

การตรวจหารอยร้าวของไข่ภายใต้ระบบสุญญากาศ

ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

Detection of Cracked Egg under Vacuum System

Using Image Processing Techniques

อมรรุทธิ์ พุทธิพิพัฒน์ขจร* และพัชราภรณ์ พรหมสุรินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Amornrit Puttipipatkajorn* and Patcharaporn Promsurin

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,

Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

การตรวจสอบคุณภาพของไข่กลายเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมไข่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการตรวจหารอยร้าวของไข่แบบรวดเร็วและไม่ทำลาย การตรวจหารอยร้าวของไข่มีผลกระทบต่อคุณภาพของไข่ ถ้าไข่มีรอยร้าว จุลินทรีย์ก็สามารถเข้าไปในไข่ผ่านรอยร้าวและเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ ดังนั้นการตรวจหารอยร้าวของไข่จึงมีความจำเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการตรวจหารอยร้าวของไข่โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยนำไข่ที่ต้องการตรวจสอบไปวางไว้ในกล่องสุญญากาศ เพื่อให้ไข่เปื่อยตัวและเห็นรอยร้าวได้ชัดเจนขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสังเกตรอยร้าวด้วยการส่องสว่างบนผิวของเปลือกไข่เพียงอย่างเดียว การตรวจหารอยร้าวของไข่ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ (1) การรับภาพจากกล่องสุญญากาศ (2) การแยกองค์ประกอบของระบบสี (3) การลบภาพพื้นหลัง (4) การลบผิวของเปลือกไข่ และ (5) การตรวจจับรอยร้าวของไข่จากการทดลองกับไข่ทั้งหมด 80 ฟอง พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหารอยร้าวของไข่ได้ถูกต้องถึงร้อยละ 86.25 %

คำสำคัญ : ไข่; ประมวลผลภาพ; รอยร้าว; ระบบสุญญากาศ

Abstract

The determination of egg quality is becoming an important part of egg industry, especially how to detect the crack on egg fast and nondestructively. The detection of crack on the egg has a strong impact on their quality. If the egg has the cracks, the microbes can enter into the egg through the crack, which will cause the spoilage. Thus the crack detection of eggs is very necessary. This

research proposes the detection of cracked egg using image processing techniques. The cracked egg was placed into the vacuum box in order to observe more easily the crack line on the surface of egg when comparing to observing directly the crack line by lightning. The method was composed of 5 steps. The first one was to acquire an image from the video input device (camera) that mounted inside the vacuum box. After the background subtraction was needed to remove the background from the image. The surface of egg was deleted in the follow step and the last one was the detection of cracks by using Hough transform method. The results of experiments from 80 samples shown that the proposed method can detect the cracks with high accuracy up to 86.25 %

