดตามไปด้วย ดังนั้น การเลือกวิธีการใดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแบ่งส่วนภาพจึงมีความสำคัญอย่างมาก





รูปที่ 2.11 ฮิสโตแกรมของภาพระดับเทา และค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมในการแยกกลุ่มข้อมูล [10]



(ก) ภาพระดับเทาดั้งเดิม

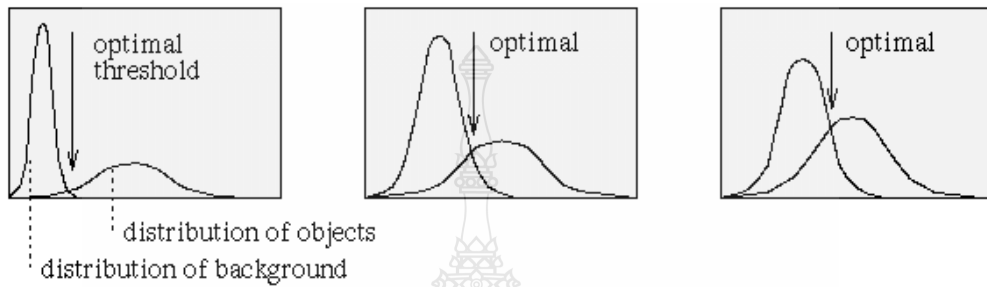
(ข) ภาพขาวดำ ได้จากค่า  $T = 126$

รูปที่ 2.12 ผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง [10]

การเลือกค่าขีดแบ่งที่ได้จากการพิจารณาจากกราฟฮิสโตแกรมนั้น ค่าขีดแบ่ง  $T$  จะมีค่าเท่าใดนั้นจะเป็นการยากในการที่จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal value) แสดงค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.11 การกำหนดค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ (Automatic Thresholding) จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว และถูกต้องมากยิ่งขึ้น [4] เนื่องจากมีการนำคุณสมบัติภายในภาพมาวิเคราะห์และพิจารณา เช่น ค่าระดับพิกเซล ค่าการกระจายตัวของค่าระดับเทา เป็นต้น

การกำหนดค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการนำระดับพิกเซลหรือค่าระดับเทาวิเคราะห์และพิจารณา ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลภาพ 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลวัตถุกับข้อมูลพื้นหลัง ในการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง เพื่อให้ได้ภาพที่ดีและคมชัด ต้องเกิดจากการเลือกค่าขีดแบ่งที่ถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งมีหลายวิธี เช่น วิธีการของโอดสึ (Otsu's method)

วิธีพีไทล์ (P-Tile Algorithm) วิธีใช้ฐานนิยม (Mode method) วิธีการภาพปริพันธ์ (Integral Image) วิธีการเลือกค่าขีดแบ่งแบบทำซ้ำ (Iterative Threshold Selection) เป็นต้น [4, 12] ซึ่งแต่ละวิธีจะคำนวณหาค่าขีดแบ่งที่สามารถแบ่งส่วนภาพได้ดีแตกต่างกันออกไปตามคุณลักษณะของแต่ละภาพ ตำแหน่งของค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมบนกราฟฮิสโตแกรมที่มีรูปร่างลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.13



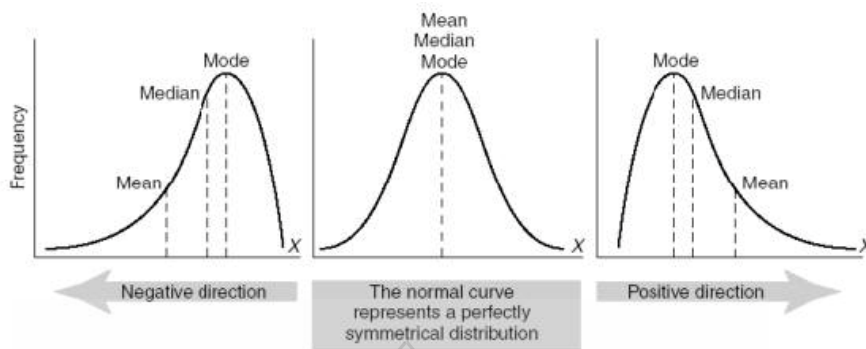
รูปที่ 2.13 ตำแหน่งค่าขีดแบ่ง ( $T$ ) ที่เหมาะสม [12]

การแบ่งส่วนภาพดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีพิจารณาข้อมูลทั้งภาพมาช่วยในการตัดสินใจโดยวิเคราะห์จากกราฟฮิสโตแกรมเพื่อเลือกค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติ

## 2.7 การหาค่าขีดแบ่งด้วยวิธีการของโอดสึ (Otsu's Thresholding)

ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ในหัวข้อที่ 2.6 การเลือกค่าขีดแบ่งสามารถหาค่าได้จากการพิจารณาฮิสโตแกรมของภาพระดับเทา หากฮิสโตแกรมมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบไบโมดอล (Bimodal Histogram) คือ มีการกระจายตัวของข้อมูลแบบคู่หรือสองยอด [14] แสดงดังรูปที่ 2.13 ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมคือจุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด (Peak) ของข้อมูลสองกลุ่ม วิธีการของโอดสึ [15] เป็นการเลือกค่าขีดแบ่งที่ทำให้ “ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม” มีค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นตำแหน่งของหุบเขา (Valley) ที่แยกภาพวัตถุออกจากพื้นหลังได้ดีและเหมาะสมที่สุด ได้รับความนิยมน้อยแพร่หลาย

ภาพใดๆ ถ้าในกลุ่มของวัตถุหรือพื้นหลังมีค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มน้อย แสดงว่า ค่าระดับเทา หรือค่าระดับพิกเซลภายในกลุ่มนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน การกระจายตัวของข้อมูลลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายตัว (Distribution) ของข้อมูลลักษณะต่างๆ [14]

วิธีการของโอดีถูกนำเสนอขึ้นในปี 1979 [15] ซึ่งเป็นแนวคิดในการนำค่าความแปรปรวน (Variance:  $\sigma^2$ ) ของค่าระดับเทามาพิจารณาในการหาค่าขีดแบ่ง มีหลักในการพิจารณาดังนี้

สมมติให้ภาพหนึ่งประกอบด้วยข้อมูล 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลวัตถุและข้อมูลพื้นหลัง ตำแหน่งของค่าขีดแบ่งเพียงค่าเดียวจะสามารถแยกข้อมูล 2 กลุ่มออกจากกันได้ ตามสมมติของโอดี ข้อมูลของวัตถุ และพื้นหลังจะถูกแยกออกจากกันอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ ต่อเมื่อค่าความแปรปรวนในกลุ่ม (Within-class Variance:  $\sigma_w^2$ ) ข้อมูล 2 กลุ่ม มีค่าน้อยที่สุด

เริ่มจากการพิจารณากราฟฮิสโตแกรมแล้วแบ่งข้อมูลด้วยค่าขีดแบ่ง  $T$  ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม  $C_0$  ซึ่งมีค่าระดับพิกเซลตั้งแต่ 1 ถึง  $T$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเซตได้ คือ  $C_0 = \{0, 1, 2, \dots, T\}$  และกลุ่ม  $C_1 = \{T, T+1, T+2, \dots, 255\}$  โดยที่กลุ่มของ  $C_0, C_1$  จะกำหนดให้เป็นกลุ่มของวัตถุหรือพื้นหลัง ต่อจากนั้นจะทำการคำนวณค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่ม สำหรับค่าขีดแบ่งใดๆ ( $T_i$ ) ที่เลือกใช้แต่ละค่าจะถูกนำมาคำนวณค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มทุกค่า ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมตามวิธีการของโอดี คือ ค่า  $T_i$  ที่ทำให้ค่าความแปรปรวนในกลุ่มมีค่าน้อยที่สุดสามารถสรุปขั้นตอนวิธีการในการคำนวณค่าขีดแบ่งได้ ดังนี้ [16]

- (1) คำนวณฮิสโตแกรม หรือค่าระดับเทาสะสมของภาพ ( $P_i, i=1, 2, \dots, 255$ )
- (2) คำนวณหาค่าความน่าจะเป็น ( $\omega_{0,1}$ ) ค่าเฉลี่ย ( $\mu_{0,1}$ ) ของแต่ละกลุ่มที่ค่าขีดแบ่ง  $T_i$
- (3) คำนวณหาค่าความแปรปรวนทั้งสองกลุ่ม  $\sigma_{0,1}^2$  ซึ่งความแปรปรวนภายในกลุ่ม ( $\sigma_w^2$ )

หาได้จากผลรวมของค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่ม นิยามได้ดังสมการที่ 2.6

$$\sigma_w^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (2.6)$$

โดยที่

- $\sigma_0^2$  คือ ความแปรปรวนของบริเวณด้านมืดหรือพื้นหลัง
- $\sigma_1^2$  คือ ความแปรปรวนของบริเวณด้านสว่างหรือวัตถุที่สนใจ
- $\omega_0$  คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดของบริเวณด้านมืดหรือพื้นหลัง ที่มีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 0 ถึงความเข้มแสงเท่ากับ  $T$  ถึง 1, ( $0 \leq \omega_0 \leq T$ )
- $\omega_1$  คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดของบริเวณด้านสว่างหรือวัตถุที่สนใจ ที่มีความเข้มตั้งแต่  $T$  จนถึงค่าความเข้มแสงเท่ากับค่าสูงสุดคือ  $2^b - 1$  (เมื่อ  $b$  คือจำนวนบิตของระบบภาพซึ่งถ้าเป็นระบบทั่วไปที่เป็นภาพ 8 บิต ดังนั้น เทอม  $2^b - 1 = 255$ ) และ  $\omega_1$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $T$  ถึง 255, ( $T \leq \omega_1 \leq 255$ )

ค่าขีดแบ่งของโอดสีคำนวณได้จากสมการที่ 2.6 โดยเลือกจากค่าขีดแบ่งที่ทำให้  $\sigma_w^2$  ดังกล่าวที่มีค่าน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การคำนวณหาค่า  $\sigma_{0,1}^2$  ด้วยค่าขีดแบ่งทุกๆ ค่า ( $T_i$ ) นั้นมีความยุ่งยากและเสียเวลามาก เนื่องจากจะต้องคำนวณ  $\sigma_{0,1}^2$  ของแต่ละพื้นที่ทั้งส่วนของวัตถุและส่วนของพื้นหลังในทุกๆ ค่าขีดแบ่ง

การคำนวณหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมยังมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยากอีกวิธีหนึ่ง โดยหากนำค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มรวมกัน ( $\sigma_w^2$ ) แล้วนำมาลบออกจากค่าความแปรปรวนรวม ( $\sigma^2$ ) ที่โอดสีเรียกว่า “ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม” (Between-class Variance,  $\sigma_B^2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.8 [16]

$$\sigma_B^2 = \sigma^2 - \sigma_w^2 \quad (2.7)$$

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (2.8)$$

โดยที่

- $\sigma_B^2$  คือ ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม
- $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยรวม
- $\mu_0$  คือ ค่าเฉลี่ยด้านมืดหรือพื้นหลัง
- $\mu_1$  คือ ค่าเฉลี่ยด้านสว่างหรือวัตถุที่สนใจ
- $\omega_0$  คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณด้านมืดหรือพื้นหลัง
- $\omega_1$  คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณด้านสว่างหรือภาพวัตถุ

สรุป วิธีการของโอดีลี จะเป็นการเลือกค่าขีดแบ่ง  $T$  ที่คำนวณค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด นั่นแสดงว่าค่าระดับเทาภายในกลุ่มเดียวกันจะต้องมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก (การกระจายตัวของข้อมูลน้อย) จึงทำให้ความแปรปรวนภายในกลุ่มมีค่าน้อยตามไปด้วย เมื่อคำนวณหาค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มได้ค่าที่มากที่สุดแล้ว จะเป็นการแยกข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกันได้ผลลัพธ์แบบเดียวกันทั้ง 2 สมการ (สมการที่ 2.6 และ 2.8) ดังนั้น การเลือกค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการของโอดีลี สามารถหาได้ด้วยค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด และหาได้ด้วยค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่มีค่ามากที่สุด สรุปได้ดังสมการที่ 2.9 และสมการที่ 2.10 ตามลำดับ [4]

$$T_{optimal1} = \underset{0 \leq T \leq 255}{\text{Min}} \sigma_w^2(T) \quad (2.9)$$

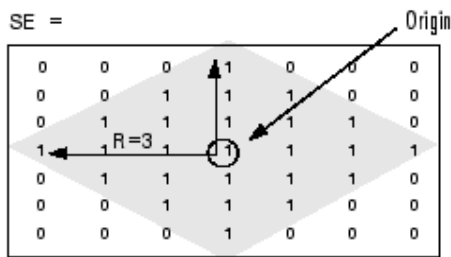
$$T_{optimal2} = \underset{0 \leq T \leq 255}{\text{Max}} \sigma_B^2(T) \quad (2.10)$$

## 2.8 การดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา

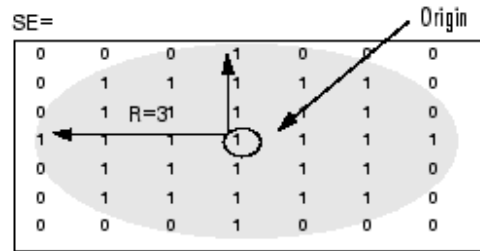
การดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา (Morphological Operations) มาจากคำว่า “Morphology” ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของชีววิทยาที่เป็นการดำเนินการเกี่ยวกับรูปร่าง และ โครงสร้างของพืชและสัตว์ ในด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลจึงใช้คำเดียวกันนี้ในทางคณิตศาสตร์ ว่า “Mathematical Morphology” เพื่อแยกองค์ประกอบของภาพที่จำเป็นในการประมวลผลข้อมูลต่างๆ เช่น รูปร่างของบริเวณ เส้น โครงร่าง เป็นต้น [11]

ภาษาของตัวดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา คือ ทฤษฎีเซตของการประมวลผลภาพในเรื่องรูปทรง รูปร่าง โดยจะกำหนดหน่วยโครงสร้าง (Structuring Element) มาดำเนินการ (Operate) กับข้อมูลภาพแล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพใหม่ที่มีขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ

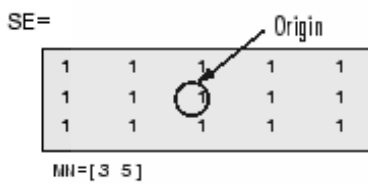
หน่วยโครงสร้าง (Structuring Element, SE) [11] มีชื่อเรียกอีกหลายๆ ชื่อ เช่น Mask, Windows และ Kernel เป็นต้น เป็นเมตริกที่ถูกสร้างให้มีรูปร่างและขนาดที่มีพื้นที่โดยรอบ (Neighborhood) เพื่อการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ หรือ เรียกว่า “เชิงสัณฐานวิทยา” โดยในเมตริกซ์จะประกอบด้วยค่าตัวเลข 2 ค่าคือ “0” และ “1” รูปร่าง และขนาดของหน่วยโครงสร้างที่กำหนดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.15



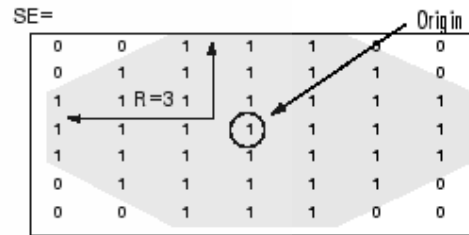
(ก) Diamond



(ข) Disk



(ค) Rectangle



(ง) Octagon

รูปที่ 2.15 รูปแบบหน่วยโครงสร้าง (SE) ในลักษณะต่างๆ [17]

การดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยามีมากมายหลายวิธี แต่ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ การเซาะ (Erosion) การขยาย (Dilation) และการปิด (Closing) โดยทั้ง 3 วิธีนี้ จะนำไปใช้กระทำกับภาพขาวดำ มีรายละเอียด ดังนี้

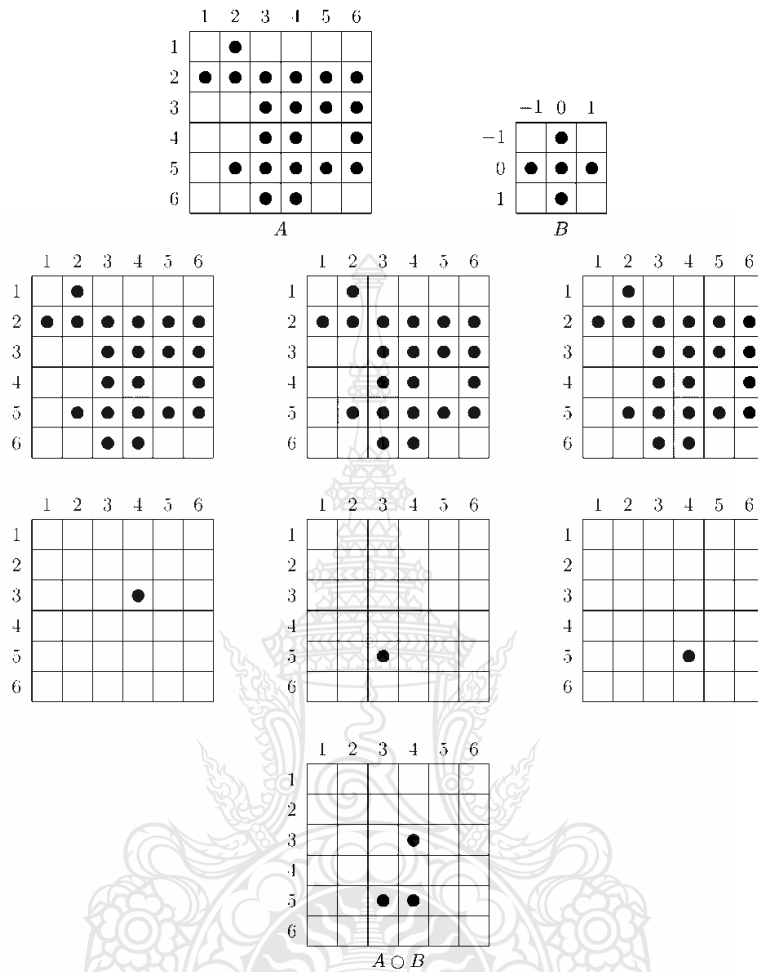
### 2.8.1 การเซาะ

การเซาะ (Erosion) มีเครื่องหมาย  $\ominus$  เป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เป็นการดำเนินการกับภาพ เพื่อทำการลดพิกเซลสีขาวในภาพขาวดำ จะทำการพิจารณาระหว่างเซตพิกเซลกับเซตของหน่วยโครงสร้างประกอบกันเป็นไปตามความสัมพันธ์ ซึ่งแสดงดังสมการ 2.11 [10]

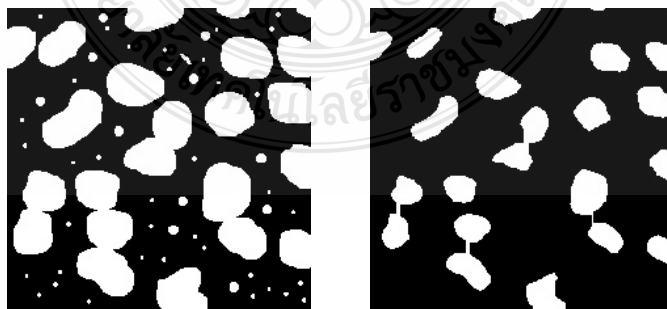
$$A \ominus B = \bigcap_{x \in B} A_x \quad (2.11)$$

การเซาะเป็นการลดพิกเซลสีขาว หรือพิกเซลที่สนใจในภาพทั้งหมดด้วยหน่วยโครงสร้าง นอกจากการเซาะจะเป็นการลดจำนวนของพิกเซลสีขาวแล้ว ยังจะทำให้ระยะห่างระหว่างกลุ่มพิกเซลแต่ละกลุ่มมีระยะห่างระหว่างกันมากขึ้นด้วย คือ กลุ่มพิกเซลสีขาวแต่ละกลุ่มจะแยกจากกันมากขึ้น ถ้ากลุ่มพิกเซลสีขาวมีขนาดพื้นที่เล็กกว่าหน่วยโครงสร้าง กลุ่มพิกเซลนั้นจะถูกเซาะออกจากภาพไปโดยอัตโนมัติ

วิธีการเซาะแสดงดังรูปที่ 2.16 และตัวอย่างภาพที่ผ่านการเซาะแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 วิธีการเซาะกับภาพ A ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) รูปแบบ B [10]



(ก) ภาพขาวดำต้นฉบับ

(ข) ภาพผลลัพธ์จากการเซาะ

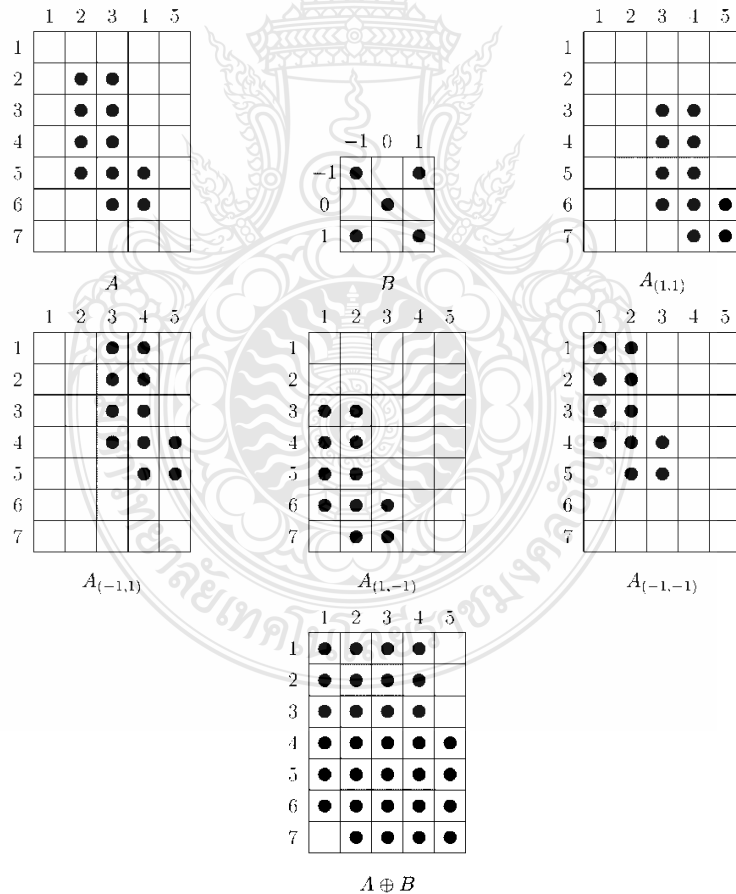
รูปที่ 2.17 ผลจากการเซาะด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) แบบ Box ขนาด 3×3 พิกเซล

### 2.8.2 การขยาย

การขยาย (Dilation) มีเครื่องหมาย  $\oplus$  เป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เป็นการดำเนินการกับภาพเพื่อเพิ่มจำนวนจุดสีขาวหรือพิกเซลสีขาวในภาพ จะทำการพิจารณาเซตของภาพต้นฉบับ A กับหน่วยโครงสร้าง B ประกอบกันซึ่งจะนำไปตามความสัมพันธ์ แสดงดังสมการที่ 2.12

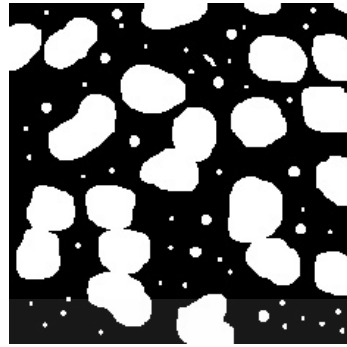
$$A \oplus B = \bigcup_{x \in B} A_x \quad (2.12)$$

การดำเนินการระหว่างเซต A กับ B จะเป็นการขยายขนาดของพิกเซลสีขาวในเซต A ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามขนาดของหน่วยโครงสร้าง ส่งผลให้ระยะห่างของงกลุ่มพิกเซลสีขาวมีระยะแคบลง หรืออาจจะทำให้กลุ่มพิกเซลสีขาวขยายใหญ่ขึ้นจนติดกัน วิธีการขยาย แสดงดังรูปที่ 2.18 และภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการขยาย แสดงดังรูปที่ 2.19

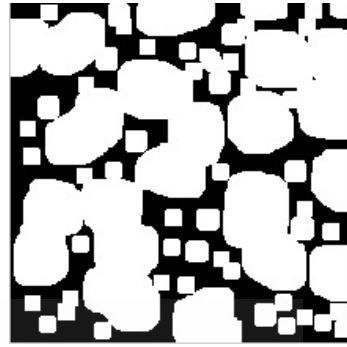


รูปที่ 2.18 วิธีการขยายกับภาพ A ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) รูปแบบ B [10]





(ก) ภาพไบนารีต้นฉบับ



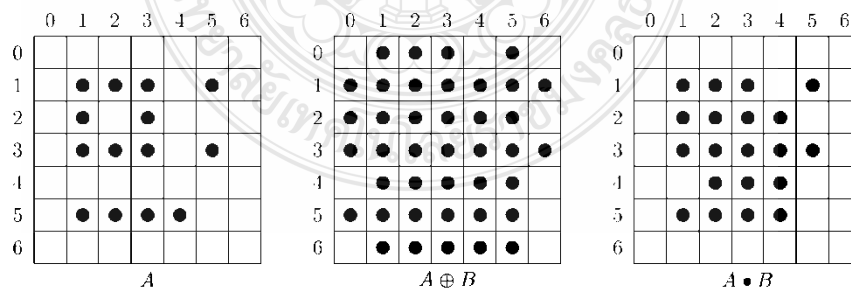
(ข) ภาพผลลัพธ์จากการขยาย

รูปที่ 2.19 ผลที่ได้จากการขยาย ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) รูปแบบ Box ขนาด 3×3 พิกเซล

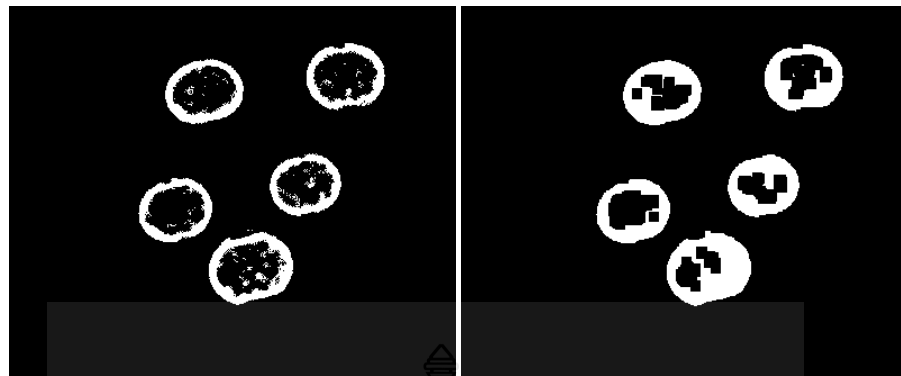
### 2.8.3 การปิด

การปิด (Closing) เป็นการดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยาที่ดำเนินการถึง 2 ขั้นตอน โดยจะทำการขยายแล้วต่อด้วยการเซาะ แสดงดังสมการที่ 2.13 และวิธีการปิดแสดงดังรูปที่ 2.20 กล่าวคือ การปิดจะเป็นการเพิ่มจำนวนพิกเซลสีขาวลงไปในภาพ ต่อจากนั้น จึงดำเนินการกัดเซาะเพื่อลดจำนวนพิกเซลสีขาวลง การเพิ่มและการลดจะเป็นไปตามขนาดของหน่วยโครงสร้างที่นำมากระทำกับภาพมีผลทำให้พิกเซลสีดำที่อยู่ในพื้นที่กลุ่มพิกเซลสีขาวถูกกำจัดออกไป และพิกเซลสีขาวที่มีขนาดน้อยกว่าหน่วยโครงจะถูกลบออกจากภาพ การกระทำดังกล่าวจึงเป็นการปรับปรุงภาพทำให้วัตถุในภาพมีความสมบูรณ์มากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังรูปที่ 2.21

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.20 วิธีการปิดภาพ A ด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) รูปแบบ B [10]



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพที่ได้จากการปิด

รูปที่ 2.21 ผลที่ได้จากการปิด ด้วยหน่วยโครงสร้าง Box ขนาด 3×3 พิกเซล [18]

## 2.9 การแบ่งส่วนพื้นที่

การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นกระบวนการที่แบ่งบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนย่อยๆ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการแยกวัตถุที่สนใจออกจากพื้นหลังได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม วิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ (Region-based Segmentation) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจการพิจารณาระดับพิกเซลโดยรอบที่เชื่อมต่อกัน (Neighboring pixel) ภายในพื้นที่หนึ่งๆ ที่มีระดับพิกเซลเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน วิธีการโดยทั่วไปจะเป็นการเปรียบเทียบพิกเซลที่สนใจ (Seed point) กับพิกเซลโดยรอบที่เชื่อมต่อกัน โดยต้องทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ คือ ความเป็นเอกพันธ์หรือความเป็นอันเดียวกัน (Homogeneous) ถ้าหากพิจารณาพิกเซลที่สนใจกับพิกเซลโดยรอบแล้วมีความคล้ายคลึงกันหรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงทำการรวมพิกเซลเป็นกลุ่มพิกเซลเป็นพื้นที่เดียวกัน (Seed region) กระบวนการแบ่งส่วนพื้นที่ มีหลายวิธีการ ได้แก่ การโตของบริเวณ (Region growing) การรวมบริเวณ (Region merging) การแยกบริเวณ (Region splitting) การรวม-แยกบริเวณ (Region merging and splitting) เป็นต้น

การแบ่งส่วนพื้นที่ (Region-based Segmentation) [4] เป็นเทคนิคการแบ่งส่วนภาพที่แบ่งพื้นที่ออกเป็นบริเวณส่วนย่อยๆ โดยพิจารณาจากความเหมือนกันของค่าระดับเทา ค่าสี และพื้นผิวของภาพ เป็นต้น แล้วรวมส่วนภาพนั้นเป็นพื้นที่เดียวกัน การแบ่งส่วนพื้นที่จะได้ผลลัพธ์ของภาพที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ ดังนั้น การแบ่งส่วนพื้นที่จะเป็นการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบริเวณย่อยๆ สมมติให้ภาพต้นฉบับ คือ  $f(x, y)$  แบ่งพื้นที่ออกเป็นจำนวน  $k$  ส่วน จะได้พื้นที่  $P_1, P_2, \dots, P_k$  โดยมีข้อกำหนด ดังนี้

ข้อกำหนดที่ 1 บริเวณที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย  $P_1, P_2, \dots, P_k$  คือเซตย่อยของภาพ

ข้อกำหนดที่ 2 การแบ่งส่วนพื้นที่ คือ การรวมกลุ่มพิกเซล (Pixel Aggregation) ไปเป็นบริเวณอย่างมีเงื่อนไข ดังนั้น  $f(x,y)=\bigcup_{i=1}^k P_i$  และ  $P_i \cap P_j = \emptyset, i \neq j$

ซึ่งแต่ละพื้นที่หรือบริเวณที่ถูกแบ่ง  $P_i$  จะต้องเป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ ซึ่งทำให้แต่ละบริเวณจะมีคุณสมบัติเดียวกัน เช่น มีค่าระดับเทา หรือระดับพิกเซลเดียวกัน เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้กระบวนการแบ่งส่วนพื้นที่ เพื่อสกัดส่วนประกอบของเซลล์ไซมาติก ได้แก่ นิวเคลียส (Nuclei) และ ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) ออกจากพื้นหลัง เพื่อหาพื้นที่ที่เชื่อมต่อกันระหว่างนิวเคลียส หรือไซโตพลาสซึม เรียกว่า “แขนเชื่อม” (Nuclei bridge) แล้วทำการสกัดคุณลักษณะเด่น ได้แก่ ระดับพิกเซลของนิวเคลียส ระดับพิกเซลของไซโตพลาสซึม ระดับพิกเซลของพื้นที่ Nuclei bridge ที่สกัดส่วนพื้นที่ออกมาได้แล้วทำการสกัดค่าคุณลักษณะเด่น โดยวัดและคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างไซโตพลาสซึมบนพื้นที่ของ Nuclei bridge ค่าคุณลักษณะเด่นเหล่านี้ นำมารวบรวมเป็นข้อมูลทางสถิติแล้วคำนวณหาค่ากลาง เพื่อนำมาใช้เลือกค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมในการพิจารณารวม-แยกเซลล์ไซมาติกที่ติดกันต่อไป

## 2.10 การโตของบริเวณโดยการรวมกลุ่มพิกเซล

การโตของบริเวณโดยการรวมกลุ่มพิกเซล (Region Growing by Pixel Aggregation) [11] เป็นกระบวนการที่กลุ่มของพิกเซลหรือบริเวณย่อยถูกรวมกลุ่มกันเป็นบริเวณใหญ่ วิธีที่ง่ายที่สุดคือ “การรวมกลุ่มพิกเซล” (Pixel Aggregation)

วิธีการเริ่มจากการกำหนดเซตของพิกเซลเพื่อเป็นจุดเริ่มต้น (Seed) เซตของพิกเซลเริ่มต้นนี้จะเป็นค่าระดับเทา หรือค่าสีของภาพ จากนั้นทำการพิจารณารวมกลุ่มพิกเซลข้างเคียงที่มีคุณสมบัติเหมือนกันเข้าด้วยกันเป็นพื้นที่เดียวกัน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.22(ก) ค่าที่อยู่ในแต่ละพิกเซลเป็นค่าระดับเทา มีตำแหน่งพิกเซล พิกัด (3,2) และ (3,4) เลือกให้เป็นพิกเซลตั้งต้น (Seed point) ถ้าหากเลือกใช้พิกเซลเริ่มต้น 2 ค่าจะได้ผลลัพธ์การแบ่งส่วนภาพที่ประกอบด้วย 2 พื้นที่ คือ  $R_1$  สอดคล้องกับพิกเซลตั้งต้น (3,2) และ  $R_2$  สอดคล้องกับพิกเซลตั้งต้น (3,4) คุณสมบัติความเป็นอันเดียวกันหรือความเป็นเอกพันธ์ (Homogeneous) ที่ใช้สำหรับพิจารณาว่า พิกเซลใดจะอยู่ในบริเวณหรือพื้นที่ไหนคือ ค่าผลต่างสมบูรณ์ (Absolute Difference) [11] ถ้าหากค่าระดับเทาของพิกเซลที่กำลังพิจารณา และพิกเซลตั้งต้นน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง  $T$  แล้วจะถูกจัดอยู่ในบริเวณ  $R_1$  แสดงดังรูปที่ 2.22(ข) ภาพผลลัพธ์เมื่อค่าขีดแบ่ง  $T=3$  ผลลัพธ์จากการแบ่งส่วนภาพจะได้ 2 บริเวณ คือ พิกเซลของบริเวณ  $R_1$  แทนด้วย A และพิกเซลของบริเวณ  $R_2$  แทนด้วย B ถ้าหากเลือกค่าขีดแบ่ง  $T=8$  ผลลัพธ์จากการแบ่งส่วนภาพจะได้บริเวณเดียว แสดงดังรูปที่ 2.22(ค)

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1 | 5 | 8 | 8 |
| 0 | 0 | 6 | 7 | 7 |
| 2 | 0 | 7 | 6 | 6 |
| 0 | 1 | 5 | 6 | 5 |

(ก)

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| A | A | B | B | B |
| A | A | B | B | B |
| A | A | B | B | B |
| A | A | B | B | B |
| A | A | B | B | B |

(ข)

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| A | A | A | A | A |
| A | A | A | A | A |
| A | A | A | A | A |
| A | A | A | A | A |
| A | A | A | A | A |

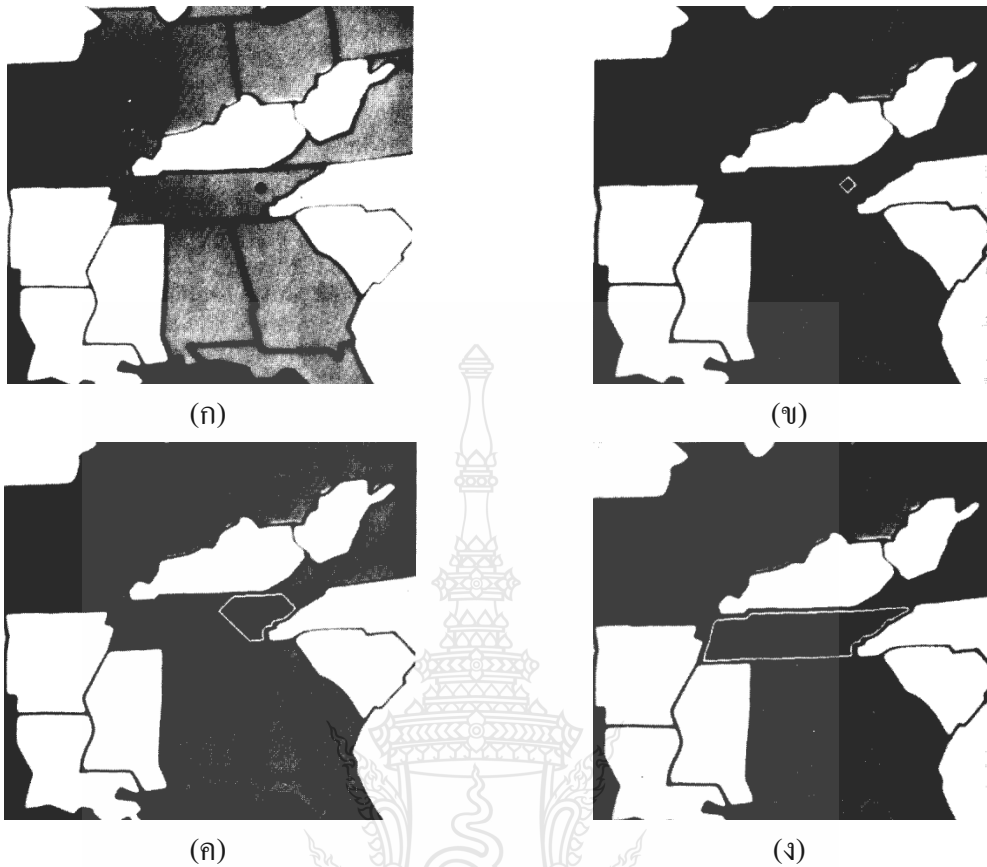
(ค)

**รูปที่ 2.22** ตัวอย่างของการทำการโตของบริเวณ โดยใช้จุดเริ่มต้นที่รู (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ผลต่างสมบูรณ์ (Absolute Difference) ระหว่างระดับความเข้มน้อยกว่า 3 (ค) ผลการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ผลต่างสมบูรณ์ระหว่างระดับความเข้มน้อยกว่า 8

วิธีการโตของบริเวณในทางปฏิบัติจะพบปัญหาอย่างหนึ่ง คือ การเลือกพิกเซลตั้งต้นและคุณสมบัติที่ใช้ในการแยก การที่จะเลือกเซตของพิกเซลตั้งต้นค่าใด จะมีหนึ่งค่าหรือมากกว่าหนึ่งค่านั้นขึ้นอยู่กับเป้าหมาย หรือสภาพของโจทย์ เช่น การประมวลผลภาพถ่ายอินฟราเรด สิ่งที่น่าสนใจจะมีสภาพที่ร้อนกว่าภาพพื้นหลัง นั่นคือ เป้าหมายในภาพจะสว่างกว่าพื้นหลัง ดังนั้น ระดับพิกเซลหรือจุดที่สว่างจะถูกพิจารณาและนำมาใช้เป็นพิกเซลเริ่มต้น

ดังรูปที่ 2.23(ก) แสดงส่วนของแผนที่ซึ่งมีพิกเซลเริ่มต้นเพียงจุดเดียว (จุดสีดำ) เงื่อนไขหรือเกณฑ์ที่ใช้สำหรับเทคนิคการโตของบริเวณ คือ (1) ผลต่างสมบูรณ์ของค่าระดับพิกเซลระหว่างพิกเซลเริ่มต้นกับพิกเซลที่กำลังพิจารณาต้องไม่เกิน 10% ของผลต่างของค่าระดับพิกเซลสูงสุดและต่ำสุดในภาพ (ในกรณีนี้ คือ 255) และ (2) พิกเซลล้อมรอบที่จะรวมเป็นบริเวณเดียวกัน (Seed region) ต้องมีการเชื่อมต่อในลักษณะ 8 พิกเซลล้อมรอบ (8-Connected) บริเวณในระยะเริ่มแรกจากพิกเซลเริ่มต้นจะถูกพิจารณาก่อนแล้วค่อยๆ เพิ่มระยะขึ้นไปเรื่อยๆ จะเห็นเป็นลักษณะคล้ายรูปเพชร ดังรูปที่ 2.23(ข) ในรูปที่ 2.23(ค) จะแสดงบริเวณที่มีการโตขึ้น สังกตจากรูปร่างที่มีลักษณะคล้ายเพชรมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม และรูปที่ 2.23(ง) แสดงผลลัพธ์สุดท้ายของการโต

การโตของบริเวณนี้ จะเป็นการแยกองค์ประกอบของภาพโดยพิจารณาจากพิกัดของพิกเซล และคุณสมบัติความเป็นอันเดียวกันของพิกเซลภายในพื้นที่นั้น ถ้าหากพิกเซลที่อยู่ติดกันและที่อยู่ล้อมรอบมีคุณสมบัติเป็นอันเดียวกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มพื้นที่เดียวกัน



รูปที่ 2.23 ผลจากการโตของบริเวณ (ก) ภาพต้นฉบับแสดงจุดเริ่มต้น (ข) ระยะเริ่มต้นของการโตของบริเวณ (ค) ระยะกลางของการโต (ง) ระยะสุดท้ายของการโต [11]

กระบวนการโดยสรุปของวิธีการโตของบริเวณ จะเป็นการแบ่งส่วนภาพโดยกำหนดกลุ่ม (Region) ที่ต้องการจะแบ่งออกเป็นบริเวณ  $R_i^{(k)}, i = 1, 2, 3, \dots, N, (k) = S_i$  โดยที่แต่ละบริเวณจะได้รับการกำหนดพิกเซลเริ่มต้น (Seed point)  $S_i, i = 0, 1, 2, \dots, N$  ซึ่งพิกเซลเริ่มต้นนี้ได้จากระดับพิกเซลในภาพ เพื่อใช้สำหรับการขยายตัวหรือการโตของแต่ละบริเวณ ในการขยายตัวของบริเวณจำเป็นจะต้องมีกฎ เพื่อตรวจสอบความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของกลุ่ม การที่จะกำหนดพิกเซลใดๆ ( $\{x\}$ ) เข้ากับกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งนั้น จะใช้หลักของความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันเป็นเกณฑ์การพิจารณา แสดงดังสมการที่ 2.14 ประสิทธิภาพของการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการโตของบริเวณ จะขึ้นอยู่กับ การเลือกค่าความเข้มของพิกเซลเริ่มต้น ซึ่งเป็นการกำหนดค่าโดยผู้ใช้

$$P(R_i^{(k)} \cup \{x\}) = TRUE \quad (2.14)$$

การกำหนดระดับพิกเซลเริ่มต้นในงานวิจัยนี้ สามารถหาค่าได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งคำนวณได้จากค่าระดับพิกเซลต่ำสุด  $Min(R_i)$  ของภาพมาใช้เป็นค่าระดับพิกเซลเริ่มต้น ( $S_{i=0}$ ) และระดับพิกเซลจะขยายตัวโตออกไปจนถึงระดับพิกเซลสูงสุด  $Max(R_i)$  ซึ่งในแต่ละภาพนั้นอาจจะมีค่าระดับพิกเซลเริ่มต้นมากกว่าหนึ่งค่า ขึ้นตอนวิธีโดยสรุป มีดังนี้

- (1) กำหนดระยะเวลาการขยายตัวหรือการโต (Growth) โดยได้จากค่าระดับพิกเซลตั้งแต่ค่าต่ำสุดจนถึงสูงสุด ( $Min(R_i) - Max(R_i)$ )
- (2) คำนวณหาพิกเซลเริ่มต้น Seed points จากการคำนวณค่า  $Min(R_i)$  ในภาพ
- (3) พิจารณาพิกเซลเริ่มต้นกับพิกเซลที่อยู่ติดกันหรือโดยรอบมีระดับค่าพิกเซลเท่ากันหรือไม่ (8-Neighbourhood) ถ้ามีให้รวมพิกเซลเหล่านั้นเป็นพื้นที่หรือบริเวณเดียวกัน (Seed region) พร้อมทั้งกำหนดค่าพิกเซลใหม่ให้กับ Seed region นั้นด้วยค่าพิกเซล Seed point นั้นๆ
- (4) เพิ่มระดับพิกเซลเริ่มต้นเพื่อจัดกลุ่มถัดไป วนกลับไปทำข้อที่ (3) จนกว่าระยะเวลาโตของบริเวณสิ้นสุดที่ระดับพิกเซล =  $Max(R_i)$

## 2.11 ฟังก์ชันในการวัดระยะทาง

การวัดระยะทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ต้องใช้ฟังก์ชันในการวัดระยะทางระหว่างจุดจุดที่กล่าวถึงอาจจะเป็นพิกัดตำแหน่งหรือเป็นค่าสเกลาร์ มี 2 กรณี คือ [4]

- (1) กรณีที่ข้อมูลเป็น 1 มิติ เช่น สเกลาร์หรือสัญญาณ  
ดังนั้น ฟังก์ชันการวัดระยะทาง  $d_1$  จะได้ว่า  $d_1(x, y) = |x - y|$
- (2) กรณีที่ข้อมูลเป็น 2 มิติ เช่นตำแหน่งในแนวแกน  $x, y$  บนภาพ  
เมื่อ  $x = (x_1, x_2)$ ,  $y = (y_1, y_2)$  ฟังก์ชันในการวัดระยะทาง  $d_2$  คือ

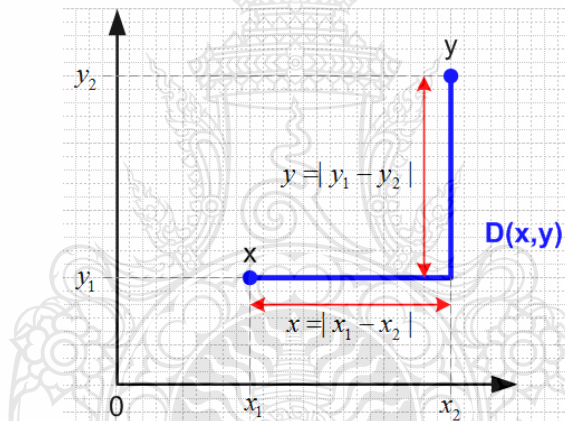
$$d_2(x, y) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (2.15)$$

การวัดระยะทาง  $d_2$  เป็นผลรวมสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างของระยะทางระหว่าง  $|x_1 - y_1|$  และ  $|x_2 - y_2|$  ในสมการที่ 2.15 เรียกว่า ระยะทางแบบซิติบล็อก (City-Block Distance) เป็นการวัดระยะทางจากจุดศูนย์กลางไปยังจุดใดๆ รอบตัว ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.25

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 |

รูปที่ 2.24 ผลจากการวัดระยะทางแบบซิดีบลิ็อก

จากรูปที่ 2.24 เนื่องจากการวัดมีค่าเป็น 1 ในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง และได้ค่าเป็น 2 ในแนวทแยงมุม โดยใช้สมการ 2.15 เป็นการวัดระยะทางโดยอ้อม เนื่องจากเป็นผลรวมสัมบูรณ์ของระยะในแนวนอนและแนวตั้ง แสดงลักษณะการวัดดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การหาระยะทางแบบซิดีบลิ็อก

กรณีที่มีข้อมูลเป็น 1 มิติ สามารถหาระยะทางโดยใช้สมการที่ 2.16 ดังนี้

$$d_1(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2.16)$$

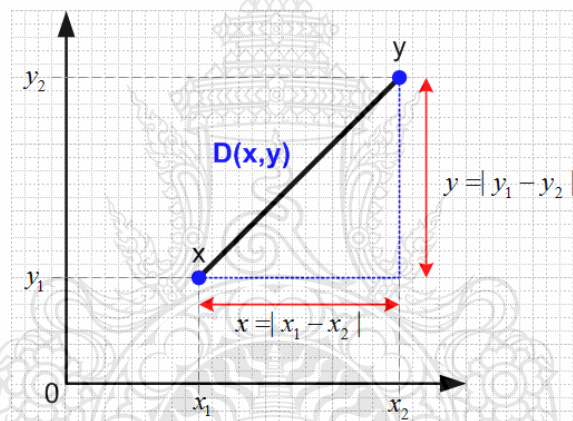
กรณีที่มีข้อมูลเป็น 2 มิติ จะสามารถหาระยะทางโดยใช้สมการที่ 2.17 ดังนี้

$$L_2(x, y) = d_2(x, y) = \sqrt{(|x_1 - x_2|^2 + |y_1 - y_2|^2)} \quad (2.17)$$

สมการที่ 2.17 เป็นการวัดระยะทางเชิงยูคลิด (Euclidean distance) เมื่อทำการวัดระยะทางจากจุดศูนย์กลางไปยังจุดใดๆ รอบตัว แสดงลักษณะการวัดระยะทางดังรูปที่ 2.27 และจะได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.26

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| $\sqrt{2}$ | 1 | $\sqrt{2}$ |
| 1          | 0 | 1          |
| $\sqrt{2}$ | 1 | $\sqrt{2}$ |

รูปที่ 2.26 ผลจากการวัดระยะทางเชิงยูคลิด



รูปที่ 2.27 การหาระยะทางของสมการที่ 2.17 แบบเชิงยูคลิด

การคำนวณระยะทางเชิงยูคลิด กรณีที่ข้อมูลมี  $n$  มิติ ในรูปแบบทั่วไป สามารถหาระยะทางโดยใช้สมการที่ 2.18 ดังนี้

$$d_2(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2} \quad (2.18)$$



## 2.12 ค่าปัจจัยรูปร่างความกลม

ค่าปัจจัยรูปร่างความกลม (Circularity Shape Factor) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะรูปร่างของวงกลม เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว พื้นที่ และเส้นรอบวงของรูปทรงต่างๆ เช่น วัตถุโปร่งของเซลล์โซมาติก เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 [19] เป็นวิธีที่แตกต่างในการคำนวณหาลักษณะของความเป็นรูปร่างวงกลม ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์กันของรัศมีของภาพวัตถุ (Radius) ที่อยู่ในเทอมของพื้นที่ (Area) กับรัศมีในเทอมของเส้นรอบวง (Perimeter) ดังสมการที่ 2.19 ถ้าวัตถุมีรูปร่างเป็นวงกลม รัศมีที่คำนวณได้ในเทอมของพื้นที่จากสูตร  $A_s = \pi r^2$ ,  $r = \sqrt{A_s/\pi}$  และรัศมีที่คำนวณได้ในเทอมความยาวรอบรูปวงกลม  $P = 2\pi r$ ,  $r = P/2\pi$  จะมีค่าเท่ากัน คือ มีค่าเท่ากับ 1 [20]

