

การจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาวด้วยการประมวลผลภาพ Classification of White Rice Seeds by Image Processing

สุชาติ แยมเม่น¹ ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์² และ โชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น³

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

^{2,3}อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก 63000

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมและโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำแนกเมล็ดข้าวขาวที่ได้รับจากกล้องถ่ายภาพเมล็ดข้าวด้วยการใช้เทคนิคประมวลผลภาพ วิธีการนี้เริ่มต้นด้วยการปรับปรุงภาพทดสอบ แปลงภาพสีให้เป็นภาพไบนารีด้วยการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบอัตโนมัติโดยใช้วิธีโอซี กรองสัญญาณรบกวนด้วยกระบวนการประมวลผลภาพด้วยองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หาขอบเมล็ดข้าวด้วยวิธีแคนนี่ หาความยาวของเมล็ดข้าวด้วยวิธีระยะทางแบบยูคลิด ต่อมนำผลความยาวที่ได้รับไปเข้ากระบวนการตัดสินใจตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทยเพื่อให้ได้รับคำตอบชนิดของข้าวขาวที่นำมาทดสอบ จากผลการทดสอบเมล็ดข้าวขาวจำนวน 800 ภาพ พบว่า ในกรณีที่ใช้ภาพถ่ายเมล็ดข้าวขาวหนึ่งเมล็ดต่อภาพ จำนวน 500 ภาพ โปรแกรมได้ให้ค่าความผิดพลาดของความยาวสมบูรณ์อยู่ระดับเฉลี่ย 0.01 มิลลิเมตรต่อเมล็ด และในกรณีที่ใช้ภาพถ่ายเมล็ดข้าวขาวแบบกลุ่ม จำนวน 3 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ โปรแกรมได้ให้ค่าความถูกต้องของการคัดแยกประเภทของเมล็ดข้าวขาวถึงร้อยละ 99.33 ตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดราคาข้าวรับซื้อข้าวขาวระหว่างโรงสีข้าวกับชาวนาได้

Abstract

This research work presents the development of algorithms and programs used for classifying of white rice grains obtained from the camera by using image processing techniques. This procedure begins with improving input images, converting color images to binary images by setting the threshold value automatically by using the Otsu's method, noise filter process image processing with structural elements that form a square, determining the grain boundary by using the Canny's operator, determining the length of the grain by using the Euclidean's method. Next, the length results of the grains have been obtained from the decision process based on the Rice Standards of Thailand (RST) in order to receive the type solutions of tested white rice. From the testing results for 800 images, it has been shown that in case of 500 images, the developed program provided the mean absolute error of the grain length of 0.01 mm per grain. Moreover, for testing of 300 images, the developed program provided the separation accuracy of the grains up to 99.33% in term of the RST. This can be useful in determining the price of white rice in a rice mill with farmers.

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ การจำแนกประเภท เมล็ดข้าวขาว

Keywords : Image Processing; Classification; White Rice Seeds

1. บทนำ

ข้าว เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 57 ล้านไร่ (ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) ข้าวสารเป็นสินค้าส่งออกทางการเกษตรที่สำคัญ โดยมีปริมาณการส่งออกดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการส่งออกข้าวและมูลค่าการส่งออก ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554

ปี พ.ศ.	ปริมาณส่งออก (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2551	10,011,035	200,892
2552	8,592,830	171,719
2553	9,047,386	168,634
2554	10,666,120	192,956

ข้าวของไทยที่ส่งออก ประกอบด้วย ข้าวคุณภาพสูง ข้าวคุณภาพปานกลาง และข้าวคุณภาพต่ำ โดยมีลักษณะจำเพาะ และตลาดที่สำคัญ คือ ข้าวคุณภาพสูง เป็นข้าวคุณภาพดี เป็นข้าวขาว 100% และข้าวขาว 5% ข้าวคุณภาพสูงที่มีการส่งออกมาก ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ซึ่งข้าวชนิดนี้มีสัดส่วนการส่งออกสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการส่งออกข้าวคุณภาพสูงทั้งหมดของไทย ตลาดส่งออกข้าวคุณภาพสูง ได้แก่ จีน ฮองกง อิหร่าน สหรัฐอเมริกา และสิงคโปร์ ข้าวคุณภาพปานกลาง เป็นข้าวขาว 10-15% และข้าวเหนียว ข้าวคุณภาพปานกลางมีตลาดสำคัญ ได้แก่ อินโดนีเซีย แอฟริกา และมาเลเซีย ข้าวคุณภาพต่ำ เป็นข้าวที่มีเมล็ดหักมากกว่า 20% ซึ่งรวมถึงปลายข้าวและข้าวหนึ่งที่จัดอยู่ในข้าวกลุ่มนี้ ตลาดส่งออกข้าวคุณภาพต่ำ ได้แก่

ประเทศแถบแอฟริกาและตะวันออกกลาง จากอดีตจนถึงปัจจุบันสถานประกอบการโรงสีข้าวได้มีการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวขาวจากชานาโดยการใส่สายตาของผู้เชี่ยวชาญ ดูสัดส่วนและลักษณะความสมบูรณ์ของข้าวขาวตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทยของกระทรวงพาณิชย์แห่งประเทศไทยหรือไม่ หากเมล็ดข้าวขาวชนิดดี จะมีราคาสูง ในการตีราคาในแต่ละเกวียนที่ชานานำมาจำหน่ายจึงขึ้นอยู่กับการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจากโรงสีข้าว (ผู้ประกอบการ) เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้กลุ่มชานาซึ่งเป็นประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยไม่สามารถเจรจาต่อรองราคาได้ ทางโรงสีให้ราคาเท่าใด ถ้าชานาพอใจก็จะขาย แต่ถ้าไม่พอใจในราคาก็จำเป็นต้องขายเนื่องจากชานาไม่มีที่จัดเก็บเมล็ดข้าวขาวที่มาจำหน่ายดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากผู้เชี่ยวชาญของโรงสีได้ทำการประเมินผิดพลาด อาจเกิดจากความผิดพลาดหลายสาเหตุ เช่น การเอารัดเอาเปรียบกับชานาของทางผู้ประกอบการ หรือความไม่ชำนาญของผู้ประเมินจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น กลุ่มชานาที่เป็นลูกค้าผู้ประกอบการโรงงานเกษตรบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จึงมีความต้องการเครื่องมือสำหรับการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาว ดังนั้นผู้ประกอบการโรงงานเกษตรบ้านกร่างจึงมีแนวคิดศึกษา ออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการจำแนกประเภทของเมล็ดข้าวขาวร่วมกับผู้วิจัย

ในการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาวได้นำเทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพในการตรวจหาสิ่งที่สนใจมาประยุกต์ใช้ ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างหลากหลายวิธีดังต่อไปนี้ (Ajmal et al., 2010) นำเสนอการตรวจสอบและการจำแนกประเภทของ

ยานพาหนะด้วยการประมวลผลภาพโดยใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศ ซึ่งกระบวนการดังกล่าว จะทำการหาขอบและกำหนดค่าขีดแบ่ง ร่วมกับการประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่างของภาพช่วยในการตรวจสอบยานพาหนะ ผลที่ได้สามารถแบ่งประเภทยานพาหนะได้เหมาะสมและมีอัตราความสำเร็จมากกว่า 85% (Sim et al., 2008) นำเสนอวิธี Contrast Enhancement Bilateral Closing Top-hat Otsu Thresholding (CEBICTOT) ในการตรวจหารอยแตกในโครงสร้างมีขั้นตอนคือ 1. เพิ่มความคมชัดของภาพ จากนั้นทำการแปลงเป็นภาพระดับเทา 2. นำภาพที่ได้ไปผ่านตัวกรองไบลาเทอรอล (bilateral) 3. ทำการประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่างของภาพด้วยกระบวนการโคซซิงท็อปแฮท (closing top-hat) เพื่อทำการลบพื้นหลังออกจากภาพ 4. ประยุกต์ใช้วิธีโอซีทำการแยกพื้นหลัง และสุดท้ายลดสิ่งรบกวนผลที่ได้ทำให้สามารถตรวจหารอยแตกจากภาพโครงสร้างได้ชัดเจน (Ruihua Xia) นำเสนอวิธีการอธิบายปรากฏการณ์ที่ภาพเซลล์ซ้อนทับกันที่สามารถพบได้ในภาพเซลล์เม็ดเลือดขาวของหนูชนิด Macrophages โดยเริ่มต้นด้วยการแบ่งรูปภาพตามวิธีโอซี จากนั้นทำการประมวลผลภาพด้วยรูปร่างและโครงร่างของภาพ เพื่อใช้กำจัดสิ่งรบกวนขั้นตอนสุดท้ายใช้วิธีวอเตอร์เชส (watershed) ตามระยะทางที่เปลี่ยนเป็นการดำเนินการเพื่อแบ่งส่วนภาพ ผลที่ได้ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มภาพเซลล์เม็ดเลือดขาวของหนูชนิด Macrophages ได้ และ (Lin et al., 2009) นำเสนอการตรวจสอบหาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนทางรถไฟ โดยใช้เทคนิคทางสถิติจากค่าฮิสโตแกรมและการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบปรับตัวได้

บทความนี้ได้พัฒนาวิธีการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพต่าง ๆ เช่น การหาตำแหน่งของวัตถุโดยใช้หลักการสทล์มพันธ์ (Liang et al., 2010) การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำโดยใช้ค่าขีดแบ่งอัตโนมัติ (Otsu, 1979) การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Baraghimian, 1989) การกรองสัญญาณรบกวนโดยการประยุกต์ใช้การเปลี่ยนรูปแบบเปิดด้วยการประมวลผลภาพองค์ประกอบโครงสร้าง (Soille, 2013) การหาขอบภาพโดยวิธีแคนนี่ (Canny, 2010) การหาความยาวเส้นขอบจากระยะทางคูฟักัด และทำการหาประสิทธิภาพของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย (Mean Absolute Error) และค่าความถูกต้องของการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาวในหน่วยร้อยละ

2. วิธีการทดลอง

บทความนี้ ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการจำแนกเมล็ดข้าวขาวโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อมูลเมล็ดข้าวขาวตามมาตรฐานข้าวไทย ของกระทรวงพาณิชย์ ปี พ.ศ. 2540 (ประกาศกระทรวงพาณิชย์, 2540) เพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบประเภทของข้าวขาว ในการคัดแยกประเภทของเมล็ดข้าวขาวจะต้องพิจารณา 3 องค์ประกอบหลักดังนี้ (1) ส่วนผสมของเมล็ดข้าว (2) ระดับของการสีข้าว และ (3) พื้นข้าว (หมายถึงเมล็ดข้าวที่มีขนาดความยาวระดับต่าง ๆ ตามที่กำหนด ซึ่งเป็นส่วนผสมของข้าวแต่ละชั้นตามอัตราส่วนที่กำหนด) ในทางปฏิบัติ ผู้เชี่ยวชาญต้องพิจารณาเฉพาะพื้นข้าวของเมล็ดข้าวที่วางอยู่บนกระด้งด้วยการใช้ขนาดความยาวของเมล็ดข้าวใน

การจำแนกประเภทของเมล็ดข้าว ดังนั้น อัลกอริทึม และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้น เฉพาะจำแนกประเภทเมล็ดข้าวด้วยองค์ประกอบ พื้นข้าวเพียงอย่างเดียว ในการพัฒนาอัลกอริทึม และโปรแกรมที่ใช้ระบุประเภทเมล็ดข้าวขาวด้วย เทคนิคการประมวลผลภาพ มี 9 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1