Keywords: egg; image processing; crack; vacuum system

1. บทนำ

ภาพรวมอุตสาหกรรมไข่ไก่ไทย ปี พ.ศ. 2552-2556 จะเห็นว่าธุรกิจไข่ไก่ของไทยผลิตเพื่อรองรับการบริโภคในประเทศเป็นหลัก มีการส่งออกและนำเข้าบ้างเล็กน้อย มีต้นทุนการผลิตห่างจากราคาหน้าฟาร์มไม่มาก เฉลี่ย 5 ปี อยู่ที่ประมาณ 20 สตางค์ ดังนั้นเมื่อใดที่ราคาไข่ไก่ผันผวนเพียงเล็กน้อย เกษตรกรก็จะตกอยู่ในภาวะขาดทุนได้ง่าย ๆ ในขณะที่อัตราการผลิตบริโภคโดยเฉลี่ยทั้งอาเซียนอยู่ที่ 107 ฟองต่อคน/ปี โดยบรูไนมีการบริโภคมากที่สุด 333 ฟอง/คน/ปี ส่วนไทยมีการบริโภค 159 ฟอง/คน/ปี และน้อยสุด คือ กัมพูชา 27 ฟอง/คน/ปี ส่วนประเทศที่มีการส่งออกไข่ไก่สดในอาเซียนมากที่สุด คือ มาเลเซีย 89 % ส่งออกไปฮ่องกง สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ พม่า ลาว และเวียดนาม ส่วนไทยมีการส่งออกในตลาดนี้เพียง 9 % ในขณะที่สิงคโปร์เป็นประเทศที่นำเข้ามากที่สุด 99 % โดยนำเข้าจากมาเลเซีย ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ สวีเดน และสหรัฐอเมริกา ส่วนประเทศอื่น ๆ ในอาเซียนมีการนำเข้าจากประเทศกลุ่มนี้เพียง 1 % ดังนั้นเมื่อเปิด AEC ในปี พ.ศ. 2558 กิจกรรมการค้าขาย การลงทุน และการท่องเที่ยวของอาเซียนจะเติบโตขึ้น ตามมาด้วยเศรษฐกิจของอาเซียนดีขึ้น จึงเป็นโอกาสให้เกษตรกรผู้เลี้ยงไข่ไก่ของไทยขยายตลาดไข่ไก่เพิ่มขึ้นได้ แต่

เกษตรกรต้องพยายามเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พัฒนาคุณภาพไข่ไก่ให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อส่งเสริมมาตรฐานไข่ไก่ให้เป็นที่ยอมรับและแข่งขันได้ในระดับสากลและเพื่อให้ผู้บริโภคได้บริโภคของที่มีคุณภาพในราคาที่เหมาะสม และป้องกันไม่ให้ไข่ไก่จากต่างประเทศเข้ามาขายแข่งได้ [1]

ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของไข่จึงมีความสำคัญเพื่อใช้กำหนดราคาซื้อขายที่เหมาะสมและมีความยุติธรรม การตรวจสอบคุณภาพไข่สามารถดูได้ทั้งภายนอกและภายในฟองไข่ โดยคุณภาพภายนอก คือ สิ่งที่มองเห็นได้ด้วยตา ได้แก่ ลักษณะขนาด รูปทรง สี ลักษณะเปลือก หยาบ เกลี้ยง เป็นสันร่อง หรือริ้วรอย และดูคุณภาพภายในได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งเป็นการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ การวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงจำนวนของโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ รวมถึงความเป็นกรดต่างของไข่ ก็อาจเป็นเครื่องชี้บ่งถึงคุณภาพของไข่ได้เช่นกัน ส่วนงานวิจัยนี้จะเน้นการดูคุณภาพภายนอกของไข่จากการตรวจหาไข่ที่มีรอยร้าว ซึ่งในเริ่มแรกต้องอาศัยการตรวจสอบจากการสังเกต ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความสามารถของมนุษย์ในการสังเกต รอยร้าวที่เกิดขึ้น และเนื่องด้วยในปัจจุบันเกิดสภาวะแรงงานขาดแคลนและค่าจ้างแรงงานที่สูง จึงมีการนำเสนอวิธีการตรวจหารอยร้าวของไข่วิธีการอื่น ๆ อีก