รูปที่ 2.28(ข) แสดงรูปร่างลักษณะของวัตถุ และค่า Shape Factor ของวัตถุต่างๆ ที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.28(ก) แสดงพารามิเตอร์ที่จะต้องนำมาคำนวณหาค่า Shape Factor

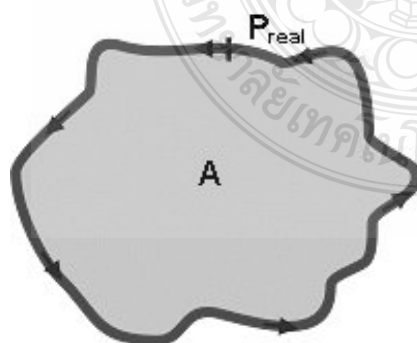
$$f_{circ}(i) = \frac{4\pi A_s}{P^2} \quad (2.19)$$

โดยที่

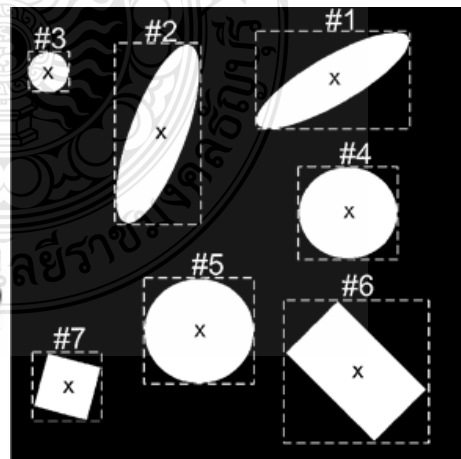
$f_{circ}(i)$  คือ ค่า Factor ของความเป็นวัตถุทรงกลมลำดับที่ ( $i$ )

$A_s$  คือ ขนาดพื้นที่ภาพเซลล์โซมาติก

$P$  คือ ความยาวรอบรูปภาพเซลล์โซมาติก



(ก) ลักษณะคุณลักษณะเด่น A, P



(ข) รูปร่างวัตถุแบบต่างๆ

รูปที่ 2.28 ลักษณะรูปร่างของวัตถุแบบต่างๆ [21]

ตารางที่ 2.1 การคำนวณค่าปัจจัยรูปร่าง (Shape Factor) ของวัตถุในรูปที่ 2.28(ข)

| Blob. Number | Circularity Shape Factor | Area (Pixel) |
|--------------|--------------------------|--------------|
| 1            | 0.31                     | 6561         |
| 2            | 0.40                     | 6544         |
| 3            | 0.98                     | 890          |
| 4            | 0.97                     | 6607         |
| 5            | 0.99                     | 6730         |
| 6            | 0.52                     | 6611         |
| 7            | 0.75                     | 2073         |

### 2.13 ความรู้เบื้องต้นทางสถิติ

สถิติ คือ ศาสตร์ที่ว่าด้วยระเบียบวิธีต่างๆ ที่นำมาช่วยในการจัดการกับข้อมูล ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อเท็จจริงที่ทำการรวบรวมได้อาจอยู่ในรูปตัวเลขหรือไม่ใช่ตัวเลข เพื่อการนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแปลความหมายตลอดจนการสรุปผลข้อมูลให้มีความถูกต้องเชื่อถือได้ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา หรือการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล [14]

เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูลหรือวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดข้างต้น ถ้าหากข้อมูลมีจำนวนมาก ผู้ศึกษาอาจทำความเข้าใจอย่างรวดเร็วได้ยาก จึงมีการนำเสนอค่าที่สื่อถึงข้อมูลหรือให้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด การหาค่าเพียงค่าเดียวที่จะใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดนี้ ต้องอาศัยระเบียบวิธีทางสถิติ เรียกว่า การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง จะทำให้สามารถทราบถึงลักษณะของข้อมูลทั้งหมดที่เก็บรวบรวมมาได้ เรียกว่า “ค่ากลาง” ที่นิยมใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean,  $\bar{x}$ ) ค่ามัธยฐาน (Median,  $Mdn$ ) และค่าฐานนิยม (Mode,  $Mo$ )

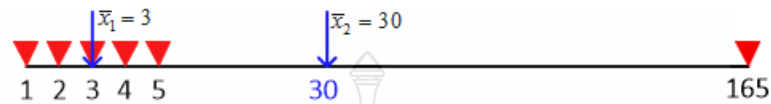
#### 2.13.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) เป็นค่าเฉลี่ยที่นิยมใช้กันมากที่สุด เมื่อคำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง จะแทนด้วยสัญลักษณ์  $\bar{x}$  และ  $\mu$  จะเป็นการคำนวณค่าจากข้อมูลทั้งหมด หากค่าได้จากผลรวมของข้อมูลทุกๆ ค่าและหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด แสดงดังสมการที่ 2.20 [14, 22]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.20)$$

โดยที่  $\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้  $n$  คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

สมมติข้อมูลประกอบด้วยตัวเลข  $\{1, 2, 3, 4, 5\}$  ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้คือ  $\bar{x}_1 = 3$  ค่านี้จะนำมาใช้เป็นค่ากลางหรือตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ถ้าหากมีข้อมูลใหม่เพิ่มเข้ามา คือ 165 ซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ห่างจากข้อมูลเดิมมาก เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย  $\bar{x}_2 = 30$  ซึ่งค่า 30 ไม่ได้อยู่ในกลุ่มของข้อมูลที่มีอยู่เป็นส่วนใหญ่ จึงส่งผลให้ค่ากลางมีคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง แสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\bar{x}$ )

### 2.13.2 ค่ามัธยฐาน

ค่ามัธยฐาน (Median) คือ ค่าที่บอกภาพรวมของข้อมูลทั้งหมด โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของข้อมูลที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก หรือจากมากไปหาน้อย แทนด้วยสัญลักษณ์  $Mdn$

จากชุดข้อมูลเดิม  $\{1, 2, 3, 4, 5\}$  ค่ามัธยฐานที่คำนวณได้คือ  $Mdn_1 = 3$  ถ้ามีข้อมูลเพิ่มเข้ามาเป็น  $\{1, 2, 3, 4, 5, 105\}$  ค่า  $Mdn_2 = 3.5$  จะเห็นว่า ค่ามัธยฐานที่คำนวณได้จากข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีค่าที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ ถือว่าไม่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นค่ากลางหรือตัวแทนของข้อมูลได้ แสดงดังรูปที่ 2.30



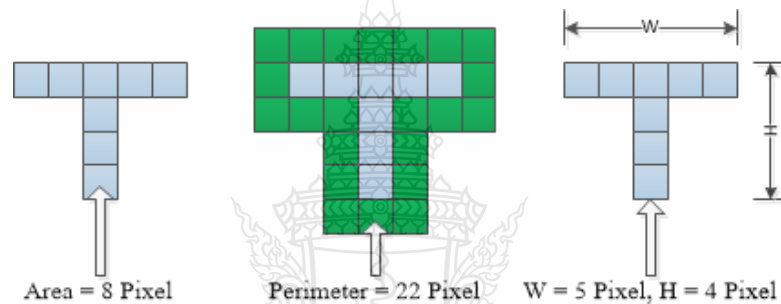
รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการหาค่ามัธยฐาน ( $Mdn$ )

### 2.13.3 ค่าฐานนิยม

ค่าฐานนิยม (Mode) คือ ค่าของข้อมูลที่มีความถี่สูงสุดในข้อมูลชุดหนึ่งๆ หรือมีค่าของข้อมูลที่ซ้ำกันมากที่สุด แทนด้วยสัญลักษณ์  $Mo$  สมมติข้อมูลประกอบด้วยตัวเลข  $\{1, 2, 9, 5, 6, 9, 3, 9, 4, 10\}$  ข้อมูลที่ซ้ำกันมากที่สุด คือ ค่าฐานนิยม,  $Mo = 9$

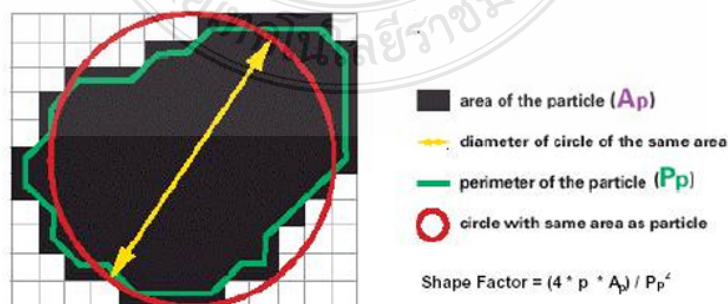
## 2.14 การคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของวัตถุ

กระบวนการการตัดแยกวัตถุที่สนใจออกจากพื้นหลังเป็นกระบวนการหนึ่งในการแบ่งส่วนภาพ เมื่อทำการตัดแยกภาพวัตถุได้แล้วจะทำการจัดเก็บพิกัดของภาพวัตถุโดยเลือกรูปแบบการเก็บให้มีความเหมาะสม จึงจะทำการหาคุณลักษณะเด่นต่างๆ (Feature Extraction) ของแต่ละวัตถุที่มีอยู่ในภาพ การคำนวณหาคุณลักษณะเด่นบางอย่าง สามารถทำได้ในกระบวนการระบุพื้นที่ (Connected Components Labeling) เช่น การคำนวณหาพื้นที่ (Area) โดยการนับจำนวนพิกเซลสีขาวที่เป็นพื้นที่ของวัตถุนั้นๆ การหาความยาวรอบรูปวัตถุ (Perimeter) โดยการนับจำนวนพิกเซลของวัตถุด้านที่ติดอยู่กับพื้นหลัง เป็นต้น ตัวอย่างการคำนวณคุณลักษณะเด่นของวัตถุ แสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุรูปตัว T

คุณลักษณะเด่นของวัตถุบางอย่าง จะสามารถทำได้หลังจากที่ภาพได้ผ่านกระบวนการระบุพื้นที่เสร็จแล้ว บางคุณลักษณะเด่นจะต้องทราบขนาดพื้นที่ของวัตถุก่อนจึงจะคำนวณได้ เช่น การหาค่า Circularity Shape Factor ของวัตถุ การหาเฉลี่ยสีเฉลี่ย (Average hue) การหาค่าระดับพิกเซลเฉลี่ย (Average intensity) เป็นต้น



รูปที่ 2.32 การคำนวณหาคุณลักษณะเด่น Circularity Shape Factor: CSF [23]

วัตถุบางวัตถุอาจจะมีค่าคุณลักษณะเด่นบางอย่างคล้ายคลึงกัน เช่น วัตถุหมายเลข #1 และ วัตถุหมายเลข #4 จะเห็นว่า ขนาดพื้นที่ และความยาวรอบรูปมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงผลการวัดค่าคุณลักษณะเด่นดังตารางที่ 2.4 แต่ความเป็นจริงแล้ววัตถุมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เห็นได้ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 วัตถุที่ใช้คำนวณค่าคุณลักษณะเด่น [21]

ตารางที่ 2.2 ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ

| Blob. Number | Perimeter (Pixel) | Area (Pixel) | Circularity Shape Factor |
|--------------|-------------------|--------------|--------------------------|
| #1, OBJ.1    | 516               | 6561         | 0.31                     |
| #4, OBJ.4    | 292               | 6607         | 0.97                     |

จากรูปที่ 2.33 ถ้าหากต้องการจำแนกรูปร่างวัตถุ จำเป็นต้องใช้คุณสมบัติอื่นๆ มาพิจารณาร่วมด้วยจึงจะสามารถแยกรูปร่างวงกลมกับวงรีออกจากกันได้ ซึ่งจะต้องพิจารณาค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุอื่นๆ ในตารางที่ 2.2 เช่น ค่าความเป็นรูปวงกลม จะสามารถบ่งบอกความแตกต่างของวัตถุ 2 ชนิดนี้ได้ชัดเจน ถ้าต้องการพิจารณาใช้คุณลักษณะเด่นอื่นๆ เพิ่มอีก เวลาที่จะต้องใช้คำนวณจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้น จำเป็นจะต้องเลือกคุณลักษณะเด่นของวัตถุให้เหมาะสมเพียงไม่กี่แบบที่สามารถใช้จำแนกรูปร่างวัตถุออกจากกันได้ โดยไม่ต้องทำการวัดคุณลักษณะเด่นทุกๆ แบบ ของทุกวัตถุที่มีอยู่ในภาพ เพื่อจะได้เป็นการลดเวลาในการคำนวณลงได้มากได้

ผลที่ได้จากกระบวนการคำนวณหาค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ คือ จะได้ค่าตัวแทนคุณสมบัติของวัตถุ ซึ่งมีหลายๆ ค่า เมื่อนำมาวางอยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์ จะเรียกว่า “เวกเตอร์คุณลักษณะเด่น” (Feature Vector: FV) ซึ่งเป็นค่าตัวแทนของคุณสมบัติประจำแต่ละวัตถุนั้นๆ สมมติใช้ข้อมูลในตารางที่ 2.2 จะได้ว่าวัตถุ OBJ.1 มี Area = 6561 พิกเซล Perimeter = 516 พิกเซล และ Shape factor = 0.31, วัตถุ OBJ.4 มี Area = 6607 พิกเซล Perimeter = 292 พิกเซล และ Shape factor = 0.97 สามารถเขียนเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะเด่นมีขนาด 2 มิติ ได้ คือ  $\vec{F}_1$  และ  $\vec{F}_4$  ดังนี้

$$\vec{F}_1 = [6561 \ 516 \ 0.31] \quad (2.21)$$

$$\vec{F}_4 = [6607 \ 292 \ 0.97] \quad (2.22)$$

## 2.15 การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย

พื้นที่ของภาพที่มีระดับพิกเซลเป็น “1” จะมีพิกเซลสีขาว ซึ่งถูกตัดแยกออกจากพื้นหลัง ด้วยกระบวนการแบ่งส่วนภาพ เรียกว่า “วัตถุ” แต่ละวัตถุจะมีค่าคุณลักษณะเด่นเป็นค่าตัวแทนแสดงคุณสมบัติประจำวัตถุนั้นๆ ซึ่งได้มาจากกระบวนการคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของวัตถุดังที่กล่าวแล้ว จะแทนวัตถุด้วย Feature Vector: FV ต่อหนึ่งวัตถุ ซึ่งค่า FV เหล่านี้จะนำไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจ เช่น เพื่อการจำแนกวัตถุ เป็นต้น

เมื่อคำนวณได้ค่า FV ประจำแต่ละวัตถุแล้ว เมื่อพิจารณาจะรู้เพียงค่าตัวเลขต่างๆ ของวัตถุนั้นๆ ไม่สามารถจะรู้ได้ว่า วัตถุนั้นๆ เป็นวัตถุอะไร แสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 วัตถุที่ได้จากกระบวนการแบ่งส่วนภาพ [24]

จากรูปที่ 2.34 เมื่อทำการคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของวัตถุแล้ว จะได้ FV ของวัตถุที่เป็น Nuts และ Bolts อย่างละเวกเตอร์ แต่โปรแกรมไม่สามารถบอกได้ว่า วัตถุใดเป็น Nuts หรือ Bolts ดังนั้น จึงต้องใช้กระบวนการจำแนกวัตถุ เพื่อจะทำให้โปรแกรมสามารถ “จำแนก” ได้ว่า วัตถุนั้นเป็น วัตถุอะไร

การจำแนก (Classification) [25] เป็นกระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลว่า วัตถุที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจัดอยู่ในกลุ่มใด โดยพิจารณาจากค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุนั้นๆ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างประจำแต่ละกลุ่ม ดังนั้น การที่ระบบจะสามารถตัดสินใจได้นั้น ระบบจะต้องมีค่าที่เป็นตัวแทนหรือค่ากลางของแต่ละกลุ่ม หมายเลขกลุ่ม และหรือชื่อเรียกของแต่ละกลุ่มด้วย

กระบวนการตัดสินใจ โดยการพิจารณาค่า FV ของวัตถุมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวแทนหรือค่ากลางของกลุ่มต่างๆ วัตถุจะจัดอยู่กลุ่มใด ตัวที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า “ตัวจำแนก” (Classifier) ซึ่งหากมองในรูปแบบการเข้าออกของข้อมูลแล้ว ตัว Classifier จะรับค่า FV เข้าไปในระบบแล้วจึงประมวลผลข้อมูลและตัดสินใจให้ผลเป็นหมายเลข หรือชื่อกลุ่มนั้นๆ

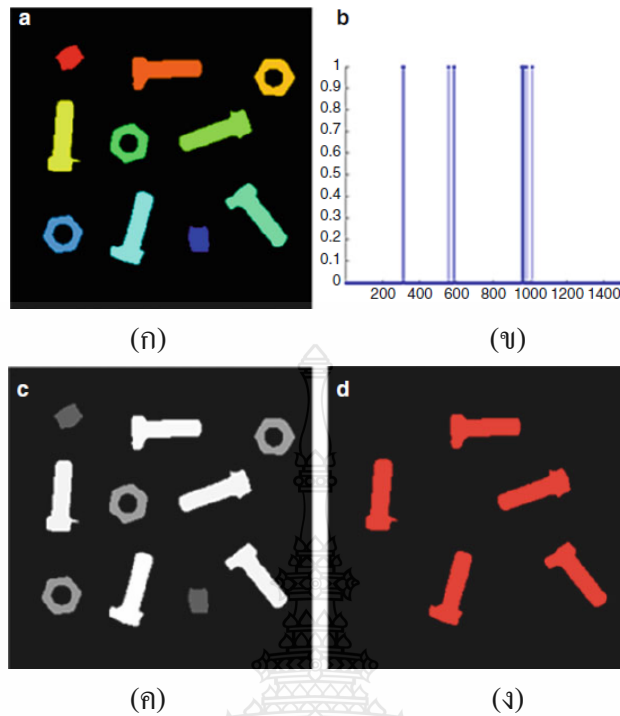
ตัวจำแนก หรือ Classifier มีหลายแบบ และหลายวิธี แต่ละวิธีมีหลักการทำงานแตกต่างกัน ที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ ขั้นตอนวิธีของ k-Nearest Neighborhood: k-NN ซึ่งเป็นตัวจำแนกที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระยะห่างระหว่าง FV ของวัตถุกับกลุ่มตัวอย่าง โดยจะจำแนกวัตถุนั้นๆ เข้ากับกลุ่มที่มีระยะทางที่ใกล้ที่สุด โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นตัวจำแนกที่อาศัยการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ [24, 25] และ Classifier อีกแบบหนึ่ง คือ กฎพื้นฐานเพื่อการจำแนก (Rule-Based Classifier) เป็นเทคนิคที่ใช้รูปแบบกฎ “IF...THEN...” [26] ซึ่งกฎมีได้หลายๆ กฎ สามารถหรือนำมาสร้างเป็นโมเดลที่มีรูปแบบเป็นการเชื่อมต่อกัน เช่น  $R_T = (R_1 \text{ and } R_2 \text{ and } R_3 \text{ and } R_4 \dots R_k)$  โดยที่  $R_T$  คือ กลุ่มของกฎ และ  $R_1, R_2, R_3, R_4$  จนถึง  $R_k$  คือ กฎแต่ละอันที่จะใช้ในการจำแนกข้อมูล เป็นต้น ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อที่ 2.15.3

ผลการทำงานของ Classifier นั้น จะทำให้รู้ว่า วัตถุที่จำแนกได้เป็นวัตถุชนิดใด สามารถตีความหมายภาพหรือของวัตถุได้ (Interpretation) แล้วนำผลลัพธ์การจำแนกไปประมวลในกระบวนการอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น นำไปใช้นับจำนวน Nuts หรือ Bolts หรือเพื่อการคัดแยกคุณภาพของวัสดุ Nuts และ Bolts เป็นต้น

ในบทนี้ จะนำเสนอและอธิบายคุณลักษณะเด่นของวัตถุ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ และลักษณะรูปร่าง เป็นต้น มาเป็นตัวแทนคุณสมบัติของวัตถุเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกข้อมูล เนื่องจากขนาดของพื้นที่ และรูปร่างของวัตถุสามารถบ่งบอกถึงความแตกต่างของวัตถุได้เป็นอย่างดี

### 2.15.1 การจำแนกวัตถุโดยขนาด

การที่จะเลือกวิธีการเพื่อแยกแยะหรือจำแนกวัตถุ Nuts และ Bolts จะเป็นเรื่องของ การวัดความแตกต่างคุณลักษณะเด่นของวัตถุ เช่น พื้นที่ (Area) ความยาวรอบรูป (Perimeter) และความยาว (Length) ของวัตถุ เป็นต้น ถ้าทำการวัดพื้นที่ของวัตถุที่ได้ Labeling แล้ว ซึ่งได้จากกระบวนการแบ่งส่วนภาพ ดังรูปที่ 2.35(ก) ขนาดพื้นที่จะเป็นการนับจำนวนพิกเซลของแต่ละวัตถุ แล้วนำค่าขนาดพื้นที่ทั้งหมดมาทำการวาดเป็นกราฟ 1 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.35(ข) จะเห็นได้ว่า Nuts และ Bolts จะแยกออกจากกันด้วยขนาดของพื้นที่อย่างชัดเจน [24] โดยที่ Bolts จะมีขนาดใหญ่ที่สุด มี 3 กลุ่มข้อมูล ประกอบด้วย Bolts ซึ่งมีขนาดของพื้นที่มากที่สุด ตามด้วย Nuts ที่มีลักษณะหงายขึ้น (face-on Nuts) ซึ่งมีขนาดของพื้นที่ใหญ่รองลงมา และ Nuts ที่มีลักษณะวางตั้งจะมีขนาดพื้นที่เล็กที่สุด รายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้น เป็นกระบวนการจำแนกวัตถุโดยขนาด (Classification by Size) ถ้านำวัตถุมาทำการ Labeling ตามขนาดพื้นที่ที่แยกได้ แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.35(ค)



รูปที่ 2.35 วิธีการจำแนกวัตถุโดยขนาด (ก) ภาพ Labeling ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพ (ข) กราฟแสดงคุณลักษณะเด่นโดยใช้ขนาดพื้นที่ (ค) ภาพ Labeling ที่จำแนกโดยขนาด (ง) ผลกาจำแนก Nuts ในภาพ (ค) โดยใช้ขนาดพื้นที่ 800 พิกเซล เป็นเกณฑ์ในการจำแนก [24]

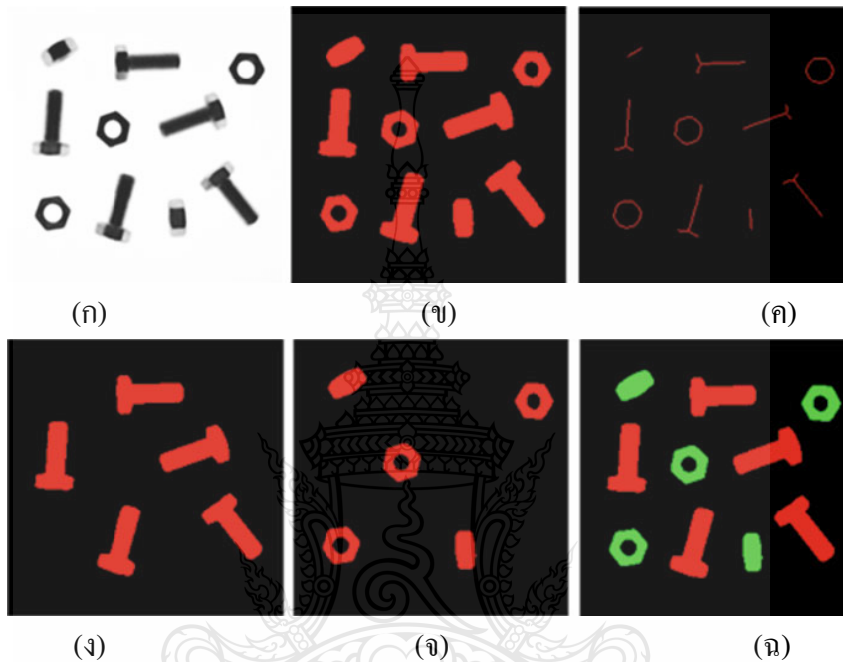
เมื่อมีการจำแนกวัตถุเฉพาะวัตถุที่เป็น Nuts แสดงดังรูปที่ 2.35(ง) คือ จะเป็นการเลือกคุณลักษณะเด่นของวัตถุด้วยขนาดพื้นที่ ในกรณีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดพื้นที่ 800 พิกเซล เป็นเกณฑ์ในการจำแนกที่ให้ผลการจำแนกที่ดี ดังนั้น ถ้าทำการจำแนกวัตถุระหว่าง Nuts และ Bolts ออกจากกันได้อย่างชัดเจนแล้ว การหาวัตถุที่เป็น Nuts หรือ Bolts จึงจะสามารถค้นหาได้อย่างถูกต้อง

### 2.15.2 การจำแนกวัตถุโดยขนาด

ในรูปที่ 2.36 จะประกอบด้วย Nuts และ Bolts ซึ่งมีลักษณะการวางที่แตกต่างกัน บางวัตถุตั้ง บางภาพตะแคง จะสามารถใช้วิธีการจำแนกวัตถุโดยใช้คุณลักษณะเด่น คือ รูปร่าง (Shape) เป็นเกณฑ์ในการจำแนกวัตถุ [24] เมื่อพิจารณาที่หัวและท้าย Bolts มีรูปร่างลักษณะที่ยาว ส่วน Nuts บางภาพจะมีรู ถ้าการวางในลักษณะนอน บางภาพมีลักษณะรูปร่างสั้น ถ้าวางในลักษณะตั้งไว้ เมื่อนำภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการของโอดสี แสดงดังรูปที่ 2.36(ข) มาผ่านขั้นตอนการทำให้วัตถุบางลงเพื่อให้เห็นโครงกระดูกของภาพด้วยวิธีการ Skeleton [7, 10] จะทำให้เห็นความแตกต่างทางรูปร่างของแต่ละวัตถุทั้ง 2 ประเภท แสดงดังรูปที่ 2.36(ค) รูปร่างของวัตถุที่เป็นโครง



กระดุก ประกอบด้วยพิกเซลที่เชื่อมต่อและเรียงต่อกัน จะมีพิกเซลเริ่มต้น (End pixels) พิกเซลที่เชื่อมต่อกันโดยรอบ (Link pixels) และพิกเซลที่แยกออกเป็นสาขา (Branch pixels) จะสังเกตเห็นว่า มีเพียงภาพโครงกระดูกของวัตถุที่เป็น Bolts เท่านั้นที่มี Branch pixels จึงสามารถจำแนกวัตถุ Bolts ออกจากวัตถุอื่นได้ หรือ จำแนกเฉพาะวัตถุที่เป็น Nuts ดังแสดงในรูปที่ 2.36(ง) และ(จ)



รูปที่ 2.36 วิธีการจำแนกวัตถุโดยรูปร่าง (ก) ภาพระดับเทาต้นฉบับ (ข) ภาพ Labeling วัตถุที่ได้จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ (ค) รูปที่ได้จากวิธีการ Skeleton (ง) ผลการจำแนกวัตถุ Bolts โดยพิจารณาจากคุณลักษณะเด่น (จ) จำแนกวัตถุ Nuts (ฉ) Nuts, Bolts Color labeling [24]

### 2.15.3 การจำแนกด้วยกฎพื้นฐาน

การจำแนกด้วยกฎพื้นฐาน (Rule-Based Classifier) เป็นเทคนิคหนึ่งในการจำแนกข้อมูล (Data Classification) [27] ที่ง่าย และมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยการใช้รูปแบบกฎ “IF {...} THEN {...}” ซึ่งกฎที่นำมาสร้างโมเดลจะถูกนำเสนอในรูปแบบการเชื่อมต่อกัน เช่น  $R_i = \{R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_k\}$  โดยที่  $R_i$  คือ กลุ่มของกฎ และ  $R_k$  คือ กฎที่ใช้แยกแต่ละกฎ อธิบายได้ดังสมการที่ 2.23 [26, 28]

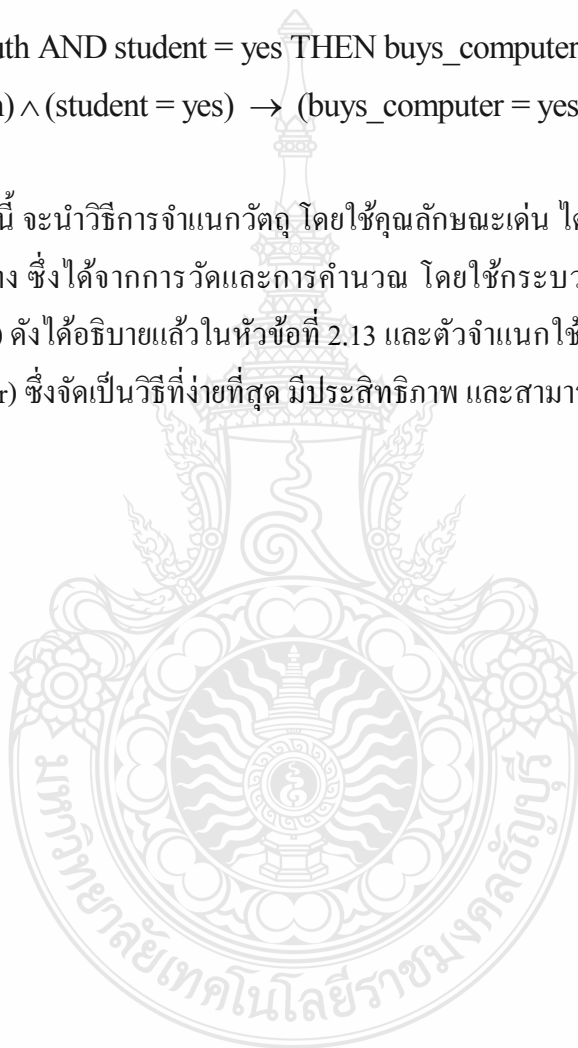
$$R_i: \{\text{Condition}\} \rightarrow \{\text{Conclusion}\} \quad (2.23)$$

โดยที่  $R_i$  คือ กฎข้อที่ 1 เรียกว่า Rule Antecedent หรือ Precondition และจะเชื่อมต่อกับ Condition เป็นเงื่อนไขเนื่องมาจากกฎเพื่อใช้ในการพิจารณาหรือทำนาย เรียกว่า Rule consequent ประกอบด้วย Attribute, Logical operation และ Value ( $A_i \text{ op } V_i$ ) เช่น (age = youth), (student = yes) โดยที่ op คือ ตัวดำเนินการทางตรรกะ (Logical operation) ที่จะเลือกใช้ได้แก่ {=, ≠, ≤, ≥, <, >} และ Conclusion คือ ผลลัพธ์จากการทำนายหรือพิจารณาแล้ว แสดงตัวอย่างกฎ  $R_i$  ดังสมการที่ 2.24 [26]

$$R_1 : \text{ IF age = youth AND student = yes THEN buys\_computer = yes} \quad (2.24)$$

$$R_1 : (\text{age = youth}) \wedge (\text{student = yes}) \rightarrow (\text{buys\_computer = yes}) \quad (2.25)$$

ในงานวิจัยนี้ จะนำวิธีการจำแนกวัตถุ โดยใช้คุณลักษณะเด่น ได้แก่ ขนาดของพื้นที่ ความยาวรอบรูป และรูปร่าง ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณ โดยใช้กระบวนการทางสถิติ (Statistical Pattern Classification) ดังได้อธิบายแล้วในหัวข้อที่ 2.13 และตัวจำแนกใช้กฎพื้นฐานเพื่อการจำแนก (Rule-Based Classifier) ซึ่งจัดเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด มีประสิทธิภาพ และสามารถนำมาใช้งานได้จริง



## 2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบ เป็นกระบวนการที่ต้องทำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำนมก่อนที่จะมีการแปรรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ครีม เนย นมกล่อง เป็นต้น เพื่อการตรวจสอบคุณภาพก่อนการรับซื้อ และเพื่อกำหนดราคารับซื้อนมดิบ เป็นต้น ซึ่งถ้าคุณภาพน้ำนมดิบต่ำหรือมีคุณภาพไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจะไม่สามารถนำน้ำนมมาจำหน่าย จึงเกิดการสูญเสียรายได้ และทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ปัญหาสำคัญที่ทำให้คุณภาพน้ำนมดิบไม่มีคุณภาพ คือ ปัญหาโรคเต้านมอักเสบ (Mastitis) [1] การหาสาเหตุหรือวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบนี้สามารถตรวจได้ 2 วิธีการใหญ่ๆ คือ (1) การตรวจสอบโดยตรง จะเป็นการตรวจดูการเปลี่ยนแปลงของเต้านม และน้ำนมเบื้องต้น (2) การตรวจสอบทางอ้อม จะเป็นการนับจำนวนเซลล์โซมาติก (Somatic Cell Count) ซึ่งเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่พบในน้ำนมดิบ

อรัล จันทรรัตน์ และคณะ [1] ได้นำเสนอข้อมูลการประเมินคุณภาพน้ำนม โดยการประเมินจำนวนเซลล์โซมาติก ซึ่งมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมและใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ การตรวจโดยใช้น้ำยาทดสอบซีเอ็มที (California Mastitis Test: CMT) การตรวจด้วยเครื่องแบบอัตโนมัติ (Fossomatic Somatic Cell Count: FSCC) และการนับโดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Direct Microscopic Somatic Cell Count: DMSCC) และได้นำเสนอวิธีการนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรงอย่างละเอียด ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมสไลด์ การเตรียมตัวอย่างน้ำนม การสเมียร์น้ำนม การเตรียมสี การย้อมสีแลบสเมียร์ และข้อปฏิบัติวิธีการนับเซลล์โซมาติกด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งการวิเคราะห์และนับเป็นการปฏิบัติโดยผู้เชี่ยวชาญ

จากที่กล่าวมาการนับจำนวนเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคมีหลายวิธีการ เมื่อมีหลายวิธีจึงเป็นข้อสงสัยว่าวิธีการแบบใดจะมีความเหมาะสมกับความต้องการใช้งานรูปแบบใด นุศุล อินทระสังขละ และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบ ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การตรวจด้วยน้ำยาทดสอบ California Mastitis Test (CMT) การตรวจนับปริมาณเซลล์โซมาติกด้วยเครื่องอัตโนมัติ SomaCount 150 และการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรง ซึ่งวิธีนี้ได้เปรียบเทียบการย้อมสีเซลล์แบบต่างๆ ได้แก่ (1) สี Methylene blue (2) สี DAPI (3) สี DAPI แบบดัดแปลง ผลการศึกษาพบว่า การตรวจด้วยน้ำยา CMT เป็นเพียงการตรวจน้ำนมดิบในเชิงคุณภาพเบื้องต้นเท่านั้น เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ราคาประหยัด จึงเหมาะสำหรับเกษตรกร การตรวจด้วยเครื่องนับแบบอัตโนมัติ เช่น เครื่อง SomaCount จะเป็นการตรวจเชิงปริมาณเท่านั้น ไม่สามารถนับจำนวนแบคทีเรียในน้ำนมได้ มีความรวดเร็ว และเหมาะกับการตรวจที่ต้องมีตัวอย่างน้ำนมจำนวนมาก แต่มีข้อเสีย คือ เครื่องมีราคาแพง มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์แต่ละครั้งสูง จึงเหมาะสำหรับศูนย์รับซื้อ

น้ำนมดิบ ศูนย์ควบคุมคุณภาพน้ำนม เป็นต้น ส่วนการตรวจปริมาณเซลล์โซมาติกโดยใช้เทคนิคการย้อมเซลล์ด้วยสี Methylene blue มีประสิทธิภาพสูงในการปฏิบัติงานมากกว่าการย้อมด้วยเทคนิคแบบ DAPI เนื่องจากสามารถใช้ศึกษาปริมาณเซลล์โซมาติกและแบคทีเรียได้พร้อมกันในการย้อมเพียงครั้งเดียว ขณะที่วิธีการตรวจหาปริมาณเซลล์โซมาติกด้วยเครื่อง SomaCount 150 ไม่สามารถทำได้

การตรวจปริมาณเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค ถ้าหากต้องการประเมินจำนวนเซลล์ให้ใกล้เคียงกับจำนวนโซมาติกที่แท้จริง จะต้องอาศัยวิธีการที่ให้ค่าถูกต้องมากขึ้น ได้แก่ การนับจำนวนเซลล์โซมาติกด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ เนื่องจากการตรวจด้วยวิธีการนี้ สามารถนับจำนวนเซลล์ซึ่งสามารถมองเห็น ได้ด้วยสายตาของมนุษย์โดยใช้กำลังขยายสูงจากกล้อง จะทำให้การประเมินจำนวนเซลล์ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมากขึ้น [3]

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมหาศาลได้อย่างรวดเร็ว จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายต่างๆ เช่น งานวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์โดยจะใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Medical Image Processing: MIP) เป็นต้น ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแทนมนุษย์ ซึ่งมนุษย์นั้นจะมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น มีความเห็นดื้นน้อย เมื่อยล้า และเบื่อหน่าย เมื่อมีงานที่จะต้องตรวจวิเคราะห์ภาพจำนวนมากขึ้น ทำให้การทำงานใช้เวลามากขึ้น และผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว Grillo, G.J. และคณะ [29] จึงได้นำคอมพิวเตอร์มาประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายเซลล์โซมาติกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยการเชื่อมต่อกล้องวิดีโอ CCD/BW ที่มีความละเอียดสูงเข้ากับกล้องจุลทรรศน์แบบแสงโดยตรง และเชื่อมต่อสายกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำการถ่ายภาพตัวอย่างน้ำนมที่ผ่านการย้อมสีและทำให้แห้งแล้ว ภาพถ่ายมีขนาด 1024×1024 พิกเซล ใช้วิธีแบ่งส่วนภาพเพื่อสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) แล้วปรับปรุงภาพขาวดำด้วยวิธีการ Morphological และ Particle Analysis ผลการวิเคราะห์รายงานออกมาในรูปแบบไฟล์ Excel และโปรแกรมประมวลผลภาพพัฒนาด้วยโปรแกรม Macro Visual Basic บน โปรแกรม Excel ทำการเปรียบเทียบการประเมินจำนวนเซลล์ระหว่างการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรง และเครื่องอัตโนมัติ พบว่า ผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีแตกต่างกันประมาณ 3 - 5% จากข้อมูล 148 ตัวอย่าง และวิธีการประมวลผลภาพจากการทดลองนี้ ได้ค่าผลการนับที่ต่ำกว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรงในกรณีปริมาณความหนาแน่นของเซลล์น้อยกว่า 300 thousand-cell/ml. ในการนับเซลล์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรงจะใช้เวลา 4 ชั่วโมง ส่วนการนับด้วยวิธีการที่นำเสนอจะใช้เวลาเพียง 15 นาที ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเมื่อปริมาณเซลล์หรือมีกลุ่มเซลล์ติดกันหนาแน่นมาก (มากกว่า 1000 thousand-cells/ml.) แต่ผู้วิจัยไม่ได้

สนใจผลลัพธ์ที่ได้ว่าจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำมากนักเมื่อต้องตรวจวิเคราะห์ห้าน้ำนมที่มีการติดเชื้อ  
ชั้นรุนแรง ต่อมาในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อการประมวลผลภาพเซลล์โซมาติกนี้ Heru Xue. และ  
คณะ [30] ได้ใช้เทคโนโลยีในด้านการประมวลผลภาพสี โดยนำเสนอขั้นตอนวิธีการตัดแยกภาพเซลล์  
โซมาติก (The Segmentation of the Color Milk Somatic Cells Images) โดยใช้ SOM Neural Network  
มาวิเคราะห์องค์ประกอบภาพของโมเดลสีต่างๆ ได้แก่ ระบบสี RGB, YIQ, XYZ และ Ycbr ค่าความ  
ค่า Contrast และ Eigen value of Covariance ของแต่ละระบบสี ด้วยวิธีการ 3PCA, 2PCA และ 1PCA  
เพื่อตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก พบว่า ประสิทธิภาพของการตัดแยกภาพระบบสี RGB ด้วยวิธีการ  
1PCA เหมาะสมที่สุด

กระบวนการแบ่งส่วนภาพเป็นขั้นตอนที่สำคัญ จุดประสงค์เพื่อทำการแยกภาพเซลล์ออกจาก  
พื้นหลัง เมื่อสกัดภาพเซลล์ได้แล้ว ภาพเซลล์จะมี 2 ลักษณะ คือ เซลล์เดี่ยว กับเซลล์ที่อยู่ติดกัน  
ภาพเซลล์เดี่ยวสามารถนับจำนวนได้ในขั้นตอนการตัดแยก แต่ภาพเซลล์ติดกัน จะต้องหาวิธีการตัด  
แยกเซลล์เหล่านี้ออกจากกันให้ได้ก่อนที่จะทำการนับจำนวน เหตุผลดังกล่าว Su Na. และคณะ [31]  
จึงได้นำเสนอวิธีการตัดแยกเซลล์โซมาติกที่ติดกัน (Overlap cells) โดยใช้วิธี Watershed มีขั้นตอนวิธี  
ดังนี้ (1) การแปลงภาพต้นฉบับเป็นภาพขาวดำ (2) การแปลงระยะทาง (3) การคำนวณหาจุดกึ่งกลาง  
(Seed points) ของวัตถุ (4) วิธีการแยกภาพด้วย Watershed (5) การลบพื้นที่เมื่อมีการแบ่งภาพมาก  
เกินไป (Over-Segment) ในการใช้วิธี Watershed เพื่อตัดแยกเซลล์ติดกัน โดยตรงจะพบปัญหา คือ เกิด  
การแบ่งแยกภาพเซลล์ออกจากกันมากเกินไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขโดยควบคุมการแบ่งแยกเซลล์  
ด้วย Seed points เป็นการลบพื้นที่เล็กๆ ที่ได้จากการใช้วิธี Watershed และรวม Seed points ที่ได้จาก  
การคำนวณ จึงทำให้สามารถควบคุมการแยกเซลล์ติดกันมีความเหมาะสมและถูกต้อง

ต่อมา Yuedong Wang และคณะ [32] ได้ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีต่อจากวิจัยที่ผ่านมาแล้ว  
[30] โดยทำการประมวลผลภาพเซลล์โซมาติก โดยใช้ SOM Neural Network ทำการวิเคราะห์  
องค์ประกอบภาพของระบบสีต่างๆ ได้แก่ RGB, YIQ, XYZ และ HSI ทำการคำนวณค่า Contrast และ  
Variance ของแต่ละองค์ประกอบ พบว่า องค์ประกอบ R และ G ของโมเดลสี RGB มีประสิทธิภาพ  
การตัดแยกเหมาะสมที่สุด ส่วนการสกัดภาพเซลล์โซมาติกใช้วิธีการ WH3D พบว่า องค์ประกอบสี  
RG ตัดแยกภาพเซลล์ได้แก่ Nuclei และ Cytoplasm ออกจากพื้นหลังได้เหมาะสมที่สุด มีประสิทธิภาพ  
ของความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 94.23% ส่วนการแยกเซลล์ที่ติดกันใช้วิธีการ Watershed ในการ  
แยกภาพเซลล์ติดกัน

## 2.17 สรุป

ในบทนี้ ได้นำเสนอความรู้ทางทฤษฎี เทคนิค และวิธีการเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพให้มีความเหมาะสมกับข้อมูลนำเข้า คือ ภาพถ่ายเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคที่ย้อมด้วยสีเมทิลีนบลู เพื่อให้ได้ผลการตัดแยกและการนับจำนวนเซลล์มีความเหมาะสมที่สุด มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องว่า ได้มีการออกแบบ พัฒนาขั้นตอนวิธีโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลกับภาพถ่ายเซลล์โซมาติกถึงขั้นใดแล้ว มีการนำเทคนิค หรือวิธีการใดมาทดลองกับภาพบ้าง นำเสนอผลการทดลอง และข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร แล้วนำทฤษฎีและจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว มาทำการออกแบบขั้นตอนวิธีและพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อให้การตัดแยกภาพและนับจำนวนเซลล์ได้ผลที่ยอมรับได้ ดังจะนำเสนอขั้นตอนการวิจัยเพื่อการออกแบบอัลกอริทึมในบทที่ 3 ต่อไป



### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิค วิธีการ และขั้นตอนวิธีต่างๆ ในการประมวลผลภาพดิจิทัล ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 2 ให้สามารถตัดแยกภาพเซลล์ไขมันติกและนับจำนวนเซลล์ในภาพได้ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญ และหรือผู้วิเคราะห์สามารถนำไปเป็นประโยชน์ในการประเมินคุณภาพน้ำมัน หรือวินิจฉัยปัญหาโรคด้านมอัสเสบของโคนมได้ ซึ่งมีผังงานวิธีการดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1

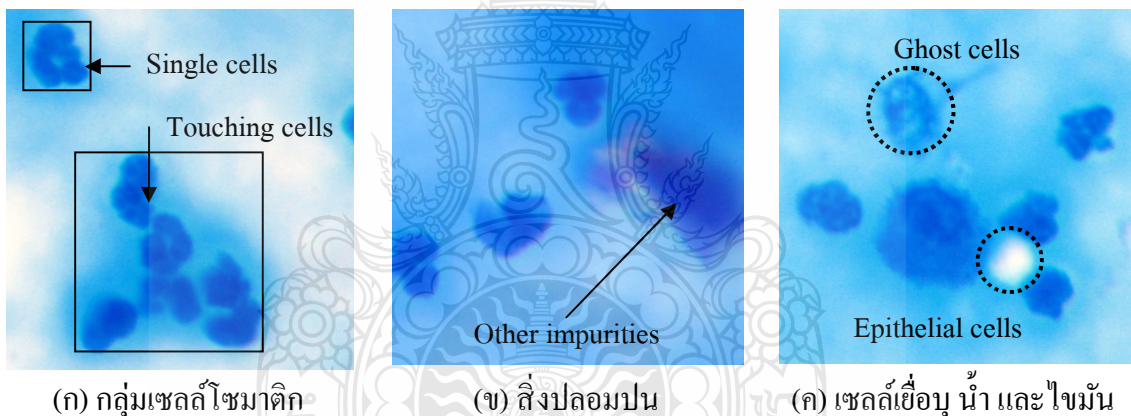


รูปที่ 3.1 ผังงานของวิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 บทนำ

การสร้างและออกแบบขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพเซลล์โซมาติก เพื่อให้ได้ขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับภาพที่จะนำมาประมวลผลนั้น จะต้องศึกษาลักษณะของภาพ ได้แก่ รูปร่างเซลล์ สิ่งที่ไม่ใช่เซลล์หรือสิ่งปลอมปน และลักษณะพื้นหลังของภาพถ่าย เพื่อที่จะสามารถตั้งสมมติฐานหรือคาดคะเนขั้นตอนวิธีเพื่อตัดแยกภาพและนับจำนวนเซลล์ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เซลล์โซมาติกในน้ำนมโค (Somatic cells in milk) เป็นเซลล์ร่างกายที่ไม่มีการแบ่งตัว มีอยู่ประมาณ 98 - 99% ของปริมาณทั้งหมดในน้ำนมจะเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาว ส่วนที่เหลือเป็นเซลล์เยื่อบุ (Epithelial cells) ของต่อมสร้างน้ำนมที่หลุดลอกหลังจากมีการเสียหายของเต้านม เซลล์เม็ดเลือดขาวจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ หลังจากมีการติดเชื้อในเต้านม มันถูกผลิตขึ้นมาเพื่อต่อต้านเชื้อโรคที่เข้ามาในเต้านม เซลล์โซมาติกในน้ำนมโคถือว่าเป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับการบ่งชี้ถึงระดับการเกิดโรคเต้านมอักเสบในโคนม [1, 3]



รูปที่ 3.2 เซลล์โซมาติกในน้ำนมโคที่ย้อมด้วยสีเมทิลีนบลู (Methylene blue)

ภาพถ่ายเซลล์โซมาติก แสดงดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย เซลล์โซมาติก น้ำ ไขมัน และสิ่งปลอมปนอื่นๆ กลุ่มของเซลล์จะมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเซลล์เดี่ยว (Single cells) และกลุ่มเซลล์ติดกัน (Touching cells) ผู้เชี่ยวชาญจะทำการวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์ที่ปรากฏบนจอภาพทั้งชนิดเซลล์เดี่ยว และชนิดกลุ่มเซลล์ติดกัน

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรมที่ใช้เพื่อการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรม MATLAB r2009b บนระบบปฏิบัติการ Windows 8 ประมวลผล



ด้วยคอมพิวเตอร์ (Personal Computer: PC) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel® Core™ i5 Processor ความเร็ว 1.80 GHz. หน่วยความจำ (RAM) 8 GB. และฮาร์ดดิสก์ มีความจุ 500 GB.