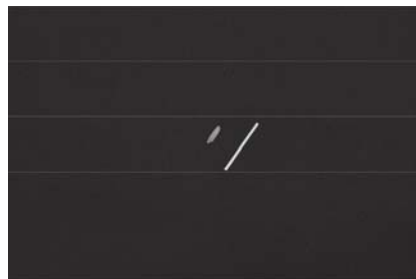


รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการจำแนกชนิดข้าวขาว

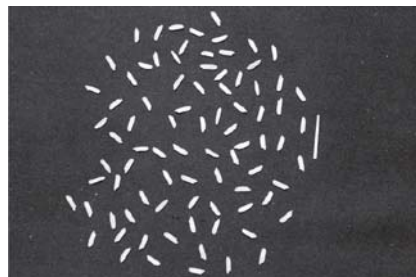
2.1 ขั้นตอนและวิธีการ

ขั้นตอนที่ 1 จัดเตรียมข้อมูลภาพ (Prepare the Image Data)

แบ่งภาพทดสอบออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพเมล็ดข้าวขาวหนึ่งเมล็ดต่อภาพ มีขนาดแต่ละภาพ 720 x 480 พิกเซล จำนวน 500 ภาพ ดังรูปที่ 2 และกรณีที่ 2 ใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพเมล็ดข้าวขาวแบบกลุ่มซึ่งแต่ละเมล็ดไม่ติดกัน แต่ละภาพมีขนาด 720 x 480 พิกเซล จำนวน 300 ภาพ ดังรูปที่ 3 โดยทั้ง 2 กรณีจะใส่กระดาษขนาดความยาว 20 มิลลิเมตร และ ความกว้าง 1 มิลลิเมตร วางบนพื้นหลังภาพบริเวณใกล้เคียงตัวอย่างเมล็ดข้าวขาว โดยกระดาษอ้างอิงนี้ใช้หาสเกลที่แท้จริงของเมล็ดข้าวขาว



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวขาวแบบหนึ่งเมล็ด



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพเมล็ดข้าวขาวแบบกลุ่ม

ขั้นตอนที่ 2 แปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา (Converting Color Images to Gray Scale Image)

นำภาพทดสอบซึ่งเป็นภาพสีที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 1 มาแปลงให้เป็นภาพระดับเทา สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1

$$\text{Grayscale} = \lfloor (R+G+B)/3 \rfloor \quad (1)$$

โดยที่ R, G และ B คือค่าระดับความเข้มของแสง สีแดง ค่าระดับความเข้มของแสงสีเขียว และค่าระดับความเข้มของแสงสีน้ำเงิน ตามลำดับ และ $\lfloor \cdot \rfloor$ คือ ตัวดำเนินการแปลงเลขจำนวนจริงให้เป็นเลขจำนวนเต็ม และส่วน Grayscale เป็นค่าระดับเทาที่มีเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 0 ถึง 255 (0 แทนค่าระดับเทาสีดำ และ 255 แทนค่าระดับเทาสีขาว)

ขั้นตอนที่ 3 แปลงภาพระดับเทาเป็นภาพไบนารี (Converting Gray Level Images into Binary Images)

นำภาพระดับเทาที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 2 มาแปลงให้เป็นภาพไบนารี โดยหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบอัตโนมัติที่เหมาะสม t ด้วยวิธีโอฮิ (N. Otsu, 1979) ที่ทำให้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมากที่สุด ($\sigma_b^2[t]$) ตามโจทย์ปัญหาการหาค่าความเหมาะสมซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2

$$\max_{t \in \{0,1,2,\dots,255\}} \sigma_b^2[t] = \max_{t \in \{0,1,2,\dots,255\}} \frac{\{\mu_T \omega[t] - \mu[t]\}^2}{\omega[t](1-\omega[t])} = \sigma_b^2[t^*] \quad (2)$$

โดยที่ $\omega[t]$ คือ ผลรวมของค่าความน่าจะเป็นที่เมื่อค่าระดับเทาน้อยกว่า t ในขณะที่ μt และ $\mu[t]$ คือค่าเฉลี่ยของค่าระดับเทาของภาพและค่าโมเมนต์

สะสมอันดับหนึ่งของฮิสโตแกรมตั้งแต่ค่าระดับเทา 0 จนถึง $t-1$ เมื่อได้รับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม (t^*) จากคำตอบ ที่เหมาะสมในความสัมพันธ์ที่ 2 นำค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมนี้มาใช้ในการแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพ ไบนารี ทำโดยการกำหนดให้ $w[x,y]$ และ $b[x,y]$ เป็นค่าระดับเทาของภาพและภาพไบนารี ตามลำดับ โดยการใช้ตัวดำเนินการขีดเริ่มเปลี่ยนแบบแข็ง (Gonzalez and Woods, 2002) สามารถหาค่าระดับเทาของภาพไบนารี ณ ตำแหน่ง $[x,y]$ ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3

$$b[x,y] = \begin{cases} 1 & \text{if } w[x,y] \geq t^* \\ 0 & \text{if } w[x,y] < t^* \end{cases} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 4 กรองสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

โดยใช้การเปลี่ยนรูปแบบเปิด (Morphological Opening) ด้วยการใช้การประมวลผลภาพองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 6 ขนาด เริ่มจากขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 จนถึง 13x13 พิกเซล ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดรายละเอียดของวัตถุขนาดเล็กที่ยื่นออกมา แต่ยังคงรายละเอียดของภาพที่สนใจไว้เหมือนเดิม ซึ่งการดำเนินการเปลี่ยนรูปแบบเปิดของภาพ A โดย B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \circ B$ ตามความสัมพันธ์สมการที่ 4 โดยเป็นการกระทำระหว่างภาพกับองค์ประกอบโครงสร้าง ด้วยกระบวนการกัดกร่อนขอบภาพ (Erosion) และกระบวนการขยายขอบภาพ (Dilation) ตามลำดับ