เช่น เทคนิคการตรวจหารอยแตกร้าวของเปลือกไข่แบบไม่ทำลายได้รับการพัฒนาขึ้นโดยการวัดสัญญาณเสียงจากการเคาะและวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ก่อนวัดสัญญาณเสียงไข่จะถูกรวบรวมการแตกร้าวบนเปลือกด้วยวิธีส่องไฟ (candling) พบว่าสัญญาณเสียงจากไข่ที่มีเปลือกสมบูรณ์จะอยู่ในช่วง 2,500 ถึง 7ม000 เฮิร์ต ขณะที่ไข่ซึ่งมีเปลือกร้าวหรือแตกสัญญาณเสียงจะอยู่ในช่วง 550 ถึง 9,000 เฮิร์ต [2] และจากการทดลองพบว่า การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำมากกว่าวิธีการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันในการตรวจหารอยร้าวของไข่ การวิเคราะห์รอยร้าวไข่ด้วยสัญญาณเสียงมีข้อเสียที่สัญญาณเสียงที่ได้รับอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ที่ได้ นอกจากนี้ตำแหน่งในการเคาะก็มีผลโดยตรงต่อสัญญาณเสียงที่ได้รับ โดยถ้าเคาะในตำแหน่งที่มีรอยร้าวก็จะได้สัญญาณเสียงที่แตกต่างจากส่วนที่ไม่พบรอยร้าวในไข่ลูกเดียวกัน จากข้อจำกัดข้างต้น Mansoor และคณะ [3] ได้เสนอการตรวจหารอยร้าวของไข่ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยนำเสนอวิธี SUSAN edge detection และใช้ fuzzy ช่วยในการกำหนดค่า threshold จากวิธีการนี้พบว่าให้ความถูกต้อง 82 %

อย่างไรก็ตาม ถ้ารอยร้าวของไข่มีขนาดเล็กมาก ๆ และสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้ยาก วิธีการดังกล่าวก็ไม่สามารถตรวจพบได้เช่นกัน เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว Yoon และคณะ [4] ได้เสนอวิธีการตรวจหารอยร้าวของไข่โดยการนำไข่ไปใส่ไว้ในกล่องที่ถูกทำให้เกิดภาวะสุญญากาศ เพื่อช่วยให้ได้ภาพไข่ที่มีขนาดรอยร้าวใหญ่ขึ้นและง่ายต่อการตรวจสอบ นอกจากนี้

Fang และ Youxian [5] ได้นำเสนอการตรวจหารอยร้าวของไข่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคการลบภาพพื้นหลัง (background subtraction) ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้เวลาประมวลผลน้อย เนื่องจากไม่ซับซ้อน ต่อมาภัทรภรณ์ และครองขวัญ [6] ได้ศึกษาและออกแบบสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจหารอยร้าวของไข่ที่ละฟอง โดยอุปกรณ์ทำจากกล่องอะคริลิกแล้วใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศภายในกล่องออก เพื่อทำให้เกิดภาวะสุญญากาศส่งผลให้เกิดการขยายตัวของอากาศภายในไข่ทำให้เห็นรอยร้าวบนเปลือกไข่ได้ชัดเจนขึ้น และผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ชุดดังกล่าวนี้มาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจหารอยร้าวของไข่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพภายใต้กล่องสุญญากาศด้วยการตรวจรอยร้าวไข่ด้วยวิธี Hough transform โดยเริ่มต้นจากการสร้างชุดทดลองซึ่งประกอบด้วย กล่องกระดาษภายในบรรจุกล่องอะคริลิก กล้อง webcam สำหรับถ่ายภาพ หลอดไฟ LED สำหรับส่องสว่างและปั๊มสุญญากาศเพื่อทำให้เกิดภาวะสุญญากาศและช่วยให้เห็นรอยร้าวของไข่ชัดเจนขึ้น ส่วนการประมวลผลภาพมีหลายขั้นตอน คือ การแยกองค์ประกอบของสีเพื่อใช้สำหรับการลบภาพพื้นหลังด้วยการทำ mask รูปทรงไข่ รวมถึงการลบผิวของเปลือกไข่ออกจากภาพ และขั้นตอนสุดท้าย คือ การตรวจหารอยร้าวของไข่ด้วยวิธี Hough transform ซึ่งผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหารอยร้าวได้อย่างถูกต้อง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