ภาพเซลล์โชมaticที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล CCD Camera USB, SHODENSHA รุ่น GR500BCM2 ต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Metallographic Microscope) ของ SHODENSHA รุ่น GR3400 ลักษณะกล้องจุลทรรศน์ กล้องดิจิทัลมีคุณสมบัติ คือ มีกำลังขยายรวมสูงสุด 100 เท่า บันทึกเป็นภาพสี RGB รูปแบบในการเก็บเพิ่มข้อมูลภาพแบบ JPG ความละเอียด 3072× 2304 พิกเซล เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต USB 2.0 ภาพถ่ายที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นภาพบนสไลด์ ที่ผ่านการสเมียร์น้ำมันและย้อมด้วยสีเมทิลีนบลู (Methylene blue) โดยปรับกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า และถ่ายภาพในบริเวณที่เหมาะสมจากการพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ



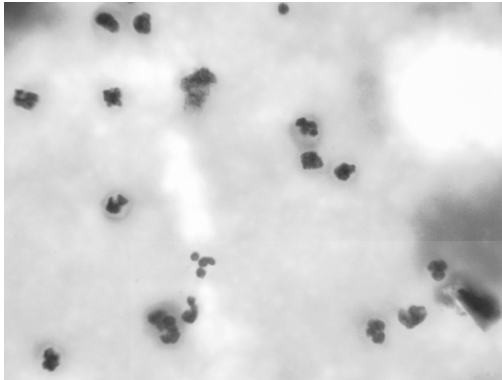
(ก) Metallographic Microscope



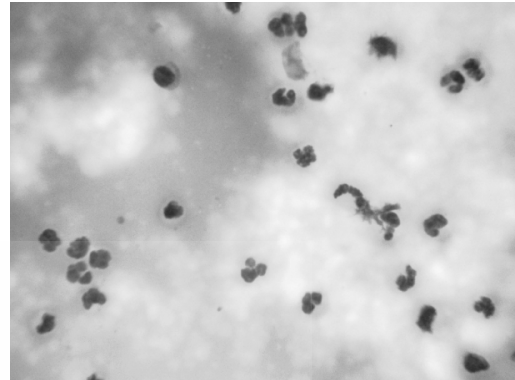
(ข) กล้องดิจิทัล CCD Camera

### รูปที่ 3.3 ลักษณะกล้อง Digital Microscope ที่ใช้ในการถ่ายภาพเซลล์โชมatic

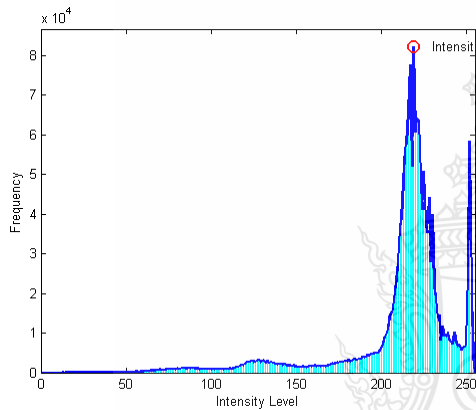
การออกแบบขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพ เพื่อให้อัลกอริทึมสามารถตัดแยกและนับเซลล์โชมaticได้ถูกต้องและเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการสกัดและแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง ถ้าในขั้นตอนนี้เลือกใช้วิธีการตัดแยกภาพที่ไม่เหมาะสมกับภาพแล้ว จะทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ภาพเซลล์และทำการนับจำนวนเซลล์ให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้ ดังนั้น เพื่อเป็นการตั้งสมมติฐานและการคาดคะเนถึงขั้นตอนวิธีที่จะนำมาใช้ในการตัดแยกภาพเซลล์ จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากกราฟฮิสโตแกรม เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงลักษณะและคุณสมบัติโดยทั่วไปของภาพถ่ายดิจิทัล ได้แก่ ระดับพิกเซลของภาพเซลล์ วัตถุที่ไม่ใช่เซลล์ สิ่งปลอมปน และระดับพิกเซลพื้นหลัง ดังที่กล่าวแล้ว



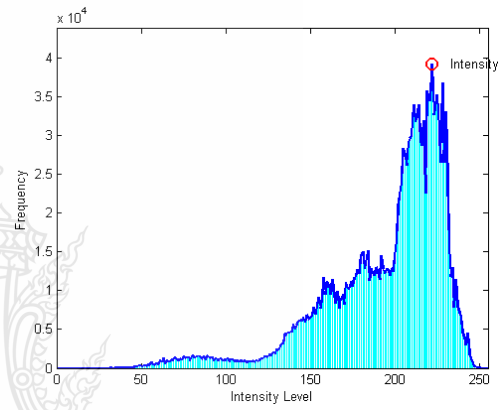
(ก) ภาพระดับเทาหมายเลข 10



(ข) ภาพระดับเทาหมายเลข 13



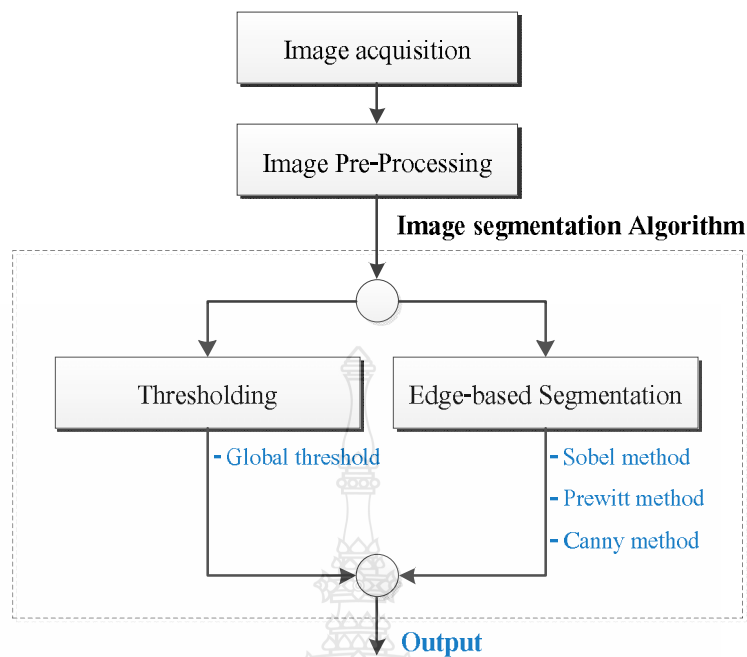
(ค) ฮิสโตแกรมของภาพหมายเลข 10



(ง) ฮิสโตแกรมของภาพหมายเลข 13

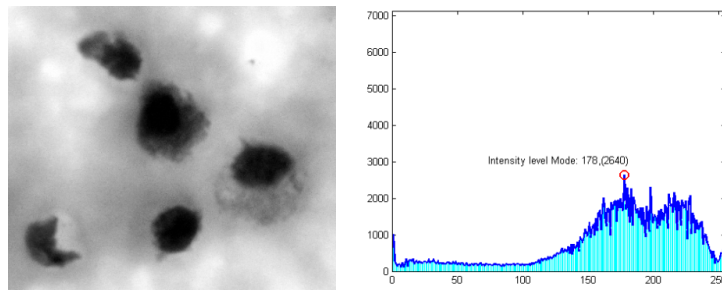
### รูปที่ 3.4 ฮิสโตแกรมที่เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของภาพเซลล์และพื้นหลัง

กราฟฮิสโตแกรมของภาพถ่ายเซลล์โซมาติก แสดงดังรูปที่ 3.4(ค),(ง) จะเห็นว่า กราฟมีความถี่ที่สูง (High frequency histogram) คือ รูปร่างของฮิสโตแกรมมีหลายยอดคลื่นหรือมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบหลากหลาย ซึ่งมีผลมาจากภาพที่มีระดับพิกเซลทั้งของภาพเซลล์ พื้นหลังมีหลายๆ ระดับ ดังที่กล่าวแล้วถึงลักษณะของภาพถ่ายข้างต้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงได้มีการทดลองเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งเลือกใช้ทดลอง 2 วิธี คือ การแบ่งส่วนภาพด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) โดยเลือกใช้ค่าขีดแบ่งแบบค่าเดียวทั้งภาพ (Global thresholding) และการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ขอบของวัตถุ (Edge-based segmentation) ซึ่งในการคำนวณหาขอบภาพจะใช้ตัวตรวจจับขอบภาพ (Edge detector) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ในขั้นตอนนี้ได้เลือกใช้ตัวตรวจจับขอบภาพแบบ Sobel, Prewitt และ Canny การแบ่งส่วนภาพโดยใช้วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย [4, 5, 11] ผลงานขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.5

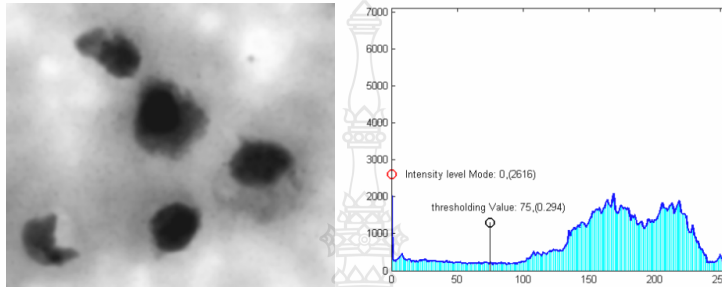


รูปที่ 3.5 ผังงานของขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพที่เหมาะสมกับภาพเซลล์โชมมาติก

ผลการทดลองแบ่งส่วนภาพเซลล์ด้วยวิธีการทั้ง 2 วิธี คือ การกำหนดค่าขีดแบ่งแบบใช้ค่าขีดแบ่งเดียวทั้งภาพ และการแบ่งส่วนภาพโดยการตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการแบบ Sobel, Prewitt และ Canny ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งทั้ง 2 วิธีได้ทดลองกับภาพที่ได้ทำการเตรียมภาพให้มีความเหมาะสม (Image Pre-Processing) ด้วยการดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา (Morphological operation) เพื่อปรับปรุงภาพให้มีความถี่ที่ลดลง และเพื่อให้กราฟฮิสโตแกรมมีการกระจายตัวของข้อมูลภาพและพื้นหลังเด่นชัดมากขึ้น แสดงผลลัพธ์ด้วยกราฟฮิสโตแกรมในรูปที่ 3.6(ข) จากผลการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งแสดงดังรูปที่ 3.7(ก) ซึ่งได้เลือกค่าขีดแบ่งที่ระดับ 75 ได้จากการพิจารณาฮิสโตแกรมของภาพที่เห็นว่าเป็นตำแหน่งที่สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้เหมาะสมที่สุด วิธีการนี้สามารถสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังได้ดีและเหมาะสมกว่าวิธีการค้นหาขอบภาพทั้ง 3 วิธี ซึ่งตัวตรวจจับขอบภาพทั้ง 3 วิธี สามารถค้นหาขอบภาพออกมาได้ แต่วิธี Canny จะได้ภาพที่มีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นมากกว่าวิธีอื่น ขอบภาพที่ได้ยังขาดความต่อเนื่อง ซึ่งถ้านำวิธีการค้นหาขอบภาพวัตถุมานำใช้ในการตัดแยกภาพเซลล์แล้วจะต้องใช้ขั้นตอนวิธีปรับปรุงภาพเพื่อให้ขอบภาพมีความต่อเนื่องและให้ได้ภาพเซลล์ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้เสียเวลามากขึ้นเมื่อเทียบกับการกำหนดด้วยค่าขีดแบ่ง อีกอย่างหนึ่งภาพเซลล์ที่ได้จากการกำหนดค่าขีดแบ่งสามารถนำมาคำนวณคุณลักษณะเด่น (Feature extraction) ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เมื่อต้องการจำแนกเซลล์โชมมาติกซึ่งจะต้องใช้ในขั้นตอนต่อไป



(ก) ภาพต้นฉบับ และฮิสโตแกรม



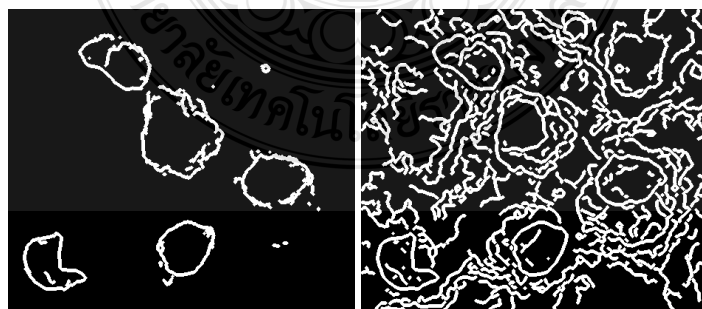
(ข) ภาพที่ผ่านการเตรียมแล้ว และฮิสโตแกรม

รูปที่ 3.6 ภาพระดับเทาที่นำไปใช้ในการแบ่งส่วนภาพและลักษณะของฮิสโตแกรม



(ก) Global Thresholding

(ข) Sobel method

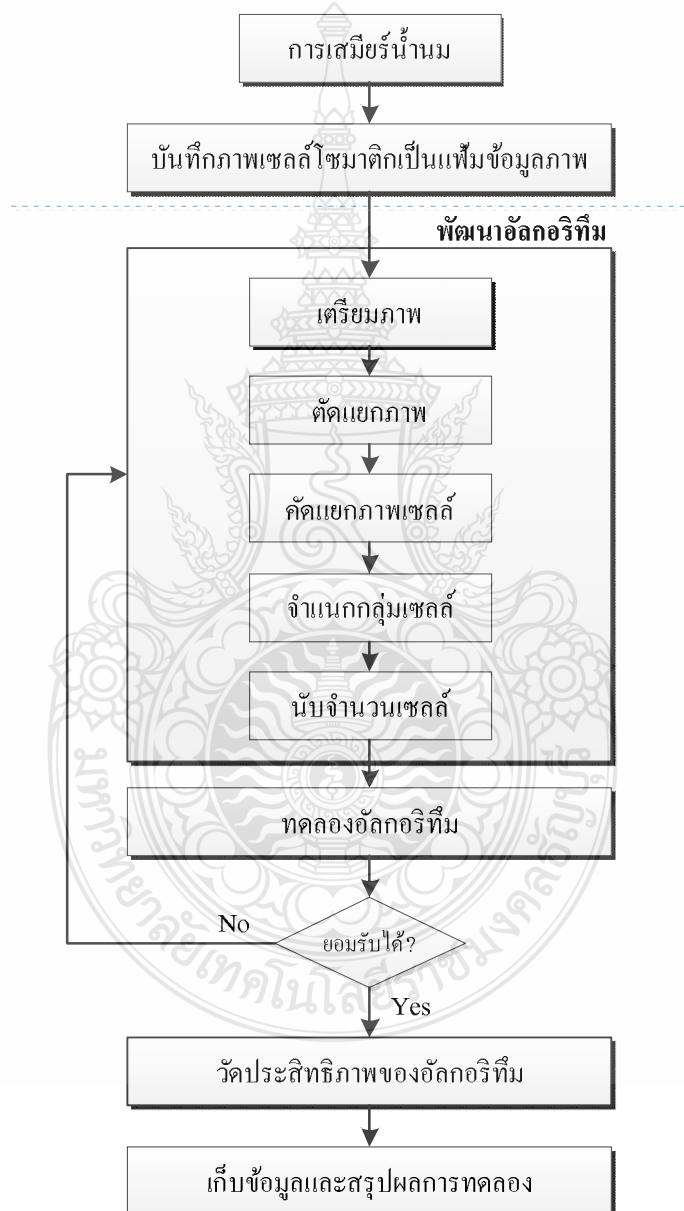


(ค) Prewitt method

(ง) Canny method

รูปที่ 3.7 ผลจากการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง และการค้นหาขอบภาพแบบต่างๆ

ดังนั้น การตั้งสมมติฐานการออกแบบขั้นตอนวิธีในการตัดแยกและนับภาพเซลล์โซมาติก ซึ่งได้จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของภาพเซลล์ด้วยกราฟิซิสโตแกรม และได้ทดลองแนวทางการตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดเพื่อให้ได้ผลที่ยอมรับได้ซึ่งอธิบายไปแล้วข้างต้น จึงนำเสนอขั้นตอนการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ดังผังงานขั้นตอนวิธีในรูปที่ 3.8 ดังต่อไปนี้

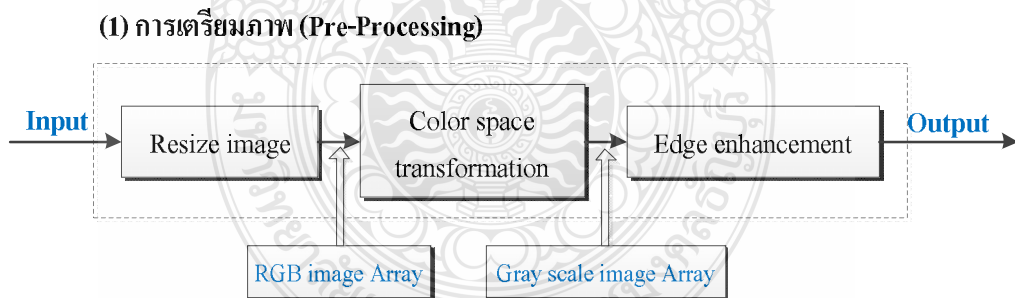


รูปที่ 3.8 ผังงานการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติก

การพัฒนาขั้นตอนวิธี หรืออัลกอริทึมในการประมวลผลภาพเซลล์โชมาทิก มี 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเตรียมภาพ (Image Pre-Processing) (2) การตัดแยกภาพเซลล์โชมาทิก (Image Segmentation) (3) การคัดแยกภาพเซลล์และการกำจัดสิ่งรบกวน (Cells Separation and Noises Reduction) (4) การจำแนกกลุ่มเซลล์ (Cells Classification) (5) การนับจำนวนเซลล์ (Cell Counting) และ (6) การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม (Algorithm Evaluation)

### 3.2 การเตรียมภาพเซลล์โชมาทิก

ดังที่ได้อธิบายแล้วถึงลักษณะของภาพเซลล์โชมาทิกในบทนำ หัวข้อที่ 3.1 จึงต้องทำการเตรียมภาพให้มีความเหมาะสม ด้วยการลดความถี่สูงของภาพลง และเน้นพื้นที่บริเวณขอบภาพเซลล์ เพื่อให้พื้นหลังกับภาพเซลล์มีความแตกต่างกันมากขึ้น โดยใช้วิธีการลบภาพต้นฉบับด้วยภาพที่ถูกปรับเรียบ (Image Subtraction) [4, 5] ซึ่งเป็นการปรับระดับพิกเซลของพื้นหลังทั้งหมดให้มีระดับที่ต่ำลงจะเป็นการสร้างความแตกต่างระหว่างระดับพิกเซลของภาพเซลล์กับพื้นหลังมากยิ่งขึ้น ในการทดลองได้เลือกใช้หน่วยโครงสร้าง (Structuring Element: SE) รูปแบบ Disk เพราะมีรูปร่างใกล้เคียงกับเซลล์มากที่สุด และมีขนาดต่างๆ ได้แก่  $R = 5, 10, 20, 30$  พิกเซล เพื่อทดลองว่า ขนาดของหน่วยโครงสร้างขนาดใดที่จะสามารถเตรียมภาพระดับเทา เพื่อให้ผลในการตัดแยกภาพเซลล์ในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพได้อย่างเหมาะสมที่สุด การเตรียมภาพเซลล์แสดงผังงานดังรูปที่ 3.9

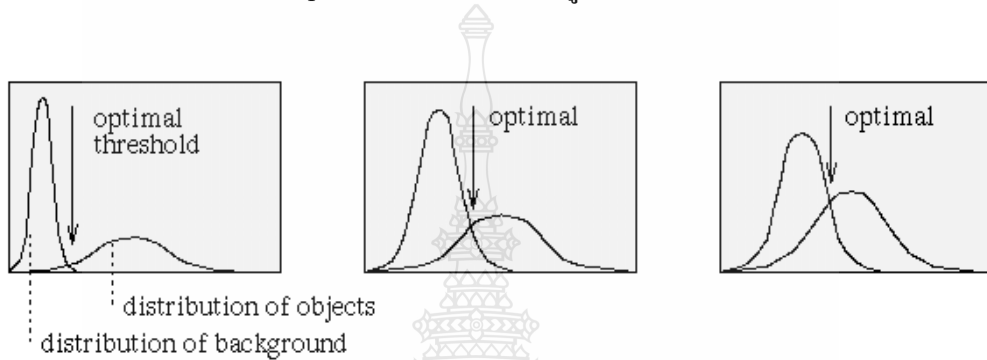


รูปที่ 3.9 ผังงานของขั้นตอนวิธีการเตรียมภาพ

### 3.3 การตัดแยกภาพเซลล์โชมาทิก

ภาพที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมภาพจะเป็นภาพระดับเทา ซึ่งมีระดับพิกเซล 256 ระดับ คือ ตั้งแต่ ระดับ 0 ถึง 255 ซึ่งในขั้นตอนนี้ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการแยกภาพหรือสกัดภาพเซลล์โชมาทิกออกจากพื้นหลังโดยกระบวนการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) ดังที่ได้อธิบายแล้วในบทนำ

หัวข้อที่ 3.1 ข้างต้น การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) สามารถแยกภาพเซลลออกจากพื้นหลังได้ดีและเหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับ การเลือกระดับค่าขีดแบ่งด้วย ซึ่งค่าขีดแบ่งนี้จะเป็นตัวกำหนดว่าระดับพิกเซลใดจะกำหนดให้เป็นภาพเซลล และกำหนดให้เป็นพื้นหลัง ซึ่งวิธีการโดยทั่วไปสำหรับการหาค่าขีดแบ่งจากภาพระดับเทา ทำได้โดยนำระดับพิกเซลของภาพมาสร้างเป็นกราฟฮิสโตแกรมซึ่งเป็นการแสดงการกระจายตัวของข้อมูล 2 กลุ่ม คือ ภาพวัตถุและกลุ่มพื้นหลัง ตำแหน่งค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม (Optimal Value) แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งค่าขีดแบ่ง ( $T$ ) ที่เหมาะสม [12]

ภาพเซลลโซมาติกที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมภาพ เมื่อพิจารณาจากกราฟฮิสโตแกรมจะเห็นว่า ความหนาแน่นของเซลลโซมาติกแต่ละภาพมีไม่เท่ากัน แต่ระดับพิกเซลของพื้นหลังมีหลายๆ ระดับ รูปร่างของกราฟฮิสโตแกรมจึงมีลักษณะที่ไม่เหมือนกันในทุกๆ ภาพ (ดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 3.4 (ค) และ(ง)) ดังนั้น วิธีกำหนดค่าขีดแบ่งเองโดยผู้ใช้จึงไม่เหมาะสมและเสียเวลา

ในการทดลองนี้ จึงใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วขึ้น ด้วยวิธีการของโอตลี โดยใช้สมการที่ 2.8 ในหัวข้อที่ 2.7 ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป้าหมายของโอตลีจะเป็นการเลือกค่าขีดแบ่งที่คำนวณได้จาก “ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม” ที่มีค่ามากที่สุด บนกราฟที่มีกระจายของข้อมูลแบบคู่หรือสองยอด (Bimodal) ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่สามารถแยกภาพวัตถุออกจากพื้นหลังได้อย่างเหมาะสม (Valley) ดังที่ได้อธิบายอย่างละเอียดแล้วในบทที่ 2

ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดค่าขีดแบ่งนี้จะเป็นภาพขาวดำ จากนั้นทำการปรับปรุงภาพขาวดำเพื่อให้ได้เฉพาะภาพเซลลที่มีความเหมาะสม โดยการปรับแต่งรูปร่างเซลลให้สมบูรณ์ด้วยการดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา (Morphological operation) ได้แก่ การเซาะ (Erosion) การขยาย (Dilation) และการปิด (Closing) [4, 5, 11]

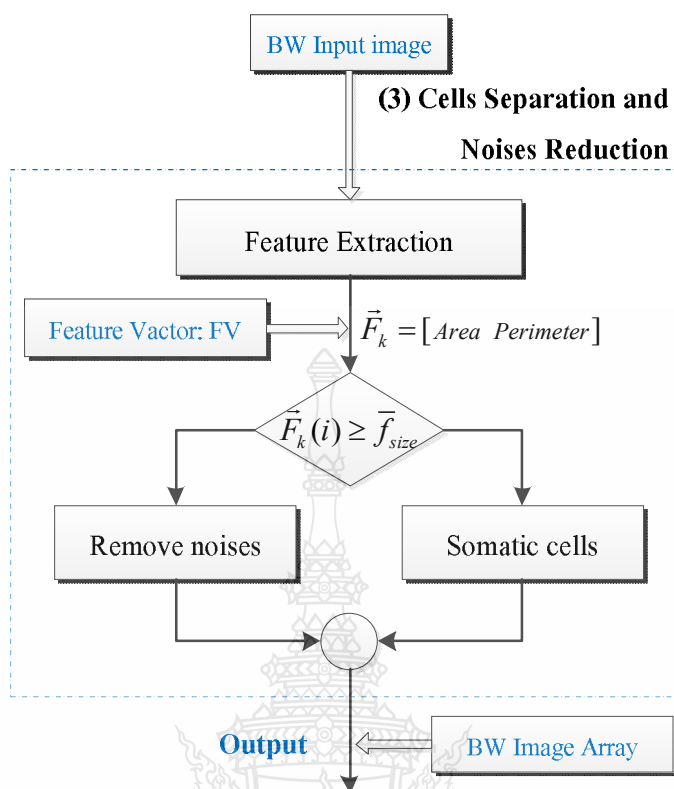
### 3.4 การคัดแยกภาพเซลล์โซมาติกและการกำจัดสิ่งรบกวน

ภาพที่ได้จากขั้นตอนการคัดแยกภาพเซลล์โซมาติกออกจากพื้นหลังด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง จะเป็นภาพสองระดับ (Binary image) หรือภาพขาวดำ ซึ่งมีค่า 2 ระดับ คือ ภาพวัตถุมีสีขาว ระดับพิกเซลเท่ากับ “1” และ ภาพพื้นหลังมีสีดำ ระดับพิกเซลเท่ากับ “0”

ภาพวัตถุสีขาวนี้ จะประกอบด้วยภาพที่เป็นเซลล์โซมาติก และภาพที่ไม่ใช่เซลล์ติดมาซึ่งเป็นสิ่งรบกวน (Noises) เมื่อนำภาพนี้ไปใช้ในขั้นตอนการนับจำนวนเซลล์แล้วจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้สูง จึงต้องทำการคัดแยกเอาเฉพาะภาพเซลล์ และต้องทำการกำจัดสิ่งรบกวนที่กระจัดกระจายในภาพนั้นออกไป จึงต้องทำการจำแนกวัตถุในภาพ (Classification) [25] เพื่อพิจารณาวัตถุต่างๆ ว่าเป็นวัตถุที่อยู่ในกลุ่มใด จำนวน 2 กลุ่ม ระหว่างกลุ่มภาพเซลล์โซมาติก และกลุ่มภาพที่ไม่ใช่เซลล์หรือสิ่งรบกวน โดยการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ (Feature Vector: FV) ทั้งหมดในภาพ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ (Area) และความยาวรอบรูปวัตถุ (Perimeter) เพราะไม่ทำให้เสียเวลาในการประมวลผลข้อมูลมาก ซึ่งสามารถวัดและคำนวณได้ในกระบวนการระบุพื้นที่ (Connected Components Labeling) [10] แล้วนำค่า FV มาสร้างเป็นกราฟ 1 มิติ (Plot 1D graph) เพื่อจะได้พิจารณาเลือกค่าคุณลักษณะเด่นที่สามารถแยกวัตถุออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มภาพเซลล์โซมาติก และกลุ่มภาพสิ่งรบกวนได้ดีและเหมาะสม ซึ่งเป็นค่าขีดแบ่ง หรือค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดแยกวัตถุ (Value,  $\bar{f}_{size}$ ) ของเงื่อนไขในกฎพื้นฐานเพื่อการตัดสินใจ (Rule-Based Classifier) [26] ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและมีประสิทธิภาพ ที่ได้อธิบายแล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.15.3

เมื่อทำการจำแนกกลุ่มภาพวัตถุเป็น 2 กลุ่มได้แล้ว จึงทำการลบภาพที่ไม่ใช่เซลล์หรือสิ่งรบกวนออกไปจากภาพได้โดยใช้กฎเพื่อการจำแนก ดังสมการที่ 3.1 ผลงานของขั้นตอนการคัดแยกเซลล์โซมาติก และการกำจัดสิ่งรบกวน แสดงดังรูปที่ 3.11



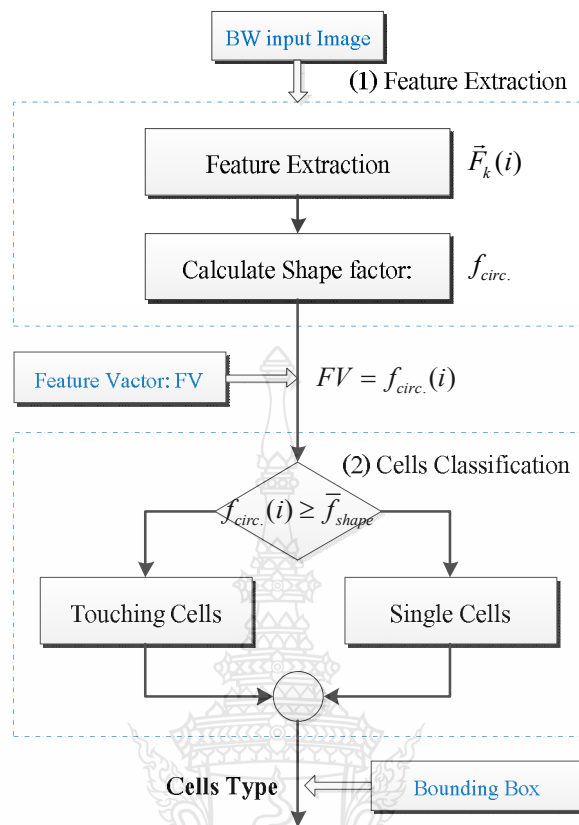


รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันขั้นตอนวิธีการคัดแยกเซลล์โซมาติกและการกำจัดสิ่งรบกวน

$$C_{sep.}(i) = \begin{cases} Cell, & \text{if } \vec{F}_k(i) \geq \bar{f}_{size} \\ Noise, & \text{if } \vec{F}_k(i) < \bar{f}_{size} \end{cases} \quad (3.1)$$

โดยที่

- $C_{sep.}(i)$  คือ ผลการคัดแยกชนิดวัตถุของภาพที่  $(i)$
- $Cell$  คือ ภาพวัตถุลำดับที่  $k$  เป็นภาพเซลล์โซมาติก
- $Noise$  คือ ภาพวัตถุลำดับที่  $k$  ไม่ใช่เซลล์โซมาติก หรือเป็นสิ่งรบกวน
- $\vec{F}_k(i)$  คือ ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุลำดับที่  $k$  ของภาพที่  $(i)$
- $\bar{f}_{size}$  คือ ค่าขีดแบ่งหรือค่าเกณฑ์ (Value) ในการคัดแยกว่าเป็นเซลล์โซมาติก

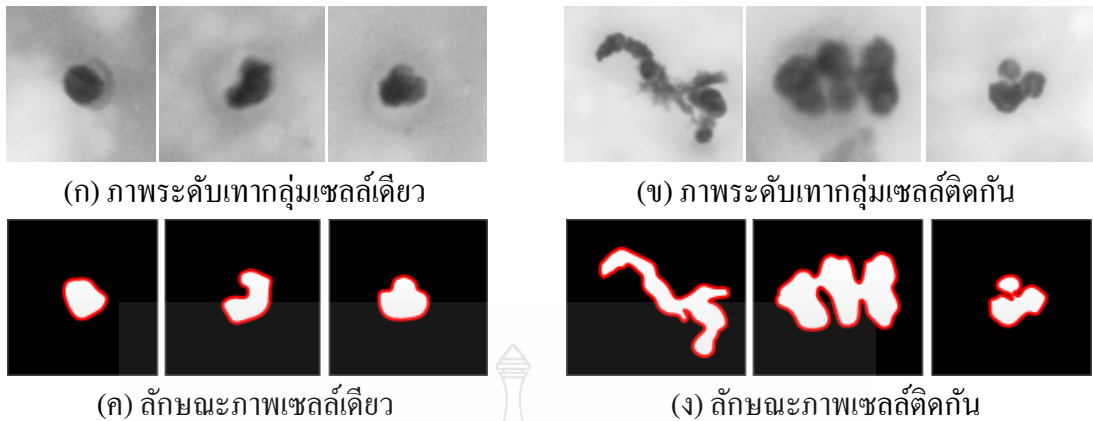


รูปที่ 3.12 ผังงานขั้นตอนวิธีการจำแนกกลุ่มเซลล์โชมatic

### 3.5 การจำแนกกลุ่มเซลล์โชมatic

ภาพผลลัพธ์ที่ผ่านขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพแล้วจะคัดแยกเอาเฉพาะภาพเซลล์ และทำการกำจัดสิ่งรบกวนจะเป็นภาพขาวดำ ซึ่งลักษณะของภาพถ่ายเซลล์โชมatic (แสดงดังรูปที่ 3.2(ก)) ในหัวข้อที่ 3.1 นั้น จะประกอบไปด้วยภาพเซลล์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเซลล์เดี่ยว (Single cells) และกลุ่มเซลล์ติดกัน (Touching cells) ดังนั้น จากการตั้งสมมติฐานภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพเซลล์โชมaticจะมีภาพที่ประกอบด้วยเซลล์ 2 กลุ่มเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.13(ค) และ(ง)

ฉะนั้น ในขั้นตอนการนับจำนวนเซลล์โชมatic สำหรับภาพเซลล์เดี่ยว ดังรูปที่ 3.13(ค) สามารถนับจำนวนได้ในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ แต่เซลล์ที่มีลักษณะติดกัน ดังรูปที่ 3.13(ง) นั้น ถ้าทำการนับจำนวนภาพแล้วจะให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาด ต้องทำการตัดแยกภาพเซลล์ออกจากกันจึงจะทำการนับจำนวนเซลล์ให้ถูกต้องได้ ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงนำกระบวนการจำแนกวัตถุ (Classification) มาใช้เพื่อจำแนกกลุ่มเซลล์ออกเป็น 2 กลุ่ม แล้วทำการดึงภาพเซลล์ติดกันไปทำการตัดแยกและทำการนับจำนวนในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.13 ภาพเซลล์โชมาติก 2 กลุ่ม ที่มีลักษณะรูปร่างแบบต่างๆ

จากการพิจารณาภาพเซลล์โชมาติกในรูปที่ 3.13(ก) และ(ข) ซึ่งได้จากการตั้งสมมติฐานภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง ดังรูปที่ 3.13(ค) และ(ง) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม จะเห็นว่า นอกจากมีคุณลักษณะเด่นของวัตถุ คือ ขนาดพื้นที่ที่แตกต่างกันบางภาพแล้ว สิ่งที่มีความแตกต่างเห็นได้อย่างชัดเจน คือ รูปร่าง (Shape) ของเซลล์ ภาพเซลล์เดี่ยวจะมีลักษณะและส่วนที่คล้ายใกล้เคียงวงกลม ส่วนลักษณะภาพเซลล์ติดกันจะมีพื้นที่พิกเซลที่เชื่อมถึงกันระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์ หรือเกิดพื้นที่ต่อกันระหว่างเซลล์ (Nuclei bridges) ภาพจึงเกิดรูปร่างที่เป็นรอยหยัก มีผลทำให้ความยาวรอบรูปมีขนาดที่ยาวมากขึ้น และมากกว่าขนาดความยาวรอบรูปของภาพเซลล์เดี่ยว ดังนั้น การเลือกคุณลักษณะเด่นของวัตถุเพื่อใช้จำแนกกลุ่มเซลล์นี้ จึงเป็นการจำแนกโดยรูปร่างของเซลล์โชมาติก [24]

ในขั้นตอนการทดลองนี้ จึงได้นำเอาคุณลักษณะเด่นของภาพ (FV) ที่ได้ในขั้นตอนที่ 3.4 มาคำนวณหาค่าความเป็นรูปร่างกลม (Circularity Shape Factor:  $f_{circ}(i)$ ) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 รายละเอียดได้อธิบายแล้วในหัวข้อที่ 2.12 ของบทที่ 2 แล้วนำค่า FV ที่วัดและคำนวณได้มาทำการสร้างเป็นกราฟ 2 มิติ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของค่ารัศมีทั้ง 2 เทอมระหว่างเทอมพื้นที่ ( $4\pi A_s$ ) และเทอมความยาวรอบรูป ( $P^2$ ) เพื่อจะได้พิจารณาเลือกค่าคุณลักษณะเด่นที่สามารถจำแนกกลุ่มเซลล์ออกเป็น 2 กลุ่มได้เหมาะสม ซึ่งจะเป็นค่าจัดแบ่งหรือค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก (Value,  $\bar{f}_{shape}$ ) ของเงื่อนไขในกฎพื้นฐานเพื่อการจำแนก ตามสมการที่ 3.3 ฟังงานขั้นตอนการจำแนกกลุ่มเซลล์โชมาติกแสดงดังรูปที่ 3.12

$$f_{circ.}^k(i) = \frac{4\pi A_s}{P^2} \quad (3.2)$$

$$C_{Class.}(i) = \begin{cases} Single, & \text{if } f_{circ.}^k \geq \bar{f}_{shape} \\ Touching, & \text{if } f_{circ.}^k < \bar{f}_{shape} \end{cases} \quad (3.3)$$

โดยที่

$C_{Class.}(i)$  คือ ชนิดของกลุ่มเซลล์ไซมาติกของภาพที่  $(i)$

$f_{circ.}^k$  คือ ค่าความเป็นรูปวงกลมของวัตถุเซลล์ไซมาติก ลำดับที่  $k$

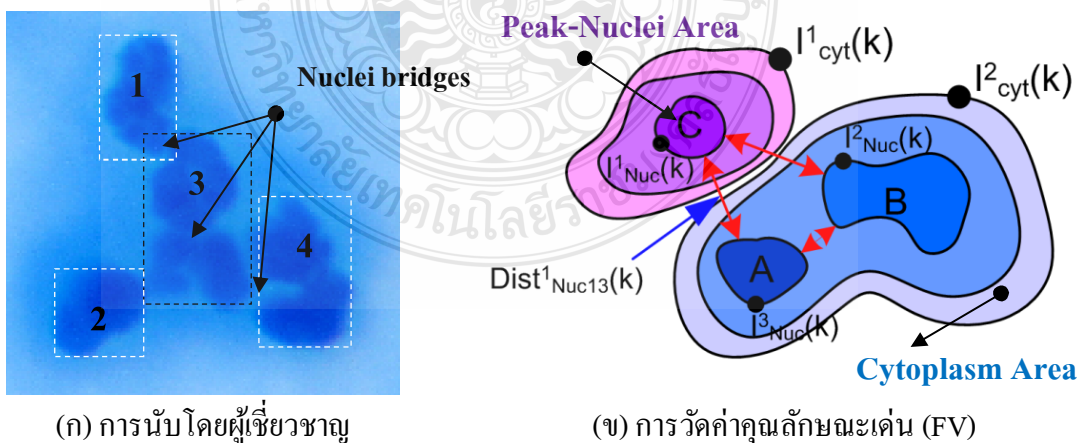
$\bar{f}_{shape}$  คือ ค่าขีดแบ่ง (Value) ที่ตัดสินใจว่าเป็นเซลล์เดี่ยว หรือเซลล์ติดกัน

Single คือ จำแนกเป็นภาพเซลล์เดี่ยว

Touching คือ จำแนกเป็นภาพเซลล์ติดกัน

### 3.6 การตัดแยกเซลล์ไซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน

การตัดแยกภาพเซลล์กลุ่มเซลล์ติดกัน (Touching cells Segmentation) เป็นขั้นตอนที่นำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์ไซมาติกในกลุ่มภาพเซลล์ที่ติดกันเป็นกลุ่มก่อนตามปกติ การวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์โดยการใช้อัลกอริทึมการตรวจจับโดยตรงนั้น ผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาและวิเคราะห์จากลักษณะทางกายภาพของกลุ่มเซลล์นี้ ได้แก่ พื้นที่ของส่วนที่เชื่อมถึงกันระหว่างนิวเคลียส หรือไซโทพลาสซึม (Nuclei bridges) ผลลัพธ์ที่ได้จึงเป็นการพิจารณา หรือการวิเคราะห์ภาพเซลล์ติดกันโดยวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญ แสดงดังรูปที่ 3.14(ก)



รูปที่ 3.14 หลักการและวิธีการพิจารณารวม-แยกเซลล์ไซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน

ดังนั้น เพื่อให้ขั้นตอนวิธีในการตัดแยกภาพกลุ่มเซลล์ติดกันมีความสอดคล้องและใช้หลักการพิจารณารวม-แยกไปในแนวทางเดียวกันกับผู้เชี่ยวชาญ ขั้นตอนการตัดแยกกลุ่มเซลล์ติดกันจึงต้องทำการแยกส่วนประกอบของเซลล์ ได้แก่ นิวเคลียส (Nuclei) ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm) และพื้นหลัง (Background) ออกจากกัน โดยใช้เทคนิคการแบ่งส่วนพื้นที่ (Region-based segmentation) ขั้นตอนวิธีอธิบายแล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.9, 2.10 จากนั้นทำการวัดค่าคุณลักษณะเด่นของภาพ (Feature Vector: FV) ที่ได้แยกส่วนประกอบของเซลล์โชมaticแล้ว ได้แก่ (1) ระดับพิกเซลของพื้นที่ส่วนยอดของนิวเคลียส (Peak-Nuclei:  $I_{Nuc.}$ ) (2) ระดับพิกเซลส่วนพื้นที่สุดท้ายของ Nuclei หรือเรียกว่า ไซโทพลาสซึม ( $I_{Cyt.}$ ) และ (3) ระยะห่างที่สั้นที่สุดระหว่าง Peak-Nuclei ใดๆ ( $Dist$ ) การวัดค่าคุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบของเซลล์โชมatic แสดงดังรูปที่ 3.14(ข)

ค่าคุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบของเซลล์โชมaticที่วัดได้นี้ จะผ่านกระบวนการทางสถิติ เพื่อคำนวณหาค่าเกณฑ์ในการแยก-รวมเซลล์ (Value:  $\bar{I}_{Nuc.}, \bar{I}_{Cyt.}, \bar{Dist}$ ) โดยผลการแยก-รวมเซลล์นั้นได้ถูกวิเคราะห์อย่างถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญแล้ว

การพิจารณารวม-แยกทำได้โดยนำเวกเตอร์คุณลักษณะเด่นของภาพเซลล์ติดกัน ( $I_{Nuc.}, I_{Cyt.}, Dist$ ) มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การพิจารณา ( $\bar{I}_{Nuc.}, \bar{I}_{Cyt.}, \bar{Dist}$ ) โดยใช้กฎพื้นฐานเพื่อการตัดสินใจ ดังสมการที่ 3.4 และ 3.5

$$R_1 : (I_{Nuc.} \leq \bar{I}_{Nuc.}) \wedge (I_{Cyt.} \leq \bar{I}_{Cyt.}) \wedge (Dist \leq \bar{Dist}) \rightarrow Case = yes \quad (3.4)$$

$$Class_{segmt.}(i) = \begin{cases} Merge, & \text{if } Case = yes \\ Split, & \text{if } Case = no, \end{cases} \quad (3.5)$$

โดยที่

- $R_1$  คือ กฎเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะแยกหรือรวมเซลล์โชมatic
- $I_{Nuc.}, I_{Cyt.}$  คือ ระดับพิกเซลของ Peak-Nuclei, Cytoplasm ตามลำดับ
- $Dist$  คือ ระยะห่างที่สั้นที่สุดระหว่าง Peak-Nuclei ใดๆ
- $Class_{segmt.}(i)$  คือ ผลการพิจารณาว่าให้รวมหรือแยกเซลล์ เซลล์ที่ ( $i$ )
- $\bar{I}_{Nuc.}, \bar{I}_{Cyt.}$  คือ ค่าเกณฑ์ระดับพิกเซลของ Peak-Nuclei, Cytoplasm ตามลำดับ
- $\bar{Dist}$  คือ ค่าเกณฑ์ของระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่าง Peak-Nuclei ใดๆ
- $Merge$  คือ พิจารณาให้รวมเป็นเซลล์เดียวกัน
- $Split$  คือ พิจารณาให้แยกเซลล์ออกจากกัน

### 3.7 การนับจำนวนเซลล์โซมาติก

การนับจำนวนเซลล์โซมาติกจะเป็นขั้นตอนการนับภาพเซลล์ทั้ง 2 กลุ่ม กลุ่มภาพเซลล์เดี่ยวสามารถนับได้ในขั้นตอนที่ 3.5 ซึ่งได้ทำการจัดกลุ่มเซลล์โซมาติกแล้ว โดยการนับภาพกลุ่มเซลล์เดี่ยวที่ได้ทำการ Labeling กับภาพขาวดำ การนับจำนวนเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกันนั้นจะทำการนับจำนวนโดยใช้ผลจากการพิจารณารวม-แยกเซลล์  $Class_{segm.}(i)$  จากสมการที่ 3.5

### 3.8 การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม เป็นการวัดความถูกต้องโดยเปรียบเทียบผลการนับระหว่างอัลกอริทึมกับผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ความรู้ของ Confusion Matrix หรือ Matching Matrix ซึ่งใช้วัดประสิทธิภาพของการทำนายหรือผลลัพธ์จากโปรแกรม โดยจะเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งแยกข้อมูลจริงกับข้อมูลที่เกิดจากการทำนาย ด้วยระบบการแบ่งแยก (Classification System) ซึ่งมีด้วยกัน 2 ระดับ ที่มีค่าถูกต้องเป็นจริง ได้แก่ ปฏิเสธ (Negative) และยอมรับ (Positive) ดังรูปที่ 3.15

|  |                      | ค่าทำนาย (Predicted)<br>ระบุโดยอัลกอริทึม (คอมพิวเตอร์) |                      |
|--|----------------------|---|----------------------|
|  |                      | ปฏิเสธ<br>(Negative)                                    | ยอมรับ<br>(Positive) |
| ค่าความจริง (Actual)<br>ระบุโดยคน (ผู้เชี่ยวชาญ) | ปฏิเสธ<br>(Negative) | True Negative   | False Positive       |
|  | ยอมรับ<br>(Positive) | False Negative  | True Positive        |

รูปที่ 3.15 Confusion Matrix แสดงความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ระหว่างคนกับโปรแกรม

จากภาพ Confusion Matrix มีความหมายดังนี้

True Negative (TN) คือ สิ่งที่คุณระบุว่า “ไม่จริง” และ โปรแกรมทำนายว่า “ไม่จริง”

True Positive (TP) คือ สิ่งที่คุณระบุว่า “จริง” และ โปรแกรมทำนายว่า “จริง”

False Negative (FN) คือ สิ่งที่คุณระบุว่า “จริง” แต่ โปรแกรมทำนายว่า “ไม่จริง”

False Positive (FP) คือ สิ่งที่คุณระบุว่า “ไม่จริง” แต่ โปรแกรมทำนายว่า “จริง”

ในการทดลองนี้ จะทำการวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการเพื่อการตัดแยกและนับเซลล์  
 โชมatic 2 ค่า คือ ค่า Recall และ Precision [10] โดยเปรียบเทียบผลการนับจำนวนเซลล์โดยใช้  
 อัลกอริทึมกับจำนวนเซลล์ที่ได้จากการวิเคราะห์และนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ขั้นตอนนี้สามารถทำได้  
 ต่อเมื่อมีผลการนับจำนวนเซลล์โชมaticในภาพนั้นจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ภาพผลลัพธ์ที่นับโดย  
 ผู้เชี่ยวชาญจะระบุด้วยจุดสีเหลือง ส่วนการตัดแยกและนับโดยอัลกอริทึมจะระบุด้วยกรอบสี่เหลี่ยม  
 รายละเอียดการวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึม มีดังต่อไปนี้

**ค่าความระลึก (Recall: Rec.)** หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกถึงจำนวนเซลล์โชมaticที่ถูกนับ  
 โดยผู้เชี่ยวชาญและจะถูกนับโดยคอมพิวเตอร์ ค่า Recall คำนวณได้จากสมการที่ 3.6

**ค่าความแม่นยำ (Precision: Pre.)** หมายถึง ค่าตัวเลขที่บ่งบอกถึงจำนวนเซลล์โชมaticที่ถูก  
 นับโดยอัลกอริทึมและจะถูกนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ค่า Precision คำนวณได้จากสมการที่ 3.7

$$\text{Recall} = \frac{Tp}{Tp + Fn} \quad (3.6)$$

$$\text{Precision} = \frac{Tp}{Tp + Fp} \quad (3.7)$$

โดยที่

- $Tp$  (True Positive) หมายถึง จำนวนเซลล์โชมaticที่อัลกอริทึมสามารถตัดแยกและนับได้ตรงกับ  
 ผู้เชี่ยวชาญที่ระบุว่าเป็นเซลล์โชมatic
- $Fn$  (False Negative) หมายถึง จำนวนเซลล์โชมaticที่อัลกอริทึมไม่สามารถตัดแยกและนับได้  
 แต่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์โชมatic
- $Fp$  False Positive) หมายถึง จำนวนเซลล์โชมaticที่อัลกอริทึมสามารถตัดแยกและนับได้ แต่  
 ผู้เชี่ยวชาญไม่ระบุว่าเป็นเซลล์โชมatic

### 3.9 สรุป

ในบทนี้ ได้นำความรู้ เทคนิค และวิธีการเกี่ยวกับการประมวลผลภาพที่ได้นำเสนอแล้วในบทที่ 2 เพื่อทำการออกแบบอัลกอริทึมให้สามารถตัดแยกเซลล์โซมาติก และนับจำนวนเซลล์โซมาติกให้ถูกต้องได้ ประกอบด้วย (1) ขั้นตอนการเตรียมภาพ (2) การตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก (3) การคัดแยกภาพเซลล์และการกำจัดสิ่งรบกวน (4) การจำแนกกลุ่มเซลล์ (5) การนับจำนวนเซลล์ เสร็จแล้วนำขั้นตอนวิธีหรืออัลกอริทึมที่ออกแบบมาทำการทดลอง แก้ไข และปรับปรุงวิธีการ ซึ่งเป็นการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ต่อจากนั้นจึงทำการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเป็นขั้นตอนที่ (6) เก็บข้อมูล และนำเสนอผลการทดลองในบทที่ 4 ต่อไป





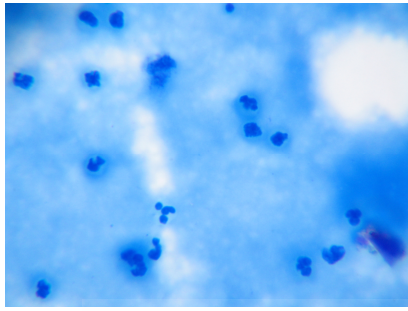
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