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

โดยที่ A คือ ภาพที่ต้องการเปลี่ยนรูปแบบเปิด และ B คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structuring Element)

ขั้นตอนที่ 5 หาขอบภาพของเมล็ดข้าวขาว (Edges of Rice Grains)

ทำโดยการนำภาพไบนารีที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 4 มาดำเนินการหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ (Canny, 2010) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ซึ่งเริ่มต้นจากการปรับปรุงภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้วงจรรองเกาส์เขียนแบบเรียบ ต่อมาคำนวณหาค่าของขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ รวมทั้งจัดเก็บค่าของขนาดสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกันกับเกรเดียนต์เพื่อทำให้ขอบภาพชัดเจน จากนั้น กำจัดค่าของขนาดที่น้อยกว่าค่าสูงสุดของขนาดเกรเดียนต์เพื่อทำให้ได้ขอบภาพที่บางหายไป และในขั้นตอนสุดท้าย จะใช้การกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อหาพิกเซลที่เป็นขอบและทำการเชื่อมต่อขอบ

ขั้นตอนที่ 6 หาความยาวของเมล็ดข้าวขาว (Long Grain White Rice)

ทำโดยการนำข้อมูลพิกัดตำแหน่งของขอบเมล็ดข้าวขาวจากภาพที่ได้รับในขั้นตอนที่ 5 มาหาระยะทางแต่ละคู่พิกัด และคัดเลือกคู่พิกัดที่มีระยะห่างกันมากที่สุดเป็นความยาวของเมล็ดข้าวขาว เพื่อใช้ในการระบุประเภทข้าวขาวในขั้นตอนต่อไป ในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนการหาความยาวของเมล็ดข้าวขาว ทำได้โดยการกำหนด (x_n, y_n) ให้เป็นพิกัดตำแหน่งของขอบเมล็ดข้าวขาว จำนวน N จุด โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots, N$ สามารถหาระยะทางระหว่างแต่ละคู่พิกัดตำแหน่งได้ทั้งหมด $N(N-1)/2$ จุด สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5

$$d[n, k] = \sqrt{(x_n - x_{n+k})^2 + (y_n - y_{n+k})^2} \quad (5)$$

โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, N-n$ และหาค่าความยาวของเมล็ดข้าวขาวได้จากคู่พิกัดตำแหน่งที่มีระยะห่างมากที่สุด $(d[n^o, k^o])$ ตามโจทย์ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 6

$$\max_{\substack{n \in \{1, 2, 3, \dots, N\} \\ k \in \{1, 2, 3, \dots, N-n\}}} d[n, k] = d[n^o, k^o] \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 7 จำแนกความยาวของเมล็ดข้าวขาวตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทย (Classification Length of RST)

ทำโดยการนำความยาวของเมล็ดข้าวขาวที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 6 มาทำการจำแนกตามเกณฑ์พื้นข้าว ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กล่าวคือ

- (1) ความยาวเมล็ดข้าวขาวมากกว่า 7 มิลลิเมตร คือเมล็ดยาวชั้น 1
- (2) ความยาวเมล็ดข้าวขาวมากกว่า 6.6 มิลลิเมตร ถึง 7 มิลลิเมตร คือ เมล็ดยาวชั้น 2
- (3) ความยาวเมล็ดข้าวขาวมากกว่า 6.2 มิลลิเมตร ถึง 6.6 มิลลิเมตร คือ เมล็ดยาวชั้น 3
- (4) ความยาวเมล็ดข้าวขาวน้อยกว่า 6.2 มิลลิเมตร คือ เมล็ดสั้น

ขั้นตอนที่ 8 สร้างฟังก์ชันการตัดสินใจ (Decision Functions)

ทำโดยการกำหนดเงื่อนไขกลุ่มข้าวที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 7 ตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทย เพื่อนำข้อมูลกลุ่มข้าวเหล่านี้มาจำแนกประเภทของข้าวขาวในงานวิจัยนี้ ได้จำแนกกลุ่มข้าวขาวตามพื้นข้าวทั้งหมด 3 ชนิด คือ

(1) ข้าวขาว 100% ชั้น 1 ซึ่งมีพื้นข้าวประกอบ ด้วยกลุ่มข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 ไม่น้อยกว่า 70% และ กลุ่มข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 ไม่เกิน 5% ส่วนกลุ่มข้าว เมล็ดยาวชั้น 2 มีเท่าใดก็ได้

(2) ข้าวขาว 100% ชั้น 2 มีพื้นข้าวประกอบ ด้วยกลุ่มข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 ไม่น้อยกว่า 40% และ กลุ่มข้าวเมล็ดสั้นได้ไม่เกิน 5% ส่วนกลุ่มข้าวเมล็ด ยาวชั้น 2 หรือ ชั้น 3 มีจำนวนเท่าใดก็ได้ และ

(3) ข้าวขาว 10% มีพื้นข้าวประกอบด้วยกลุ่ม ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 ไม่น้อยกว่า 10% และกลุ่มข้าว เมล็ดสั้นได้ไม่เกิน 15% ส่วนกลุ่มข้าวเมล็ดยาว ชั้น 2 หรือ ชั้น 3 มีจำนวนเท่าใดก็ได้

ขั้นตอนที่ 9 ระบุชนิดของข้าวขาว (Type of White Rice)

ทำโดยการนำผลลัพธ์การจำแนกชนิดของ เมล็ดข้าวขาวในขั้นตอนที่ 8 มาพิจารณาและแสดง ผลออกบนจอคอมพิวเตอร์ในรูปแบบตัวอักษรที่ระบุว่า แต่ละภาพของเมล็ดข้าวขาวที่นำมาทดสอบกับ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาว่าเป็นประเภทใดใน 3 ชนิด คือ (1) ข้าวขาว 100% ชั้น 1 (2) ข้าวขาว 100% ชั้น 2 และ (3) ข้าวขาว 10%