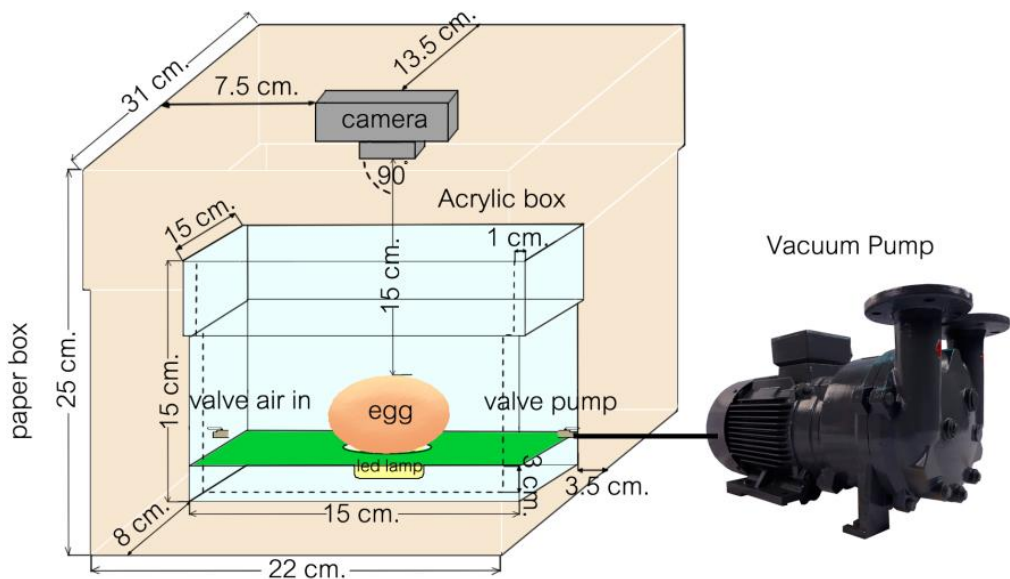
2.1 อุปกรณ์รับภาพและขั้นตอนการรับภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจหารอยร้าวของไข่ประกอบไปด้วยกล่องกระดาษขนาด 22 x 31 x 25 เซนติเมตร ทำหน้าที่ป้องกันแสงจากภายนอกไม่ให้

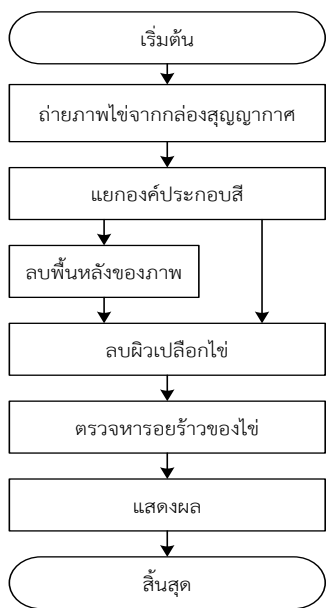
ลอดผ่านเข้ามา ส่วนด้านบนติดตั้งกล้อง Logitech HD Webcam รุ่น C525 ความละเอียด 1280x720 พิกเซล ทำมุม 90 องศากับฉากรับภาพ สำหรับถ่ายภาพไข่ ขณะอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ และภายในกล่อง ติดตั้งกล่องอะคริลิกหนา 1 เซนติเมตร ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร เชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศเพื่อดึงอากาศออกจากกล่องอะคริลิกและทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศขึ้น ส่งผลให้รอยร้าวของเปลือกไข่เกิดการขยายตัว เนื่องจากแรงดันภายในไข่และแรงดันภายในกล่องอะคริลิกมีค่าไม่เท่ากัน โดยกล่องอะคริลิก ประกอบไปด้วยวาล์ว 2 ตัว ตัวหนึ่งเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศเพื่อดึงอากาศออก ส่วนอีกตัวหนึ่งใช้สำหรับเปิดให้อากาศไหลเข้าในกล่องเพื่อทดลองครั้งต่อไป ส่วนไข่ที่ต้องการตรวจสอบรอยร้าวจะวางอยู่บนฉากกั้นที่เจาะรูเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตรเพื่อให้แสงลอดผ่านและอยู่สูงจากพื้นกล่อง 3 เซนติเมตร ส่วนด้านล่างติดตั้งหลอดแอลอีดีจำนวน 5 หลอด ในตำแหน่งที่ทำให้แนบติดกับไข่มากที่สุด (รูปที่ 1)