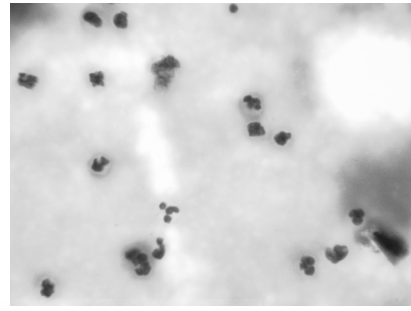
ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองของขั้นตอนวิธีการตัดแยกและนับจำนวนเซลล์โซมาติก ในน้ำนมโค ค้างที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 การทดลองได้ใช้ภาพเซลล์โซมาติกจำนวน 20 ภาพ ซึ่งถ่ายภาพบนสไลด์และเลือกบริเวณที่เหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ (1) การเตรียมภาพเซลล์ (2) การตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง (3) การจำแนกกลุ่มเซลล์ (4) การตัดแยกภาพกลุ่มเซลล์ติดกัน (5) การนับจำนวนเซลล์ และ (6) การวัดประสิทธิภาพของ อัลกอริทึมเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ ในส่วนนี้ได้นำเสนอด้วยภาพตัวอย่างหมายเลข 10 และ 13 เพราะมี ลักษณะภาพสมบูรณ์พร้อมที่จะนำเสนอ ได้แก่ ภาพเซลล์เดี่ยว ภาพเซลล์ติดกัน สิ่งที่ไม่ใช่เซลล์หรือ สิ่งรบกวน และพื้นหลังที่มีระดับพิกเซลที่หลากหลาย ส่วนผลการทดลองกับภาพอื่นๆ สามารถดูได้ในภาคผนวก ค ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ผลการเตรียมภาพเซลล์โซมาติก

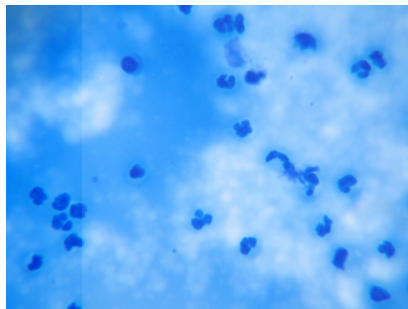
ขั้นตอนการเตรียมภาพ ได้แสดงตัวอย่างจากการเตรียมภาพให้มีความเหมาะสมด้วยการลดขนาดภาพลง และแปลงภาพสี RGB ต้นฉบับเป็นภาพระดับเทา แสดงผลลัพธ์จากภาพตัวอย่าง หมายเลข 10 และ 13 ดังรูปที่ 4.1 ทำการปรับปรุงภาพโดยการลดความถี่ของภาพลงด้วยการดำเนินการเชิงสัณฐานวิทยา (Morphological Erosion) รูปแบบ Disk ขนาดต่างๆ มีขนาด  $R = 5, 10, 20$  และ 30 พิกเซล ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 จากนั้นทำการเน้นพื้นที่ขอบภาพเซลล์ให้เด่นชัดและแตกต่างกันกับพื้นหลังมากขึ้น โดยใช้วิธีการลบภาพต้นฉบับด้วยภาพที่ถูกปรับให้เรียบ ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



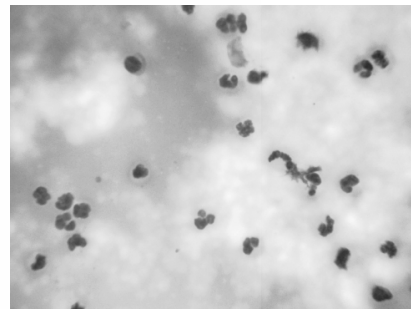
(ก) ภาพสี RGB หมายเลข 10



(ข) ภาพระดับเทา

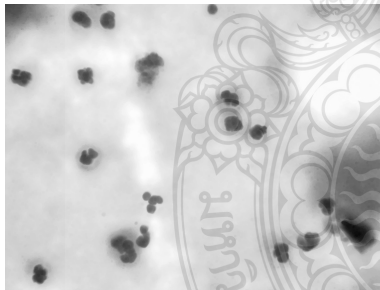


(ค) ภาพสี RGB หมายเลข 13

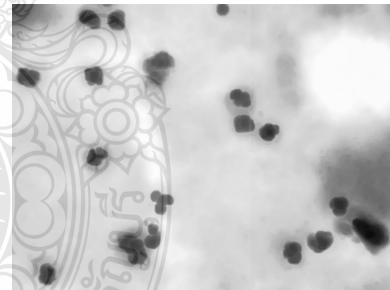


(ง) ภาพระดับเทา

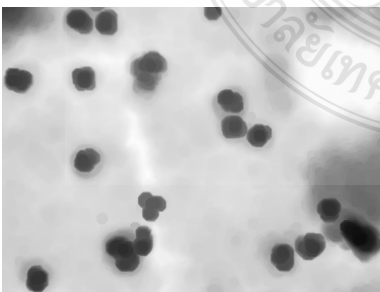
รูปที่ 4.1 ผลการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา



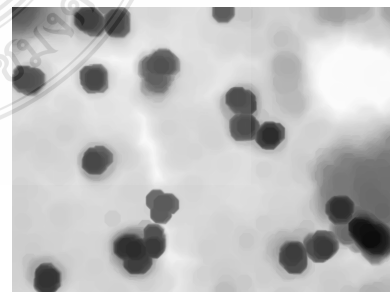
(ก) R = 5 พิกเซล



(ข) R = 10 พิกเซล

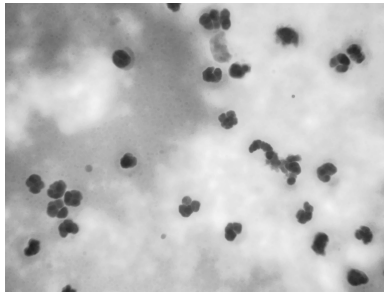


(ค) R = 20 พิกเซล

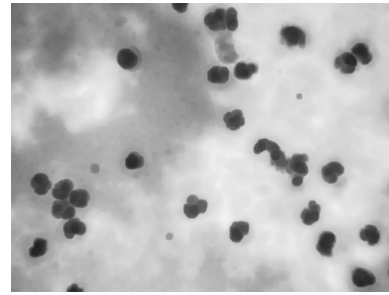


(ง) R = 30 พิกเซล

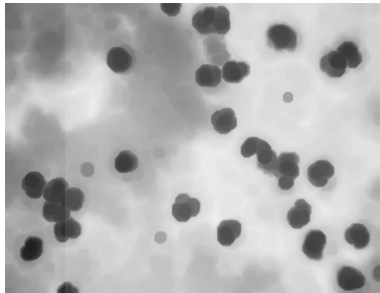
รูปที่ 4.2 ผลจากการปรับภาพให้เรียบด้วย SE ขนาด R ต่างๆ ภาพหมายเลข 10



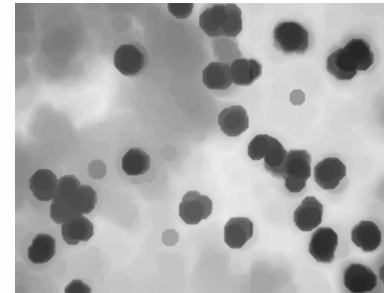
(ก) R = 5 พิกเซล



(ข) R = 10 พิกเซล

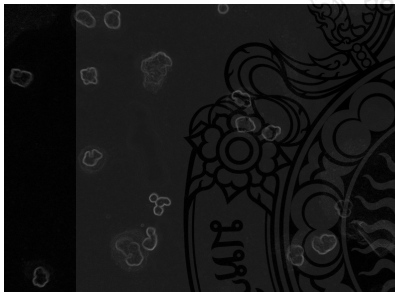


(ค) R = 20 พิกเซล

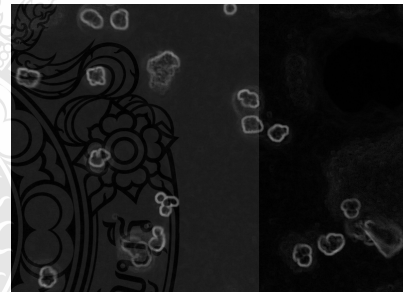


(ง) R = 30 พิกเซล

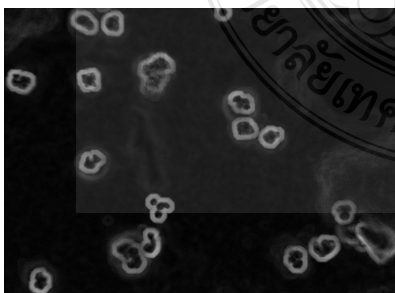
รูปที่ 4.3 ผลจากการปรับภาพให้เรียบด้วย SE ขนาด R ต่างๆ ภาพหมายเลข 13



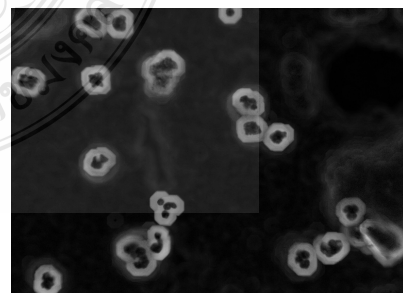
(ก) R = 5 พิกเซล



(ข) R = 10 พิกเซล

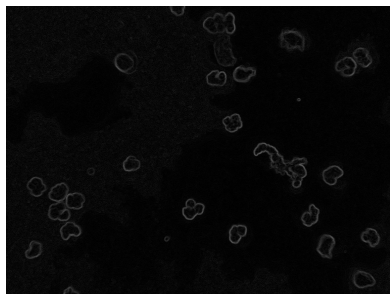


(ค) R = 20 พิกเซล

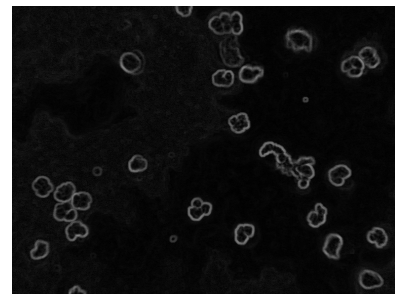


(ง) R = 30 พิกเซล

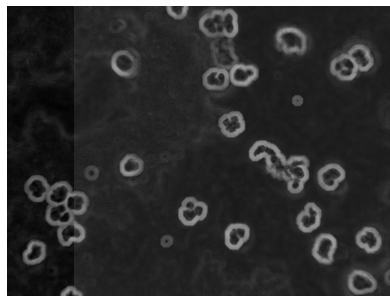
รูปที่ 4.4 ผลจากการ Image Subtraction ด้วย SE ขนาด R ต่างๆ ภาพหมายเลข 10



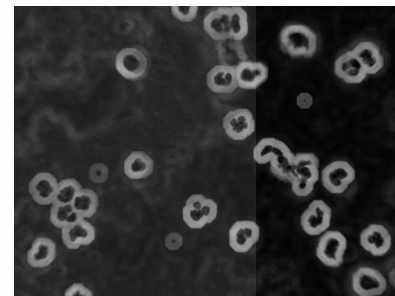
(ก) R = 5 พิกเซล



(ข) R = 10 พิกเซล



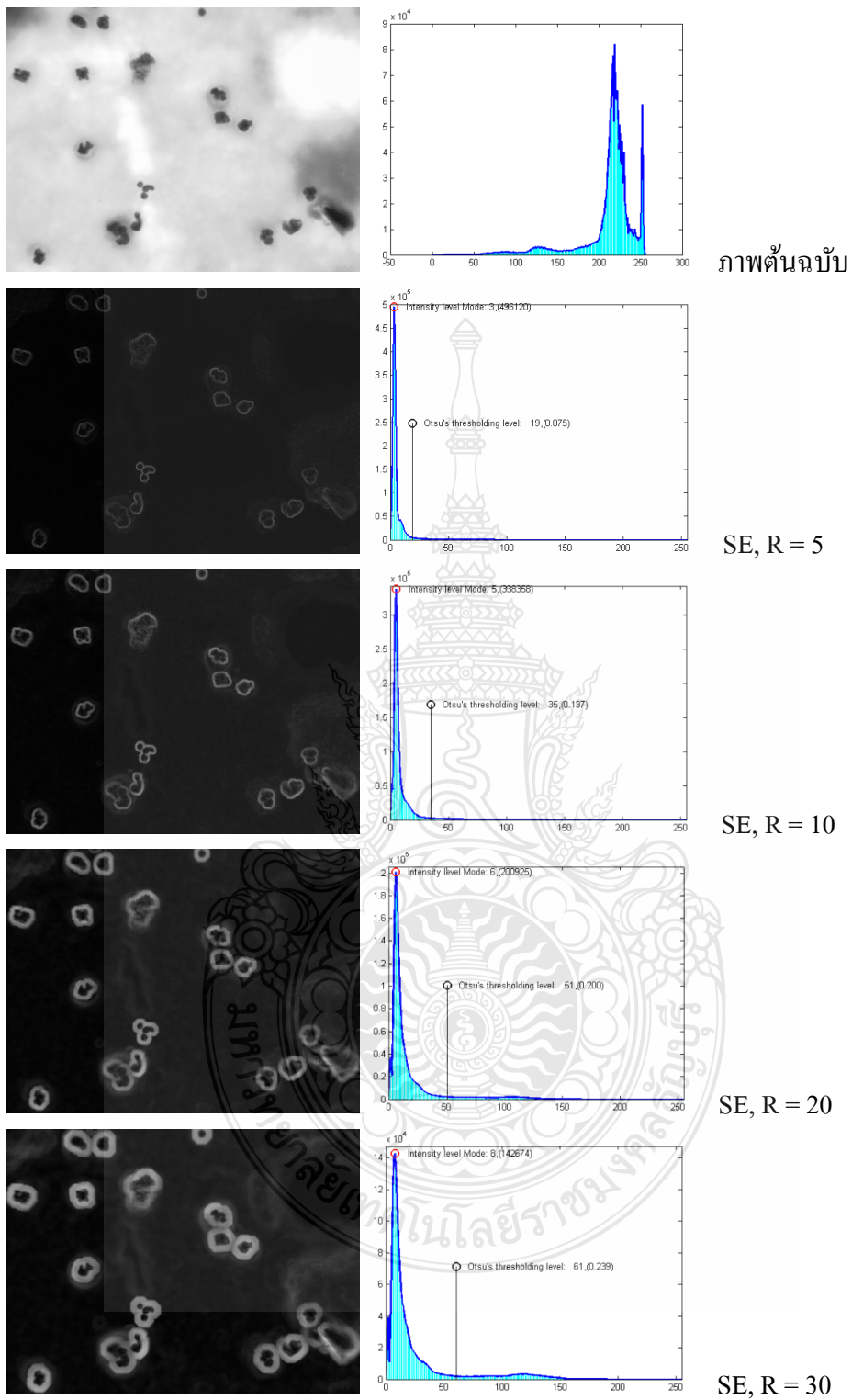
(ค) R = 20 พิกเซล



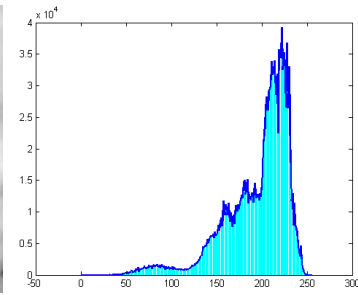
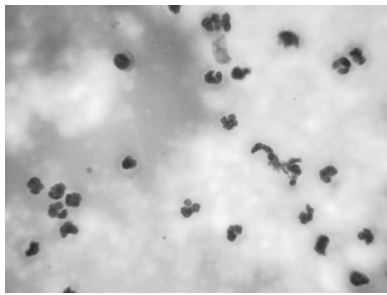
(ง) R = 30 พิกเซล

#### รูปที่ 4.5 ผลจากการ Image Subtraction ด้วย SE ขนาด R ต่างๆ ภาพหมายเลข 13

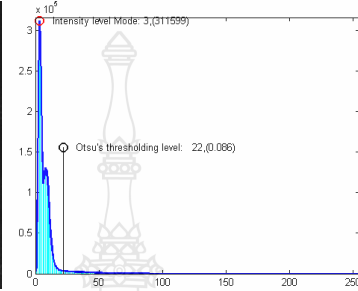
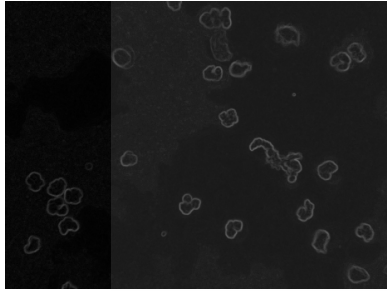
การเตรียมภาพด้วยวิธีการนี้ เป็นการเน้นพื้นที่บริเวณขอบภาพเซลล์ และลดระดับพิกเซลของภาพพื้นหลังลง ด้วยวิธีการลบภาพต้นฉบับด้วยภาพที่ถูกปรับเรียบด้วยหน่วยโครงสร้าง (SE) รูปแบบ Disk จากการทดลองพบว่า ภาพมีความราบเรียบขึ้น ความถี่ภาพลดลง ภาพเซลล์มีการขยายโตออกโดยรอบประมาณตามขนาดของหน่วยโครงสร้าง เมื่อผ่านขั้นตอน Image Subtraction โดยนำภาพที่ปรับให้เรียบมาลบกับภาพระดับเทาต้นฉบับแล้วจะได้ภาพพื้นหลังและภาพเซลล์มีระดับพิกเซลเข้าใกล้ "0" คือ มีสีดำและพิกเซลบริเวณขอบเซลล์ที่ขยายออกไปกับพื้นหลังมีระดับแตกต่างกันมากคือ มีความสว่างขึ้นถ้ามีการเพิ่มขนาดของหน่วยโครงสร้างมากขึ้น จะทำให้พื้นที่บริเวณขอบของเซลล์กับพื้นหลังมีความแตกต่างมากขึ้นตาม เมื่อทำการอธิบายด้วยกราฟฮิสโตแกรม จะเห็นได้ว่า กราฟมีความถี่ที่ลดลงซึ่งจากเดิมรูปร่างคลื่นมีหลายยอด เมื่อเตรียมภาพแล้วจะมีความราบเรียบขึ้น และรูปร่างของกราฟมีการกระจายแบบคู่หรือสองยอด (Bimodal) ชัดเจนยิ่งขึ้นตามขนาดของหน่วยโครงสร้าง แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ต่างๆ จากภาพหมายเลข 10 และ 13 ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองในขั้นตอนการเตรียมภาพ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



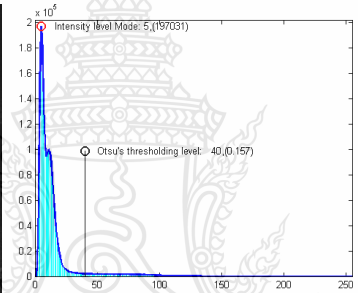
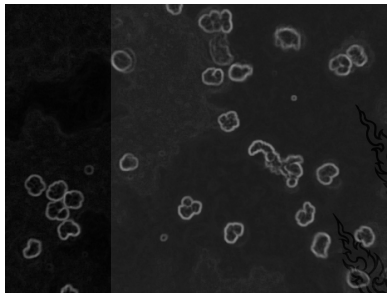
รูปที่ 4.6 ฮิสโตแกรมของภาพหมายเลข 10 ที่ผ่านการปรับปรุงภาพแล้วด้วย SE ขนาดต่างๆ



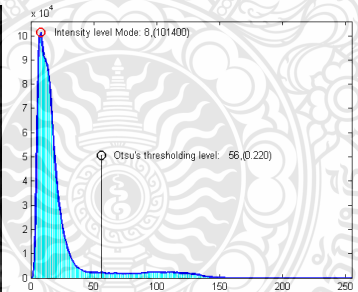
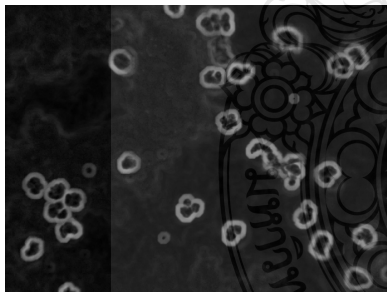
ภาพต้นฉบับ



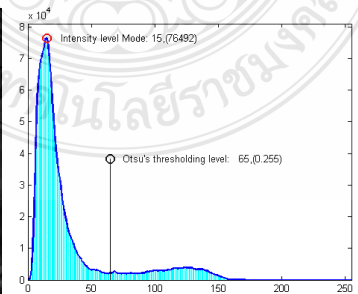
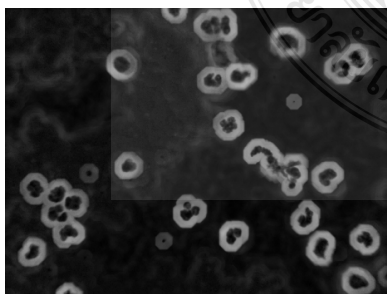
SE, R = 5



SE, R = 10



SE, R = 20



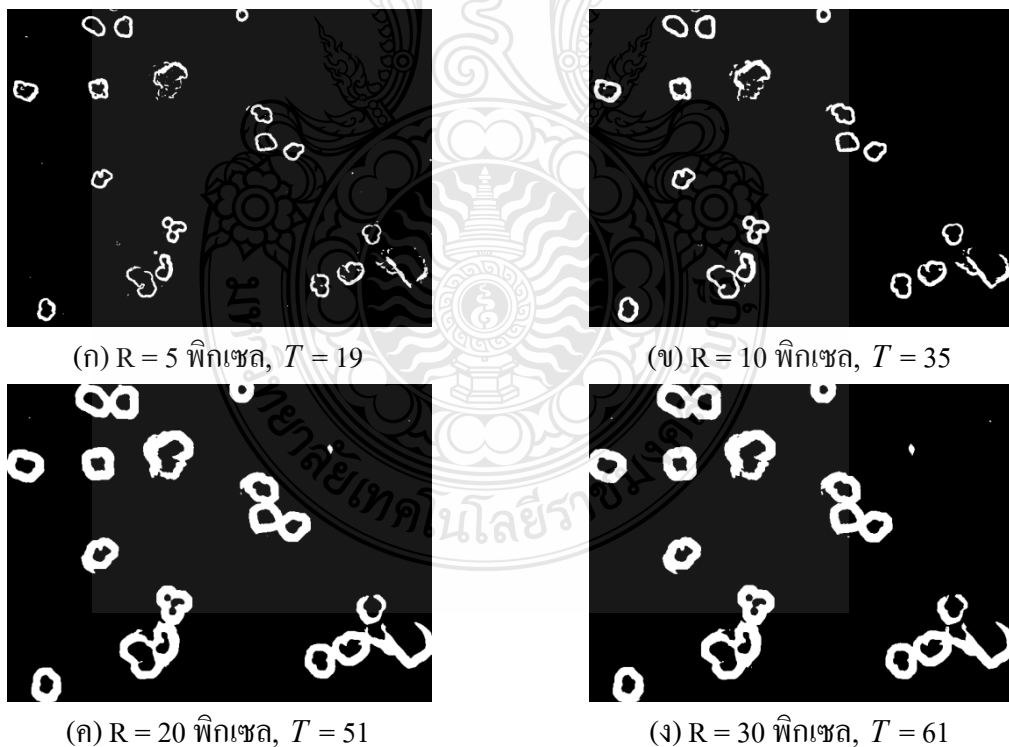
SE, R = 30

รูปที่ 4.7 ฮิสโตแกรมของภาพหมายเลข 13 ที่ผ่านการปรับปรุงภาพแล้วด้วย SE ขนาดต่างๆ

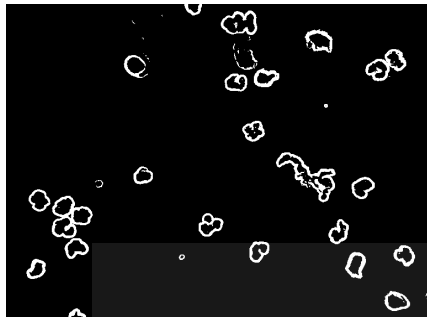
## 4.2 ผลการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก

ขั้นตอนการสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง ได้นำภาพระดับเทาที่ได้ผ่านการเตรียมภาพแล้ว (Image Pre-processing) มาแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง โดยใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติ ด้วยวิธีการของโอตสี ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นภาพขาวดำ หรือภาพสองระดับ คือ “0” เป็นพื้นที่สีดำ และ “1” เป็นพื้นที่สีขาว ขั้นตอนการตัดแยกภาพเซลล์นี้ ได้ทดลองกับภาพตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมภาพด้วยหน่วยโครงสร้าง ที่มีขนาด  $R = 5, 10, 20$  และ  $30$  พิกเซล ตามลำดับ (ภาพจากขั้นตอน 4.1) ได้ผลลัพธ์การตัดแยก แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

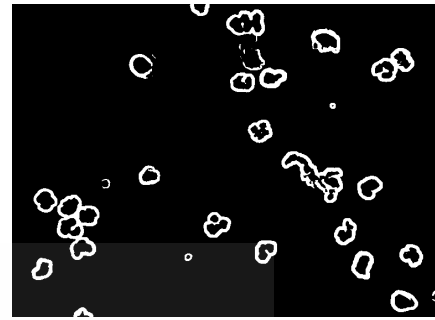
จากการทดลองเมื่อทำการวิเคราะห์ภาพผลลัพธ์ พบว่าภาพที่ผ่านการเตรียมภาพด้วยการปรับภาพให้เรียบโดยใช้หน่วยโครงสร้าง ขนาด  $R = 20, 30$  พิกเซล เมื่อนำภาพมาทำการตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง สามารถแยกภาพเซลล์ให้เห็นได้อย่างชัดเจน ได้ภาพพื้นที่ของเซลล์ที่มีความเหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับขนาดของหน่วยโครงสร้างที่มีขนาดต่ำกว่านั้น ( $R = 5, 10$  พิกเซล) แสดงผลลัพธ์ของภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง หมายเลข 10 และ 13 ดังรูปที่ 4.8(ค) และ 4.9(ค) ตามลำดับ



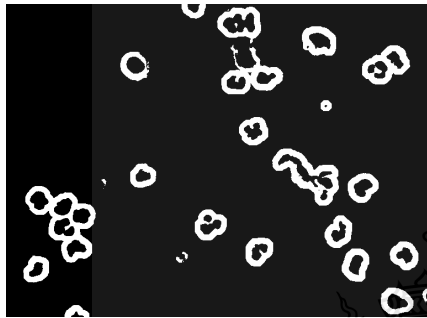
รูปที่ 4.8 ผลการตัดแยกภาพเซลล์จากภาพที่เตรียมด้วย SE ขนาดต่างๆ ของภาพหมายเลข 10



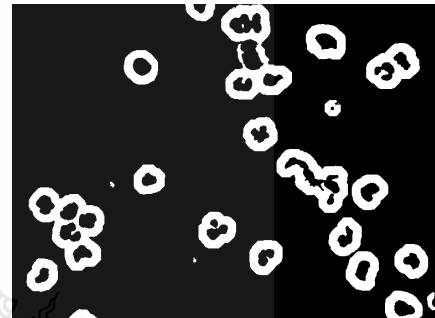
(ก)  $R = 5$  พิกเซล,  $T = 22$



(ข)  $R = 10$  พิกเซล,  $T = 40$



(ค)  $R = 20$  พิกเซล,  $T = 56$



(ง)  $R = 30$  พิกเซล,  $T = 65$

รูปที่ 4.9 ผลการตัดแยกภาพเซลล์จากภาพที่เตรียมด้วย SE ขนาดต่างๆ ของภาพหมายเลข 13

ภาพเซลล์โชมaticที่ตัดแยกได้จากการกำหนดค่าขีดแบ่ง ยังไม่สามารถนำภาพเซลล์ที่ได้ทำการประมวลผลในขั้นตอนการคัดแยก จำแนก และนับจำนวนเซลล์ได้ถูกต้อง ต้องทำการกำจัดกลุ่มพิกเซลที่ไม่ต้องการออกจากภาพ ด้วยขั้นตอนการปรับปรุงภาพขาวดำให้มีความเหมาะสม โดยใช้วิธีการดำเนินการเชิงสัญญาณวิทยา ได้แก่ (1) การกลับภาพขาวดำ (Complement BW) จุดประสงค์เพื่อให้ภาพวัตถุเซลล์เป็นสีขาวหรือกำหนดระดับพิกเซลให้เป็น “1” (2) การกำจัดพื้นหลัง (Background Clearing) โดยการหากลุ่มพิกเซลที่มีขนาดใหญ่ที่สุดแล้วกำหนดพิกเซลให้เป็น “0” และ (3) เติมเต็มพิกเซลของภาพเซลล์ให้สมบูรณ์ขึ้นด้วยการปิด (Closing) ผลลัพธ์การปรับปรุงภาพขาวดำสุดท้ายจากภาพหมายเลข 10 และ 13 แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



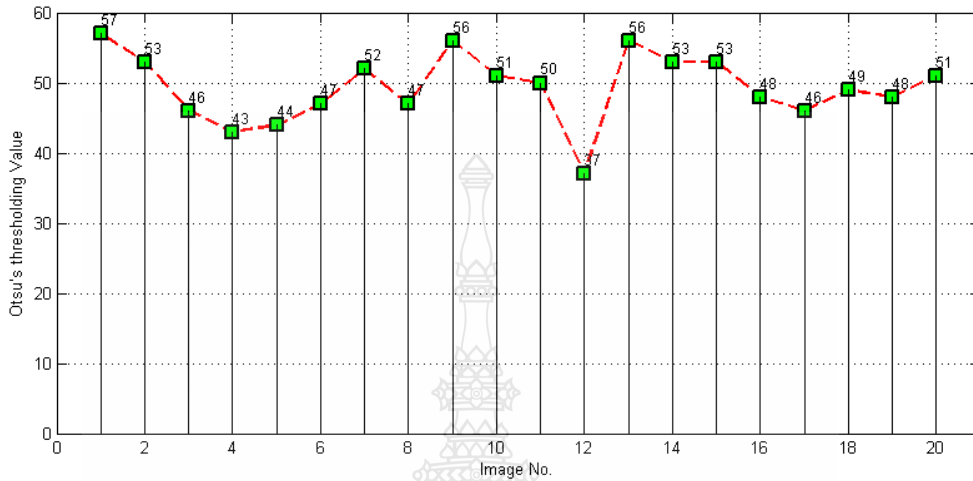


รูปที่ 4.10 ภาพขาวดำที่ได้จากการปรับปรุงให้เหมาะสม ภาพหมายเลข 10



รูปที่ 4.11 ภาพขาวดำที่ได้จากการปรับปรุงภาพให้เหมาะสม ภาพหมายเลข 13

ค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติที่ได้จากวิธีการของโอตส์ สำหรับการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติกออกจากพื้นหลัง จำนวน 20 ภาพ แสดงดังรูปที่ 4.12

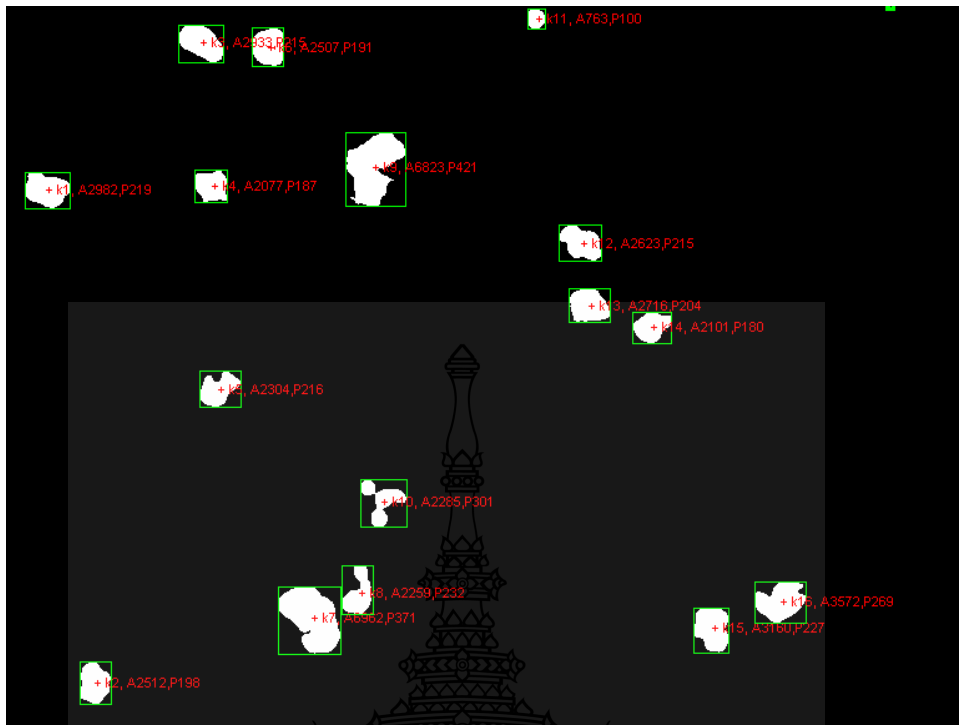


รูปที่ 4.12 ค่าขีดแบ่งที่ได้จากวิธีการของโอตส์สำหรับการตัดแยกเซลล์โซมาติก จำนวน 20 ภาพ

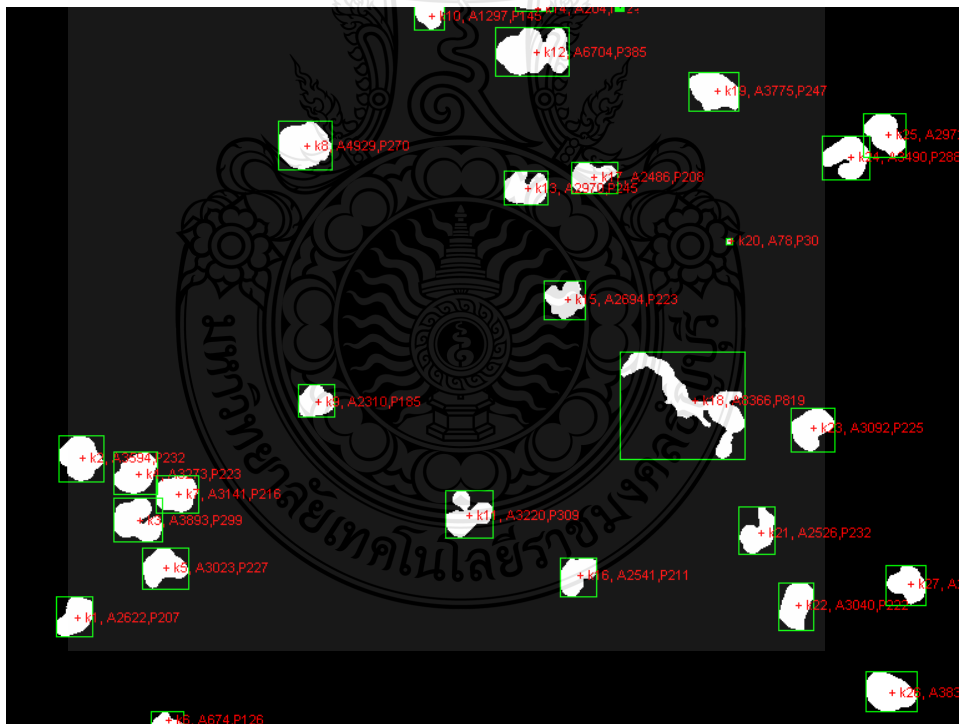
### 4.3 ผลการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติกและการกำจัดสิ่งรบกวน

ในขั้นตอนนี้ นำภาพขาวดำที่ได้จากขั้นตอนการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติกออกจากพื้นหลัง มาทำการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ (Feature Vector:  $\vec{F}_k(i)$ ) ได้แก่ ขนาดพื้นที่ (Area:  $A_s$ ) และความยาวรอบรูปวัตถุ (Perimeter:  $P$ ) แสดงผลที่วัดและคำนวณได้ดังรูปที่ 4.13(ก), (ข) และข้อมูลค่าคุณลักษณะเด่นของแต่ละวัตถุ แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ของภาพหมายเลข 10 และ 13 ตามลำดับ

นำค่า  $\vec{F}_k(i)$  มาสร้างเป็นกราฟ 1 มิติ เพื่อจะได้พิจารณาเลือกคุณลักษณะเด่นใด หรือค่าระดับใด (Value) ที่สามารถแยกวัตถุออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มภาพเซลล์โซมาติก และกลุ่มภาพสิ่งรบกวน ออกจากกันได้ดีและเหมาะสม ซึ่งจะใช้เป็นค่าขีดแบ่ง หรือค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดแยกวัตถุ (Value,  $\vec{f}_{size}$ ) ของเงื่อนไขในกฎพื้นฐานเพื่อการตัดสินใจ ในการทดลองได้ทดสอบวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่นวัตถุกับภาพตัวอย่าง มีจำนวนวัตถุทั้งหมด 191 ภาพ ซึ่งแสดงกราฟการกระจายของ  $\vec{F}_k(i)$  ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ ดังรูปที่ 4.14(ก) และ (ข)



(ก) ค่า  $\bar{F}_k(10)$  ของภาพหมายเลข 10



(ข) ค่า  $\bar{F}_k(13)$  ของภาพหมายเลข 13

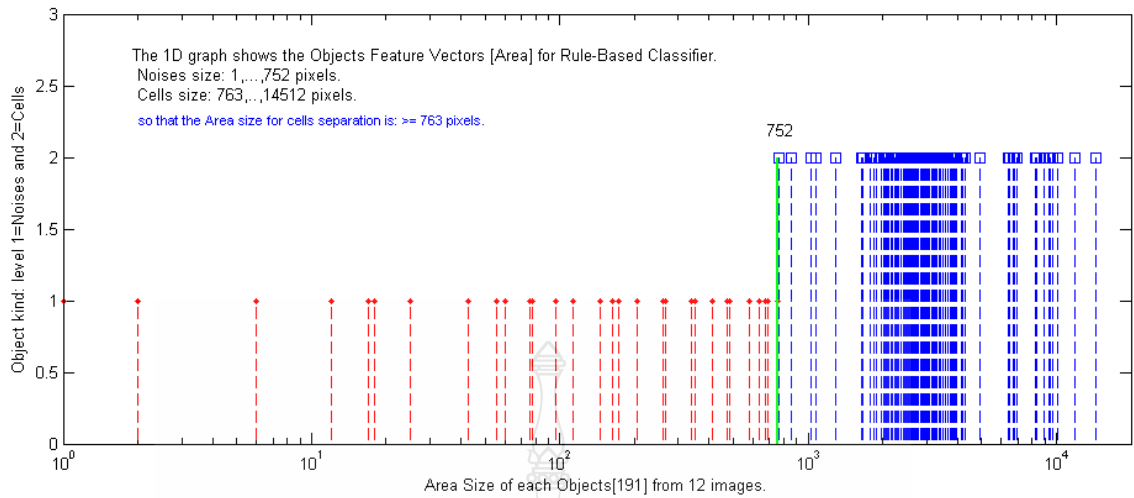
รูปที่ 4.13 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ ( $\bar{F}_k(i)$ )

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น ( $\vec{F}_k(10)$ ) ของวัตถุในภาพหมายเลข 10

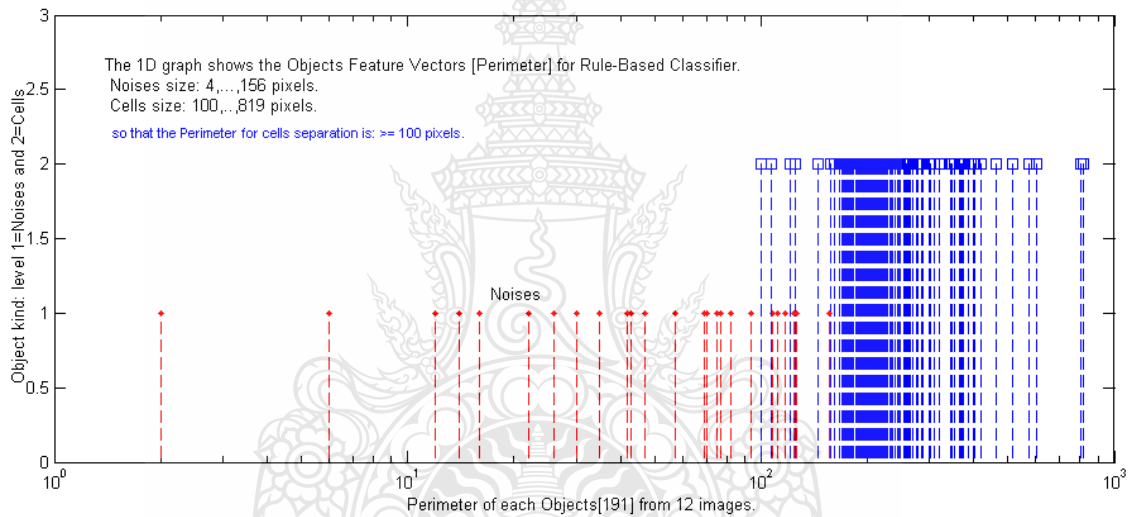
| Object No. | Area: $A_s$ (Pixel) | Perimeter: $P$ (Pixel) | Object Kind  |
|------------|---------------------|------------------------|--------------|
| k1         | 2982                | 219                    | Somatic cell |
| k2         | 2512                | 198                    | Somatic cell |
| k3         | 2933                | 215                    | Somatic cell |
| k4         | 2077                | 187                    | Somatic cell |
| k5         | 2304                | 216                    | Somatic cell |
| k6         | 2507                | 191                    | Somatic cell |
| k7         | 6962                | 371                    | Somatic cell |
| k8         | 2259                | 232                    | Somatic cell |
| k9         | 6823                | 421                    | Somatic cell |
| k10        | 2285                | 301                    | Somatic cell |
| k11        | 763                 | 100                    | Somatic cell |
| k12        | 2623                | 215                    | Somatic cell |
| k13        | 2716                | 204                    | Somatic cell |
| k14        | 2101                | 180                    | Somatic cell |
| k15        | 3160                | 227                    | Somatic cell |
| k16        | 3572                | 269                    | Somatic cell |

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น ( $\bar{F}_k(13)$ ) ของวัตถุในภาพหมายเลข 13

| Object No. | Area: $A_s$ (Pixel) | Perimeter: $P$ (Pixel) | Object Kind  |
|------------|---------------------|------------------------|--------------|
| k1         | 2622                | 207                    | Somatic cell |
| k2         | 3594                | 232                    | Somatic cell |
| k3         | 3893                | 299                    | Somatic cell |
| k4         | 3273                | 223                    | Somatic cell |
| k5         | 3023                | 227                    | Somatic cell |
| k6         | 674                 | 126                    | Noise        |
| k7         | 3141                | 216                    | Somatic cell |
| k8         | 4929                | 270                    | Somatic cell |
| k9         | 2310                | 185                    | Somatic cell |
| k10        | 1297                | 145                    | Somatic cell |
| k11        | 3220                | 309                    | Somatic cell |
| k12        | 6704                | 385                    | Somatic cell |
| k13        | 2970                | 245                    | Somatic cell |
| k14        | 204                 | 124                    | Noise        |
| k15        | 2694                | 223                    | Somatic cell |
| k16        | 2541                | 211                    | Somatic cell |
| k17        | 2486                | 208                    | Somatic cell |
| k18        | 8366                | 819                    | Somatic cell |
| k19        | 3775                | 247                    | Somatic cell |
| k20        | 78                  | 30                     | Noise        |
| k21        | 2526                | 232                    | Somatic cell |
| k22        | 3040                | 222                    | Somatic cell |
| k23        | 3092                | 225                    | Somatic cell |
| k24        | 3490                | 288                    | Somatic cell |
| k25        | 2972                | 220                    | Somatic cell |
| k26        | 3830                | 240                    | Somatic cell |
| k27        | 2560                | 205                    | Somatic cell |



(ก) กราฟแสดงการกระจายของค่าคุณลักษณะเด่น Area:  $A_s$



(ข) กราฟแสดงการกระจายของค่าคุณลักษณะเด่น Perimeter:  $P$

**รูปที่ 4.14** การกระจายตัว  $\vec{F}_k(i)$  ค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ จำนวน 191 ภาพ วัตถุที่เป็นเซลล์ ระบุด้วยเส้นสีน้ำเงิน และวัตถุที่เป็นสิ่งรบกวนระบุด้วยเส้นสีแดง

จากรูปที่ 4.14(ก) และ (ข) เมื่อพิจารณากราฟการกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุ 2 กลุ่ม จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของค่า  $FV: A_s$  จะแยกกลุ่มวัตถุที่เป็นเซลล์ และกลุ่มวัตถุที่เป็นสิ่งรบกวนออกอย่างชัดเจน ซึ่งขนาดของ Noises มีขนาดตั้งแต่ 1 - 752 พิกเซล และขนาดของภาพเซลล์มีขนาดตั้งแต่ 763 - 14521 พิกเซล ส่วนการกระจายตัวของค่า  $FV: P$  ขนาดของความยาวรอบรูปมีการซ้อนทับกันทั้ง 2 กลุ่มภาพ คือ Noises มีขนาดตั้งแต่ 4 - 156 พิกเซล และขนาดของเซลล์มีขนาดตั้งแต่ 100 - 819 พิกเซล ดังนั้น การคัดแยกเซลล์จึงเลือกใช้ค่าคุณลักษณะเด่นขนาดของพื้นที่ ( $A_s$ )

เพราะสามารถจำแนกกลุ่มวัตถุออกจากกันได้อย่างชัดเจน โดยใช้ค่าขีดแบ่งหรือค่าเกณฑ์ในการตัดแยกภาพเซลล์ (Value:  $\bar{f}_{size}$ ) เท่ากับ 763 พิกเซล และทำการตัดแยกภาพเซลล์และลบภาพสิ่งรบกวนออกจากภาพ ด้วยสมการที่ 3.1 ผลลัพธ์การตัดแยกเซลล์แสดงดังรูปที่ 4.15(ก) และ (ข)



(ก) ภาพขาวดำหมายเลข 10



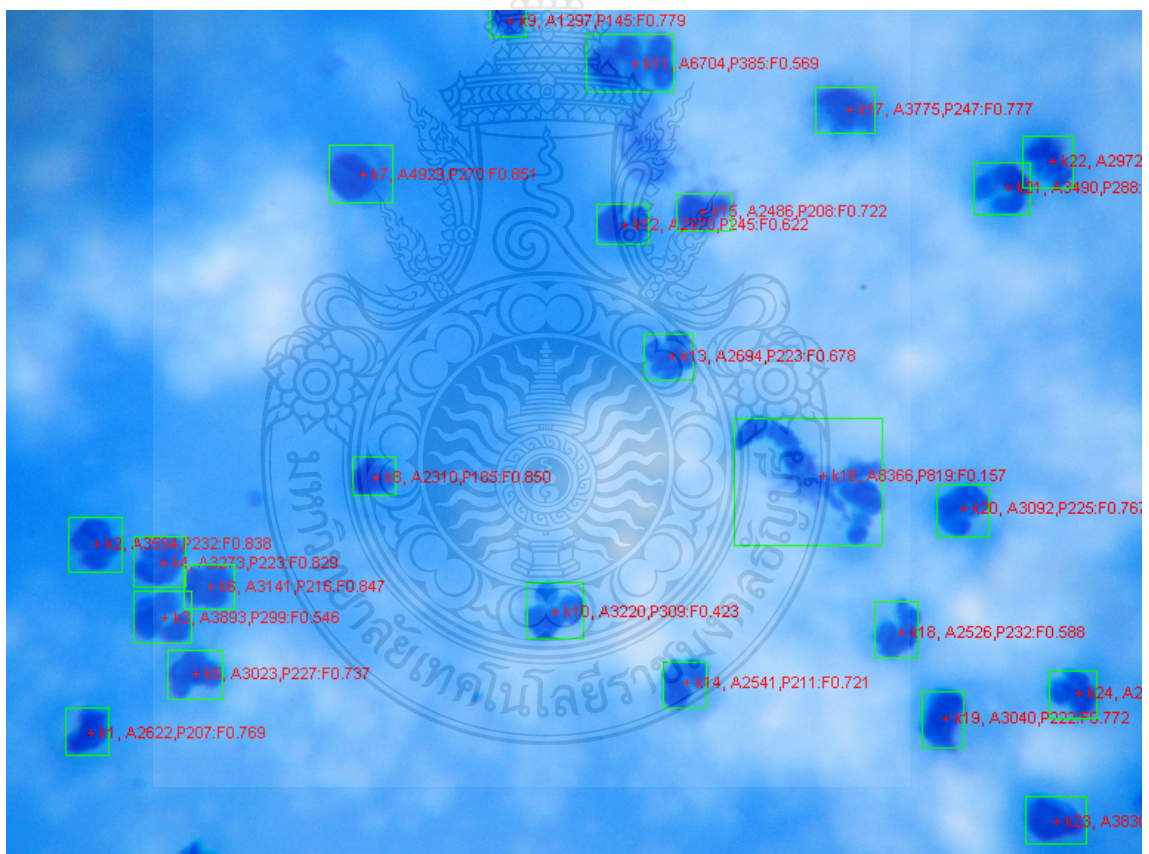
(ข) ภาพขาวดำหมายเลข 13

รูปที่ 4.15 ผลการตัดแยกเซลล์ไซมาติกและกำจัดสิ่งรบกวนออกด้วยค่าเกณฑ์  $\bar{f}_{size}$

#### 4.4 ผลการจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติก

ภาพเซลล์โซมาติกที่ได้ทำการคัดแยกภาพเซลล์และลบสัญญาณรบกวนแล้ว จะถูกนำมาคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของภาพเซลล์แต่ละภาพ เพื่อดึงภาพเซลล์ติดกันไปคัดแยกเซลล์เพื่อทำการนับในขั้นต่อไป

นำค่าคุณลักษณะเด่นของวัตถุที่เป็นเซลล์โซมาติก ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 4.3 มาคำนวณค่าความเป็นรูปวงกลม (Circularity Shape Factor:  $f_{circ}(i)$ ) แสดงผลการคำนวณได้ดังรูปที่ 4.16 และค่าที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.3 ของภาพหมายเลข 13 เมื่อนำค่า  $\vec{F}_k(i)$  มาสร้างเป็นกราฟ 2 มิติ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของเวกเตอร์คุณลักษณะเด่น 2 ทอม (FV:  $A_s, P$ ) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.17 (ก) และเพื่อเลือกค่าคุณลักษณะเด่นที่สามารถจำแนกเซลล์ออกเป็น 2 กลุ่มให้มีความเหมาะสม จึงทำการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่นของวัตถุจำนวน 161 ภาพ แสดงดังรูปที่ 4.17(ข)