2.2 การวัดประสิทธิภาพขั้นตอนและวิธีการ

ในการวัดประสิทธิภาพของการหาความยาว ของเมล็ดข้าวขาวตามขั้นตอนที่ 6 ทำโดยการนำ ภาพเมล็ดข้าวขาวหนึ่งเมล็ดแต่ละชนิด (ข้าวขาว ชนิด 100% ชั้น 1 ข้าวขาวชนิด 100% ชั้น 2 และ ข้าวขาวชนิด 10%) รวม 500 ภาพ ซึ่งทราบและ จัดเก็บค่าความยาวของเมล็ดข้าวขาวทุกเมล็ด

โดยการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดความยาว ต่อมา นำภาพเหล่านี้หาความยาวของเมล็ดข้าวด้วย โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ ได้กับค่าความยาวที่ได้รับจากการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในรูปแบบค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เฉลี่ย (Mean Absolute Error, MAE) ซึ่งสามารถ เขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 7

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |l[k] - \hat{l}[k]| \quad (7)$$

โดยที่ $l[k]$ และ $\hat{l}[k]$ คือ ค่าความยาว ของเมล็ดข้าวขาวที่ได้รับจากการใช้เวอร์เนียร์ คาลิเปอร์วัดและค่าความยาวของเมล็ดข้าวขาว ที่ได้รับจากการใช้โปรแกรมวัด และ M คือ จำนวนของเมล็ดข้าวขาวที่ใช้ทดสอบ

นอกจากนี้ยังได้วัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการคัดแยกหรือ จำแนกประเภทของกลุ่มเมล็ดข้าวขาวจากภาพถ่าย ดิจิทัลอีก จำนวน 300 ภาพ ซึ่งได้แบ่งออกเป็น ข้าวขาวชนิด 100% ชั้น 1 ข้าวขาวชนิด 100% ชั้น 2 และข้าวขาวชนิด 10% อย่างละ 100 ภาพ โดยตัววัดประสิทธิภาพในกรณีนี้ จะใช้ค่าความ ถูกต้องของการจำแนกในหน่วยร้อยละหรือ เปอร์เซนต์ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 8

$$\text{ค่าความถูกต้องในการจำแนก} = \frac{A}{K} \times 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

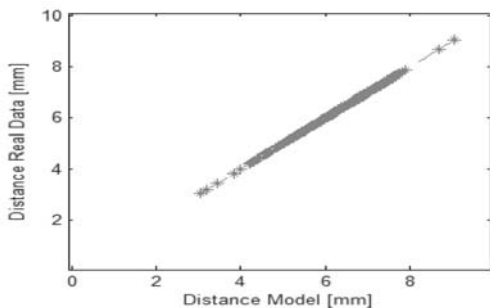
โดยที่ A คือ จำนวนภาพของกลุ่มเมล็ด ข้าวขาวที่ระบุชนิดเมล็ดข้าวขาวถูกต้องจาก จำนวนภาพทั้งหมด K รูป และ K คือ จำนวน ภาพของกลุ่มเมล็ดข้าวขาวทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของลำดับขั้นตอนที่พัฒนาขึ้นซึ่งใช้สำหรับการจำแนกประเภทของเมล็ดข้าวจากภาพถ่ายดิจิทัลตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทยปี พ.ศ. 2540 จะกล่าวถึงผลการศึกษา และการอภิปรายผลดังนี้

3.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยใช้ภาพของเมล็ดข้าวทั้งหมด 800 ภาพ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ทดลองหาค่าความยาวของเมล็ดข้าวแบบหนึ่งเมล็ดจากภาพจำนวน 500 ภาพ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับกรวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ซึ่งดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ถึง ขั้นตอนที่ 6 ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนความยาวสมบูรณ์เฉลี่ยในหนึ่งเมล็ดเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร และได้เขียนเส้นตรงระหว่างความยาวเมล็ดข้าวที่ได้รับจากทั้งสองวิธี ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 คู่ลำดับความยาวเมล็ดข้าวที่ได้รับจากการวัดด้วยวิธีโปรแกรมกับวิธีเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

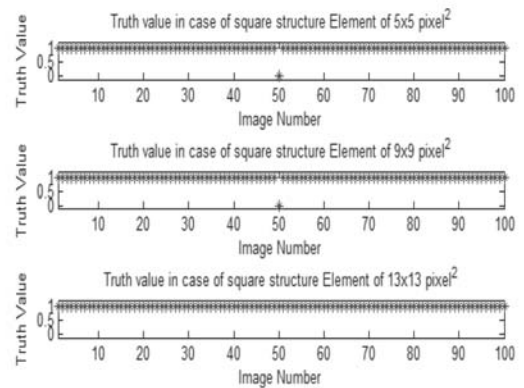
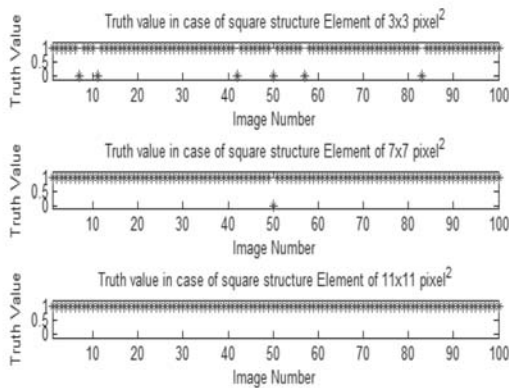
นอกจากนี้ได้ทดลองและทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำแนกประเภทของกลุ่มข้าวจากภาพกลุ่มข้าวชาวนิด 100% ชั้น 1 กลุ่มข้าวชาวนิด 100% ชั้น 2 และกลุ่มข้าวชาวนิด 10% จำนวนชนิดละ 100 ภาพ ซึ่งดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 9 ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2 พบว่าจากผลการทดลองในตารางที่ 2 ค่าความถูกต้องในการจำแนกเมื่อใช้องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5x5 พิกเซล มีค่าความถูกต้องสูงที่สุด โดยพบว่าประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าวชาวนิด 100% ชั้น 1, ข้าวชาวนิด 100% ชั้น 2 และข้าวชาวนิด 10% ได้ถูกต้อง 99 ภาพ, 99 ภาพ และ 100 ภาพ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการจำแนกประเภทข้าวชาวนิด 100% ชั้น 2 และข้าวชาวนิด 10% สำหรับกรณี 3x3 พิกเซล และ 5x5 พิกเซล ให้ผลถูกต้องเท่ากัน แต่กรณีจำแนกประเภทข้าวชาวนิด 100% ชั้น 1 กรณี 3x3 พิกเซล ได้ให้ความถูกต้องการจำแนกน้อยกว่ากรณี 5x5 พิกเซล ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การใช้ขนาดองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เหมาะสมคือ 5x5 พิกเซล สำหรับการจำแนกประเภทข้าวชาวนิด 100% ชั้น 1, ข้าวชาวนิด 100% ชั้น 2 และข้าวชาวนิด 10% ด้วยวิธีลำดับขั้นตอนและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาวแบบกลุ่มด้วยวิธีที่นำเสนอ