2.2. ขั้นตอนการตรวจหารอยร้าวของไข่

โดยขั้นตอนการตรวจหารอยร้าวของไข่ ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ (1) การถ่ายภาพไข่จากกล้องสุญญากาศเพื่อให้ได้ภาพที่เห็นรอยร้าวชัดเจนขึ้นจากการขยายตัวของเปลือกไข่ที่แรงดันภายในและภายนอกที่แตกต่างกัน (2) การแยกองค์ประกอบสีภูคนำมาใช้เพื่อเลือกองค์ประกอบของสีที่เหมาะสมสำหรับการลบพื้นหลัง และการลบผิวเปลือกไข่ในภาพ (3) การลบพื้นหลังของภาพอาศัยองค์ประกอบสีที่แยกไว้แล้วจากขั้นตอนก่อนหน้า โดยนำมาสร้าง mask รูปทรงไข่เพื่อกำจัดพื้นหลังของภาพและเหลือไว้แต่ภาพไข่ที่ต้องการ (4) การลบผิวเปลือกคือการนำองค์ประกอบสีจากขั้นตอนที่ 2 มาดำเนินการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำให้ผิวเปลือกไข่ที่ปรากฏในภาพหายไป และ (5) การตรวจหารอยร้าวของไข่ด้วยวิธี Hough transform (รูปที่ 2) ซึ่งวิธีการนี้จะตรวจหาเส้นรอยร้าวของไข่จากภาพที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมาแล้ว



รูปที่ 1 การติดตั้งกล้องและโครงสร้างของกล่องสุญญากาศ

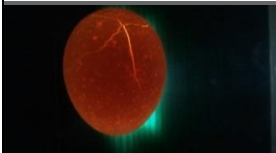
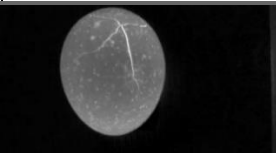
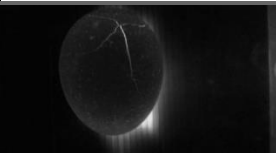
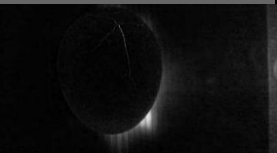
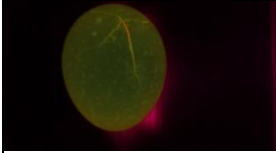
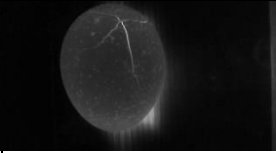
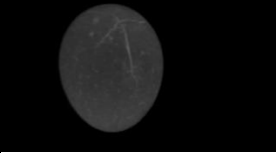

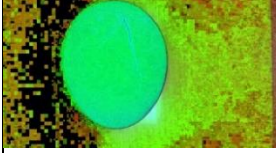
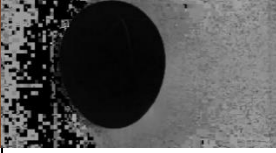
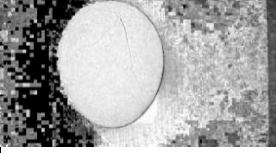
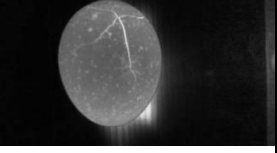