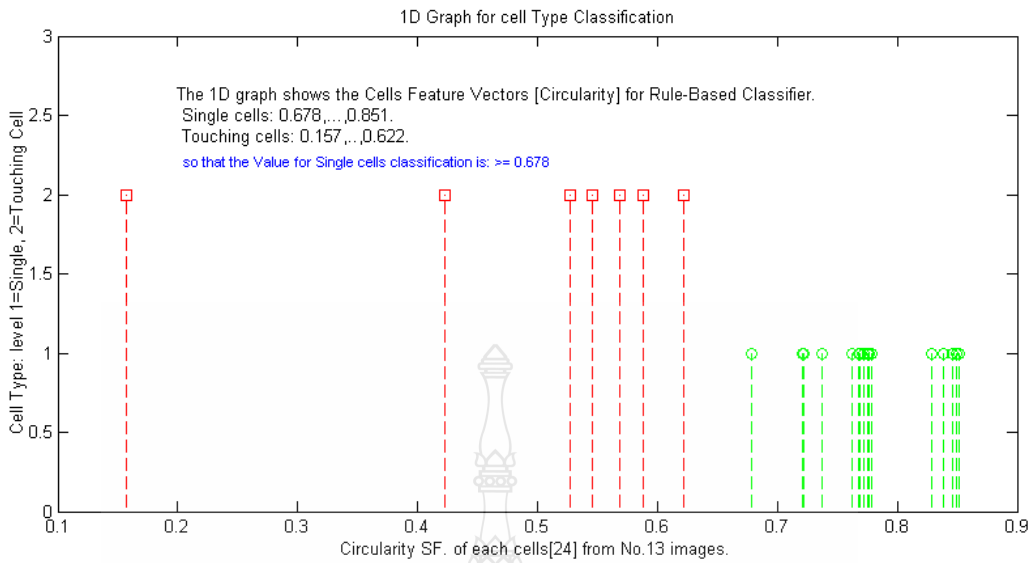


รูปที่ 4.16 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของเซลล์ ( $\vec{F}_k(i)$ )

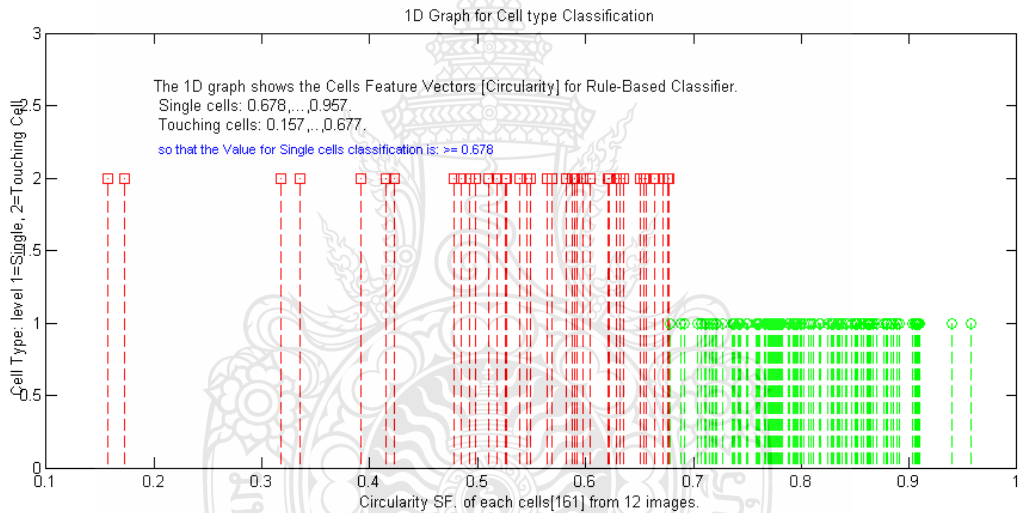


ตารางที่ 4.3 ผลการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น ( $\bar{F}_k(13)$ ) ของภาพเซลล์โซมาติก หมายเลข 13

| Object No. | Area: $A_s$ (Pixel) | Perimeter: $P$ (Pixel) | $f_{circ}(13)$ | Cell Type     |
|------------|---------------------|------------------------|----------------|---------------|
| k1         | 2622                | 207                    | 0.768          | Single cell   |
| k2         | 3594                | 232                    | 0.838          | Single cell   |
| k3         | 3893                | 299                    | 0.545          | Touching cell |
| k4         | 3273                | 223                    | 0.828          | Single cell   |
| k5         | 3023                | 227                    | 0.736          | Single cell   |
| k7         | 3141                | 216                    | 0.8463         | Single cell   |
| k8         | 4929                | 270                    | 0.851          | Single cell   |
| k9         | 2310                | 185                    | 0.849          | Single cell   |
| k10        | 1297                | 145                    | 0.778          | Single cell   |
| k11        | 3220                | 309                    | 0.423          | Touching cell |
| k12        | 6704                | 385                    | 0.568          | Touching cell |
| k13        | 2970                | 245                    | 0.622          | Touching cell |
| k15        | 2694                | 223                    | 0.678          | Single cell   |
| k16        | 2541                | 211                    | 0.720          | Single cell   |
| k17        | 2486                | 208                    | 0.721          | Single cell   |
| k18        | 8366                | 819                    | 0.156          | Touching cell |
| k19        | 3775                | 247                    | 0.776          | Single cell   |
| k21        | 2526                | 232                    | 0.588          | Touching cell |
| k22        | 3040                | 222                    | 0.772          | Single cell   |
| k23        | 3092                | 225                    | 0.767          | Single cell   |
| k24        | 3490                | 288                    | 0.526          | Touching cell |
| k25        | 2972                | 220                    | 0.775          | Single cell   |
| k26        | 3830                | 240                    | 0.838          | Single cell   |
| k27        | 2560                | 205                    | 0.761          | Single cell   |



(ก) การกระจายตัวค่าคุณลักษณะเด่น  $f_{circ}$  (13) ของภาพหมายเลข 13

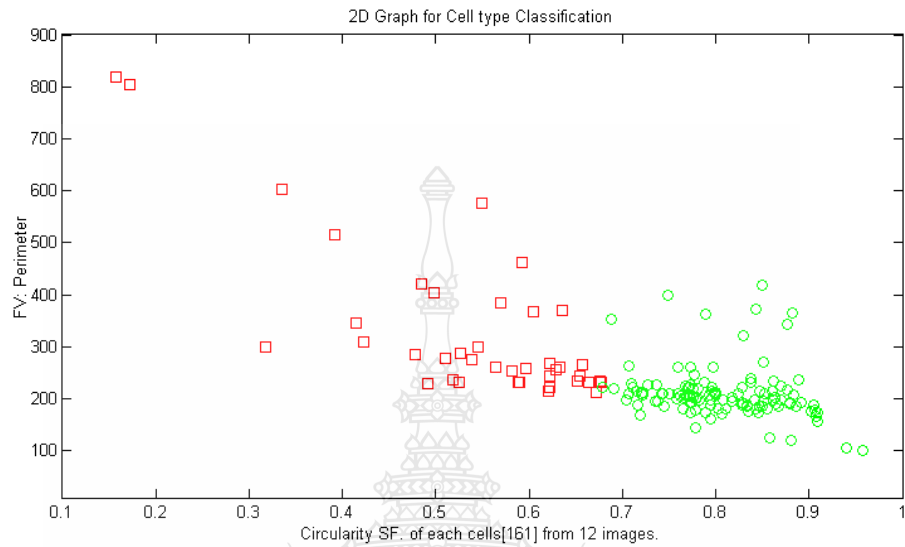


(ข) การกระจายตัวค่าคุณลักษณะเด่น  $f_{circ}$  (i) ภาพเซลล์จำนวน 161 ภาพ

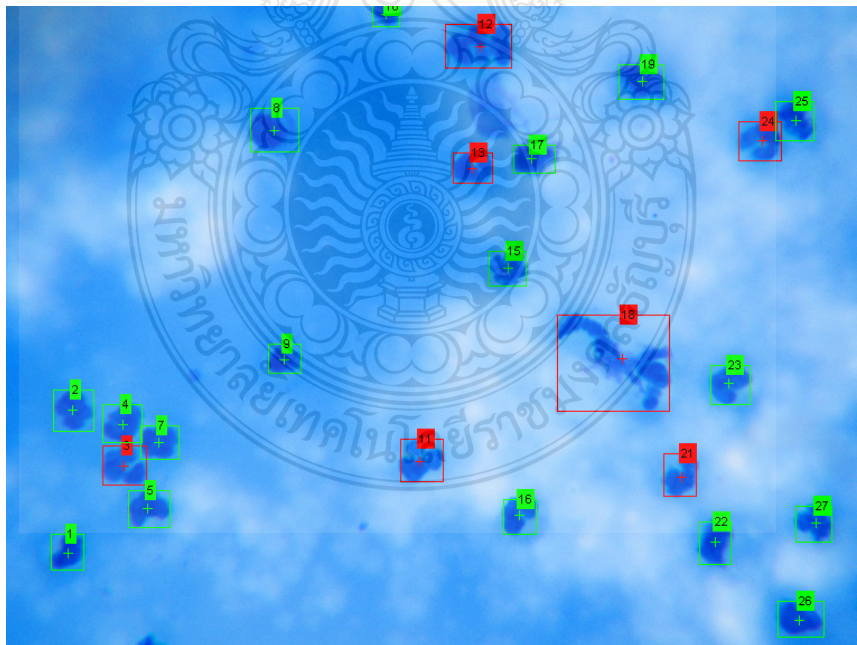
**รูปที่ 4.17** การกระจายตัวค่าปัจจัยรูปร่างความกลมของเซลล์ไซมาติก

จากกราฟการกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น ในรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะเห็นว่า กลุ่มเซลล์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเซลล์เดี่ยวระบุด้วยรูปวงกลมสี่เหลี่ยม และกลุ่มเซลล์ติดกันระบุด้วยสี่เหลี่ยมสีแดง มีค่าคุณลักษณะเด่นที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน ไม่มีข้อมูลที่ซ้อนทับกัน ค่าคุณลักษณะเด่นที่วัดและคำนวณได้  $f_{circ}$  ของภาพเซลล์เดี่ยวมีค่าตั้งแต่ 0.678 - 0.957 ส่วนคุณลักษณะเด่นของเซลล์ติดกันมีค่าตั้งแต่ 0.157 - 0.677 ดังนั้น การจัดกลุ่มเซลล์เพื่อดึงภาพกลุ่มเซลล์ติดกัน จึงสามารถจำแนกได้ด้วยค่าความเป็นรูปวงกลม  $f_{circ}$  ตามที่ได้ตั้งข้อสมมติฐานในการจำแนกกลุ่มเซลล์โดยใช้รูปร่างของวัตถุเป็น

เกณฑ์การจำแนก ซึ่งใช้ค่าเกณฑ์ในการจำแนกกลุ่มเซลล์ (Value:  $\bar{f}_{shape}$ ) เท่ากับ 0.678 (โดยใช้สมการที่ 3.3) ผลลัพธ์การจำแนกเซลล์แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 การกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น  $FV(f_{circ}, P)$

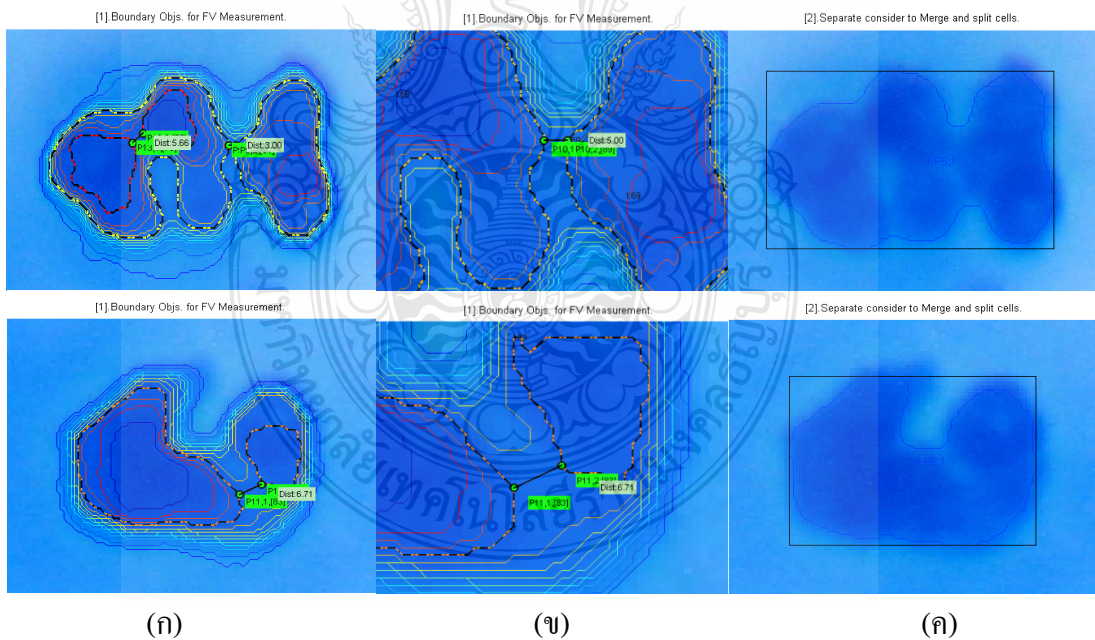


รูปที่ 4.19 ผลการจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติกของภาพหมายเลข 13 ภาพเซลล์เดี่ยวระบุด้วย Bounding Box สีเขียว และภาพเซลล์ติดกันระบุด้วย Bounding Box สีแดง

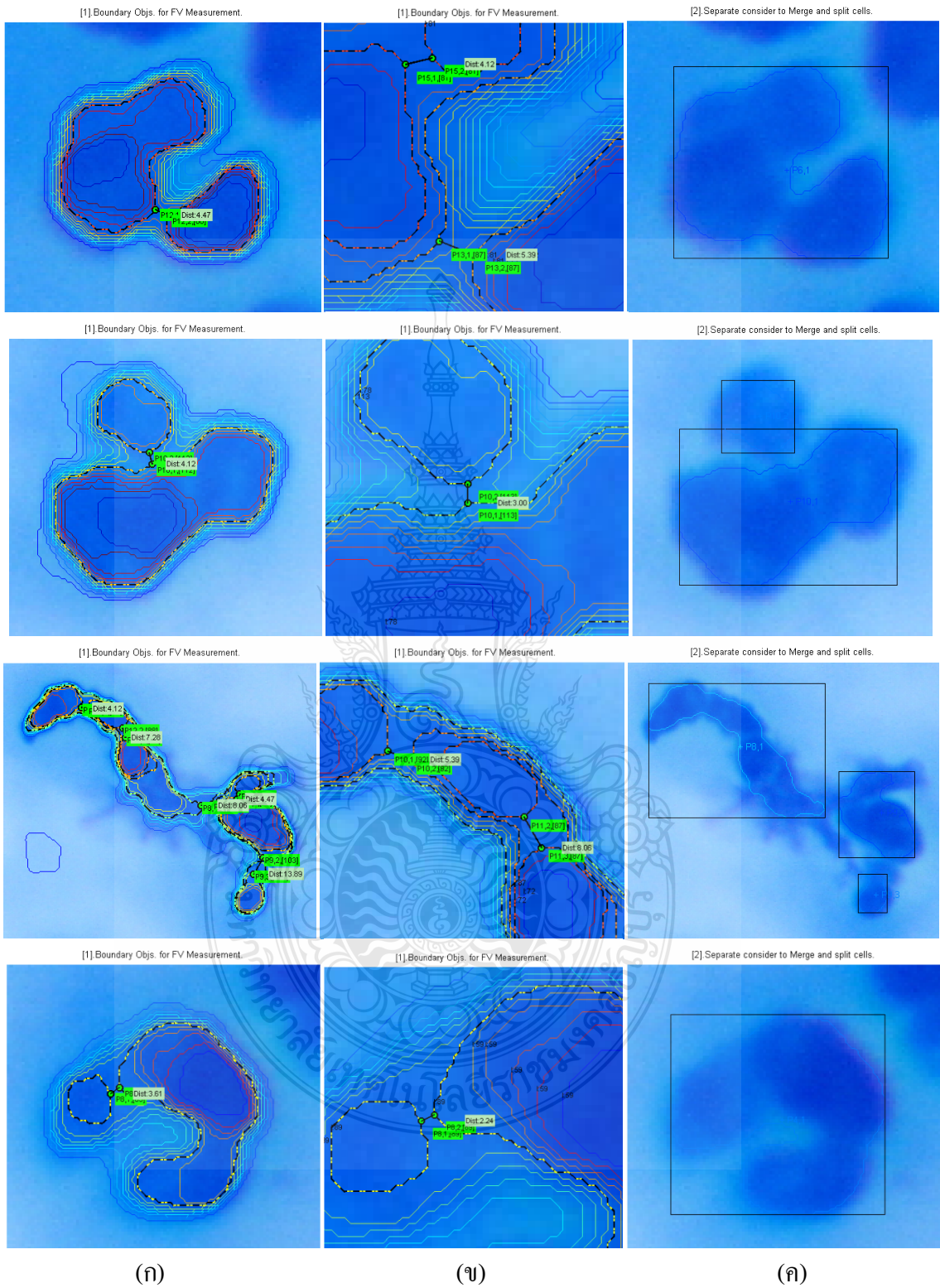
#### 4.5 ผลการตัดแยกเซลล์โซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน

ภาพเซลล์โซมาติกที่เป็นกลุ่มภาพเซลล์ติดกัน จะถูกดึงพื้นที่ภาพออกมามีขนาดเท่ากับ Bounding Box แล้วทำการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการโทของบริเวณเพื่อสกัดส่วนประกอบของเซลล์โซมาติก ซึ่งแต่ละส่วนประกอบจะนำมาคำนวณค่าคุณลักษณะเด่น ได้แก่ ระดับพิกเซลพื้นที่ส่วนยอดของนิวเคลียส (Peak-Nuclei:  $I_{Nuc.}$ ) ระดับพิกเซลพื้นที่สุดท้ายของ Nuclei ( $I_{Cyt.}$ ) และระยะห่างที่สั้นที่สุดระหว่าง Peak-Nuclei ใดๆ ( $Dist$ )

ผลการแยกส่วนประกอบของเซลล์โซมาติก และค่าการคำนวณคุณลักษณะเด่น (ภาพหมายเลข 13) แสดงดังรูปที่ 4.20(ก) คุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบเซลล์ที่คำนวณได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าจัดแบ่ง หรือเกณฑ์ในการพิจารณา (Value:  $\bar{I}_{Nuc.}$ ,  $\bar{I}_{Cyt.}$ ,  $\bar{Dist}$ ) เพื่อการตัดสินใจให้รวม-แยกเซลล์ โดยใช้สมการที่ 3.4 และ 3.5 ค่าเกณฑ์นี้ (Value) ได้จากกระบวนการทางสถิติข้อมูลคุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบเซลล์ จำนวน 70 ระเบียบ (ผลลัพธ์ให้รวม-แยกได้พิจารณาแล้วจากผู้เชี่ยวชาญ) ผลของการวัด การคำนวณค่า  $I_{Nuc.}$ ,  $I_{Cyt.}$  และ  $Dist$  และผลการคำนวณทางสถิติ แสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1, ง.2 และ ง.3 ตัวอย่างผลการวัดและคำนวณ แสดงดังรูปที่ 4.20(ก), (ข)



รูปที่ 4.20 ผลการตัดแยกเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน (ก) และ (ข) ผลการสกัดส่วนประกอบของเซลล์ และคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นแต่ละส่วนประกอบ (ค) ผลการรวม-แยกเซลล์โซมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน โดยใช้กฎพื้นฐานเพื่อการจำแนก



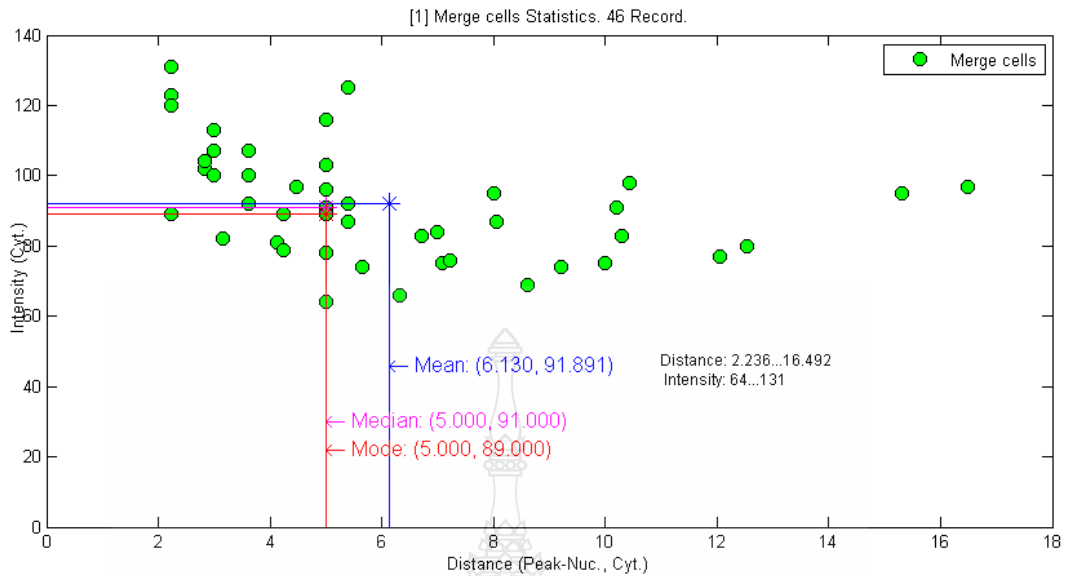
(ก)

(ข)

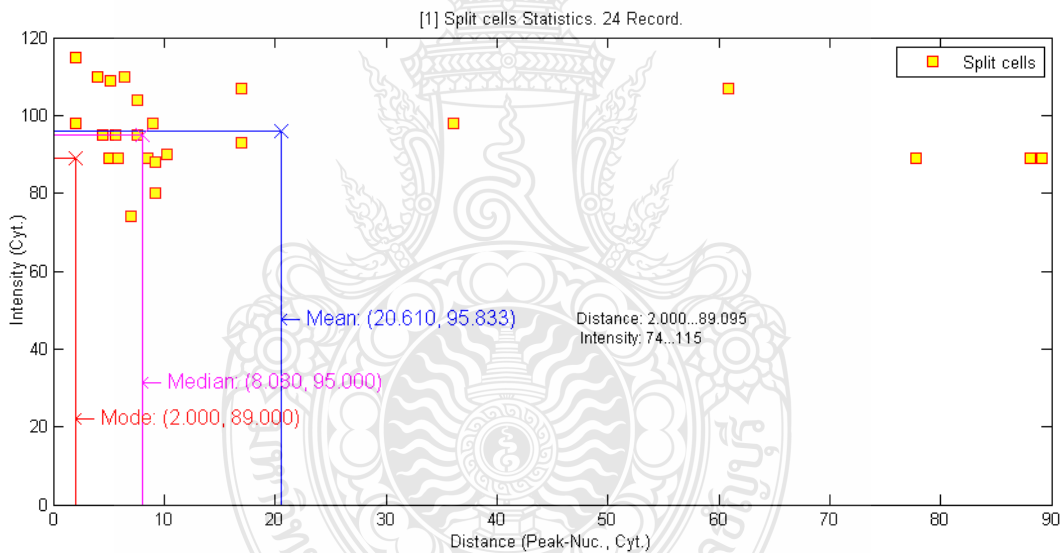
(ค)

รูปที่ 4.20

(ต่อ)

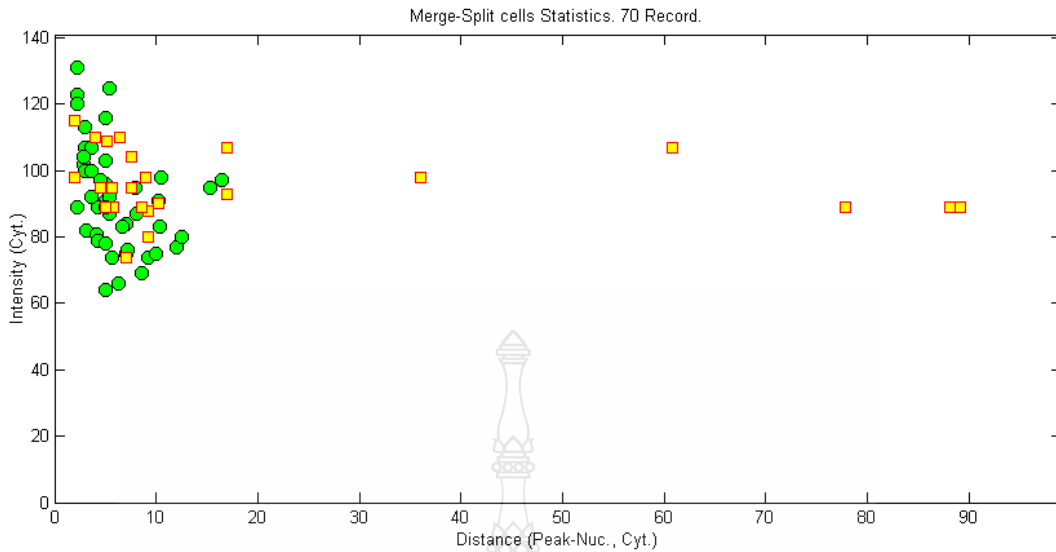


(ก) ค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้รวมเซลล์



(ข) ค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้แยกเซลล์

รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น (ส่วนประกอบเซลล์โชมatic) คือ ระดับฟิกเซล  $I_{Cyt}$ , ระยะทาง  $Dist$  จำนวน 70 ระเบียบ และผลการคำนวณค่าตัวแทนของข้อมูลด้วยกระบวนการทางสถิติ (Mean:  $\bar{x}$ , Median:  $Mdn$ , Mode:  $Mo$ ) (ก) ค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้รวมกัน ระบุด้วยวงกลมสีเขียว (ข) ค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้แยกจากกัน ระบุด้วยรูปสี่เหลี่ยมสีเหลือง



รูปที่ 4.22 กราฟการกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่น  $I_{Cyt.}$  และ  $Dist$  มี 2 กลุ่ม คือ คุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้รวมเซลล์ ระบุด้วยวงกลมสีเขียว และคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้แยกเซลล์ ระบุด้วยรูปสี่เหลี่ยมสีเหลือง

จากกราฟการกระจายตัวของค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้รวมเซลล์ (Merge) ในรูปที่ 4.21(ก) จะเห็นว่า ข้อมูลเกาะกลุ่มกันหรือมีการกระจายตัวน้อย พิจารณาจากค่าตัวแทนของข้อมูลที่ได้จากกระบวนการทางสถิติ (Value:  $I_{Nuc.}$ ,  $I_{Cyt.}$ ,  $Dist$ ) มีค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม (Mean:  $\bar{x}$ , Median:  $Mdn$ , Mode:  $Mo$ ) ดังนี้  $I_{Nuc.} = (77.326, 76, 72)$   $I_{Cyt.} = (91.891, 91, 89)$  และ  $Dist = (6.130, 5, 5)$  จะเห็นว่า ค่ากลางหรือค่าตัวแทนของข้อมูลแต่ละค่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงได้กำหนดค่าตัวแทนข้อมูลของคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาเซลล์ให้รวมกัน  $I_{Nuc.} = 76$ ,  $I_{Cyt.} = 91$  และ  $Dist = 5$  ส่วนการคำนวณค่ากลางของคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้แยกกัน (Split) จะได้ค่า  $I_{Nuc.} = (75.375, 74.5, 63)$   $I_{Cyt.} = (95.833, 95, 89)$  และ  $Dist = (20.610, 8.080, 2)$  ค่ากลางหรือค่าตัวแทนของข้อมูลกลุ่มนี้ มีค่า  $I_{Nuc.} = 75$ ,  $I_{Cyt.} = 95$  และ  $Dist = 8$  แสดงตำแหน่งค่ากลางดังรูปที่ 4.21(ข)

เมื่อนำค่าคุณลักษณะเด่นทั้ง 2 กลุ่มมาสร้างกราฟ 2 มิติเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.22 จะเห็นว่า ระยะทาง  $Dist$  ของข้อมูลกลุ่มที่พิจารณาให้แยกเซลล์ มีการกระจายตัวมาก ตั้งแต่ 2 - 89.095 ทำให้ค่ากลางมีการกระจายตัวมากตามไปด้วย  $Dist = (20.610, 8.080, 2)$  ดังนั้น ในการแยกกลุ่มข้อมูลออกจากกันเพื่อการจำแนกและหรือการพิจารณาให้รวม-แยกเซลล์ จึงใช้ค่าระยะทาง  $Dist$  ในกลุ่มข้อมูลที่พิจารณาให้รวมเซลล์ ที่มีค่ามากที่สุด (16.492) เป็นค่า

เกณฑ์ของการวัดระยะทาง  $\bar{Dist} = 16.5$  เมื่อพิจารณาจากกราฟระดับฟิสิกเซลล์ของ  $I_{Nuc.}$ ,  $I_{Cyt.}$  และค่ากลางหรือตัวแทนข้อมูล 2 กลุ่ม พบว่า ข้อมูลมีการซ้อนทับกัน และค่ากลางทั้ง 2 กลุ่มใกล้เคียงกัน ดังนั้น ในการพิจารณาการรวม-แยกเซลล์ด้วยค่ากลางของระดับฟิสิกเซลล์ของกลุ่มข้อมูลพิจารณาให้รวมเซลล์  $\bar{I}_{Nuc.}$ ,  $\bar{I}_{Cyt.}$  เป็นเกณฑ์การจำแนก เท่ากับ 76 และ 91 ตามลำดับ เพราะค่าความน่าจะเป็นของกลุ่มข้อมูลที่พิจารณาให้รวมเซลล์มีค่ามากกว่ากลุ่มข้อมูลที่พิจารณาให้แยกกัน ( $46/70 > 24/70$ )

ค่าเกณฑ์หรือค่าขีดแบ่ง (Value:  $\bar{I}_{Nuc.}$ ,  $\bar{I}_{Cyt.}$ ,  $\bar{Dist}$ ) ที่ได้จากกระบวนการทางสถิตินี้ สามารถนำมาเขียนเป็นกฎเพื่อการจำแนก หรือเพื่อการตัดสินใจได้ดังสมการที่ 4.1 เพื่อใช้ในการพิจารณารวม-แยกเซลล์โชมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน โดยใช้สมการที่ 4.2

$$R_1 : (I_{Nuc.} \leq \bar{I}_{Nuc.}) \wedge (I_{Cyt.} \leq \bar{I}_{Cyt.}) \wedge (Dist \leq \bar{Dist}) \rightarrow Case = yes \quad (4.1)$$

$$Class_{segmt.}(i) = \begin{cases} Merge, & \text{if } Case = yes \\ Split, & \text{if } Case = no, \end{cases} \quad (4.2)$$

ผลลัพธ์การตัดแยกเซลล์โชมาติกในกลุ่มเซลล์ติดกัน ใช้ภาพหมายเลข 13 ทดลองเพื่อแสดงผลลัพธ์การแยกส่วนประกอบของเซลล์ และค่าที่ได้จากการวัดและคำนวณคุณลักษณะเด่น แสดงดังรูปที่ 4.20(ก), (ข) ผลลัพธ์การพิจารณารวม-แยกเซลล์ด้วยค่าเกณฑ์  $\bar{I}_{Nuc.}$ ,  $\bar{I}_{Cyt.}$ ,  $\bar{Dist}$  แสดงดังรูปที่ 4.20(ค) ส่วนผลการทดลองตัดแยกกับภาพอื่นๆ สามารถดูได้ในภาคผนวก ค



#### 4.6 ผลการประเมินประสิทธิภาพการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติก

ผลการนับเซลล์โซมาติกได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้อัลกอริทึมเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ ที่ระบุว่าเป็นเซลล์ให้ผลลัพธ์ตรงกัน (True positive:  $Tp$ ) จำนวน 20 ภาพ มีค่าความถูกต้องโดยเฉลี่ย (Accuracy) =  $95.57 \pm 5.8\%$  แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการนับเซลล์โซมาติกระหว่างอัลกอริทึมกับผู้เชี่ยวชาญ

| ภาพ<br>หมายเลข | ผลการนับจำนวนเซลล์โซมาติก ( $Tp$ ) |                    | ค่าความผิดพลาด<br>(Exp. – Algo.) | ค่าความถูกต้อง (%)<br>$1 - (\text{Exp.} - \text{Algo.} / \text{Exp.})$ |
|----------------|------------------------------------|--------------------|----------------------------------|--|
|                | ผู้เชี่ยวชาญ (Exp.)                | อัลกอริทึม (Algo.) |                                  |  |
| 01             | 11                                 | 11                 | 0                                | 100  |
| 02             | 27                                 | 26                 | 1                                | 96.296   |
| 03             | 13                                 | 12                 | 1                                | 92.307   |
| 04             | 16                                 | 14                 | 2                                | 87.50  |
| 05             | 22                                 | 21                 | 1                                | 95.454   |
| 06             | 5                                  | 5                  | 0                                | 100  |
| 07             | 2                                  | 2                  | 0                                | 100  |
| 08             | 14                                 | 14                 | 0                                | 100  |
| 09             | 10                                 | 10                 | 0                                | 100  |
| 10             | 16                                 | 15                 | 1                                | 93.75  |
| 11             | 15                                 | 15                 | 0                                | 100  |
| 12             | 3                                  | 3                  | 0                                | 100  |
| 13             | 25                                 | 25                 | 0                                | 100  |
| 14             | 21                                 | 18                 | 3                                | 85.714   |
| 15             | 12                                 | 10                 | 2                                | 83.333   |
| 16             | 18                                 | 16                 | 2                                | 88.888   |
| 17             | 7                                  | 7                  | 0                                | 100  |
| 18             | 8                                  | 8                  | 0                                | 100  |
| 19             | 17                                 | 15                 | 2                                | 88.235   |
| 20             | 18                                 | 18                 | 0                                | 100  |
|                |                                    |                    | ค่าเฉลี่ย (Mean)                 | $95.574 \pm 5.8$   |

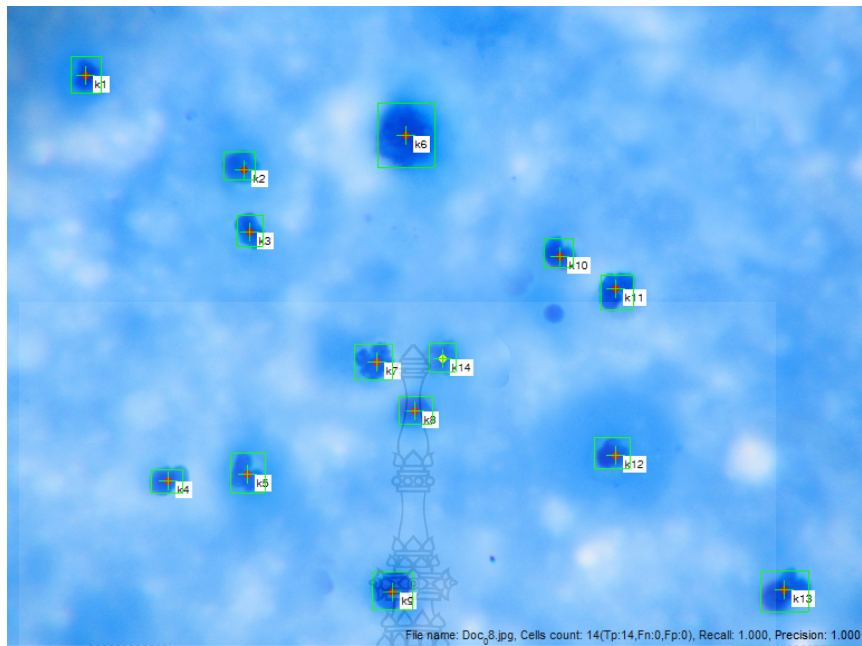
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ซึ่งเป็นการคำนวณหาความผิดพลาด คือ ค่าผลลบเท็จ (False negative:  $F_n$ ) มีค่าความระลึก (Recall) =  $0.958 \pm 0.05$  (95.8%) ความผิดพลาด คือ ค่าผลบวกเท็จ (False positive:  $F_p$ ) มีค่าความแม่นยำ (Precision) =  $0.923 \pm 0.15$  (92.3%) และเวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ย (Time) = 6.503 วินาที

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตัดแยกและนับเซลล์ไซมาติก

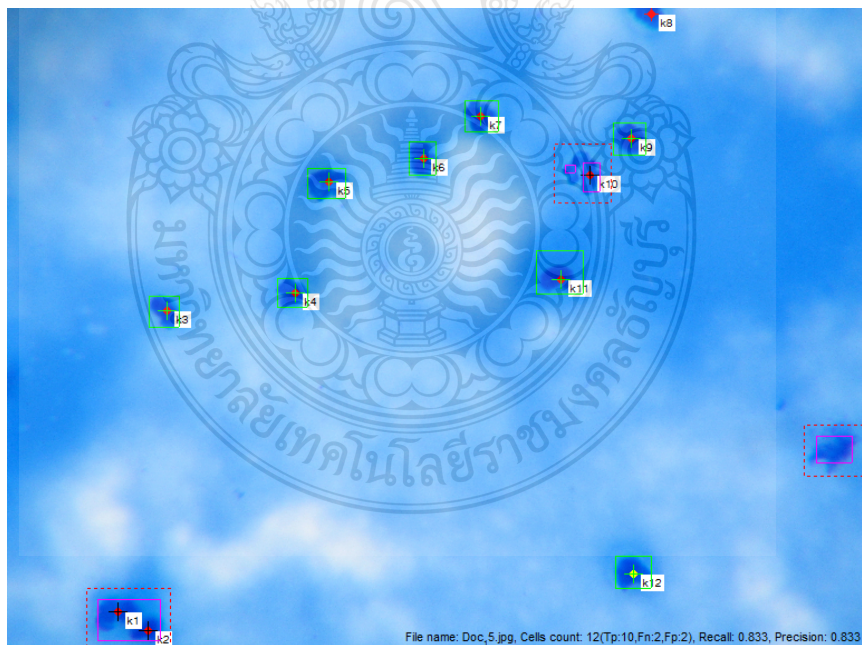
| ภาพ<br>หมายเลข          | นับถูกต้อง<br>( $T_p$ ) | นับผิดพลาด<br>( $F_n$ ) | นับผิดพลาด<br>( $F_p$ ) | ค่าความระลึก<br>(Recall) | ค่าความแม่นยำ<br>(Precision) | Time (s)          |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|
| 01                      | 11                      | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 6.043             |
| 02                      | 26                      | 1                       | 1                       | 0.962                    | 0.962                        | 8.576             |
| 03                      | 12                      | 1                       | 1                       | 0.923                    | 0.923                        | 7.064             |
| 04                      | 14                      | 2                       | 0                       | 0.875                    | 1                            | 6.582             |
| 05                      | 21                      | 1                       | 3                       | 0.954                    | 0.875                        | 7.439             |
| 06                      | 5                       | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 6.106             |
| 07                      | 2                       | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 5.35              |
| 08                      | 14                      | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 5.302             |
| 09                      | 10                      | 0                       | 2                       | 1                        | 0.833                        | 6.113             |
| 10                      | 15                      | 1                       | 3                       | 0.937                    | 0.833                        | 7.004             |
| 11                      | 15                      | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 7.418             |
| 12                      | 3                       | 0                       | 6                       | 1                        | 0.333                        | 6.669             |
| 13                      | 25                      | 0                       | 1                       | 1                        | 0.961                        | 8.043             |
| 14                      | 18                      | 3                       | 0                       | 0.857                    | 1                            | 7.410             |
| 15                      | 10                      | 2                       | 2                       | 0.833                    | 0.833                        | 6.765             |
| 16                      | 16                      | 2                       | 0                       | 0.888                    | 1                            | 6.259             |
| 17                      | 7                       | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 5.104             |
| 18                      | 8                       | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 5.086             |
| 19                      | 15                      | 2                       | 1                       | 0.882                    | 0.937                        | 6.290             |
| 20                      | 18                      | 0                       | 0                       | 1                        | 1                            | 5.512             |
| <b>ค่าเฉลี่ย (Mean)</b> |                         |                         |                         | <b>0.958±0.05</b>        | <b>0.923±0.15</b>            | <b>6.503±0.97</b> |

จากการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธีการเตรียมภาพ การสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง การคัดแยกและจำแนกกลุ่มเซลล์โดยใช้ค่าคุณลักษณะเด่นของเซลล์โซมาติก สามารถตัดแยกเซลล์โซมาติกได้ถูกต้องในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งดูได้จากประสิทธิภาพ Recall และ  $F_n$  แสดงในตารางที่ 4.5 เช่น ภาพหมายเลข 08 มีค่า Recall = 1 แสดงผลการตัดแยกภาพดังรูปที่ 4.23 มีเพียงบางรูปที่มีประสิทธิภาพของ Recall อยู่ในเกณฑ์ต่ำ เช่น ภาพหมายเลข 15 มีค่า Recall = 0.833 แสดงว่าขั้นตอนวิธีการสกัดภาพเซลล์โซมาติกไม่สามารถสกัดภาพออกมาได้ตามที่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นภาพเซลล์โซมาติกแสดงผลการตัดแยกดังรูปที่ 4.24 ทั้งนี้อาจเนื่องจากขั้นตอนการเตรียมภาพด้วยวิธีการ Morphological operation โดยใช้ขนาดของ SE มีความไม่เหมาะสมกับภาพเซลล์บางภาพ ทำให้ไม่สามารถสกัดภาพเซลล์ในขั้นตอนการ Threshold ออกมาได้ และสาเหตุอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของ Recall อยู่ในเกณฑ์ต่ำ คือ ผลการตัดแยกภาพเซลล์ที่ได้จากขั้นตอนการพิจารณา รวม-แยกภาพเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกันด้วยอัลกอริทึม ได้ผลลัพธ์การแยก-รวมไม่ตรงกับที่ผู้เชี่ยวชาญระบุ เช่น ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาแล้วให้เซลล์แยกออกจากกัน แต่อัลกอริทึมพิจารณาให้เซลล์รวมกัน จึงมีผลทำให้อัลกอริทึมไม่สามารถสกัดภาพเซลล์ออกมาได้ตรงตามที่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์โซมาติก ทำให้ค่าประสิทธิภาพ Recall จึงมีค่าต่ำลง ผู้เชี่ยวชาญต้องระบุและนับจำนวนเพิ่มขึ้นอีก แสดงผลการตัดแยกดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 มี Recall = 0.875, 0.857 ตามลำดับ

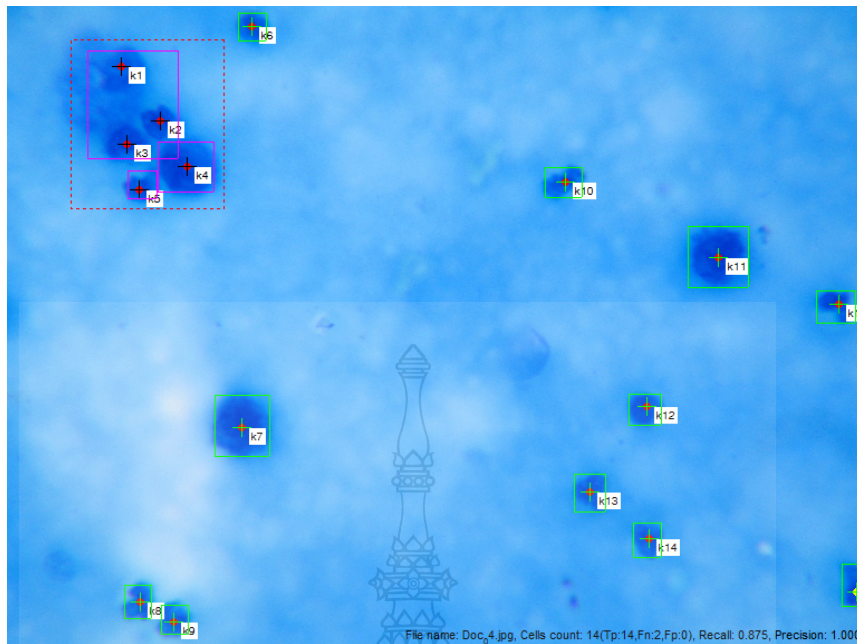
จากขั้นตอนการสกัดส่วนประกอบของเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน เพื่อใช้พิจารณาการรวมแยกภาพเซลล์ด้วยการพิจารณาค่าคุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบ ( $I_{Nuc}$ ,  $I_{Cyt}$  และระยะทาง  $Dist$ ) สามารถตัดแยกเซลล์โซมาติกโดยภาพรวมได้ถูกต้องใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ จากการวิเคราะห์จากค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึม พบว่า หลายภาพมีค่า Recall และ Precision เท่ากัน คือ เท่ากับ 1 เช่น ภาพหมายเลข 01, 11, 18 และ 20 แสดงว่า อัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพและนับเซลล์โซมาติกได้ตรงกันกับที่ผู้เชี่ยวชาญระบุ บางภาพมีค่า Recall และ Precision ใกล้เคียงกัน เช่น ภาพหมายเลข 02 เท่ากับ 0.962, 0.962 และหมายเลข 13 เท่ากับ 1, 0.961 ตามลำดับ แสดงว่าอัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพและนับเซลล์โซมาติกได้ใกล้เคียงกันกับผู้เชี่ยวชาญ และบางภาพมีค่า Recall และ Precision ต่ำลง เช่น ภาพหมายเลข 10 เท่ากับ 0.937, 0.833 และ ภาพหมายเลข 12 เท่ากับ 1, 0.333 ตามลำดับ เกิดจากการพิจารณา รวม-แยกกลุ่มเซลล์ที่ติดกัน ได้ไม่ตรงกับที่ผู้เชี่ยวชาญโดยใช้วิธีการพิจารณาด้วยกฎพื้นฐานเพื่อการตัดสินใจ (สมการที่ 3.4) ซึ่งมีความไม่ยืดหยุ่นกับค่าคุณลักษณะเด่นที่วัดและคำนวณได้จากระดับพิกเซลของเซลล์โซมาติก ซึ่งมีความเข้มหรือระดับพิกเซลที่หลากหลาย และไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผลการพิจารณา รวม-แยกกลุ่มเซลล์ติดกัน ได้ผลการนับ และวิเคราะห์ไม่ตรงกับที่ผู้เชี่ยวชาญ



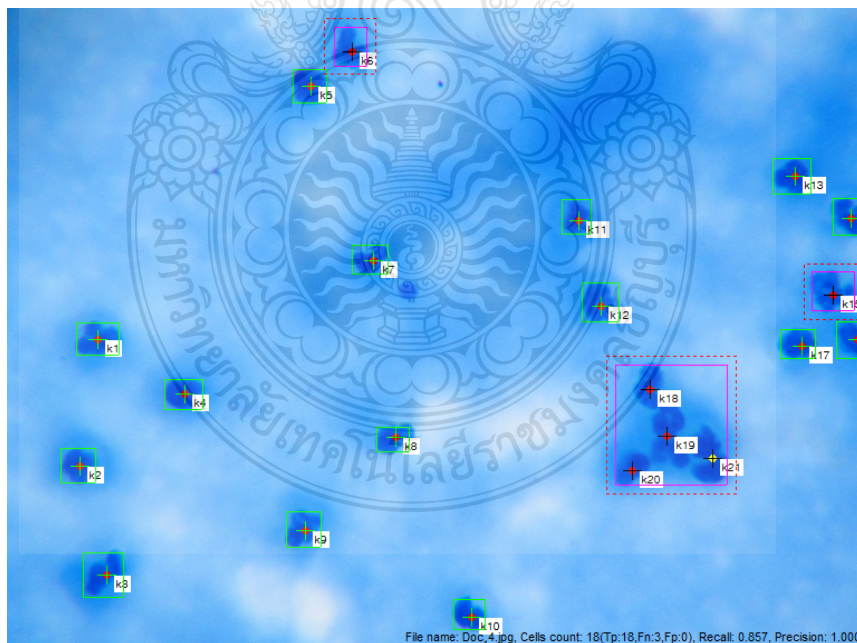
รูปที่ 4.23 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธีระบุด้วยกรอบสี่เหลี่ยม เทียบกับการนับโดยผู้เชี่ยวชาญระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 08 มีค่า Recall = 1



รูปที่ 4.24 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธีระบุด้วยกรอบสี่เหลี่ยม เทียบกับการนับโดยผู้เชี่ยวชาญระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 15 มีค่า Recall = 0.833



รูปที่ 4.25 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธีระบุด้วยกรอบสี่เหลี่ยม เทียบกับการนับโดยผู้เชี่ยวชาญระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 04 มีค่า Recall = 0.875



รูปที่ 4.26 ผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกด้วยขั้นตอนวิธีระบุด้วยกรอบสี่เหลี่ยม เทียบกับการนับโดยผู้เชี่ยวชาญระบุด้วยจุดสีแดง ภาพหมายเลข 14 มีค่า Recall = 0.857

## 4.7 สรุป

ในบทนี้ ได้แสดงผลการทดลองตามขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบ และการพัฒนาอัลกอริทึมให้สามารถตัดแยกและนับจำนวนเซลล์ไซมาติกได้มี 6 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ ขั้นตอนที่ (1) การเตรียมภาพเซลล์ (2) การตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง (3) การจำแนกกลุ่มเซลล์ (4) การตัดแยกภาพกลุ่มเซลล์ติดกัน (5) การนับจำนวนเซลล์ และ (6) การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ ได้ผลสรุปการทดลองแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการเตรียมภาพ ภาพมีความถี่ที่ลดลง ได้บริเวณขอบภาพเซลล์ที่เด่นชัดขึ้น เมื่อพิจารณากราฟฮิสโตแกรมของภาพ พบว่า รูปร่างของกราฟมีลักษณะการกระจายของข้อมูลภาพเป็นแบบคู่หรือสองยอด ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติสามารถแยกภาพเซลล์ได้อย่างเหมาะสม

ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพโดยใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ สามารถสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังได้ ซึ่งมีขนาดพื้นที่ของเซลล์ ตั้งแต่ 763 - 14521 พิกเซล และพื้นที่ของภาพที่ไม่ใช่เซลล์ มีขนาดตั้งแต่ 1 - 752 พิกเซล ทำการจำแนกวัตถุด้วยค่าคุณลักษณะเด่น คือ ขนาดพื้นที่วัตถุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้เกณฑ์การจำแนก  $\bar{f}_{size} = 763$  พิกเซล และลบกลุ่มภาพสิ่งรบกวนออกจากภาพได้ ภาพเซลล์ที่คัดแยกได้ในขั้นตอนนี้มี 2 แบบ คือ เซลล์เดี่ยว และเซลล์ติดกัน ตัวจำแนกสามารถจัดกลุ่มเซลล์โดยใช้ค่าปัจจัยรูปร่างความกลม (Circularity Shape Factor) แบ่งเป็น 2 กลุ่มได้โดยใช้เกณฑ์การจำแนก  $\bar{f}_{shape} = 0.678$