ขนาด พิกเซล	ข้าวขาว 100% ชั้น 1		ข้าวขาว 100% ชั้น 2		ข้าวขาว 10%	
	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด	ถูก	ผิด
	3x3	94	6	99	1	100
5x5	99	1	99	1	100	0
7x7	99	1	99	1	99	1
9x9	99	1	99	1	98	2
11x11	100	0	97	3	95	5
13x13	100	0	49	51	2	98

จากการเลือกขนาดขององค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 6 กรณี คือ 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซลในแต่ละกรณีนำขอบเมล็ดข้าวมาหาความยาวและจำแนกเมล็ดข้าวขาวตามเกณฑ์มาตรฐานข้าวไทยโดยที่การจำแนกกลุ่มข้าวขาวตามพื้นข้าวแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ๆ ละ 100 ภาพ ได้ผลการทดลองทั้ง 18 กรณี ดังต่อไปนี้

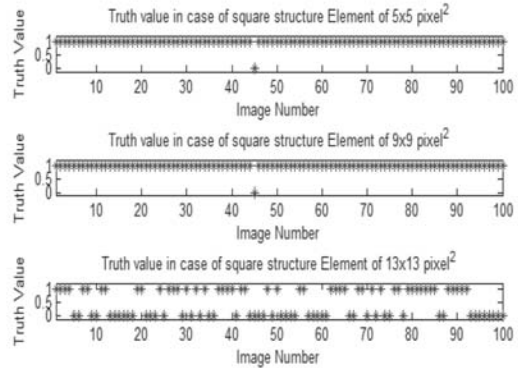
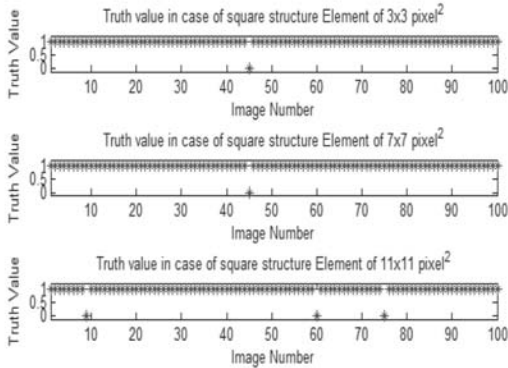
กรณีที่ 1-6 : จากข้อมูลการจำแนกข้าวขาว 100% ชั้น 1 ในตารางที่ 2 โดยการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล ได้ผลลัพธ์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลลัพธ์เปรียบเทียบการจำแนกข้าวขาวประเภท 100% ชั้น 1 กรณีใช้องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล

กรณีที่ 7-12 : จากข้อมูลการจำแนกข้าวขาว 100% ชั้น 2 ในตารางที่ 2 โดยการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล

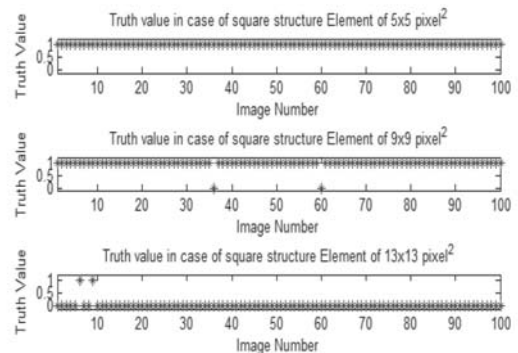
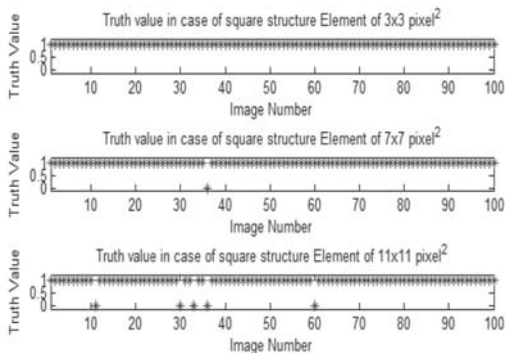
ได้ผลลัพธ์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มขนาดองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีผลทำให้ความผิดพลาดในการจำแนกข้าวขาวประเภท 100% ชั้น 2 เพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 6 ผลลัพธ์เปรียบเทียบการจำแนกข้าวขาวประเภท 100% ชั้น 2 กรณีใช้องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล

กรณีที่ 13-18 : จากข้อมูลการจำแนกข้าวขาว 10% ในตารางที่ 2 โดยการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล

ได้ผลลัพธ์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าหากเพิ่มขนาดองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะทำความผิดพลาดในการจำแนกข้าวเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 7 ผลลัพธ์เปรียบเทียบการจำแนกข้าวขาวประเภท 10% กรณีใช้องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล

3.2 อภิปรายผล

หลังจากได้นำภาพของเมล็ดข้าวขาวทั้งหมด 800 ภาพมาทดสอบการจำแนกประเภทข้าวขาว ตามที่แสดงผลการทดลองไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ สามารถอภิปรายผลแต่ละการทดลองได้ดังต่อไปนี้

จากผลการทดลองหาความยาวเมล็ดข้าว แบบหนึ่งเมล็ด จำนวน 500 ภาพ พบว่า อัลกอริทึม หรือโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถหาค่าความ คลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยของความยาวเมล็ด ข้าวขาวได้เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตรต่อเมล็ดเมื่อ เปรียบเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ นอกจากนี้ คู่ลำดับความยาวที่ได้รับจากโปรแกรม กับเวอร์เนียร์คาลิเปอร์มีความสัมพันธ์เป็นเส้น ตรงผ่านจุดกำเนิดตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4 โดยมีค่า สหสัมพันธ์แบบไขว้เท่ากับ 0.99 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ความสัมพันธ์เส้นตรงดังกล่าวทำให้ความยาว เมล็ดข้าวขาวจากการวัดด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น กับการวัดด้วยวิธีเวอร์เนียร์คาลิเปอร์มีค่าใกล้เคียง กันมากหรืออาจมีค่าเท่ากันได้หากยอมรับค่าความ ผิดพลาดเฉพาะเทคนิคตำแหน่งที่สอง

จากผลการทดลองในการจำแนกประเภท ข้าวขาว 100% ชั้น 1 จำนวน 100 ภาพ ร่วมกับ องค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล ในตาราง 2 พบว่า อัลกอริทึมหรือโปรแกรมที่ได้ พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกประเภทข้าวขาว 100% ชั้น 1 ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 94% สำหรับ ขนาด 3x3 พิกเซล ค่าความถูกต้องเท่ากับ 99% สำหรับขนาด 5x5, 7x7 และ 9x9 พิกเซล และได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 100% สำหรับขนาด 11x11 และ 13x13 พิกเซล นอกจากนี้ ผลลัพธ์ การจำแนกข้าวขาวประเภท 100% ชั้น 1 ที่ได้

รับจากการใช้องค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยม จัตุรัส พบว่า ถ้าเพิ่มขนาดขององค์กรประกอบ โครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากขึ้น จะมีผลทำให้ ความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้าวขาว 100% ชั้น 1 เพิ่มมากขึ้นจนถึง 100% ในกรณีการใช้ ขนาด 11x11 และ 13x13 พิกเซล เนื่องจาก องค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับ ขนาด 3x3, 5x5, 7x7 และ 9x9 พิกเซล มีขนาดเล็ก กว่าสัญญาณรบกวน จึงทำให้สัญญาณรบกวน ที่อยู่ในภาพเมล็ดข้าวขาวถูกกรองออกได้น้อยกว่า การใช้อองค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีขนาด 11x11 และ 13x13 พิกเซล

จากผลการทดลองในการจำแนกประเภท ข้าวขาว 100% ชั้น 2 จำนวน 100 ภาพ ร่วมกับ องค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล ในตาราง 2 พบว่า อัลกอริทึมหรือโปรแกรมที่ได้ พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกประเภทข้าวขาว 100% ชั้น 2 ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 99% สำหรับ ขนาด 3x3, 5x5, 7x7 และ 9x9 พิกเซล ได้ค่า ความถูกต้องเท่ากับ 97% สำหรับขนาด 11x11 พิกเซล และได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 49% สำหรับ ขนาด 13x13 พิกเซล นอกจากนี้ ผลลัพธ์การ จำแนกข้าวขาวประเภท 100% ชั้น 2 ที่ได้รับจาก การใช้อองค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส พบว่า ถ้าเพิ่มขนาดขององค์กรประกอบโครงสร้าง รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากขึ้น จะมีผลทำให้ความถูก ต้องในการจำแนกประเภทข้าวขาว 100% ชั้น 2 ลดลงจนถึง 49% ในกรณีการใช้ขนาด 13x13 พิกเซล เนื่องจากองค์กรประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยม จัตุรัสสำหรับขนาด 11x11 และ 13x13 พิกเซล มีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณรบกวน จึงทำให้ทำลาย

ส่วนที่เป็นเมล็ดข้าวขาวบางส่วนออกไปได้มากกว่า การใช้อ็องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีขนาด 3x3, 5x5, 7x7 และ 9x9 พิกเซล

จากผลการทดลองในการจำแนกประเภท ข้าวขาว 10% จำนวน 100 ภาพ ร่วมกับองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล ในตาราง 2 พบว่า อัลกอริทึมหรือโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกประเภทข้าวขาว 10% ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 100% สำหรับขนาด 3x3 และ 5x5 พิกเซล ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 99% สำหรับขนาด 7x7 พิกเซล ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 98% สำหรับขนาด 9x9 พิกเซล ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 95% สำหรับขนาด 11x11 พิกเซล และได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 2% สำหรับขนาด 13x13 พิกเซล นอกจากนี้ ผลลัพธ์การจำแนกข้าวขาวประเภท 10% ที่ได้รับจากการใช้อ็องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส พบว่า ถ้าเพิ่มขนาดขององค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากขึ้น จะมีผลทำให้ความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้าวขาว 10% ลดลงจนถึง 2% ในกรณีการใช้ขนาด 13x13 พิกเซล เนื่องจากองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับขนาด 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล มีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณรบกวน จึงทำให้ทำลายส่วนที่เป็นเมล็ดข้าวขาวบางส่วนออกไปได้มากกว่าการใช้อ็องค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด 3x3 และ 5x5 พิกเซล

4. สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึม และโปรแกรมซึ่งใช้สำหรับการจำแนกกลุ่มเมล็ด