รูปที่ 2 ขั้นตอนการตรวจหารอยร้าวไข่

2.3 การแยกองค์ประกอบของระบบสี

ขั้นตอนแรกจะนำภาพที่บันทึกได้จากกล้องสุญญากาศมาแยกองค์ประกอบในระบบสีต่าง ๆ เพื่อหาว่าองค์ประกอบของระบบสีใดเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการลบพื้นหลังของภาพ และองค์ประกอบของระบบสีใดเหมาะสำหรับการนำไปตรวจหารอยร้าวของไข่ ระบบสีที่นำมาแยกองค์ประกอบประกอบด้วยระบบสี RGB ระบบสี YIQ และระบบสี HSV ซึ่งพบว่าองค์ประกอบ R จากระบบสี RGB และองค์ประกอบ I จากระบบสี YIQ นั้นมองเห็นรูปทรงของไข่ได้ชัดเจนและเหมาะสำหรับนำไปสร้าง mask รูปทรงของไข่เพื่อกำจัดพื้นหลังของภาพ ส่วนองค์ประกอบ G และ B สามารถมองเห็นเส้นรอยร้าวได้เด่นชัดที่สุด จึงเหมาะสำหรับนำไปตรวจหารอยร้าวต่อไป (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของระบบสีต่าง ๆ ของภาพ

Color system	Component 1	Component 2	Component 3
			
RGB	Component R	Component G	Component B
			
YIQ	Component Y	Component I	Component Q
			
HSV	Component H	Component S	Component V

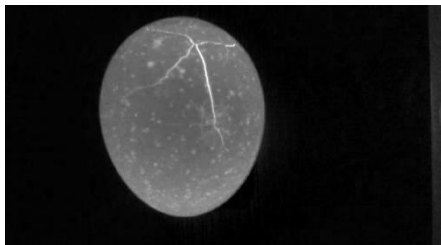
2.4 การลบพื้นหลังของภาพ

การแยกองค์ประกอบของระบบสีพบว่า มีองค์ประกอบของระบบสีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดพื้น

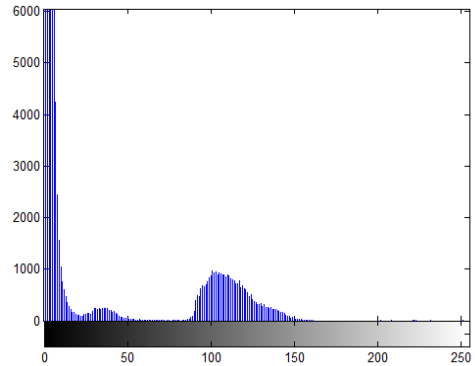
หลังมากกว่า 1 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบ R ของระบบสี RGB และองค์ประกอบ I ของระบบสี YIQ จึงต้องคัดเลือกหาองค์ประกอบของระบบสีที่เหมาะสม

ที่สุด เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3 จะพบว่าองค์ประกอบ I จากระบบสี YIQ มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันและมีฮิสโตแกรมที่ง่ายต่อการเลือกค่า threshold เพื่อใช้ในการกำจัดภาพพื้นหลังมากกว่าองค์ประกอบ R ของระบบสี RGB จากการทดลองพบว่าค่า threshold ที่เหมาะสมอยู่กึ่งกลางระหว่างค่า 0 ซึ่งคือพื้นหลังของภาพและผิว

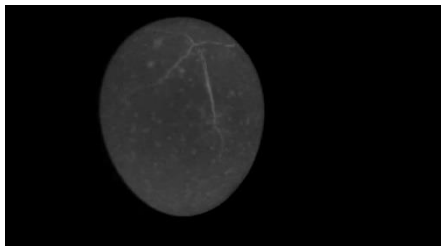
ของไข่ที่มีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 เพื่อนำไปสร้าง mask รูปทรงไข่ที่ต้องการ และเมื่อนำภาพอินพุตที่ได้รับจากกล้องมาใช้วิธีกำจัดพื้นหลังพบว่าแสงไฟและพื้นหลังที่ปรากฏรอบไข่จะถูกกลบออกไปเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นรูปไข่ดังรูปที่ 4



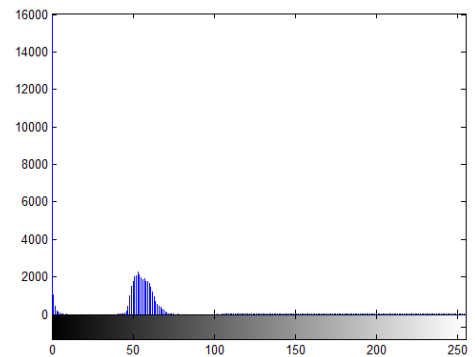
(a)