การแยกส่วนประกอบของเซลล์ติดกันโดยใช้วิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ (Region) สามารถแยกส่วนประกอบของภาพเซลล์ ได้แก่ นิวเคลียส และไซโทพลาสซึม ออกจากพื้นหลังได้อย่างเหมาะสม เมื่อทำการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของแต่ละส่วนประกอบเพื่อคำนวณหาค่าเกณฑ์ (Value) ด้วยกระบวนการทางสถิติ ค่าเกณฑ์เพื่อใช้พิจารณารวม-แยกเซลล์ด้วยกฎพื้นฐาน (Rule-based classifier) นั้น ได้ผลลัพธ์การรวม-แยกไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญในบางภาพ พิจารณาได้จาก การกระจายตัวของข้อมูลคุณลักษณะเด่นมีการซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 4.22 ทำให้การตัดแยกเซลล์ติดกันได้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดในบางภาพ ผลการตัดแยกเซลล์เทียบกับผู้เชี่ยวชาญพิจารณาได้ในตารางที่ 4.4 และ 4.5

การนับและการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมได้ทำการเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเป็นการวัดความสามารถในการตัดแยกและการนับภาพเซลล์ซึ่งได้ทดลองกับภาพจำนวน 20 ภาพ จากการทดลอง พบว่า อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพดี สามารถตัดแยกและนับเซลล์ได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ มีค่าความถูกต้องโดยรวม 95% ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม มีค่าความระลึกลับ และค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ย 0.95, 0.92 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 6 วินาทีต่อภาพ

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุปของการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการนำงานวิจัยนี้ไปอ้างอิงหรือพัฒนาต่อไป มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการตัดแยกภาพและนับจำนวนเซลล์ไขมันในน้ำมันโคให้สามารถช่วยในการวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์ไขมันที่ผู้เชี่ยวชาญได้ การประเมินจำนวนเซลล์ไขมันในน้ำมันโคด้วยวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยตรงนั้น จะเป็นการวิเคราะห์และนับโดยมนุษย์ ซึ่งจะต้องส่งกล้องเพื่อทำการวิเคราะห์ภาพเซลล์และนับจำนวนเซลล์บนพื้นที่แผ่นสไลด์ไม่ต่ำกว่า 10 บริเวณ ถ้ามีจำนวนตัวอย่างน้ำมันจำนวนมากที่ต้องวิเคราะห์ อาจทำให้เมื่อยล้าทางสายตา เกิดความเบื่อหน่ายในการทำงาน ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดต่อการวิเคราะห์ได้ อัลกอริทึมในการประมวลผลภาพเซลล์นี้ ซึ่งอำนวยความสะดวก และช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์ได้ง่ายและรวดเร็ว เพื่อเป็นประโยชน์ในการประเมินคุณภาพน้ำมันและวินิจฉัยปัญหาโรคด้านนมอีกเสบ

ขั้นตอนวิธีในการตัดแยกและนับเซลล์ไขมัน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่

**5.1.1 การเตรียมภาพเซลล์ไขมัน** ในขั้นตอนนี้ จะได้ภาพที่มีความถี่ที่ลดลงเนื่องจากระดับพิกเซลถูกปรับให้เรียบตามขนาดของหน่วยโครงสร้าง (SE) ได้บริเวณขอบภาพเซลล์ที่เด่นชัดขึ้นภาพพื้นหลังมีระดับพิกเซลต่ำลงเข้าใกล้ "0" ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างขอบภาพเซลล์กับพื้นหลังมากขึ้น เมื่อพิจารณากราฟฮิสโตแกรมของภาพ พบว่า รูปร่างของกราฟมีลักษณะการกระจายของข้อมูลภาพเป็นแบบคู่หรือสองยอด (Bimodal) ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติสามารถแยกภาพเซลล์ได้อย่างเหมาะสม

**5.1.2 การแบ่งส่วนภาพ** ขั้นตอนนี้เป็นการตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง ด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการของโอดสกี สามารถตัดแยกภาพเซลล์ได้อย่างเหมาะสม แต่ยังไม่ปรากฏวัตถุที่ไม่ใช่เซลล์หรือสิ่งรบกวนอยู่ในภาพ

**5.1.3 การคัดแยกภาพเซลล์และการกำจัดสิ่งรบกวน** ขั้นตอนนี้ สามารถกำจัดสิ่งรบกวน ได้ผลดีและเหมาะสมคงไว้แต่ภาพเซลล์โชมatic ซึ่งได้ใช้วิธีการจำแนกวัตถุออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม เซลล์และกลุ่มสิ่งรบกวน เซลล์มีขนาดพื้นที่ ตั้งแต่ 763 - 14521 พิกเซล สิ่งรบกวน มีขนาดพื้นที่ ตั้งแต่ 1 - 752 พิกเซล ถูกจำแนกด้วยค่าคุณลักษณะเด่น คือ ขนาดพื้นที่ของวัตถุ เป็นค่าเกณฑ์ในการจำแนก  $\bar{f}_{size} = 763$  พิกเซล สามารถกำจัดวัตถุออกเป็น 2 กลุ่มได้

**5.1.4 การจำแนกกลุ่มเซลล์** ขั้นตอนนี้ สามารถจำแนกกลุ่มเซลล์ได้ โดยภาพเซลล์ที่คัดแยก ได้มี 2 แบบ คือ เซลล์เดี่ยว และเซลล์ติดกัน ตัวจำแนกสามารถจัดกลุ่มเซลล์ได้โดยใช้ค่าปัจจัยรูปร่าง ความกลม (Circularity Shape Factor) มีค่าเกณฑ์ในการจำแนก  $\bar{f}_{shape} = 0.678$

**5.1.5 การตัดแยกเซลล์ติดกัน** ขั้นตอนนี้ ใช้วิธีแยกส่วนประกอบของเซลล์ติดกันด้วย ขั้นตอนวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ (Region-based segmentation) ซึ่งสามารถแยกส่วนประกอบของภาพ เซลล์ ได้แก่ นิวเคลียส และไซโทพลาสซึม ออกจากพื้นหลังได้เหมาะสม และทำการวัดและคำนวณค่า คุณลักษณะเด่นของแต่ละส่วนประกอบนำมาคำนวณหาค่าเกณฑ์ (Value) ด้วยกระบวนการทางสถิติ เพื่อใช้ในการพิจารณาแยกเซลล์ด้วยกฎพื้นฐาน (Rule-based classifier) ส่วนใหญ่แบ่งเซลล์ ติดกันได้ตรงกับผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ ที่ไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญมีในบางภาพ เกิดจากการกระจายตัวของ ข้อมูลคุณลักษณะเด่นมีการซ้อนทับกัน ดังภาพที่ 4.21 ทำให้การแบ่งเซลล์ได้ไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญ สามารถดูประสิทธิภาพผลการตัดแยกเซลล์ที่เทียบกับผู้เชี่ยวชาญได้จากตารางที่ 4.4 และ 4.5

**5.1.6 การนับและการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม** ในขั้นตอนนี้ ได้ทำการ เปรียบเทียบผลการนับโดยอัลกอริทึมกับผู้เชี่ยวชาญ พบว่า อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพที่ดีสามารถตัด แยกและนับเซลล์ได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 95% ประสิทธิภาพของ อัลกอริทึม มีค่าความระลึก และค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.95, 0.92 ตามลำดับ โดยใช้เวลาใน การประมวลผลประมาณ 6 วินาทีต่อภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตัดแยกและนับภาพเซลล์โชมatic ได้ให้ ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพน้ำมันโค ทดลองใช้งาน “ระบบประเมิน ประสิทธิภาพการนับเซลล์โชมatic โดยใช้อัลกอริทึม” เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการตัดแยกและนับ ภาพเซลล์โชมatic โดยอัลกอริทึม กับการวิเคราะห์และนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ให้ความเห็นว่า ระบบมี ความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ มีความรวดเร็วในการประมวลผล และ ระบบสามารถช่วยในการสนับสนุนในการทำงาน มีภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และขอแนะนำให้พัฒนา ระบบให้มีความสามารถเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ อัลกอริทึมให้สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมของภาพ ที่แตกต่างกันได้ สามารถบันทึกผลการวิเคราะห์ที่อยู่ในรูปของฐานข้อมูล เป็นต้น



## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต

จากการทดลอง ประสิทธิภาพโดยรวมของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ แต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดบางประการเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนต่างๆ เนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพโดยใช้วิธีกำหนดค่าขีดแบ่งสามารถแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังได้ดีเหมาะสมในระดับหนึ่ง แต่บางภาพไม่สามารถตัดแยกออกมาได้ เนื่องจากใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวทั้งภาพ ทำให้ไม่สามารถตัดแยกภาพเซลล์บริเวณพื้นหลังที่มีระดับพิกเซลใกล้เคียงกับภาพเซลล์ วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งหลายๆค่า หรือแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ แล้วตัดแยกอาจจะสามารถตัดแยกภาพเซลล์ออกจากพื้นหลังได้ หรือทดลองใช้วิธีการตัดแยกภาพเซลล์ด้วยวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการของ K-Means และ Mean Shift เป็นต้น

วิธีการในการตัดแยกเซลล์ด้วยค่าคุณลักษณะเด่น ในบางภาพยังไม่สามารถลบภาพเซลล์เยื่อหรือวัตถุที่ไม่ใช่เซลล์ หรือสิ่งปลอมปนที่มีรูปร่างขนาดใหญ่เท่าขนาดของเซลล์โซมาติกออกจากภาพได้ ทำให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต่ำลง ควรทดลองใช้ตัวจำแนกที่มีความสามารถในการรู้จำรูปร่างและขนาดเซลล์ที่มีขนาดไม่แน่นอน และวัตถุอื่นๆ ที่เป็นสิ่งปลอมปนในภาพได้

ขั้นตอนการพิจารณาการรวม-แยกเซลล์กลุ่มเซลล์ที่ติดกัน ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าคุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบเซลล์ที่แยกได้ ด้วยกฎพื้นฐานเพื่อการตัดสินใจ บางส่วนยังให้ผลลัพธ์ได้ไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญเนื่องจากค่าคุณลักษณะเด่นที่ใช้แบ่งข้อมูลการรวม-แยกเซลล์มีค่าไม่เหมาะสมกับคุณลักษณะเด่นที่วัดได้แต่ในละเซลล์ ควรใช้ ตัวจำแนก Classifier แบบอื่นๆ เช่น Neural Networks เป็นต้น หรือให้มีการรู้จำรูปแบบของส่วนประกอบของเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน เพื่อการจำแนกต่อไป

## บรรณานุกรม

- [1] อรัญ จันทรลูน, *การนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (online)*, 2544, Available: [https://vet.kku.ac.th/aran/data/clinic4\\_2554/03\\_DMsc2554.pdf](https://vet.kku.ac.th/aran/data/clinic4_2554/03_DMsc2554.pdf), (18 พฤษภาคม 2556).
- [2] นุญต อินทระสังขา, มงคล ประทุมมณี, สุชาติ สุขสถิตย์, และไชยวรรณ วัฒนจันทร์, “การเปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบของโคนม,” *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 12, เล่มที่ 1, หน้า 13 - 26, มกราคม 2552.
- [3] อรัญ จันทรลูน, *โซมาติกเซลล์ (online)*, 2552, Available: [https://vet.kku.ac.th/aran/data/clinic4\\_2554/02-SCC%202552.pdf](https://vet.kku.ac.th/aran/data/clinic4_2554/02-SCC%202552.pdf), (18 พฤษภาคม 2556).
- [4] สนั่น ศรีสุข, *การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูง*, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2556.
- [5] พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์, *การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล*, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [6] Jayaraman, S., Esakkirajan, S., and Veerakumar, T., *Digital Image Processing*, New Delhi: Tata McGraw Hill, 2009.
- [7] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, and Steven L. Eddins, *Digital Image Processing using MATLAB*, Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [8] Olympus Press Inc., *Vector & Raster Graphics in Offset Printing (online)*, 1995, Available: <https://olypress.com/vector-vs-raster-graphics-in-printing/>, (23 October 2014).
- [9] Wikipedia, *Color model (online)*, 2001, Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_model), (23 October 2014).
- [10] Marques, Oge, *Practical Image and Video Processing Using MATLAB*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [11] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์, *การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย MATLAB*, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [12] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision 3rd Edition*, USA: Thomson/West, 2008.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] Math Works, Inc., *Basic Image Enhancement and Analysis Techniques (online)*, 1994, Available: <http://www.mathworks.com/help/images/image-enhancement-and-analysis.html>, (23 October 2014).
- [14] R. Lyman Ott, and Michael Longnecker, *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis Sixth Edition*, Canada: Brooks/Cole Cengage Learning, 2010.
- [15] Otsu N., "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, pp. 62 - 66, January 1979.
- [16] Dehuai Zeng, *Advances in Information Technology and Industry Applications*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.
- [17] Math Works, Inc., *Morphological structuring element – MATLAB (online)*, 1994, Available: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/strel-class.html>, (23 October 2014).
- [18] Christian S. Perone, *Morphological Operation - Terra Incognita (online)*, 2009, Available: <http://www.blog.christianperone.com/2014/06/simple-and-effective-coin-segmentation-using-python-and-opencv/>, (23 October 2014).
- [19] Raul S. Montero, "State of the Art of Compactness and Circularity Measures," *International Mathematical Forum*, 4, 2009, No. 27, pp. 1305 - 1335, 2009.
- [20] Eric Olson, "Particle Shape Factors and Their Use in Image Analysis–Part 1: Theory," *Journal of GXP Compliance*, Vol. 15, No. 3, pp. 85 - 96, 2011.
- [21] ENOM, Inc., *What-When-How, In Depth Tutorials and Information (online)*, 2010, Available: <http://what-when-how.com/introduction-to-video-and-image-processing/blob-analysis-introduction-to-video-and-image-processing-part-1/>, (23 October 2014).
- [22] Thanaporn Phanmetharith, "Automated Breast Cancer Cell Image Segmentation," Master's thesis, Computer Science, Prince of Songkla University, Thailand, 2010.
- [23] Michael Levin, *Particle Characterization: Tools & Methods (online)*, 2005, Available: <http://www.laboratoryequipment.com/articles/2005/10/particle-characterization-tools-methods>, (23 October 2014).

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] Dougherty, Geoff., *Pattern Recognition and Classification*, London: Springer New York Heidelberg Dordrecht, 2010.
- [25] Narasimha Murty M., and Susheela Devi V., *Pattern Recognition an Algorithmic Approach*, New York: Springer London Dordrecht Heidelberg, 2011.
- [26] Jiawei Han, and Micheline Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques Second Edition*, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [27] Max Bramer, *Principles of Data Mining*, London: Springer-Verlag, 2007.
- [28] Urszula Stanczyk, *Rule-Based Approach to Computational Stylistics*, Poland: Springer Berlin Heidelberg, Gliwice., 2011.
- [29] Grillo Gustavo J., Anton Juy C., Ferrero Francisco, and Pkrez Miguel A., "Low-cost video microscopy system for evaluation of fresh cow milk somatic cell concentration," *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Vol. 2, pp. 906 - 909, Available: IEEE organization, IEEE Xploer (28 May 2013).
- [30] Heru Xue, Hai Li, Yuedong Wang, and Ting Zhao, "The Segmentation of the Color Milk Somatic Cells Images," *CISP '09. 2nd International Congress on Image and Signal Processing*, pp. 1 - 4, Available: IEEE organization, IEEE Xploer (28 May 2013).
- [31] Su Na, and Xue Heru, "The Segmentation of Overlapping Milk Somatic Cells Based on Improved Watershed Algorithm," *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, pp. 563 - 566, Available: IEEE organization, IEEE Xploer (28 May 2013).
- [32] Yuedong Wang, and Heru Xue, "The color image processing technology of the milk somatic cells," *2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, Vol. 4, pp. 280 - 283, Available: IEEE organization, IEEE Xploer (28 May 2013).

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

แบบสอบถามการใช้งานโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์โซมาติก



## แบบสอบถาม

### ความเห็นในการใช้ระบบประเมินประสิทธิภาพการนับเซลล์โซมาติก

#### โดยใช้อัลกอริทึมการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค

(การนับโดยใช้อัลกอริทึมเทียบกับการนับโดยผู้เชี่ยวชาญ)

#### ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ประเมินประสิทธิภาพ

1. ชื่อ-สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ จันทร์สุน
2. ตำแหน่ง อาจารย์ (ผู้เชี่ยวชาญการวิเคราะห์และนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค)
3. สถานที่ทำงาน ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ท่านเคยใช้แอปพลิเคชันเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพการนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคจากหน่วยงานอื่น หรือที่ไหนมาก่อน หรือไม่ ?  
 ไม่เคย  เคย (โปรดระบุแอปพลิเคชันที่เคยใช้และความแตกต่าง)

.....

.....

.....

#### ตอนที่ 2 ความเห็นต่อการใช้งานระบบประเมินประสิทธิภาพการนับเซลล์โซมาติก

คำชี้แจง โปรดระบุความเห็นต่อการใช้งานระบบฯ ที่ท่านพิจารณาแล้วตรงกับความเห็นของท่านในแต่ละข้อ มี 5 ระดับคะแนน คือ 5=มากที่สุด 4=มาก 3=ปานกลาง 2=น้อย 1=น้อยที่สุด

| ข้อความเห็น  | ระดับความพึงพอใจ |     |         |      |            |
|--|------------------|-----|---------|------|------------|
|  | มากที่สุด        | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| 1. ระบบมีความสะดวกและง่าย ในการใช้งาน                                  |                  | ✓   |         |      |            |
| 2. ระบบมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ                                     |                  | ✓   |         |      |            |
| 3. ระบบมีความรวดเร็วในการประมวลผล                                      |                  |     | ✓       |      |            |
| 4. ผลลัพธ์การนับด้วยอัลกอริทึม ตรวจสอบและนับเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ |                  | ✓   |         |      |            |
| 5. ระบบสามารถช่วยสนับสนุนในการทำงาน                                    | ✓                |     |         |      |            |
| 6. ประสิทธิภาพโดยรวมการใช้งาน  |                  | ✓   |         |      |            |

ตอนที่ 3 ความเห็น ข้อเสนอแนะ แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาระบบ

- เห็นภาพองค์รวมที่จะใช้ประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน สามารถติดตามความคืบหน้าได้มากกว่า
1. ควรพัฒนาในรูปแบบในปี 2025 และเน้นจุดเพิ่มระบบ ในระบบที่สอดคล้องกับนโยบาย  
รัฐบาล หรือในนโยบายที่กระทรวง
  2. ระบบจะต้องสามารถใช้งานได้กับสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี  
เช่น ความเร็ว/ขนาดพื้นที่ของสไลด์ และรูปแบบของข้อมูลที่แตกต่างกัน
  3. ควรพัฒนาให้สามารถเชื่อมโยงกับระบบอื่นๆ สามารถใช้งานได้ทันที
  4. สามารถทำงาน/เชื่อมกับเครื่องอื่นได้โดยอัตโนมัติ เช่น การดึงข้อมูลที่อยู่ใน  
ไฟล์เอกสาร/ข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะตัว โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและ  
ลดความผิดพลาดของแต่ละรูปแบบ และโปรแกรมจะประมวลผลภาพได้ดีขึ้นทันที

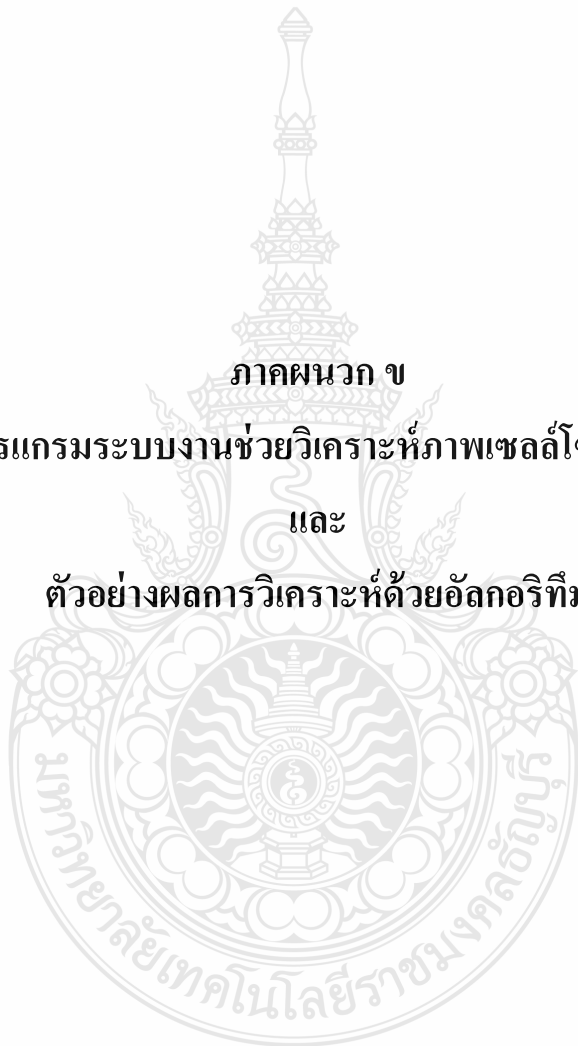
( ผศ.ดร.อรรณู จันทร์ตุ่น )

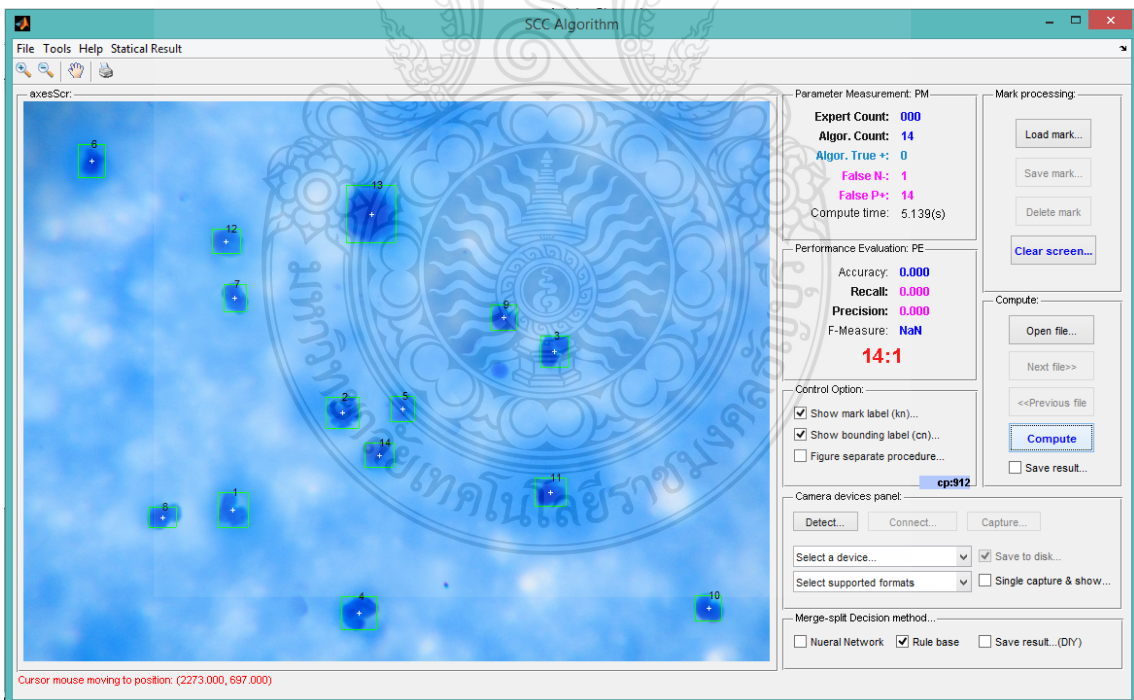
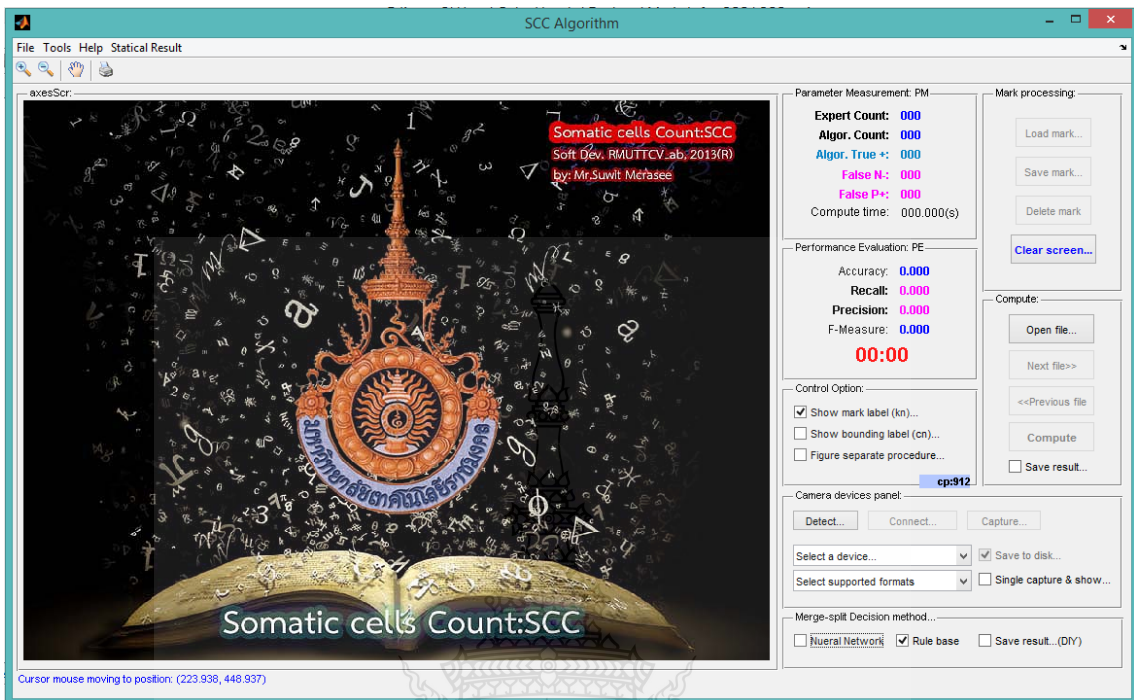
อาจารย์ประจำภาควิชาอายุรศาสตร์  
คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



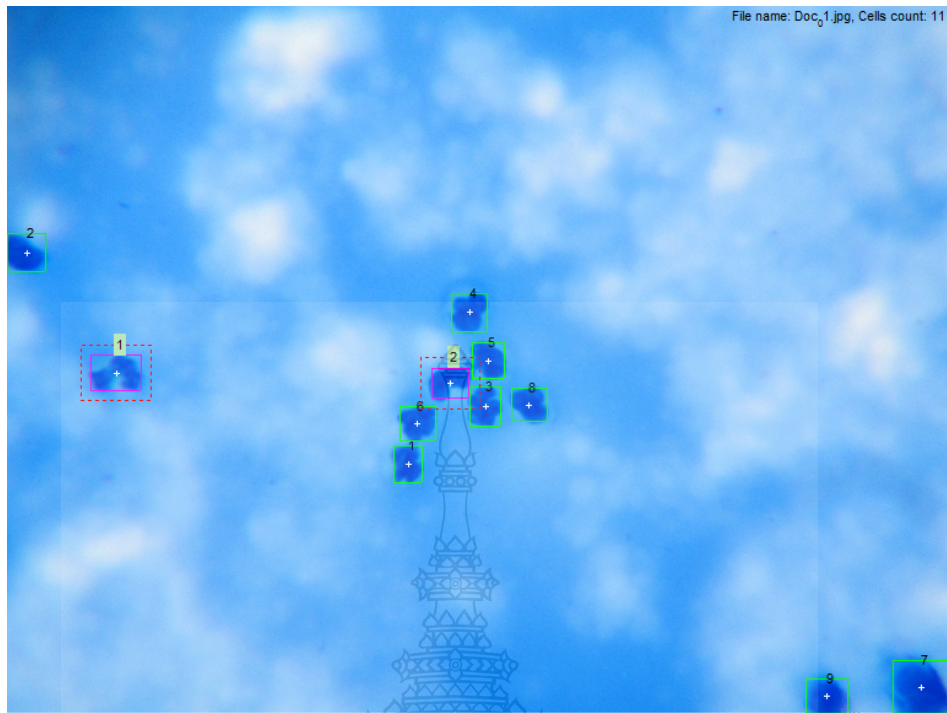


ภาคผนวก ข  
โปรแกรมระบบงานช่วยวิเคราะห์ภาพเซลล์โซมาติก  
และ  
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึม





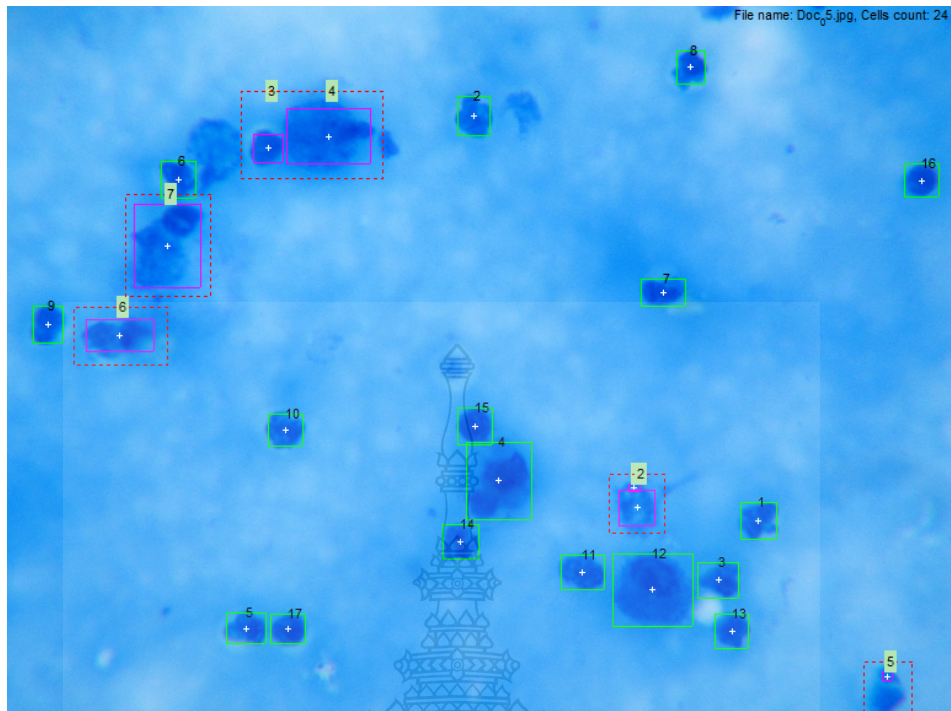
รูปที่ ข.1 ลักษณะโปรแกรมระบบงานช่วยวิเคราะห์เซลล์ไขมันในน้ำมันโค และ ผลการตัดแยกและนับเซลล์โดยใช้อัลกอริทึมการประมวลผลภาพดิจิทัล



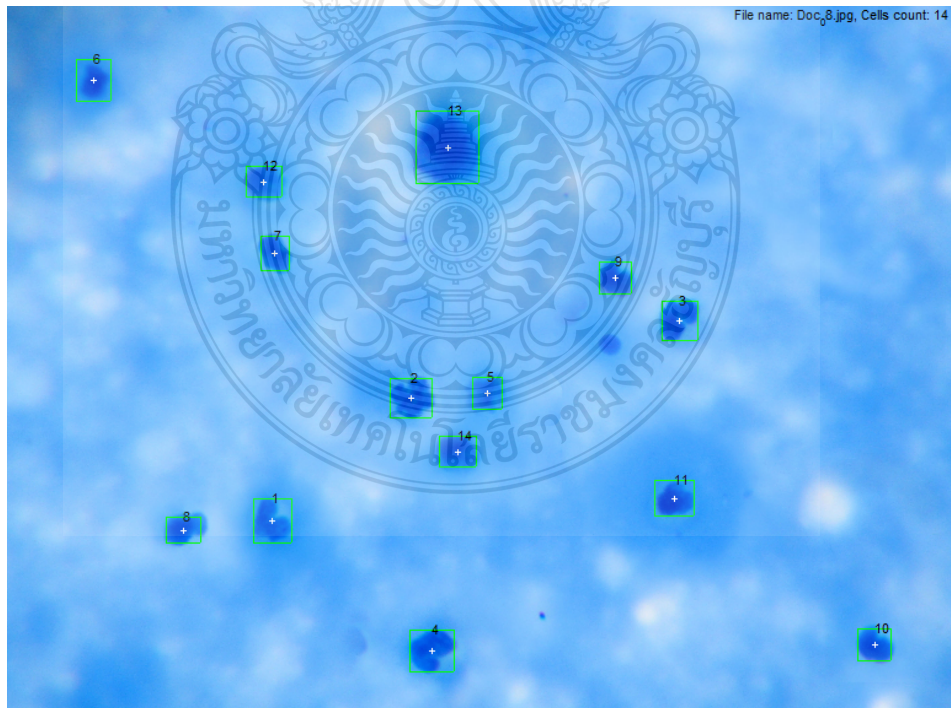
รูปที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์และนับเซลล์โซมาติก หมายเลข 01



รูปที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์และนับเซลล์โซมาติก หมายเลข 03



รูปที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์และนับเซลล์โซมาติก หมายเลข 05

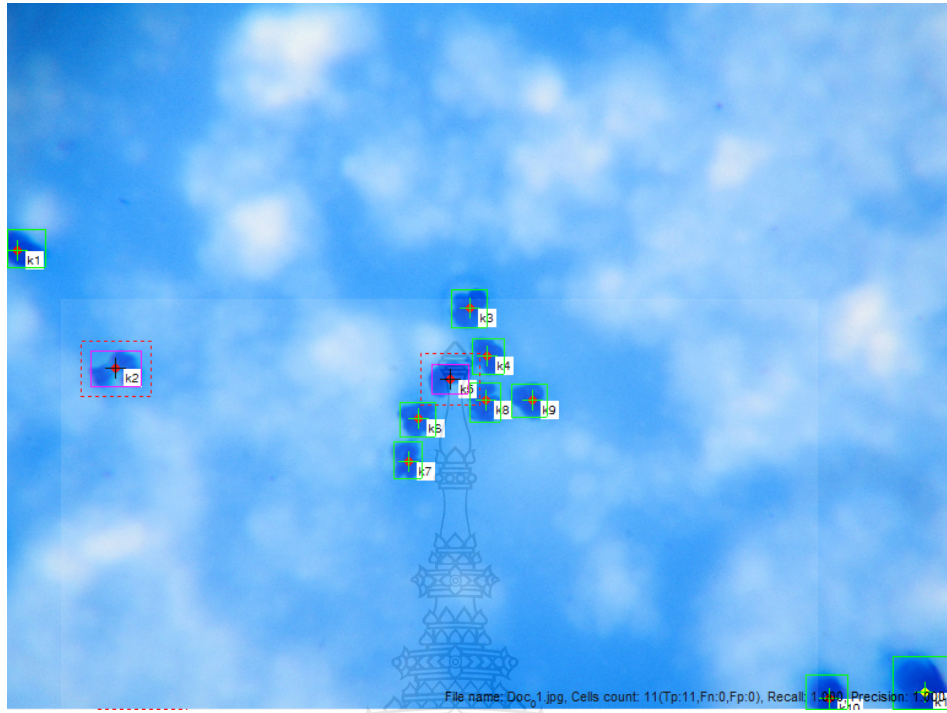


รูปที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์และนับเซลล์โซมาติก หมายเลข 08

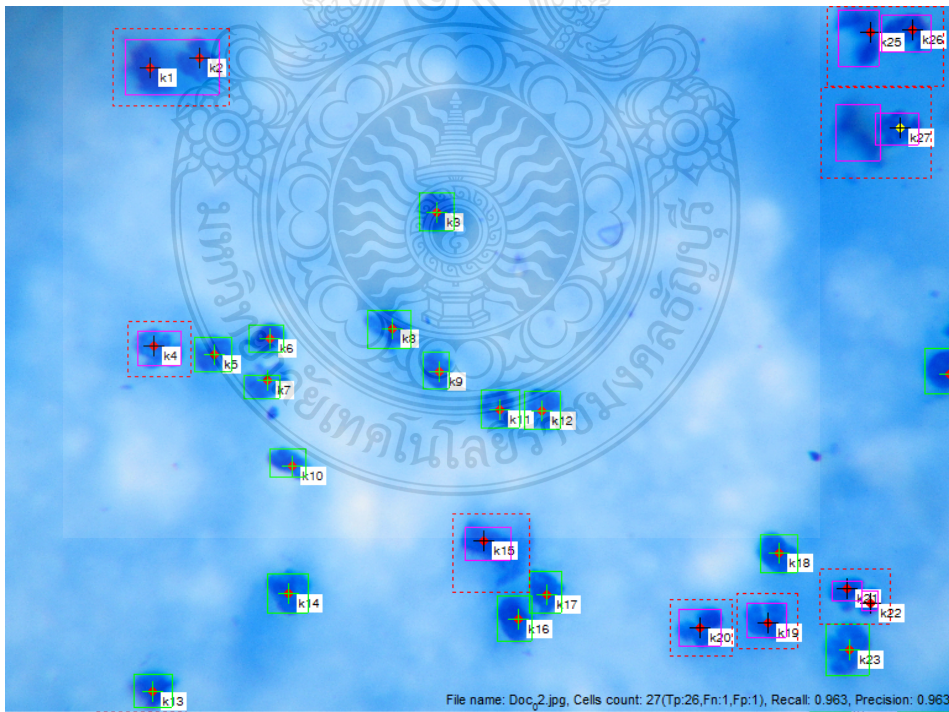
ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์และนับจำนวนเซลล์โซมาติก  
โดยใช้อัลกอริทึมเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ

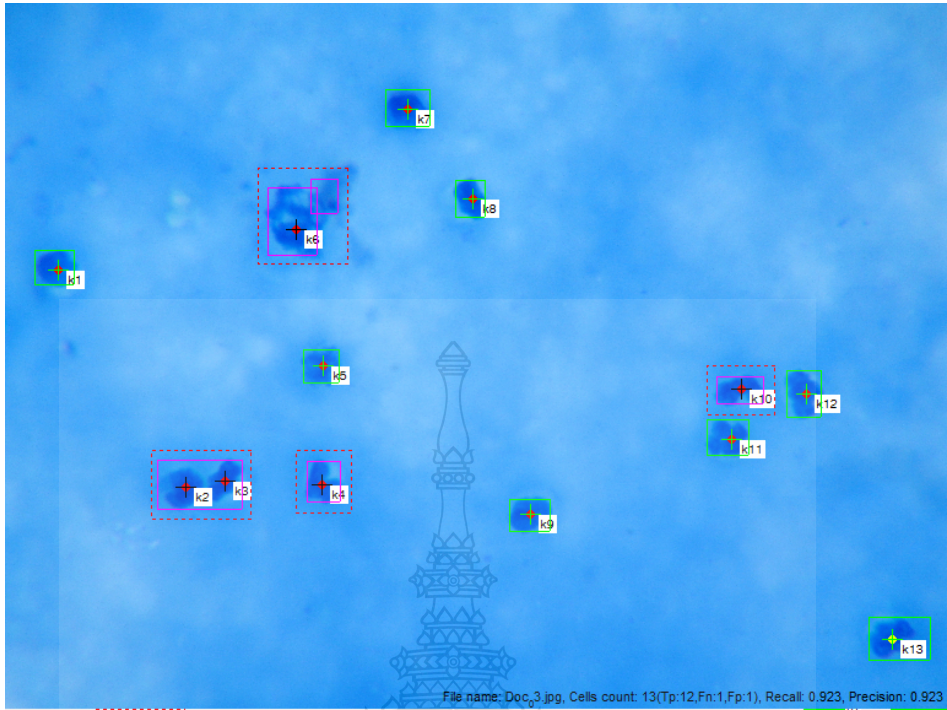




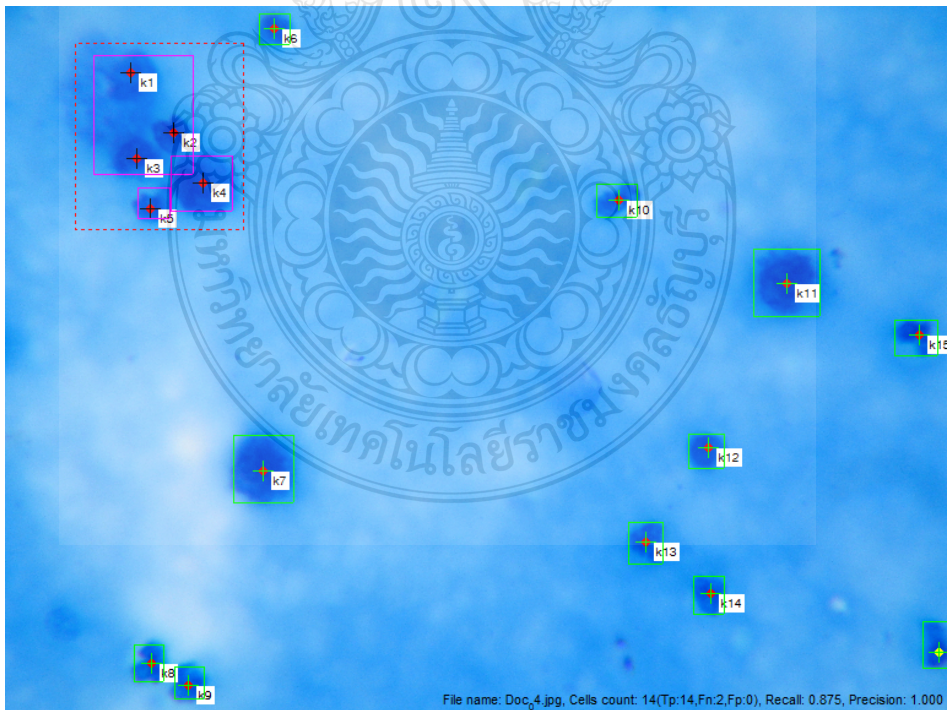
รูปที่ ค.1 เซลล์โซมาติก หมายเลข 01



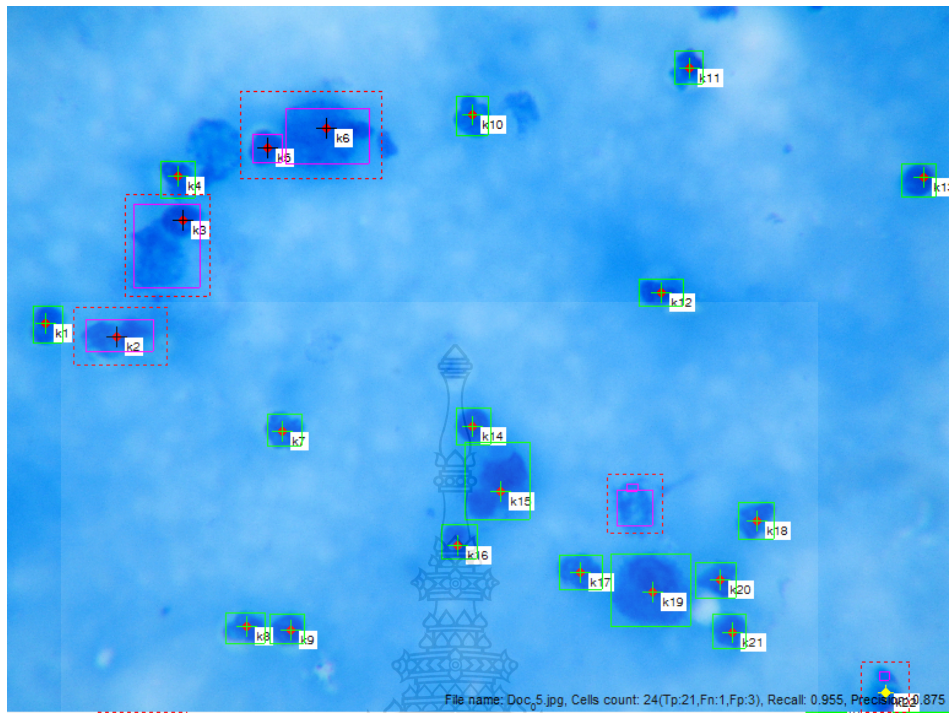
รูปที่ ค.2 เซลล์โซมาติก หมายเลข 02



รูปที่ ๓.3 เซลล์โซมาติก หมายเลข 03



รูปที่ ๓.4 เซลล์โซมาติก หมายเลข 04

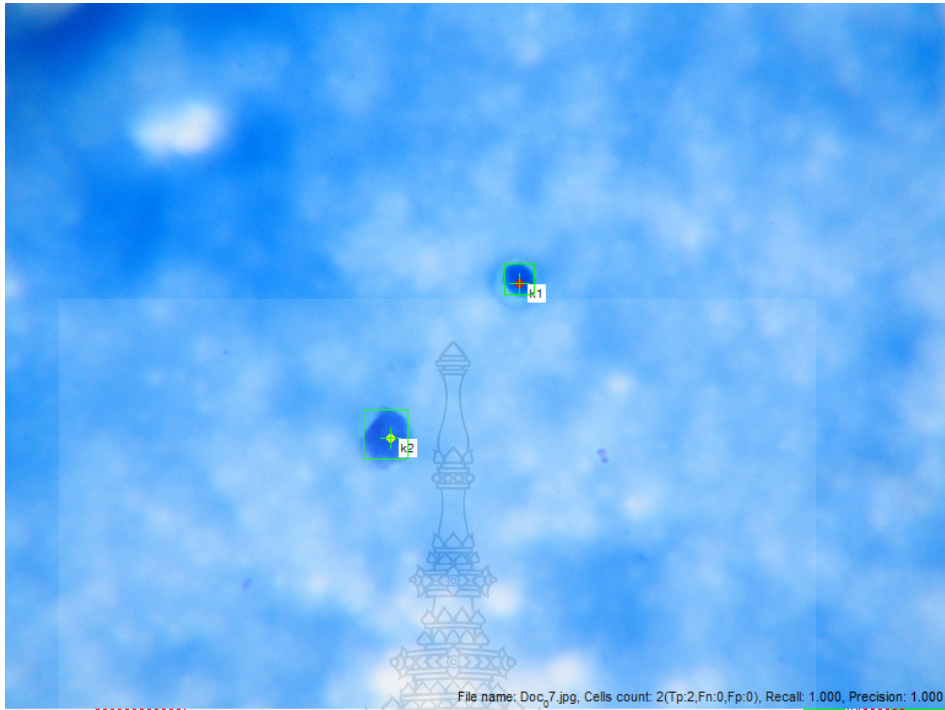


รูปที่ ๓.5 เซลล์โซมาติก หมายเลข 05

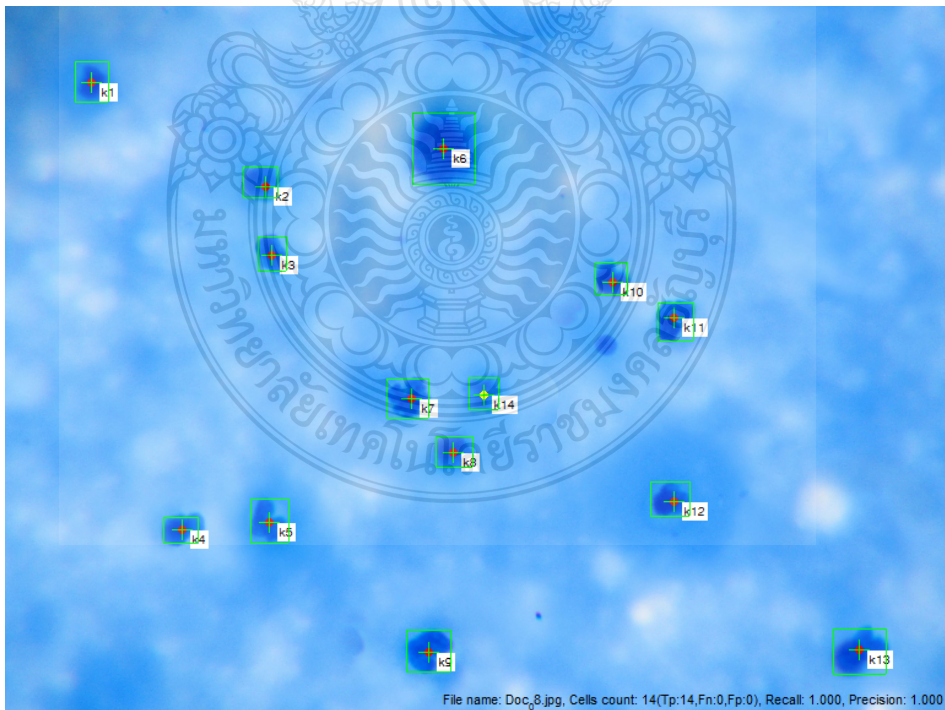


รูปที่ ๓.6 เซลล์โซมาติก หมายเลข 06

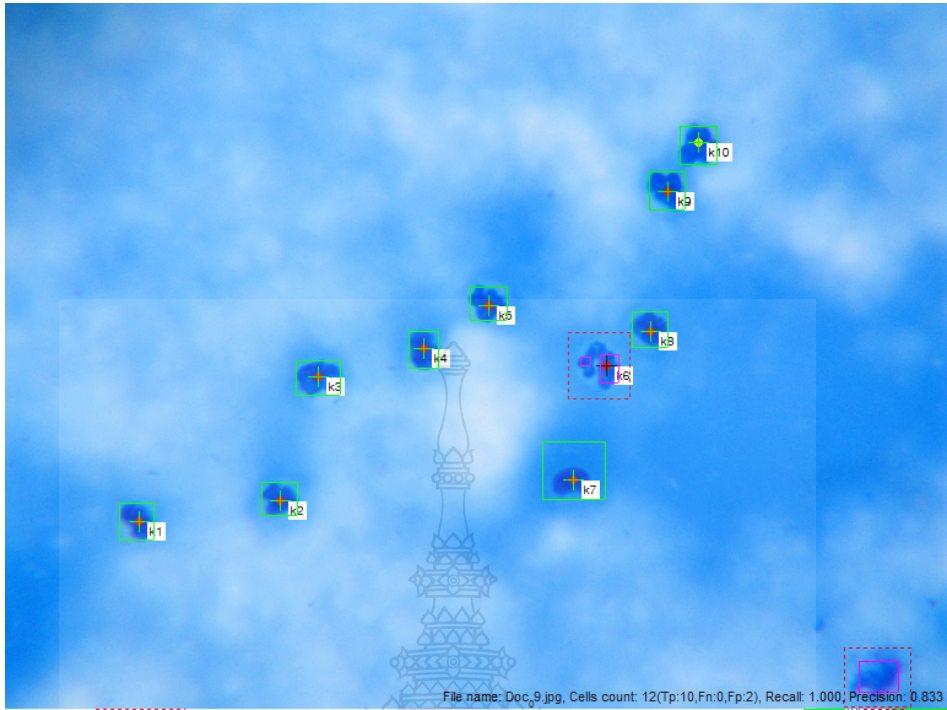




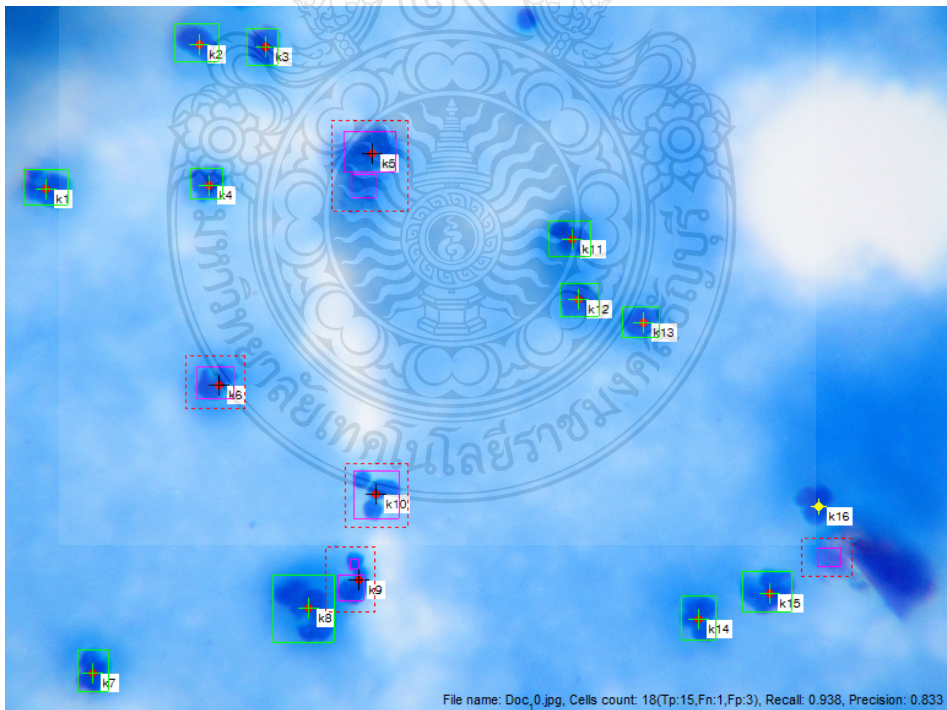
รูปที่ ๗.๗ เซลล์โซมาติก หมายเลข 07



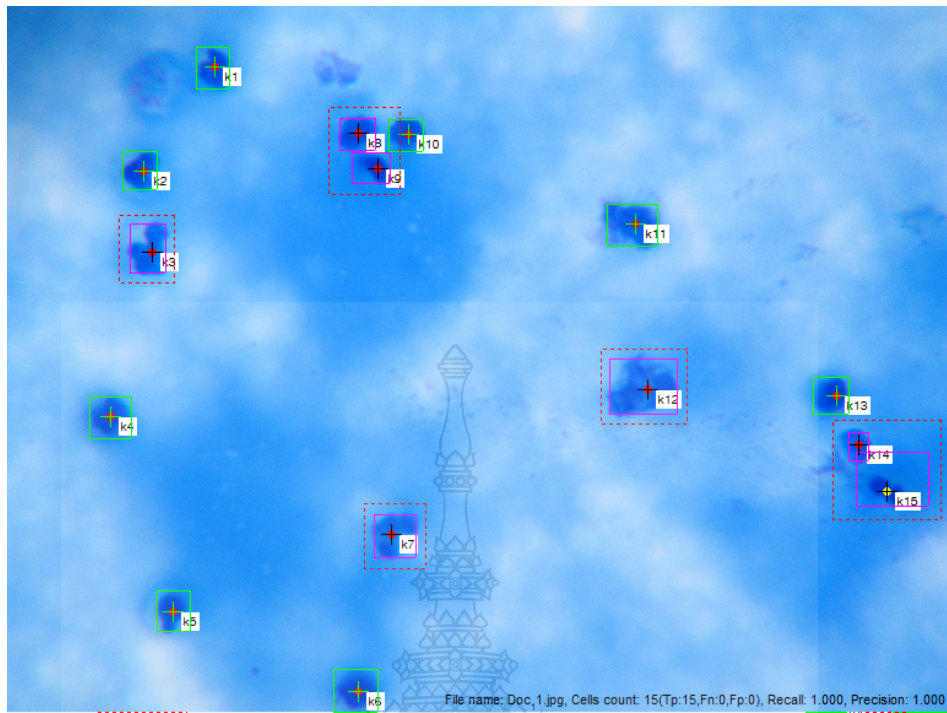
รูปที่ ๗.๘ เซลล์โซมาติก หมายเลข 08



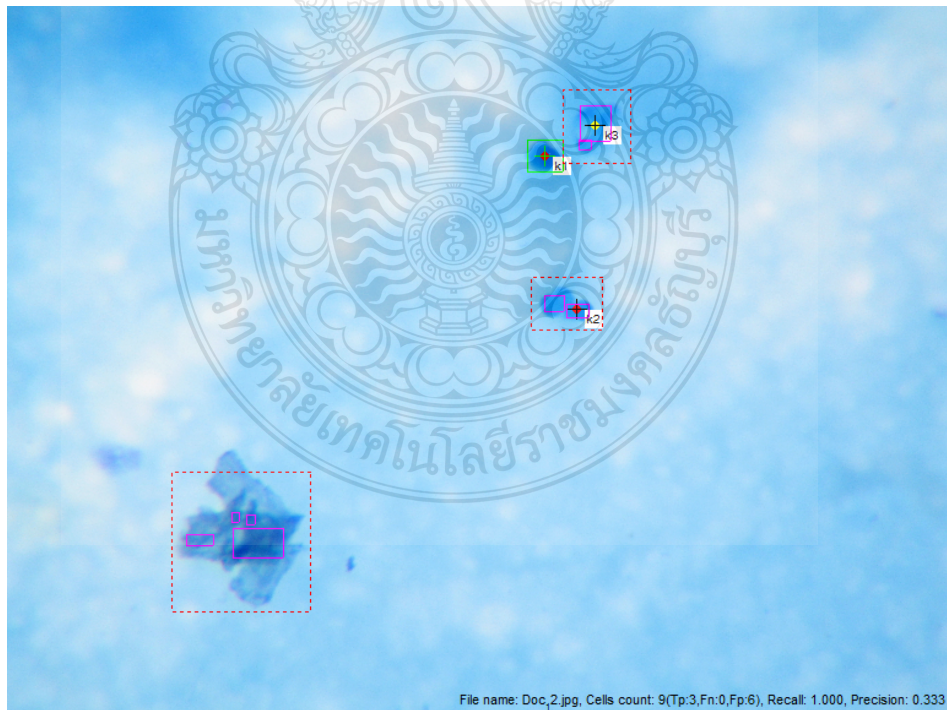
รูปที่ ๙.๙ เซลล์โซมาติก หมายเลข 09



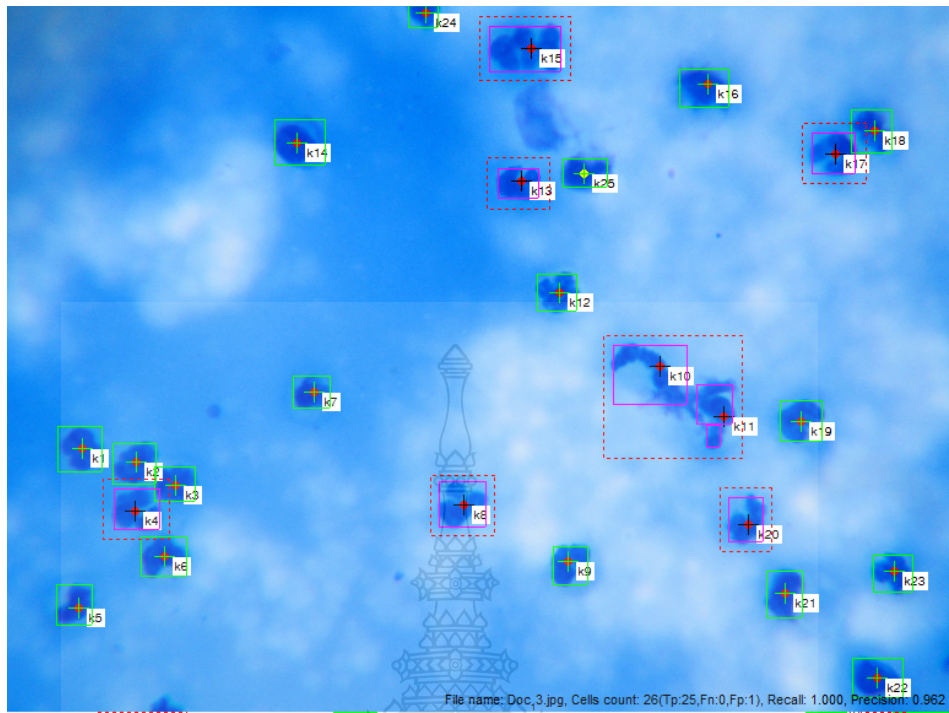
รูปที่ ๙.10 เซลล์โซมาติก หมายเลข 10



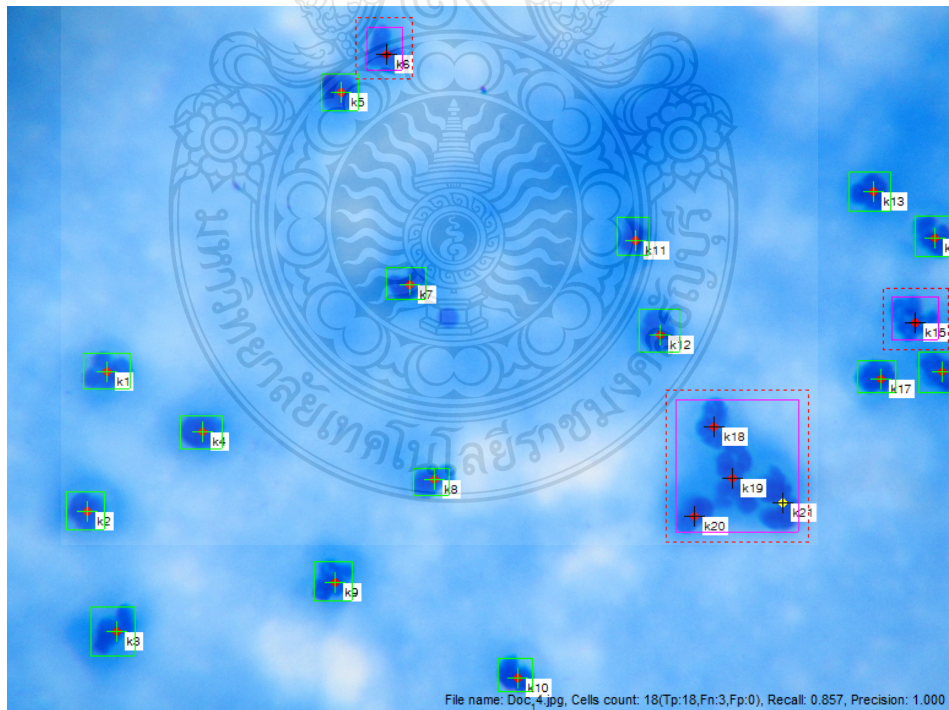
รูปที่ ค.11 เซลล์โซมาติก หมายเลข 11



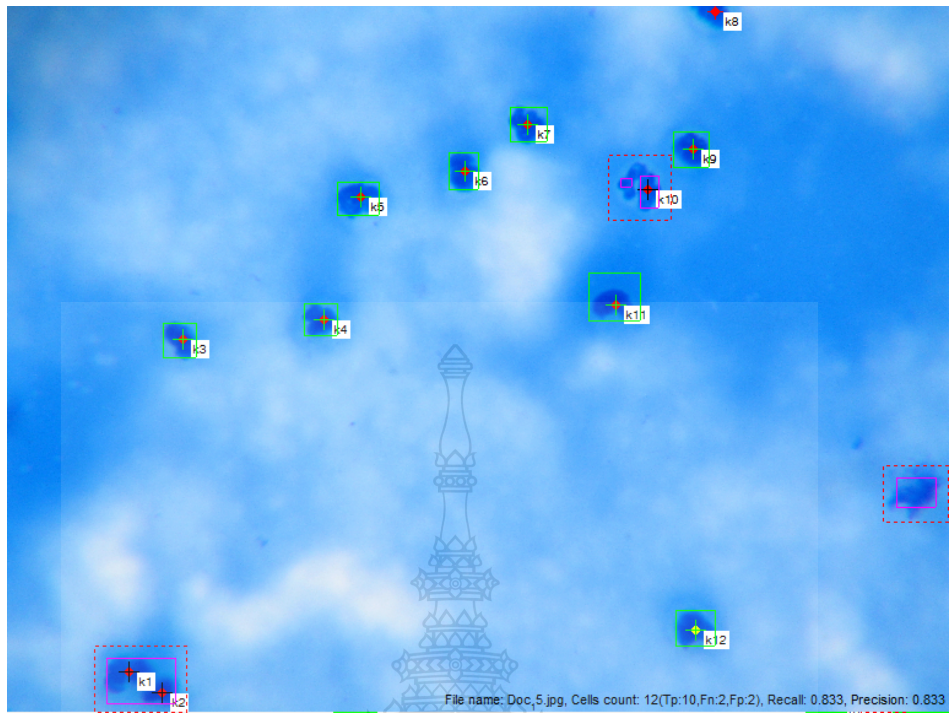
รูปที่ ค.12 เซลล์โซมาติก หมายเลข 12



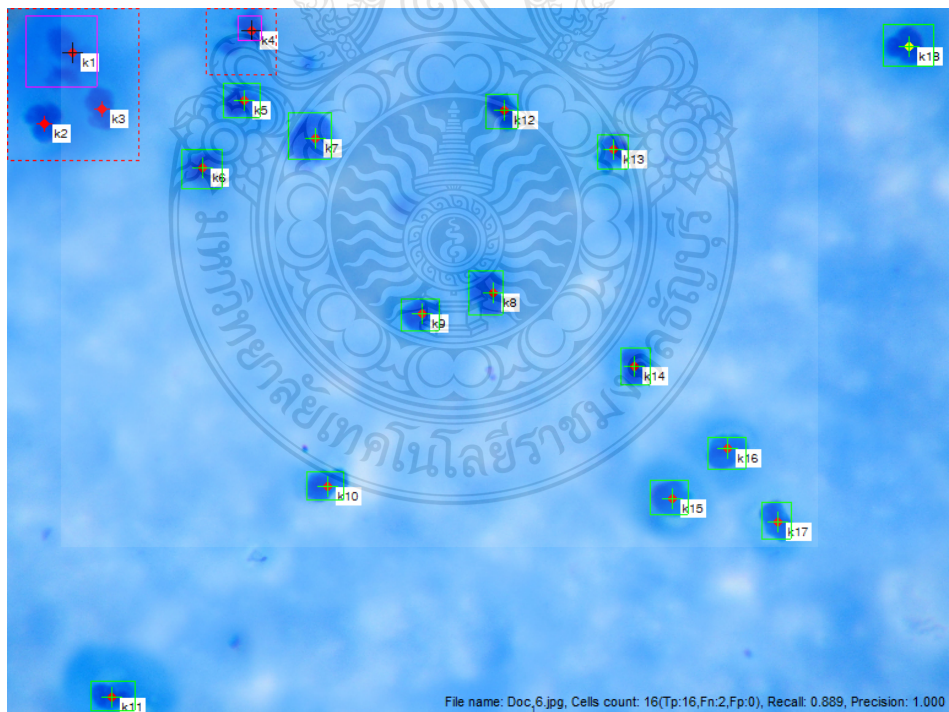
รูปที่ ค.13 เซลล์โซมาติก หมายเลข 13



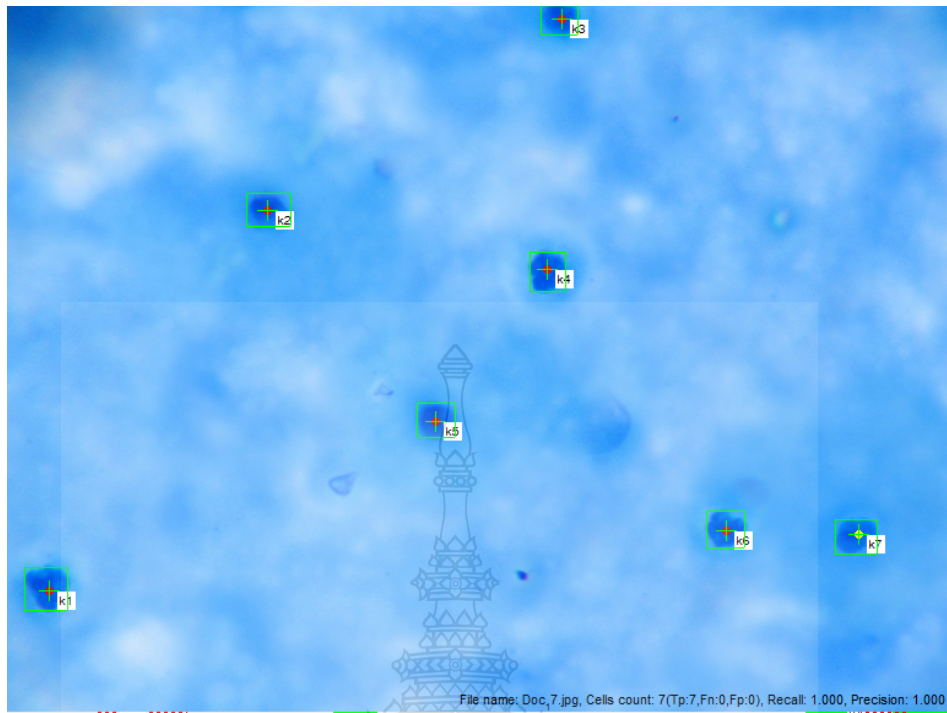
รูปที่ ค.14 เซลล์โซมาติก หมายเลข 14



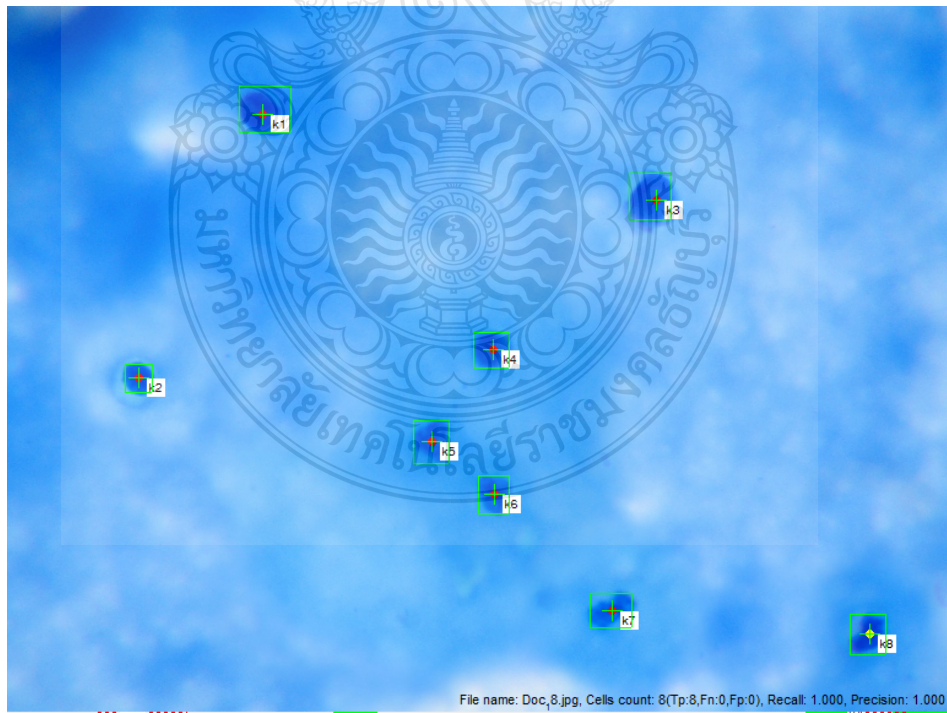
รูปที่ ค.15 เซลล์โซมาติก หมายเลข 15



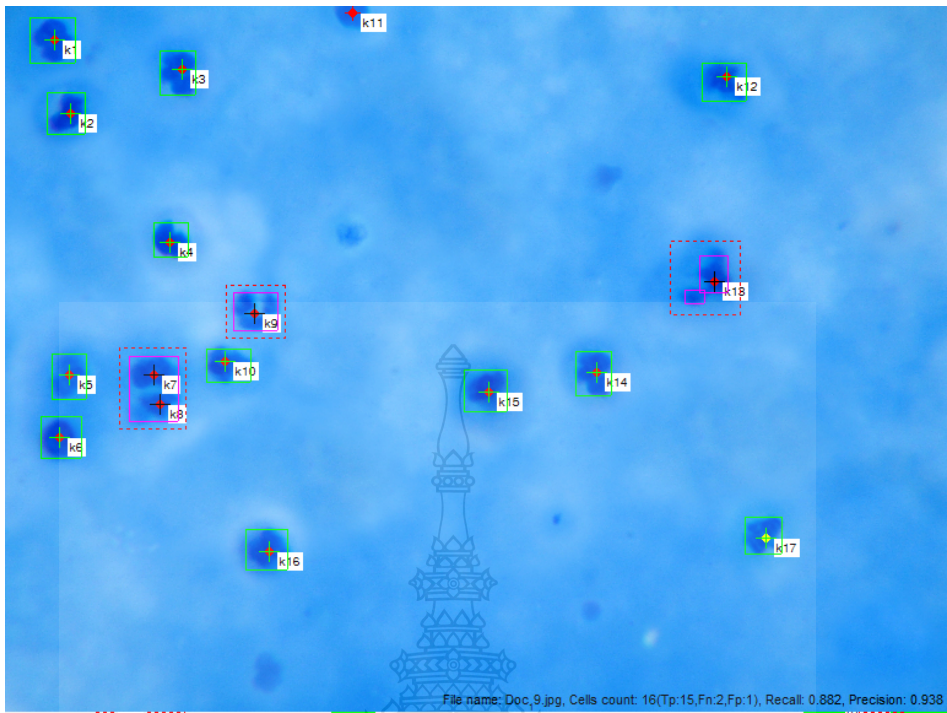
รูปที่ ค.16 เซลล์โซมาติก หมายเลข 16



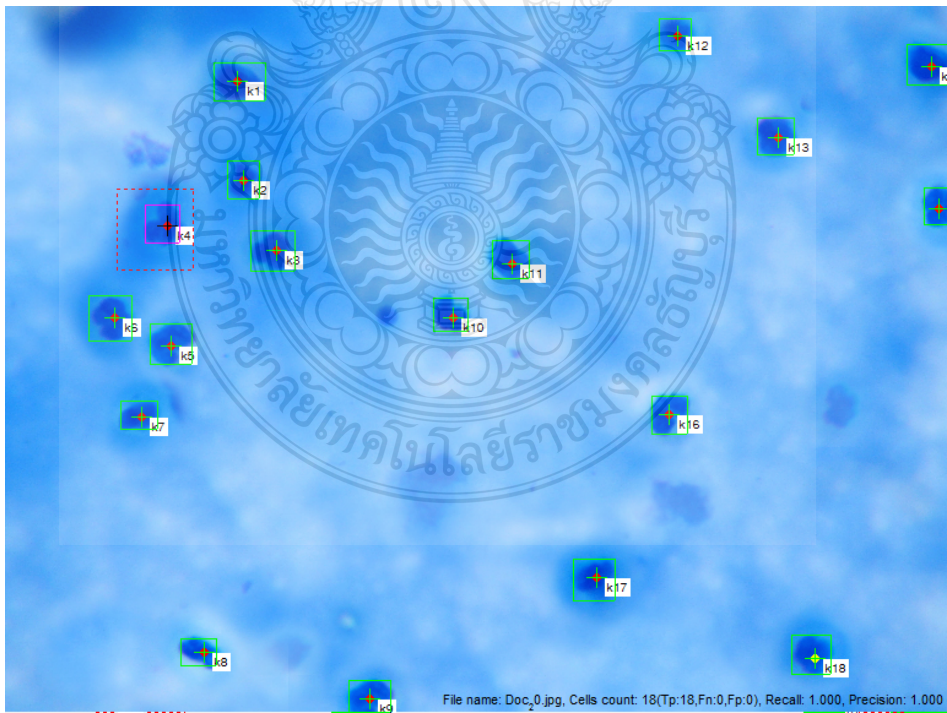
รูปที่ ค.17 เซลล์โซมาติก หมายเลข 17



รูปที่ ค.18 เซลล์โซมาติก หมายเลข 18



รูปที่ ค.19 เซลล์โซมาติก หมายเลข 19



รูปที่ ค.20 เซลล์โซมาติก หมายเลข 20



ภาคผนวก ง

ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่น



ตารางที่ ง.1 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของส่วนประกอบเซลล์ติดกัน

| ลำดับ | Image No. | Object No. | ระดับพิกเซล ( $I_{Nuc.}$ ) | ระดับพิกเซล ( $I_{Cyt.}$ ) | ระยะทาง ( $Dist$ ) | ผลการพิจารณา (Expert) |
|-------|-----------|------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 1     | 1         | k2         | 82                         | 102                        | 2.8284             | Merge                 |
| 2     | 2         | k1         | 75                         | 75                         | 7.0711             | Merge                 |
| 3     | 2         | k1         | 80                         | 90                         | 10.198             | Split                 |
| 4     | 2         | k19        | 86                         | 91                         | 5                  | Merge                 |
| 5     | 2         | k24        | 87                         | 95                         | 5.6569             | Split                 |
| 6     | 2         | k25        | 74                         | 74                         | 5.6569             | Merge                 |
| 7     | 2         | k25        | 74                         | 77                         | 12.042             | Merge                 |
| 8     | 2         | k25        | 80                         | 95                         | 4.4721             | Split                 |
| 9     | 2         | k26        | 88                         | 104                        | 7.6158             | Split                 |
| 10    | 2         | k26        | 76                         | 84                         | 7                  | Merge                 |
| 11    | 3         | k2         | 73                         | 115                        | 2                  | Split                 |
| 12    | 3         | k3         | 83                         | 107                        | 3                  | Merge                 |
| 13    | 3         | k3         | 110                        | 116                        | 5                  | Merge                 |
| 14    | 3         | k10        | 82                         | 82                         | 3.1623             | Merge                 |
| 15    | 4         | k2         | 63                         | 98                         | 36.056             | Split                 |
| 16    | 4         | k2         | 63                         | 98                         | 8.9443             | Split                 |
| 17    | 4         | k2         | 63                         | 98                         | 2                  | Split                 |
| 18    | 4         | k2         | 83                         | 83                         | 10.296             | Merge                 |
| 19    | 4         | k2         | 63                         | 88                         | 9.2195             | Split                 |
| 20    | 4         | k2         | 83                         | 93                         | 17                 | Split                 |
| 21    | 5         | k2         | 70                         | 91                         | 5                  | Merge                 |
| 22    | 5         | k3         | 72                         | 96                         | 5                  | Merge                 |
| 23    | 5         | k3         | 72                         | 100                        | 3                  | Merge                 |
| 24    | 5         | k10        | 71                         | 95                         | 7.6158             | Split                 |
| 25    | 6         | k1         | 83                         | 89                         | 4.2426             | Merge                 |
| 26    | 9         | k7         | 82                         | 97                         | 16.492             | Merge                 |

| ลำดับ | Image<br>No. | Object<br>No. | ระดับฟิกเชล<br>( $I_{Nuc.}$ ) | ระดับฟิกเชล<br>( $I_{Cyt.}$ ) | ระยะทาง<br>( $Dist$ ) | ผลการพิจารณา<br>(Expert) |
|-------|--------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 27    | 10           | k9            | 74                            | 98                            | 10.44                 | Merge                    |
| 28    | 10           | k10           | 78                            | 103                           | 5                     | Merge                    |
| 29    | 10           | k11           | 91                            | 131                           | 2.2361                | Merge                    |
| 30    | 10           | k11           | 91                            | 123                           | 2.2361                | Merge                    |
| 31    | 11           | k7            | 74                            | 74                            | 9.2195                | Merge                    |
| 32    | 11           | k7            | 74                            | 109                           | 5.099                 | Split                    |
| 33    | 11           | k8            | 79                            | 91                            | 10.198                | Merge                    |
| 34    | 11           | k11           | 75                            | 100                           | 3.6056                | Merge                    |
| 35    | 11           | k11           | 75                            | 95                            | 8                     | Merge                    |
| 36    | 11           | k13           | 58                            | 66                            | 6.3246                | Merge                    |
| 37    | 11           | k13           | 66                            | 110                           | 6.4031                | Split                    |
| 38    | 12           | k9            | 113                           | 125                           | 5.3852                | Merge                    |
| 39    | 13           | k3            | 72                            | 81                            | 4.1231                | Merge                    |
| 40    | 13           | k3            | 81                            | 87                            | 5.3852                | Merge                    |
| 41    | 13           | k11           | 78                            | 113                           | 3                     | Merge                    |
| 42    | 13           | k13           | 69                            | 89                            | 5                     | Merge                    |
| 43    | 13           | k14           | 67                            | 83                            | 6.7082                | Merge                    |
| 44    | 13           | k19           | 72                            | 87                            | 8.0623                | Merge                    |
| 45    | 13           | k19           | 87                            | 92                            | 5.3852                | Merge                    |
| 46    | 13           | k19           | 92                            | 107                           | 17                    | Split                    |
| 47    | 13           | k19           | 92                            | 107                           | 60.811                | Split                    |
| 48    | 13           | k19           | 92                            | 107                           | 3.6056                | Merge                    |
| 49    | 13           | k24           | 59                            | 89                            | 2.2361                | Merge                    |
| 50    | 14           | k13           | 64                            | 69                            | 8.6023                | Merge                    |
| 51    | 14           | k13           | 69                            | 74                            | 7                     | Split                    |
| 52    | 14           | k13           | 69                            | 79                            | 4.2426                | Merge                    |

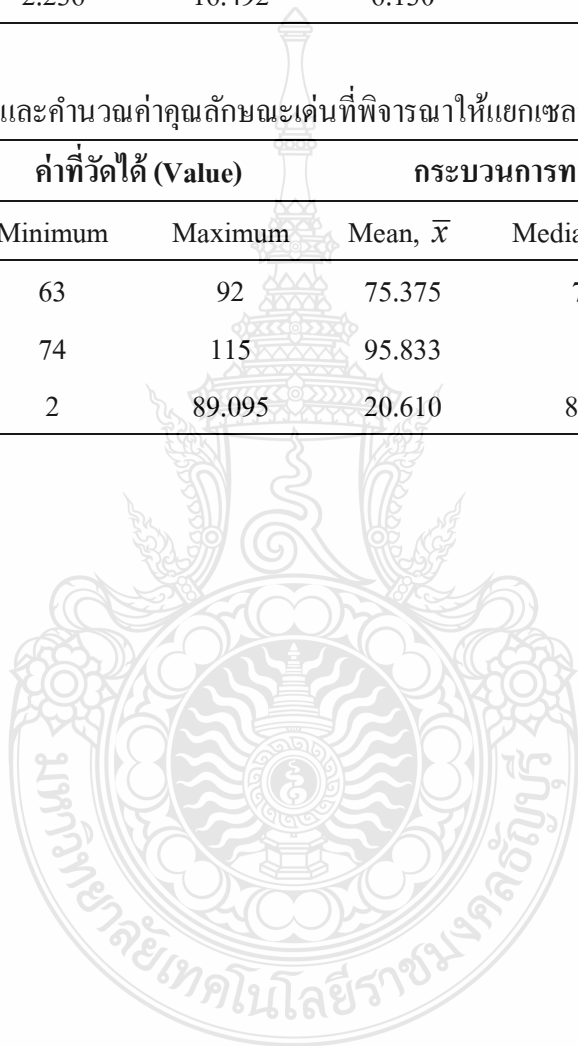
| ลำดับ | Image<br>No. | Object<br>No. | ระดับพิกเซล<br>( $I_{Nuc.}$ ) | ระดับพิกเซล<br>( $I_{Cyt.}$ ) | ระยะทาง<br>( $Dist$ ) | ผลการพิจารณา<br>(Expert) |
|-------|--------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 53    | 14           | k13           | 69                            | 89                            | 88.057                | Split                    |
| 54    | 14           | k13           | 74                            | 89                            | 5.831                 | Split                    |
| 55    | 14           | k13           | 79                            | 89                            | 77.795                | Split                    |
| 56    | 14           | k13           | 79                            | 89                            | 5                     | Split                    |
| 57    | 14           | k13           | 79                            | 89                            | 89.095                | Split                    |
| 58    | 14           | k13           | 69                            | 89                            | 8.544                 | Split                    |
| 59    | 14           | k16           | 76                            | 92                            | 3.6056                | Merge                    |
| 60    | 15           | k1            | 60                            | 75                            | 10                    | Merge                    |
| 61    | 15           | k1            | 75                            | 80                            | 9.2195                | Split                    |
| 62    | 15           | k8            | 80                            | 95                            | 15.297                | Merge                    |
| 63    | 16           | k1            | 76                            | 76                            | 7.2111                | Merge                    |
| 64    | 16           | k1            | 76                            | 80                            | 12.53                 | Merge                    |
| 65    | 16           | k4            | 64                            | 64                            | 5                     | Merge                    |
| 66    | 19           | k6            | 70                            | 78                            | 5                     | Merge                    |
| 67    | 19           | k6            | 78                            | 110                           | 4                     | Split                    |
| 68    | 19           | k10           | 84                            | 104                           | 2.8284                | Merge                    |
| 69    | 19           | k10           | 84                            | 120                           | 2.2361                | Merge                    |
| 70    | 19           | k14           | 65                            | 97                            | 4.4721                | Merge                    |

ตารางที่ ง.2 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้รวมเซลล์ (Merge cells)

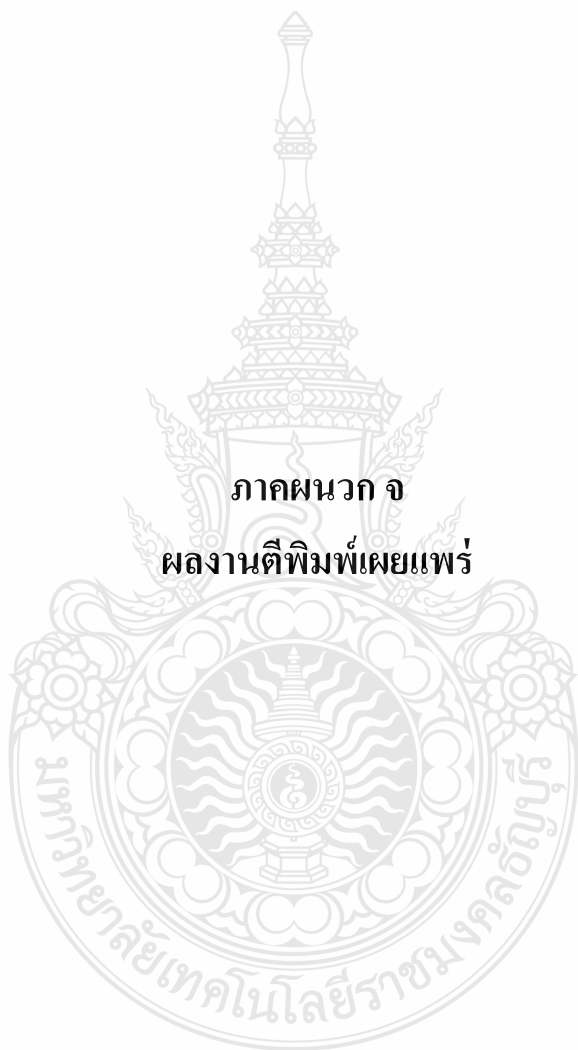
| คุณลักษณะเด่น<br>(FV) | ค่าที่วัดได้ (Value) |         | กระบวนการทางสถิติ (Statistics) |                    |                 |
|-----------------------|----------------------|---------|--------------------------------|--------------------|-----------------|
|                       | Minimum              | Maximum | Mean, $\bar{x}$                | Median, <i>Mdn</i> | Mode, <i>Mo</i> |
| $I_{Nuc.}$            | 58                   | 113     | 77.326                         | 76                 | 72              |
| $I_{Cyt.}$            | 64                   | 131     | 91.891                         | 91                 | 89              |
| <i>Dist</i>           | 2.236                | 16.492  | 6.130                          | 5                  | 5               |

ตารางที่ ง.3 ผลการวัดและคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นที่พิจารณาให้แยกเซลล์ (Split cells)

| คุณลักษณะเด่น<br>(FV) | ค่าที่วัดได้ (Value) |         | กระบวนการทางสถิติ (Statistics) |                    |                 |
|-----------------------|----------------------|---------|--------------------------------|--------------------|-----------------|
|                       | Minimum              | Maximum | Mean, $\bar{x}$                | Median, <i>Mdn</i> | Mode, <i>Mo</i> |
| $I_{Nuc.}$            | 63                   | 92      | 75.375                         | 74.5               | 63              |
| $I_{Cyt.}$            | 74                   | 115     | 95.833                         | 95                 | 89              |
| <i>Dist</i>           | 2                    | 89.095  | 20.610                         | 8.080              | 2               |



ภาคผนวก จ  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

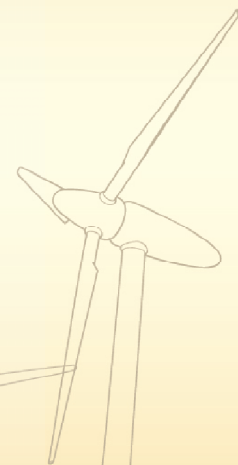


การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
The 38<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-38)



**UTCC** University of the Thai Chamber of Commerce  
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)  
ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)  
ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)  
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)  
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)  
ไฟโตนิคส์ (PH)  
วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)  
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)



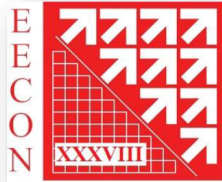
**Volume II**  
AEC Synergy

วันที่ ๑๘ - ๒๐ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๘  
โรงแรมวารบุรี อโยธยา คอนเวนชั่น รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



**UTCC**  
School of Engineering  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

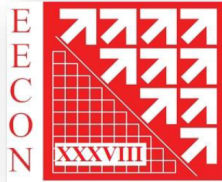




คณะกรรมการ  
สภาวิศวกรวิศวกรรมไฟฟ้าแห่งประเทศไทย  
ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๘



- ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกฒาลิน  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ศ.ดร.อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- รศ.ดร.ชัยวุฒิ นัตริอุทัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- รศ.ดร.อริคม ฤกษ์บุตร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- ผศ.ดร.สมชัย หิรัญไธม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- ผศ.เดชา วิไลรัตน์  
มหาวิทยาลัยมหิดล
- ผศ.พินิจ เทพสาธิต  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- อ.ธนวิชญ์ ชุติกาวิทย์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



คณะกรรมการจัดการประชุม  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม

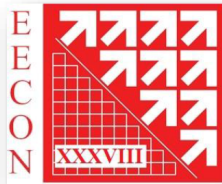
ผศ.ดร.ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ผู้แทนสถาบันกรรมการสามัญ

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| ผศ.ดร.วันชัย นิมฉวี             | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                             |
| ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว            | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง     |
| อ.บุญช่วย ทรัพย์มันชัย          | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                              |
| ผศ.ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                             |
| อ.ยศนัย ศรีอุทัยศิริวงศ์        | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                               |
| อ.ดร.เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพนากุล | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                           |
| ผศ.ดร.สาคร โพธิ์งาม             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี              |
| อ.ดร.ไกรสร ไชยขาววงศ์           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ         |
| ผศ.ดร.ประมินทร์ อัจฉฤทธิ์       | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                                 |
| ผศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี                 |
| อ.ดร.สมมาตร แสงเงิน             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                         |
| ผศ.ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์     | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                              |
| รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์            | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                         |
| ผศ.วันชัย จันไกรผล              | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                                 |
| อ.ดร.สุพรรณ ทิพย์ทิพากร         | มหาวิทยาลัยมหิดล                                   |
| ผศ.ดร.ยงยุทธ นาราชฎี            | มหาวิทยาลัยสยาม                                    |
| อ.ดร.จักรพงษ์ สุชาภุชกุล        | มหาวิทยาลัยกรุงเทพ                                 |
| ดร.ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร        | ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ |
| ผศ.ดร.วรการ วงศ์สายเชื้อ        | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                             |
| รศ.บุญเลิศ สือเฉย               | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                           |
| อ.สุธี รุขพันธ์                 | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                              |





คณะกรรมการจัดการประชุม

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



ผศ.ดร.อดิศักดิ์ กาญจนพถกัย

ผศ.ดร.มูทิตา สงฆ์จันทร์

อ.ดร.มณฑล นาวงษ์

ผศ.ปฎิภาณ เกิดลาภ

ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

อ.ณรงค์ นันทกุล

อ.ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ

รศ.ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

รศ.ดร.ภาณุ เกิดชื่น

รศ.ดร.กิตติ อัดถกกิจมงคล

ผศ.ดร.ภักวิวัฒน์ จันทร์ตรี

มหาวิทยาลัยรังสิต

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

มหาวิทยาลัยพะเยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผู้แทนสถาบันกรรมการสมทบ

รศ.ดร.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

อ.ดร.ทัศนัย ภาธรรัตน์

ผศ.ดร.กัณฑ์พงษ์ ศรีสถิตย์

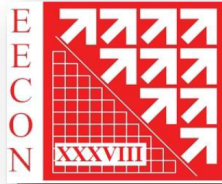
อ.ปิยะนัฐ ใจตรง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยธนบุรี



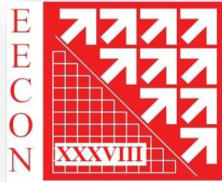
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



สาขาไฟฟ้ากำลัง (PW)

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| ผศ.ดร.วินชัย นิมนต์            | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| ศ.ดร.อิสระชัย งามทร            | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผศ.ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์   | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| รศ.ดร.ตฤณ แสงสุวรรณ            | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| ผศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| รศ.ดร.กীরดี ชยะกุลศิริ         | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| อ.ดร.ชรรมาฤทธิ์ สิงห์วิลัย     | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| รศ.บุญเลิศ สือเฉย              | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                       |
| ผศ.ดร.สมบูรณ์ นุชประยูร        | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| รศ.อำนาจ สุขศรี                | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| อ.ดร.วิวัฒน์ ทิพจร             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| รศ.ดร.กานต์ เกิดชื่น           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| อ.ดร.เชิดชัย ประภาณวัฒน์       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| ผศ.ดร.ธีรธรรม บุญยะกุล         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| ผศ.ดร.สลิลทิพย์ สินธุสุนธิชาติ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| อาจารย์ ดร.คณิตร์ มาตรา        | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| อ.ดร.คมสันต์ ตาโรจน์           | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| ผศ.ดร.บงกช สุขอนันต์           | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| ผศ.ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์      | มหาวิทยาลัยนครสวรรค์                           |
| ผศ.ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษ์         | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์                      |
| ผศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| ผศ.ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม          | มหาวิทยาลัยสยาม                                |
| รศ.ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ             |
| ผศ.ดร.จงลักษณ์ พาหะชา          | มหาวิทยาลัยพะเยา                               |
| ผศ.ดร.ประมุข อุดมเลขกะ         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ          |
| ผศ.ดร.นันทิยา ชัยบุศร          | มหาวิทยาลัยกรุงเทพ                             |
| ผศ.ดร.วิญญู แสงสิงนสิกิจ       | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                          |
| ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร              |
| ผศ.ชนากาน นำหอมจันทร์          | มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย                     |



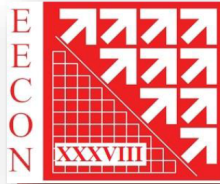
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| ผศ.ดร.เกษม อุทัยไขฟ้า           | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน         | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผศ.เจ็ดสกุล โสภานิตย์           | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| ผศ.ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| ผศ.ดร.วันชัย ททรัพย์สิงห์       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| ผศ.วันชัย จันไกรผล              | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| ผศ.ดร.ชัชวาลย์ เยาวบุตร         | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| ผศ.ชูเกียรติ พงษ์พานิช          | มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์                       |
| รศ.ดร.สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ  | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| ผศ.ดร.ปานหทัย บัวศรี            | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| ผศ.ดร.อุเทน คำน่าน              | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| อ.ดร.พินิจ ศรีธร                | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| ผศ.ดร.สาคร โพธิ์งาม             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| รศ.ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| รศ.ดร.เวทิน ปิยะรัตน์           | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| อ.ดร.ประชา คำภักดี              | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| ผศ.ดร.กุสมาลัย เฉลิมบานนท์      | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| อ.ยุทธนา จงเจริญ                | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์                      |
| ผศ.ดร.ก้องพล อารีรักษ์          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| รศ.ดร.ไพบูรณ์ นาคมหาสลาสินธุ์   | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          |
| ผศ.ดร.ยงยุทธ นาราชฎูร์          | มหาวิทยาลัยสยาม                                |
| อ.ดร.สายชล ชูดีเจือจีน          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ             |
| ดร.ดำรงศักดิ์ อมรเดชาพล         | มหาวิทยาลัยพะเยา                               |
| ผศ.ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ          |
| ผศ.อนุชิต เจริญ                 | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                          |
| อ.ดร.สาคร วุฒิพัฒนาพันธ์ุ       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร              |



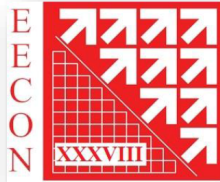
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| ผศ.ดร.สันต์ชัย รัตนนงษ์         | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| ศ.ดร.พรชัย ทวีพันธ์             | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| รศ.ดร.วาทิต เบญจพลกุล           | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| รศ.ดร.ศรียัตรา เจริญลาภานพรัตน์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| ผศ.ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| รศ.ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม            | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| รศ.ดร.พงศธร เศรษฐฐิธร           | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| รศ.ดร.อดิศักดิ์ มนต์ประภัสสร    | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                       |
| ผศ.ชราวล โกมลมีศรี              | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| ผศ.ดร.อาคม แก้วระวัง            | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| อ.ดร.ศุภกิต แก้วดวงดา           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| อ.ดร.วรรณเรย์ วงศ์ไตรรัตน์      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| ผศ.ดร.พินิจ กำหอม               | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| ศ.ดร.ประยูทธ อัครเอกฉลน         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| ผศ.ดร.สาวัสดี บุญยเวช           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| อ.ดร.กำพล วรดิษฐ์               | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| อ.ดร.ประสิทธิ์ นครราช           | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| อ.ดร.อิทธิศักดิ์ สุริยา         | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| ผศ.ดร.วิกรม ชีรภาพจรเดช         | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| อ.ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์        | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์                      |
| รศ.ดร.สมชาติ ไชคชัยธรรม         | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          |
| อ.พล.ท.ดร.สมพงษ์ ตุ่มสวัสดิ์    | มหาวิทยาลัยสยาม                                |
| ผศ.นิพนธ์ ทางทอง                | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ             |
| ผศ.ดร.ภัควิวัฒน์ จันทร์ตรี      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ          |
| อ.ดร.ปกรณ์ ยุกตโกศล             | มหาวิทยาลัยกรุงเทพ                             |



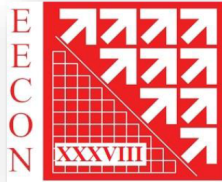
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| ผศ.ดร.ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร      | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| ศ.ดร.วันชัย วีรจุลา            | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผศ.ดร.สุชิน อรุณแส้วสัตว์วงศ์  | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| อ.ดร.เชาวลิต มิตรสันติสุข      | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| อ.ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล    | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| ผศ.ดร.นิมิต บุญภิรมย์          | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| อ.ดร.พัฒนาช พัทนะศรี           | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| รศ.ดร.เดชา พวงดาวเรือง         | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                       |
| ผศ.ดร.บุญศรี แก้วคำอ้าย        | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| ผศ.ดร.อาณาภาพ มีสมบูรณ์        | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| รศ.ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| ผศ.ดร.วันจักร์ เล่นวารี        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| รศ.ดร.สุชนันต์ นุ่นงาม         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| ผศ.ดร.วีระชัย มาลัยเวช         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| อ.ดร.กฤษชัย วิถีพานิช          | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| ผศ.ดร.มงคล ปุษยตานนท์          | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| ผศ.ดร.มุขิตา สงฆ์จันทร์        | มหาวิทยาลัยนเรศวร                              |
| ผศ.ดร.ก้องพันธ์ อารีรักษ์      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| ผศ.ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์    | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          |
| ผศ.ดร.สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล | มหาวิทยาลัยพะเยา                               |
| ผศ.ดร.ปรีชา สาคะรังค์          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ          |
| อ.ณรรรม เกิดสว่างค์            | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                          |
| ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร              |



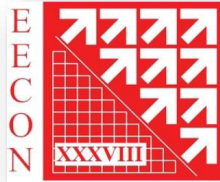
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



สาขาอิเล็กทรอนิกส์ (EL)

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| ผศ.สุภานันท์ ตันวรรณรักษ์   | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| รศ.ดร.วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| รศ.ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์   | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| ผศ.ดร.ชูเกียรติ การเกตุ     | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| ผศ.ดร.อำนาจ เรืองวารี       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| ผศ.ดร.สัญญา คุณขาว          | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| อ.ดร.สุโชค ธนพิทักษ์        | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| รศ.ดร.อิทธิพงษ์ ชัยสายัณห์  | มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์                       |
| ผศ.ดร.นิภาภรณ์ ศิริพล       | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| อ.ดร.สถาพร พรพรหมลิขิต      | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| ผศ.ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| ผศ.ดร.สมชาย ศรีสกุลเดี่ยว   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| ผศ.ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล     | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| รศ.ดร.บัลลังก์ เนียมมณี     | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| ผศ.ดร.ธีรยศ เวียงทอง        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| ผศ.ศิริพงษ์ ฉายสินธุ์       | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| ผศ.ดร.ชินษฐา แก้วแดง        | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| รศ.ดร.ภาณุมาศ คำสัตย์       | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| ผศ.ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา     | มหาวิทยาลัยนครสวรรค์                           |
| รศ.ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์      | มหาวิทยาลัยสยาม                                |
| ผศ.สุภาณ พลสิงห์            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ             |
| รศ.เนภัทร วัฒนเทพินทร์      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ          |
| ผศ.โกศล นิธิโสภาค           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร              |