ข้าวขาวชนิดต่างๆ ตามมาตรฐานข้าวไทย พ.ศ. 2540 ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพจำนวน 9 ขั้นตอนตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2 จาก การทดลองและทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับ ภาพของเมล็ดข้าวขาว จำนวน 800 ภาพ พบว่า โปรแกรมสามารถคำนวณค่าความยาวของเมล็ด ข้าวขาวแต่ละเมล็ดบนภาพถ่ายดิจิทัลทั้งแบบ เมล็ดเดี่ยวหรือแบบกลุ่ม ได้การประมวลผลอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพด้วยค่าความผิดพลาด ของความยาวสมบูรณ์อยู่ระดับเฉลี่ย 0.01 มิลลิเมตร ต่อเมล็ด นอกจากนี้ เมื่อใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มาจำแนกประเภทข้าวขาวจากภาพกลุ่มข้าวชนิด 100% ชั้น 1 กลุ่มข้าวชนิด 100% ชั้น 2 และ กลุ่มข้าวชนิด 10% จำนวนชนิดละ 100 ภาพ ในแต่ละชนิดกรองสัญญาณรบกวนด้วยกระบวนการ ประมวลผลภาพด้วยองค์ประกอบโครงสร้างรูป สี่เหลี่ยมจัตุรัส 6 ขนาดคือ 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 และ 13x13 พิกเซล พบว่า วิธีที่นำเสนอ ร่วมกับขนาดองค์ประกอบโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยม จัตุรัสขนาด 5x5 พิกเซล สามารถจำแนกประเภท ข้าวขาวทั้งสามชนิดได้ถูกต้องด้วยค่าความถูกต้อง สูงสุดถึง 99.33% โดยการจำแนกประเภทเมล็ด ข้าวขาวที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ตรวจสอบและจำแนกเมล็ดข้าวชนิดต่าง ๆ ที่ ต้องการตรวจสอบได้บนพื้นฐานของการหา ความยาวเป็นเกณฑ์ในการคัดแยก

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับการ สนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้โครงการส่งเสริมการผลิต ผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา ประจำปี 2557 (รหัสทุน 57IM-02)

6. เอกสารอ้างอิง

- บวร ตั้งดี และ สุชาติ แย้มเม่น. 2554. การพัฒนา อัลกอริทึมสำหรับตรวจหาเม็ดโคมจาก ภาพอะแดพเตอร์การ์ด. การประชุม วิชาการระดับนานาชาติ นครสวรรค์ ครั้งที่ 7. ประกาศกระทรวงพาณิชย์. 2540. ประกาศ กระทรวงพาณิชย์ เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 31
- โชคชรัตน์ ฤทธิเย็น และ สุชาติ แย้มเม่น. 2557. อัลกอริทึมสำหรับการจำแนกประเภท เมล็ดข้าวขาว. การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมนังคฯ ครั้งที่ 6. (EENET2014).
- โชคชรัตน์ ฤทธิเย็น. 2556. การพัฒนาอุปกรณ์ ต้นแบบเพื่อการตรวจสอบคุณภาพเมล็ด ข้าวขาว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร- มหบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัย นครสวรรค์.
- สุชาติ แย้มเม่น และ โชคชรัตน์ ฤทธิเย็น. 2555. อัลกอริทึมสำหรับตรวจหาความสมบูรณ์ ของเมล็ดข้าวขาว. การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35. (EECON-35).
- A. Ajmal., & I. M. Hussain. 2010. **Vehicle detection using morphological image processing technique.** Paper presented at the Multimedia Computing and Information Technology (MCIT), 2010 International Conference on 2-4 March 2010, p. 65-68.
- A.K. Jain. 1989. **Fundamentals of Digital Image Processing.** Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- G.A. Baraghimian. 1989. **Connected component labeling using self-organizing feature maps.** Paper presented at the Computer Software and Applications Conference, 1989. COMPSAC 89., Proceedings of the 13th Annual International on 20-22 September 1989, p. 680-684.
- G. Xu., & X. Meng. 2008 **Detection and recognition on parameters of object's internal structure.** Neural Networks, 2008. IJCNN 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE International Joint Conference. June 1-8, 2008, p. 543-547.
- J. Canny. 2010. A Computational Approach to Edge Detection. [Online]. Available from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/Stamp.jsp?tp=&arnumber=4767851>.
- J. Lin., S. Luo., Q. Li., H. Zhang., & S. Ren. 2009. **Real-time rail head surface defect detection: A geometrical approach.** Paper presented at the Industrial Electronics, 2009. ISIE 2009. IEEE International Symposium.
- K.S. Sim., Y.Y. Kho. & C.P. Tso. 2008. **Application of Contrast Enhancement Bilateral Closing Top-hat Otsu Thresholding (CEBICTOT) technique on crack images.** Paper presented at the Cybernetic Intelligent Systems, 2008. CIS 2008. 7th IEEE International

- Conference on 9-10 September 2008, p. 1-4.
- K.R. Castleman. 1996. **Digital Image Processing**. Prentice Hall International, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- N. Otsu. 1979. **A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms**. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 9(1), p. 62-66.
- P.K. William. 1991. **Digital Image Processing**. Sun Microsystems, Inc., California.
- P. Liang., X. Zhiwei., & D. Jiguang. 2010. **Fast normalized cross-correlation image matching based on multiscale edge information**. Paper presented at the Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on 22-24 September 2010, p. V10-507-V10-511.
- P. Soille. 2003. **Morphological image analysis : principles and applications**. Berlin; New York: Springer.
- R.C. Gonzalez and R.E. Woods. 2002. **Digital Image Processing**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- X. Ruihua., W. Ping., Z. Wu., & X. Qi. 2009). **A novel overlapping mice macrophages images segmentation method**. Paper presented at the Image Analysis and Signal Processing, 2009. IASP 2009. International Conference on 11-12 April 2009, p. 40-43.