(b)



(c)



(d)

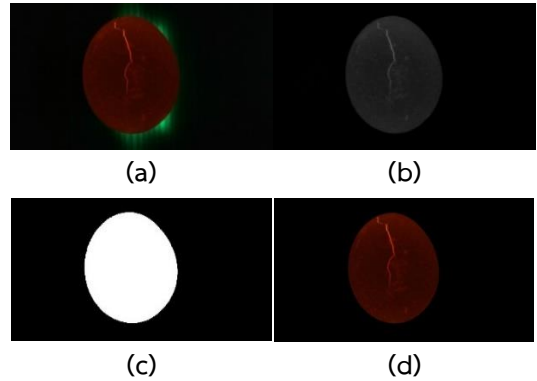
รูปที่ 3 (a) ภาพองค์ประกอบ R (b) ค่าฮิสโตแกรมของภาพองค์ประกอบ R (c) ภาพองค์ประกอบ I (d) ค่าฮิสโตแกรมของภาพองค์ประกอบ I

การแยกองค์ประกอบสีข้างต้นพบว่า องค์ประกอบ G และ B ของระบบสี RGB เหมาะสำหรับการนำมาใช้ลบผิวเปลือกไข่ออกจากภาพได้ดี เนื่องจากทั้ง 2 องค์ประกอบ เห็นรอยร้าวของไข่ได้ชัดเจน ในขั้นตอนนี้จะนำองค์ประกอบทั้งสองมาดำเนินการทางคณิตศาสตร์ซึ่งประกอบไปด้วยการบวก

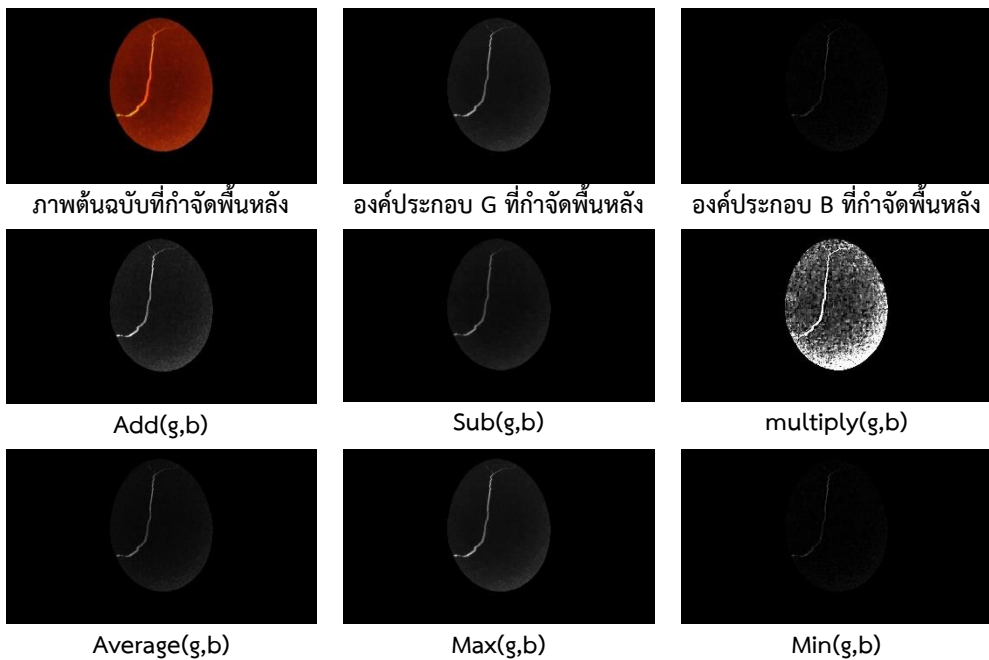
ภาพ การลบภาพ การคุณภาพ การหาค่าเฉลี่ยของภาพ การหาค่ามากที่สุดของภาพ และการหาค่าน้อยสุดของภาพตามลำดับ จากรูปที่ 5 พบว่าวิธีการบวกภาพช่วยให้เห็นรอยร้าวชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งยังไม่ทำให้ผิวเปลือกไข่ไม่มีความสว่างมากจนเกินไปเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น