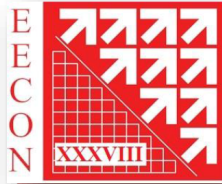
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)

|                              |  |
|------------------------------|--|
| ผศ.ดร.วรินทร์ วงษ์มณี        | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพฑูริย์ | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผศ.ดร.สุภาวดี อารัมวิทย์     | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| รศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล       | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ          | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| อ.ดร.พรชัย ชันยากร           | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| ผศ.สมศักดิ์ สิริไปรวานนท์    | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                       |
| รศ.ดร.นิพนธ์ ธีรอำพน         | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| รศ.ดร.วีระสิทธิ์ อิ่มถวิล    | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| อ.ดร.เนพล มณีไศย             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| อ.ดร.ประจวบ อินระวงศ์        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| รศ.ดร.บัณฑิต ทิพากร          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| ผศ.ดร.วิไลพร แซ่ลี           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| รศ.ดร.พีระพล ยูวภูษิตานนท์   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| ผศ.ดร.วรการ วงศ์สายเชื้อ     | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| รศ.ดร.พรชัย พฤษภักทราพันธ์   | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| ผศ.ดร.อัศวิน วงศ์กั้งแห      | มหาวิทยาลัยนเรศวร                              |
| รศ.ดร.บงการ หอมน่าน          | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์                      |
| รศ.ดร.กิตติ อัดถกิมงคล       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| อ.ดร.ทัศนีย์ พลอยสุวรรณ      | มหาวิทยาลัยสยาม                                |
| ดร.ชนาทิพย์ จันทร์คง         | มหาวิทยาลัยพะเยา                               |
| รศ.ดร.สมเกียรติ อุดมหรธากุล  | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ          |
| ผศ.ดร.วิศาล พัฒน์ชู          | มหาวิทยาลัยกรุงเทพ                             |
| อ.ธีรยุทธ จันทร์แจ่ม         | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                          |

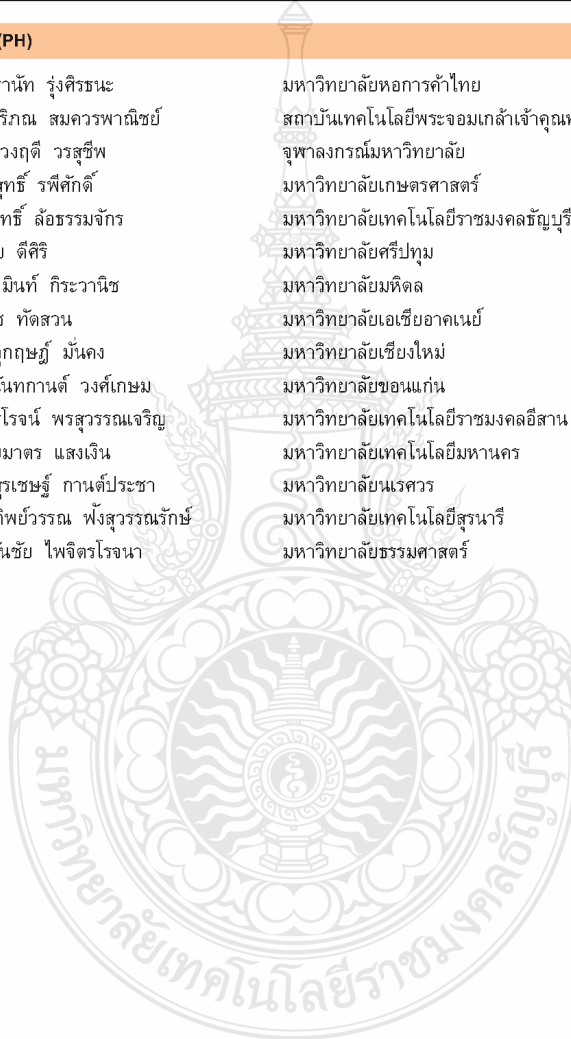


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)

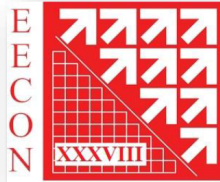


สาขาไฟโตนิกส์ (PH)

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| ผศ.ดร.ธานี รุ่งศิริชนะ         | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| รศ.ดร.สุวิภาณ สมควรพาณิชย์     | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| รศ.ดร.ดวงฤดี วรสุชีพ           | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| อ.ดร.พิสุทธิ รพีศักดิ์         | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| อ.ดร.วิสิทธิ์ ล้อธรรมจักร      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| อ.เอกชัย ดีศิริ                | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| รศ.ดร.ภูมินทร์ กิระวานิช       | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| รศ.สิริวิษ ทัตสวน              | มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์                       |
| ผศ.ดร.อุกฤษฏ์ มั่นคง           | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| รศ.ดร.นันทกานต์ วงศ์เกษม       | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| อ.ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| อ.ดร.สมมาตร แสงเงิน            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| ผศ.ดร.สุเชษฐ์ กานต์ประชา       | มหาวิทยาลัยนเรศวร                              |
| ผศ.ดร.ทิพย์วรรณ ฟังสุวรรณรักษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| รศ.ดร.วันชัย ไพจิตรโรจนา       | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          |







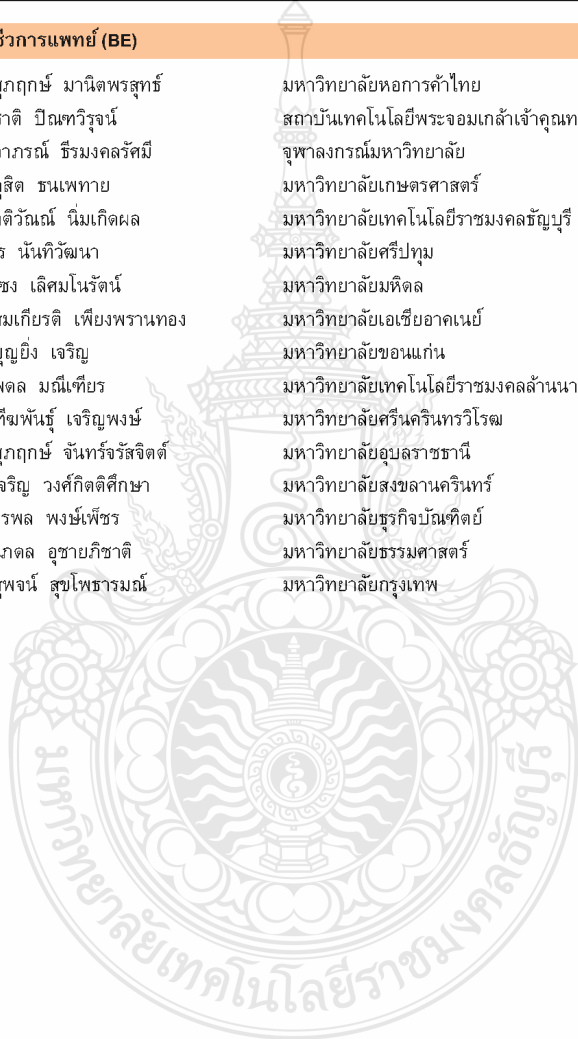
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

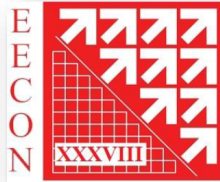
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

|                              |  |
|------------------------------|--|
| ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์  | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| อ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์      | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผศ.ดร.อาภรณ์ ชีรมงคลรัมย์    | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| ผศ.ดร.ดุสิต ธนเพทาย          | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| อ.ดร.กิตติวัฒน์ นิมเกิดผล    | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| ผศ.เพชร นันทวิวัฒนา          | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| ผศ.ดร.เชิง เลิศมโนรัตน์      | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| ผศ.ดร.สมเกียรติ เพียงพรานทอง | มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์                       |
| ผศ.ดร.บุญยิ่ง เจริญ          | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| อ.ดร.นพดล มณีไศยร            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| ผศ.ดร.ศิมพันธ์ุ เจริญพงษ์    | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ จันทร์จรสจิตต์ | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| รศ.บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา   | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| ผศ.ดร.วรพล พงษ์เพชร          | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต                        |
| รศ.ดร.เนกมล อุชายภิชชาติ     | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          |
| ผศ.ดร.สุพจน์ สุขไพธารมณ      | มหาวิทยาลัยกรุงเทพ                             |





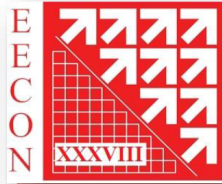
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| ผศ.ณัฐฐา พุกษ์กานนท์            | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| ผศ.ดร.สุรินทร์ กิตติขจรกุล      | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผศ.ดร.วันเฉลิม โปธา             | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์        | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| อ.ดร.ศิริชัย เตรียมล้ำเลิศ      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| อ.ดร.วนายุทธ์ แสนเงิน           | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| อ.ดร.ก่อพร พันธุ์ยิ้ม           | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| ผศ.น.อ.ไชโย ชรรมรัตน์ ร.น.      | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                       |
| รศ.ดร.เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| อ.ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| อ.ดร.ถนอมศักดิ์ โสภณ            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| รศ.ดร.ธำรงรัตน์ อมรรักษา        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| รศ.ดร.วรา วราวิทย์              | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| ผศ.ดร.ธันวาท ศรีประโม่ง         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| ผศ.ดร.สมภพ รอดอัมพร             | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| รศ.ดร.ณัฐชา จินดาเพชร           | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| อ.ดร.สุรเดช จิตประไพกุลศาล      | มหาวิทยาลัยนเรศวร                              |
| อ.ดร.ณรงค์เดช กิรติพพานนท์      | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์                      |
| ผศ.ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ             |
| ดร.พรเทพ ไรจนาสุ                | มหาวิทยาลัยพะเยา                               |
| อ.ดร.จักรพงษ์ สุชาภูษกุล        | มหาวิทยาลัยกรุงเทพ                             |
| อ.รัชกร อ่อนบุญเอื้อ            | มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย                     |



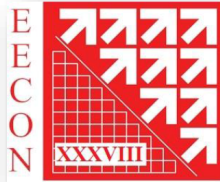
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขานิววิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| ผศ.ณัฐพร ฤทธิ์นุ้ม               | มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย                         |
| ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว           | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| รศ.ดร.มานะ ศรีบุทรศักดิ์         | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                          |
| ผศ.ดร.วชิระ จงบุรี               | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                         |
| ผศ.ดร.สมชัย หิรัญไวยอดม          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี             |
| ผศ.พศวีร์ ศรีโหมด                | มหาวิทยาลัยศรีปทุม                             |
| ผศ.ดร.อารณีย์ พันทะหวัด          | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| ผศ.วิชัย แซ่ลี                   | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                       |
| รศ.ดร.ยุพธนา ขำสุวรรณ            | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| รศ.กิตติพงษ์ ตันมิตร             | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             |
| อ.ดร.ยุพดี หัดถสิน               | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา              |
| ผศ.ดร.กฤติเดช บัวใหญ่            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน               |
| ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย            | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| รศ.ไชยยันต์ สุวรรณชีวะศิริ       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ     |
| รศ.ดร.สุเจตน์ จันทร์รัมย์        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร                     |
| ผศ.พินิจ เทพสาทร                 | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| ผศ.ดร.สุชิน ไตรวงศ์จิตเหมาะ      | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                         |
| อ.ดร.เกียรติศักดิ์ วงษ์โสฬษนากุล | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                       |
| ผศ.ดร.พนัส นฤฤทธิ์               | มหาวิทยาลัยนครสวรรค์                           |
| อ.ดร.มนชุต นาวงษ์                | มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์                      |
| ผศ.ดร.อนันท์ อุนศิริไธย์         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                    |
| รศ.ณรงค์ บวบทอง                  | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                          |
| ผศ.ไวยพจน์ คูบวรเสถียร           | มหาวิทยาลัยสยาม                                |
| อ.ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ   | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ             |
| รศ.ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย       | มหาวิทยาลัยพะเยา                               |
| อ.สุธี รุกขพันธ์                 | มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                          |
| ผศ.ทง ลานธารทอง                  | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร              |
| ผศ.ปฏิภาณ เกิดลาภ                | มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย                     |



คณะกรรมการดำเนินการ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)

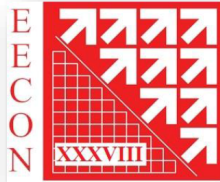


คณะที่ปรึกษา

|                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| รศ.ดร.เสาวณีย์ ไทยรุ่งโรจน์ | อธิการบดี                      |
| ผศ.ดร.พนารัช ปรีดาการณ์     | รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ        |
| ผศ.ดร.ชนวรธรณ์ พลวิชัย      | รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย          |
| ผศ.แนนน้อย ใจอ่อนนุ่ม       | รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร         |
| รศ.ดร.สถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา | รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา |
| รศ.ดร.วันชัย รัตนวงษ์       | คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์         |

คณะกรรมการดำเนินการ ฝ่ายสถาบันเจ้าภาพ

|                             |                              |                                 |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| ผศ.ดร.ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร   | ประธานคณะกรรมการดำเนินการ    | ฝ่ายบทความวิชาการ               |
| ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์ | กรรมการ                      | ฝ่ายประสานสัมพันธ์และต่างประเทศ |
| ผศ.ดร.ชานันท์ รุ่งศิริชนะ   | กรรมการ                      | ฝ่ายประสานสัมพันธ์และต่างประเทศ |
| ผศ.ดร.วันชัย ฉิมฉวี         | กรรมการ และ ผู้ช่วยเลขานุการ | ฝ่ายจัดหาผู้สนับสนุน            |
| ผศ.ดร.สันต์ชัย รัตนนนท์     | กรรมการ                      | ฝ่ายการเงินและลงทะเบียน         |
| ผศ.ณัฐพร ฤทธิ์นุ่ม          | กรรมการ และ เลขานุการ        | ฝ่ายสถานที่ จัดเลี้ยง และขนส่ง  |
| ผศ.ดร.เกษม อุทัยไขฟ้า       | กรรมการ                      | ฝ่ายนิทรรศการและของที่ระลึก     |
| อ.ภาคพงศ์ อมรกุล            | กรรมการ                      | ฝ่ายประชาสัมพันธ์และสนเทศ       |
| อ.อภิวัฒน์ แสงโนรี          | กรรมการ                      | ฝ่ายต้อนรับและกิจกรรม           |
| คุณ รัชนัยกร เจนภาษา        | ผู้ช่วยเลขานุการ             |                                 |



**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายบทความวิชาการ**

ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์ ประธานอนุกรรมการ  
ผศ.ดร.วรินทร์ วงษ์มณี  
ผศ.ดร.สุวรรณี อัครกุลชัย  
อ.ไชยยศ นุตล  
คุณ เบญญาทิพย์ ศรีเจริญ  
คุณ นพพร จันเพ็ง  
คุณ วิดีศักดิ์ จิตต์ไพบูลย์

ผศ.ณัฐชา พฤกษ์กานนท์  
คุณ สมพร สำอางค์ศรี

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายสถานที่ จัดเลี้ยง และขนส่ง**

ผศ.ณัฐพร ฤทธิ์นุ่ ประธานอนุกรรมการ  
ผศ.ดร.ชนะ เบียงกมลสิงห์  
อ.พัชรี จันทนบุผา  
คุณ อัญจวิไล ไหวพริบ

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายประสานสัมพันธ์และต่างประเทศ**

ผศ.ดร.ธานี รุ่งศิริชนะ ประธานอนุกรรมการ  
ผศ.ดร.วัชรวี จันทระประกายกุล  
อ.ดร.มณีสรา บารมีชัย  
อ.ชินรัตน์เนห์ กุลทนนท์  
คุณ อรรถพร รอดวิจิตร

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายนิทรรศการและของที่ระลึก**

ผศ.ดร.เกษม อุทัยไขฟ้า ประธานอนุกรรมการ  
ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร  
อ.เดวิช บรรเทา  
อ.ดร.ชรินทร์ สัจจวิทย์ทรัพย์  
คุณ อนุสรณ์ กาลดิษฐ์

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายจัดหาผู้สนับสนุน**

ผศ.ดร.วันชัย ฉิมฉวี ประธานอนุกรรมการ  
อ.ดร.ประพันธ์ศักดิ์ บูรณะประภา  
อ.น.ท.ดร.บุษยพงษ์ ปลื้มภิมภย์  
อ.ดร.นันทิ สุทธิการณณัย  
อ.ดร.พงษ์ธนา วัฒนชัยกอบจินดา  
คุณ ธนัยกร เจนภาษา  
คุณ อธิติรัตน์ สุขเกษม

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายประชาสัมพันธ์และสนเทศ**

อ.ภคพงศ์ อมรกุล ประธานอนุกรรมการ  
ผศ.สุภานันท์ ตันวรรณรักษ์  
ผศ.รจนาฏ ไกรปัญญาพงศ์  
คุณ เรวัตร์ พิศเกาะ

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายการเงินและลงทะเบียน**

ผศ.ดร.สันต์ชัย รัตนเนห์ ประธานอนุกรรมการ  
อ.ดร.วิมลชัย พฤกษ์กานนท์

**คณะอนุกรรมการดำเนินการ**  
**ฝ่ายต้อนรับและกิจกรรม**

อ.อภิวัฒน์ แสงโนรี ประธานอนุกรรมการ  
อ.ดร.รวินกานต์ ศรีนนท์  
ผศ.เฉลิมชนม์ ไวยศดำรง  
อ.ดร.ปิยะเนตร นาคีสดี  
คุณ สุภมาส พงษ์สม

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| <b>DS07</b>  | การคัดแยกและนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคด้วยวิธีการโตของบริเวณโดยการรวมกลุ่มพิกเซล<br>ศุวิทย์ เมาะราชย์ และ จักรชัย สุขพิทักษ์สกุล  | <b>741</b> |
| <b>DS08</b>  | การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับ<br>อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์, ชีรพล ยอดโรจน์ และ จักรี ศรีนนท์จักร   | <b>745</b> |
| <b>DS09</b>  | การต่อภาพถ่ายเอกซเรย์เซอร์กิตเบรกเกอร์กำลังแรงดันสูงด้วยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล<br>กันตภณ โฉนพันธ์, ไพศาล มณีสว่าง, นันทวัฒน์ อู่ดี และ ศุวิทย์ กิระวิทยา                                       | <b>749</b> |
| <b>DS10</b>  | Evaluation of Generation and Contrast Resolution in Potential of Improving Ultrasound Image<br>Quality by using Ultraharmonic Frequency<br>Chinda Samakee   | <b>753</b> |
| <b>DS11</b>  | Advanced Adaptive Frequency-domain Linear Equalisation in Single-Carrier FDE<br>Kom Puangnak, Suchada Sitjongsatapom and Aphichata Thongrak   | <b>757</b> |
| <b>PHI01</b> | ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดทางมิติ<br>มลฤดี เรณูสวัสดิ์   | <b>761</b> |
| <b>PH01</b>  | ผลกระทบของจำนวนโฟตอนที่สูงเกินไปต่อระบบสื่อสารทางแสงเชิงควอนตัม<br>ศุวิทย์ กิระวิทยา, จุฬาเพชร เวชรังษี, ปรมินทร์ แสงวงษ์งาม และ เกียรติศักดิ์ ศรีพิฆานวัฒน์                                      | <b>765</b> |
| <b>PH02</b>  | การศึกษาสภาพการตอบทางแสงและประสิทธิภาพควอนตัม ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al<br>ชนกฤต แสงโฮง, ยุทธนา แจ่มอรุณ, วุฒิไกร คำอ่อน, งามจิต มงคลชนานนท์, วรเทพ น้อยปรีชา และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ | <b>769</b> |
| <b>PH03</b>  | Efficiency Improvement of HAMR Light Delivery System using an Embedded Reflector<br>Nathapat Supreeyattikul and Rardchawadee Silapunt   | <b>773</b> |
| <b>PH04</b>  | Electrical Characteristics of LEDs for Visible Light Communication<br>Saichon Sriphan and Suwit Kiravittaya   | <b>777</b> |
| <b>PH05</b>  | ผลกระทบของแกนเซมเซอร์ต่อความเร็วในการรับของไฮโดรโฟนชนิดแมกเนตริกอินเดเพอโรมิเตอร์<br>ไอยรา จันทรสานธิ และ อธิคม ฤกษ์บุตร  | <b>781</b> |
| <b>BEI01</b> | การพัฒนาเครื่องมือแพทย์โดยสังคมเพื่อสังคม<br>เชง เลิศมโนรัตน์   | <b>785</b> |
| <b>BE01</b>  | การนำคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายที่ต้นแขนไปควบคุมมือกลไฟฟ้า 2 ช่องสัญญาณ<br>ชาญชัย สุขกิจอมรพันธุ์, สุวดี สุขศรี, ณัฐพงศ์ ประมูลเรือง, มนต์ สวรรค์ศิลป์, ทาเคโนบุ มัทซึอูระ และ ชนพงศ์ ไชยชนะ         | <b>790</b> |
| <b>BE02</b>  | การแบ่งส่วนภาพอัลตราซาวด์โดยใช้แบบจำลองเส้นรอบขอบที่เคลื่อนที่ร่วมกับเวกเตอร์การไหลของ<br>ขอบภาพ<br>ธนัญชัย บุญหนัก, สนั่น ศรีสุข และ ธันวา ศรีประโม  | <b>794</b> |

## การคัดแยกและนับเซลล์ไขมันในนมโคด้วยวิธีการโตของบริเวณโดยการรวมกลุ่มพิกเซล

### Somatic Cells Classification and Counting in Cow's Milk Using Region Growing by Pixels Aggregation

คูวิทย์ เมษารณี<sup>1</sup> และ ด้ครชัย สุทธิพิทักษ์สกุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 1156604210012@mail.rmutt.ac.th, chatchai.s@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการคัดแยกและนับเซลล์ไขมันในนมโค จากภาพถ่ายเซลล์ไขมันที่เชื่อมด้วยสีเมทิลีนบลู โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก การเตรียมภาพ โดยการแปลงโหมดภาพ RGB เป็นภาพระดับเทาแล้วทำการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการลบภาพพื้นจางภาพที่ถูกปรับเรียบ และขั้นตอนที่สองการสกัดภาพเซลล์ไขมันออกจากพื้นหลัง ใช้วิธีการกำหนดค่าขีดเบี่ยงอัตโนมัติแบบโอตสึ แล้วจำแนกเซลล์ไขมันออกเป็นกลุ่มเซลล์เดี่ยว และกลุ่มเซลล์ติดกัน โดยการหาคุณลักษณะเด่นของแต่ละเซลล์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า Shape factor:  $f_{circ}$  จากนั้นคัดแยกกลุ่มเซลล์ติดกันด้วยการพิจารณาพารามิเตอร์ของไซโตพลาสซึมที่เชื่อมถึงกัน ซึ่งหาและคำนวณได้จากการแยกส่วนประกอบของเซลล์ด้วยวิธีการโตของบริเวณโดยการรวมกลุ่มพิกเซล จากผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถคัดแยกและนับเซลล์ไขมันได้ และมีประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Recall=0.95 และ Precision=0.97

**คำสำคัญ:** การประมวลผลภาพดิจิทัล, การนับเซลล์ไขมัน

#### Abstract

This paper presents a method to classify and count somatic cells in cow's milk from microscopic image which contained cells staining with methylene blue, using image processing techniques. The proposed algorithm consists of two main steps as follows: 1. image enhancement that the captured image is performed color space transformation from RGB to Gray scale image then it is enhanced using image subtraction method and 2. image segmentation using automatic Otsu's thresholding to segment cells from background. The feature extraction process which cells are discriminated into single and overlap cells, then make a comparison with the circularity shape factor:  $f_{circ}$ . Later, Segmentation by region growing are applied in the cell organelle such as nuclei cytoplasm and background are extracted for overlap cells merging or splitting analysis technique. From the experimental results, it is found that the proposed algorithm can classify and count somatic cells correctly with average performance evaluations of Recall, Precision at 0.95 and 0.97 respectively.

**Keywords:** Digital image processing, Somatic Cell Count

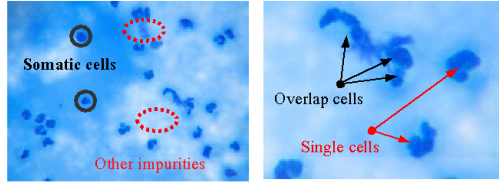
#### 1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมโคนม มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพนมนมดิบ เพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตก่อนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ปัจจัยสำคัญส่วนหนึ่ง คือ ปัญหาโรคเต้านมอักเสบ (Mastitis) ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากการอักเสบของเนื้อเยื่อเต้านม ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมไม่สามารถนำนมนมที่มีคุณภาพมาจำหน่ายได้ และเกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ [1] การวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบ สามารถทำได้โดยการตรวจนับปริมาณเซลล์ไขมันในนม ซึ่งเซลล์ไขมันคือเซลล์ที่พบในนมนมดิบ จากการศึกษาพบว่า ในปัจจุบันวิธีการตรวจนับที่นิยมได้แก่ การตรวจด้วยเครื่องอัตโนมัติ การใช้น้ำยาทดสอบ CMT และการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยตรง [1,2] ต่อมา ในการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์นี้ ได้มีการศึกษาวิจัย โดยประยุกต์ใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล CCD B/W เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ แล้วใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกเซลล์ด้วยวิธีการ Morphology แต่ขั้นตอนวิธียังใช้เวลานาน [3] ต่อมาได้มีการศึกษาการคัดแยกภาพเซลล์ด้วยการวิเคราะห์ค่า Contrast ขององค์ประกอบภาพปริภูมิสีต่าง เช่น RGB YIQ เป็นต้น โดยใช้ Neural Network เลือกองค์ประกอบที่คัดแยกเซลล์ได้เหมาะสมที่สุด [4] และต่อมามีการพัฒนาอัลกอริทึมในการคัดแยกและนับ Nuclei ในกลุ่มภาพเซลล์ติดกันโดยใช้เทคนิค Watershed แต่ยังไม่ได้นำเสนอการนับจำนวนเซลล์ไขมันที่เกี่ยวกับผู้เชี่ยวชาญ [5]

บทความนี้ จึงนำเสนอวิธีการคัดแยกและนับเซลล์ไขมันในนมโค โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลด้วยขั้นตอนวิธีในการสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง การคัดแยก การจำแนกกลุ่มเซลล์ และนับจำนวนเซลล์ไขมันที่เชื่อมกับกันและระบุโดยผู้เชี่ยวชาญ แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ดังจะเสนอรายละเอียดของขั้นตอนวิธีในหัวข้อต่อไป

#### 2. ลักษณะของเซลล์ไขมันและภาพ

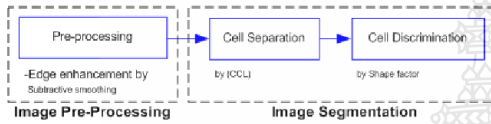
เซลล์ไขมัน เป็นเซลล์ที่มีอยู่ประมาณ 98-99% ของปริมาณทั้งหมดในนมนม ส่วนที่เหลือเป็นเซลล์เยื่อ (Epithelial cells) ของต่อมสร้างนมนมที่หลุดลอกหลังจากมีการเสียดสีของเต้านม เซลล์ไขมันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ หลังจากมีการติดเชื้อในเต้านม [2] ภาพเซลล์ไขมัน แสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย เซลล์ไขมัน น้ำไขมัน และสิ่งปลอมปนอื่นๆ กลุ่มของเซลล์ประกอบด้วย กลุ่มเซลล์เดี่ยว (Single cells) และกลุ่มเซลล์ติดกัน (Overlap cells) แสดงดังรูปที่ 1(ข)



(ก) ลักษณะของภาพเซลล์โซมาติก (ข) ลักษณะของกลุ่มเซลล์โซมาติก  
รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างของเซลล์โซมาติกที่เชื่อมด้วยลิมิตินบลู

### 3. การตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก

ขั้นตอนวิธีในการตัดแยกเซลล์โซมาติก มี 2 ขั้นตอนใหญ่ คือ ขั้นตอนที่ (1) การเตรียมภาพ (Image Pre-Processing) และ ขั้นตอนที่ (2) การสกัดภาพเซลล์โซมาติกออกจากพื้นหลัง (Image Segmentation)

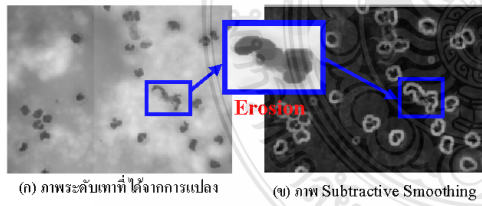


รูปที่ 2 ขั้นตอนการตัดแยกภาพเซลล์โซมาติก

#### 3.1 การเตรียมภาพ (Image Pre-Processing)

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้ภาพมีความเหมาะสมเพื่อประมวลผลในขั้นตอนต่อไป โดยการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา

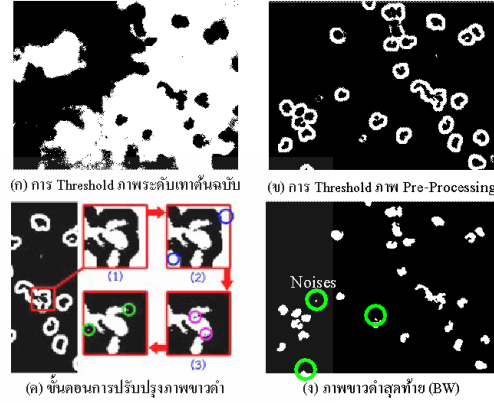
เนื่องจากภาพเซลล์มีสีไม่สม่ำเสมอ และขอบภาพไม่คมชัด จึงทำการเน้นบริเวณขอบภาพเซลล์ด้วยวิธีการ Image Subtraction [6] โดยนำภาพระดับเทมาทำการ Erosion ด้วย Mask ขนาด  $20 \times 20$  พิกเซล จะทำให้พิกเซลของภาพเซลล์ขยายโตขึ้นโดยรอบ  $\approx 20$  พิกเซล จะได้ภาพที่เรียบขึ้น แล้วนำมาลบกับภาพระดับเทา จะได้ภาพพื้นหลังที่มีระดับพิกเซลเข้าใกล้ "0" และ พิกเซลบริเวณขอบเซลล์ที่ขยายออกไปกับพื้นหลังมีระดับแตกต่างกันมากขึ้น แสดงผลดังรูปที่ 3(ข)



(ก) ภาพระดับเทาที่ได้จากการแปลง (ข) ภาพ Subtractive Smoothing  
รูปที่ 3 ภาพผลลัพธ์ต่างๆ ที่ได้ในขั้นตอนการเตรียมภาพ (Pre-Processing)

#### 3.2 การสกัดภาพเซลล์ออกจากพื้นหลัง

ใช้วิธีการแปลงภาพ Pre-Processing ให้เป็นภาพ Binary ด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติโดยใช้วิธีการของ โอตซี [6, 7] เพราะสามารถแบ่งแยกบริเวณที่เป็นวัตถุและพื้นหลังได้อย่างเหมาะสม จากการทดลองได้เปรียบเทียบกับวิธีการ Threshold ระหว่าง "ภาพระดับเทาต้นฉบับ" กับ "ภาพ Pre-Processing" พบว่า ภาพ Pre-Processing สามารถแยกภาพเซลล์ได้ถูกต้องดีกว่าภาพระดับเทาต้นฉบับ แสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 4(ข)



รูปที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงภาพด้วยวิธีการ Threshold

ภาพที่ได้จากการ Threshold ดังรูปที่ 4(ข) ยังไม่สมบูรณ์ ต้องทำการกำจัดพิกเซลที่ไม่ต้องการออก ดังรูปที่ 5(ค) เริ่มต้นด้วย (1) Complement BW กลับภาพขาวดำเพื่อให้ภาพเซลล์เป็นสีขาว (2) Clear Background โดยการหากลุ่มพิกเซลที่มีขนาดใหญ่มากแล้วกำหนดพิกเซลให้เป็น "0" และ (3) Fill holes [6, 7] เติมเต็มพิกเซลของภาพเซลล์ให้สมบูรณ์ขึ้น แสดงผลลัพธ์ภาพขาวดำสุดท้าย (BW) ดังรูปที่ 4(ง)

#### 3.2.1 การตัดแยกเซลล์โซมาติก (Cells Separation)

การตัดแยกเอาเฉพาะภาพเซลล์โซมาติก ทำได้โดยนำภาพขาวดำ (BW) มาทำการระบุพื้นที่ (Connected Component Labeling: CCL) [6, 7] เพื่อสกัดคุณลักษณะเด่นของเซลล์โซมาติก คือ พื้นที่พิกเซลของเซลล์ ( $f_{area}$ ) แล้วนำมาเทียบกับค่า  $\bar{f}_{area}$  ซึ่งเป็นพื้นที่ของ Noises ขนาดใหญ่ที่สุด (Noise มีขนาดตั้งแต่ 8 - 967 พิกเซล) ได้จากการวัดและคำนวณภาพตัวอย่างที่ Label แล้ว ในการทดลองจึงกำหนดขนาดพื้นที่ของเซลล์  $f_{area} \geq 970$  พิกเซลขึ้นไป ถ้าน้อยกว่านี้ถือว่าเป็น "Noises" ให้ลบกลุ่มภาพ Label นั้นออกไป

#### 3.2.2 การจำแนกกลุ่มเซลล์โซมาติก (Cell Discrimination)

เมื่อตัดแยกเซลล์โซมาติกในขั้นตอน 3.2.1 ได้แล้ว ต่อไปทำการจำแนกกลุ่มเซลล์ ด้วยการคำนวณหาค่าคุณลักษณะเด่นของเซลล์ คือ ค่าความเป็นทรงกลมของเซลล์ (Circularity:  $f_{circ}$ ) [8] ด้วยสมการที่ (1) แล้วนำมาเทียบกับค่า  $\bar{f}_{circ}$  ( $\approx 0.58$ ) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการจำแนกซึ่งได้จากการคำนวณคุณลักษณะเด่นของภาพเซลล์ที่ Label ทั้งหมด กลุ่มเซลล์เดียวจะมีค่า  $f_{circ} \geq \bar{f}_{circ}$  ถ้าน้อยกว่านี้จัดเป็นกลุ่มเซลล์ติดกัน

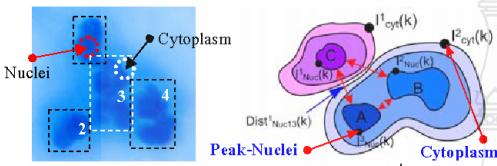
$$f_{circ} = \frac{4\pi A_s}{P^2} \quad (1)$$

โดยที่  $f_{circ}$  คือค่า Shape factor ของกลุ่มพิกเซล Label,  $A_s$  คือขนาดพื้นที่ และ  $P$  คือความยาวรอบรูปของพื้นที่



### 3.2.3 การแยกเซลล์ไซมาติกที่ติดกันหรือซ้อนทับกัน

ใช้วิธีการสกัดส่วนประกอบของเซลล์ไซมาติก ได้แก่ Nuclei และ Cytoplasm แสดงดังรูปที่ 5(ก) ด้วยวิธีการรวมกลุ่มพิกเซลโดยการโตของบริเวณ (Region Growing) [7] เพื่อนำมาคำนวณหาคุณลักษณะเด่นของภาพ ได้แก่ ระดับพิกเซลของ Nuclei, Cytoplasm และระยะทางระหว่าง Peak-Nuclei ใดๆ แสดงตำแหน่งการวัดและคำนวณ ดังรูปที่ 5(ข)



(ก) ภาพการรวม-แยกเซลล์ติดกัน (ข) การวัดค่าพารามิเตอร์เพื่อรวมแยกเซลล์รูปที่ 5 การนับและการพิจารณา รวม แยกเซลล์ติดกัน

#### 3.2.3.1 วิธีการรวมกลุ่มพิกเซลโดยการโตของบริเวณ

ในการรวมกลุ่มพิกเซล เริ่มด้วยการหาระดับพิกเซลของ Seed points เริ่มต้น และระดับพิกเซลในการขยายพื้นที่พิกเซล และภาพจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงย่อย ( $R_i$ ) ด้วย Seed points ( $S_i$ ) ตั้งแต่ระดับพิกเซลต่ำสุดจนถึงสูงสุด มีขั้นตอนวิธีในการแยกพื้นที่เพื่อหาส่วนประกอบเซลล์ ดังต่อไปนี้

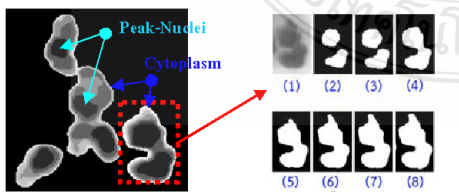
(A) ค่าค้นหา Seed points ( $S_0$ ) เริ่มต้นได้จาก  $Min(R_i)$

(B) พิจารณา Seed points ( $S_j$ ) ที่มีระดับค่าพิกเซลเท่ากันและอยู่ติดกันเป็นกลุ่มหรือไม่ (8-Connected Neighbor) ถ้ามีให้รวมพิกเซลเข้าด้วยกันเป็น Seed Region และกำหนดระดับพิกเซลให้กับพื้นที่ด้วย  $S_j$

(C) กำหนดพิกเซล Seed points ใหม่ ( $S_j$ ) แล้ววนกลับไปทำข้อ

(B) เพื่อรวมกลุ่ม (Seed Region) ถัดไป จนกว่าจะระงับการโตของพื้นที่สิ้นสุดที่ระดับพิกเซล  $Max(R_i)$

รูปที่ 6(ก) เป็นภาพผลลัพธ์การแยกส่วนประกอบของเซลล์ ที่ได้จากการหา  $S_0$  ในขั้นตอน (A) ได้ Seed point ที่มีระดับพิกเซลต่ำสุดแล้วพิจารณาระดับพิกเซลโดยรอบเพื่อรวมเป็น Seed region ตามขั้นตอน (B) แสดงผลดังรูปที่ 6(ข)-(2) จะได้ "Peak-Nuclei" แล้วกำหนดระดับพิกเซล Seed point ใหม่ตามขั้นตอน (C) จะได้พื้นที่ของ Nuclei ที่ขยายพื้นที่ออกไป ดังรูปที่ 6(ข)-(3),...(7) และ (8) เป็นพื้นที่ของ "Cytoplasm"



(ก) แยกส่วนประกอบของเซลล์ (ข) ลำดับของพื้นที่ Seed region ต่างๆรูปที่ 6 การแยกส่วนประกอบของเซลล์ไซมาติก โดยวิธีการรวมกลุ่มพิกเซล

#### 3.2.3.2 การพิจารณาแยก-รวมเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน

ใช้วิธีการเปรียบเทียบอินพุต (Feature Vector: FV) กับกฎเพื่อการตัดสินใจ (Rule-based Classifier) โดยใช้สมการที่ (2), (3) อินพุต FV ได้แก่ (1) ระดับพิกเซล Peak-Nuclei ( $I_{Mac}$ ) (2) ระดับพิกเซล Cytoplasm ( $I_{Oyt}$ ) และ (3) ระยะทางที่สั้นที่สุด ( $Dist$ ) ระหว่าง Peak-Nuclei ใดๆ ซึ่งได้จากการคำนวณและวัดค่าในขั้นตอนที่ 3.2.3.1

$$R_1 : (I_{Mac} \leq \bar{I}_{Mac}) \wedge (I_{Oyt} \leq \bar{I}_{Oyt}) \wedge (Dist \leq \bar{Dist}) \rightarrow Case = Yes \quad (2)$$

$$Class = \begin{cases} Merge, & \text{if } Case = Yes \\ Split, & \text{if } Case = No, \end{cases} \quad (3)$$

โดยที่  $\bar{I}_{Mac}$ ,  $\bar{I}_{Oyt}$  คือ "ระดับพิกเซลสูงสุด" ของ Nuclei, Cytoplasm ตามลำดับ และ  $\bar{Dist}$  คือ "ระยะทางยาวที่สุด" ระหว่าง Nuclei ใดๆ พารามิเตอร์ 3 ค่านี้ ใช้เป็นค่าเกณฑ์ในการพิจารณาแยก-รวมกลุ่มเซลล์ติดกัน ได้จากการวัดและคำนวณในภาพกลุ่มเซลล์ติดกันทั้งหมด

### 4. การนับและการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

การนับจำนวนเซลล์ไซมาติกในกลุ่มเซลล์เดียวกันได้โดยการนับจำนวนกลุ่มพิกเซล Label ที่ได้ในขั้นตอนที่ 3.2.2 ส่วนการนับในกลุ่มเซลล์ติดกันได้จากการนับ Class ในสมการที่ (3) ส่วนการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมนี้ ใช้วิธีการวัดค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) [9] ถ้าอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพดีจะมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 จำนวนได้จากสมการ (4), (5) ดังนี้

ค่าความระลึก หมายถึง ประสิทธิภาพในการคัดแยกเซลล์ไซมาติกได้ตรงกับผู้เชี่ยวชาญว่าเป็นเซลล์ไซมาติก จำนวนได้จากสมการที่ (4)

$$Recall(Re) = \frac{True\ positive}{True\ positive + False\ negative} \quad (4)$$

ค่าความแม่นยำ หมายถึง ประสิทธิภาพในการคัดแยกเซลล์ไซมาติกระบุได้ถูกต้องตามความเป็นจริง ดังสมการที่ (5)

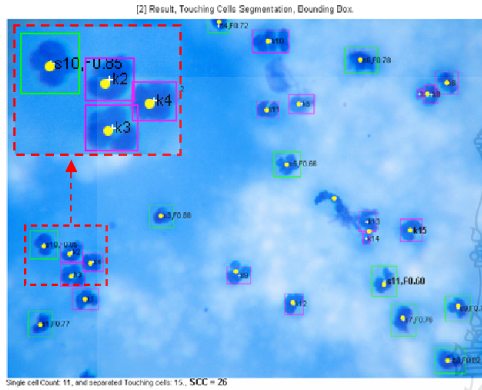
$$Precision(Prec) = \frac{True\ positive}{True\ positive + False\ positive} \quad (5)$$

โดยที่ True Positive คือ เซลล์ไซมาติกที่อัลกอริทึมคัดแยกและนับได้และผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์ไซมาติก, False Negative คือ เซลล์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถคัดแยกได้แต่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่าเป็นเซลล์ไซมาติก และ False Positive คือ เซลล์ที่อัลกอริทึมคัดแยกได้แต่ผู้เชี่ยวชาญไม่ระบุว่าเป็นเซลล์ไซมาติก

### 5. ผลการทดลอง

อัลกอริทึมนี้ได้ทดลองกับภาพตัวอย่างจำนวน 10 ภาพ สามารถคัดแยกและนับเซลล์ไซมาติก ในภาพได้ ทำการจำแนกกลุ่มเซลล์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเซลล์เดี่ยวระบุด้วย Bounding Box "สีเขียว" และกลุ่มเซลล์ติดกันที่คัดแยกแล้วระบุด้วย Bounding Box "สีแดง" เทียบกับการนับ

โดยผู้เชี่ยวชาญระบุด้วย “จุดสีเหลือง” แสดงผังรูปที่ 7 และการคำนวณค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Recall และ Precision แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 7 ภาพผลการตัดแยกและนับเซลล์โซมาติก จากภาพตัวอย่าง No. 5

ตารางที่ 1 แสดงการวัดค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

| No.     | Tp. | Fn. | Fp. | Re.   | Prec. | Time (s) |
|---------|-----|-----|-----|-------|-------|----------|
| 1       | 15  | 0   | 0   | 1     | 1     | 6.120    |
| 2       | 16  | 2   | 0   | 0.889 | 1     | 6.187    |
| 3       | 19  | 0   | 1   | 1     | 0.95  | 6.542    |
| 4       | 24  | 2   | 0   | 0.923 | 1     | 7.945    |
| 5       | 25  | 2   | 2   | 0.926 | 0.926 | 8.257    |
| 6       | 15  | 0   | 0   | 1     | 1     | 3.484    |
| 7       | 15  | 2   | 0   | 0.882 | 1     | 4.942    |
| 8       | 19  | 1   | 1   | 0.95  | 0.95  | 8.608    |
| 9       | 25  | 0   | 1   | 1     | 0.962 | 13.621   |
| 10      | 29  | 0   | 1   | 1     | 0.967 | 13.524   |
| Average |     |     |     | 0.957 | 0.976 | 7.923s   |

## 6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่า อัลกอริทึมสามารถตัดแยกและนับเซลล์โซมาติกได้ โดยได้วัดค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึม พบว่าบางภาพมีค่า Recall และ Precision เท่ากัน คือ = 1 (ภาพ No.1 และ No.6) แสดงว่าอัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพและนับเซลล์โซมาติกได้ตรงกับผู้เชี่ยวชาญ บางภาพมีค่า Recall และ Precision ใกล้เคียงกัน (ภาพ No.9 และ No.10) เท่ากับ 1 และ 0.96 ตามลำดับ แสดงว่าอัลกอริทึมมีความสามารถในการตัดแยกภาพและนับเซลล์โซมาติกได้ใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ และบางภาพมีค่า Recall และ Precision ต่ำลง คือ ภาพ No.2, No.7 Recall=0.88 และภาพ No.5 Precision=0.92 และเห็นว่า ค่า Recall มีค่าต่ำสุด=0.88 และเฉลี่ย=0.95 มีค่าต่ำกว่าค่า Precision ซึ่งมีค่าต่ำสุดแค่ 0.92 และเฉลี่ย=0.97 การวิเคราะห์พบว่าสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพอัลกอริทึม มีค่า Recall ต่ำลงมากกว่า Precision เกิดจากการพิจารณารวมแยกกลุ่มเซลล์ที่ติดกัน ได้ไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งการพิจารณาในบทความนี้ (รูปที่ 5(ข)) ใช้วิธีเปรียบเทียบอินพุต FV กับกฎเพื่อการ

ตัดสินใจ โดยใช้สมการที่ (2),(3) ซึ่งมีความไม่ยืดหยุ่นกับข้อมูลอินพุต FV ที่มีหลายค่า ควรใช้วิธีการ Classifier วิธีอื่นๆ เช่น Neural Networks, SVM เป็นต้น ในการคัดแยกและจำแนกรูปร่างเซลล์โซมาติกต่อไป

## 7. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการคัดแยกและนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค ด้วยขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยการนับปริมาณเซลล์โซมาติกในน้ำนมโค โดยใช้ระบบการตรวจรู้ด้วยกล้อง อัลกอริทึมนี้ สามารถคัดแยกภาพ, จำแนกประเภทของเซลล์ออกเป็นกลุ่มเซลล์เดี่ยวและเซลล์ติดกัน, แยกส่วนประกอบของเซลล์เพื่อพิจารณาการรวม-แยกเซลล์ในกลุ่มเซลล์ติดกัน นับจำนวนเซลล์ในภาพแล้วเปรียบเทียบผลการนับ โดยใช้อัลกอริทึมกับผู้เชี่ยวชาญ โดยได้วัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม มีค่า Recall = 0.95 และ Precision = 0.97 โดยใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 8 วินาทีต่อภาพ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้ สามารถนำไปศึกษาหรือพัฒนาเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์และนับปริมาณเซลล์โซมาติกเพื่อการวินิจฉัยความรุนแรงหรือปัญหาของการเกิดโรคเต้านมอักเสบในฟาร์มโคนมให้กับผู้เชี่ยวชาญต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นุชกุล อินทร์สังฆา และคณะ, “การเปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบของโคนม,” *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2552, หน้า 14-25.
- [2] อรัญ จันทร์สุน, “การนับเซลล์โซมาติกในน้ำนมโคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์,” คณะสัตวแพทยศาสตร์ ม.ขอนแก่น, แหล่งข้อมูล: [vet.kku.ac.th/aran/data/clinic/4\\_25\\_54/03\\_DMsc\\_2554.pdf](http://vet.kku.ac.th/aran/data/clinic/4_25_54/03_DMsc_2554.pdf).
- [3] Gustavo J. Grillo et al., “Low-cost video-microscopy system for evaluation of fresh cow milk somatic cell concentration,” *IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE, Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Vol.2, pp906-909, 2001.
- [4] Heru Xue et al., “The Segmentation of the Color Milk Somatic Cells Images,” *CISP '09. 2nd International Congress on Image and Signal Processing*, pp1-4, Oct. 2009.
- [5] Yuedong Wang et al., “The color image processing technology of the milk somatic cells,” *ICCET2010. International Conference on Computer Engineering and Technology*, Vol.4, pp280-283, 2010.
- [6] สนั่น ศรีสุข, “การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูง,” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้า.
- [7] ชูชาติ ปิณฑะวิรุจน์, “การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย MATLAB,” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] Raul S. Montero, “State of the Art of Compactness and Circularity Measures,” *International Mathematical Forum*, 4, 2009, No.27, pp1305-1335.
- [9] *Principles of Data Mining*, Max Brame, Springer-Verlag London Limited, 2007.

## ประวัติผู้เขียน

|                  |  |
|------------------|--|
| ชื่อ - สกุล      | นายสุวิทย์ เมะราณี   |
| วัน เดือน ปีเกิด | 23 ตุลาคม 2517   |
| ที่อยู่          | 6 หมู่ 1 ตำบลเชียงขวัญ อำเภอเชียงขวัญ<br>จังหวัดร้อยเอ็ด 45000   |
| การศึกษา         | การศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงไฟฟ้ากำลัง   |
| ประสบการณ์ทำงาน  | วิศวกรไฟฟ้า บริษัทแอลเอสอี จำกัด<br>วิศวกรไฟฟ้า บริษัทพีแอนด์วานซ์ กรุ๊ป จำกัด<br>นักวิชาการคอมพิวเตอร์ สำนักงานศาลปกครองระยอง<br>นักวิชาการอบรมและฝึกวิชาชีพปฏิบัติการ กรมพินิจและคุ้มครองฯ<br>วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา<br>พ.ศ. 2554 ถึงปัจจุบัน |
| เบอร์โทรศัพท์    | 08-5579-4707   |
| อีเมล            | Moras.Suwit@gmail.com  |