เนื่องจากต้องการเพียงเส้นรอยร้าว เพื่อให้

ง่ายต่อการตรวจจ็บรอยร้าว จึงจำเป็นต้องกำจัดผิวของเปลือกไข่ออกไปให้หมด โดยนำ top-hat transform ซึ่งมีสมบัติกรองรายละเอียดเล็ก ๆ ออกจากภาพ [5] top-hat transform แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ white top-hat ซึ่งเป็นวิธีหาความแตกต่างระหว่างภาพที่รับเข้ามากับภาพที่ใช้การ opening และ black top-hat เป็นวิธีหาความแตกต่างระหว่างภาพที่รับเข้ามากับภาพที่ใช้การ closing จากการทดลอง top-hat transform ทั้ง 2 แบบ พบว่า white top-hat สามารถกำจัดผิวเปลือกไข่ออกไปได้ แต่ยังคงมองเห็นรอยร้าวได้ชัดเจน ในขณะที่ black top-hat จะลบเส้นรอยร้าวให้หายไปด้วย



รูปที่ 4 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ภาพองค์ประกอบ I ของระบบสี YIQ (c) mask ที่ได้จากการทำ threshold (d) ภาพที่ลบพื้นหลังออก



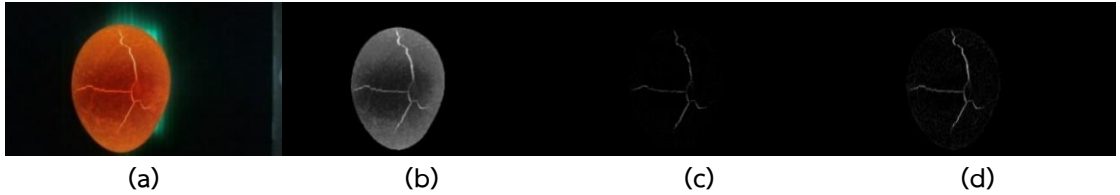
รูปที่ 5 การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ของภาพองค์ประกอบ G และ B

รูปที่ 6 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ white top-hat ในการกำจัดผิวของเปลือกไข่ที่ template รูปทรงกลมขนาด 3x3 ขนาด 5x5 และขนาด 7x7 พบว่าขนาด template ค่อนข้างมีผลต่อผิวเปลือกไข่

แต่ไม่กระทบกับรอยร้าวที่ปรากฏ ดังนั้นการใช้ template ขนาดเล็ก (3x3) จะทำให้ผิวเปลือกไข่อยู่มากเกินไปหรือจางลงเมื่อเทียบกับการใช้ template ขนาดใหญ่ ในบางกรณีอาจยังมีรอยผิวเปลือกไข่

บางส่วนหลงเหลืออยู่ในภาพ เราจะ threshold โดยการเลือกค่าต่ำสุดจากฮิสโตแกรมและใช้ median filter เพื่อลบรอยเปลือกไข่อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นจะเชื่อมต่อเส้นรอยร้าวที่ขาดช่วงกันโดยทดลองใช้

template สี่เหลี่ยมขนาด 4x4 ขนาด 8x8 และขนาด 12x12 ในการ closing ภาพ ซึ่งพบว่า template ขนาด 8x8 ได้ผลดีที่สุด



รูปที่ 6 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ภาพที่ผ่านการบวก (c) ภาพที่ใช้ white top-hat ขนาด 3x3 (d) ภาพที่ใช้ white top-hat ขนาด 7x7

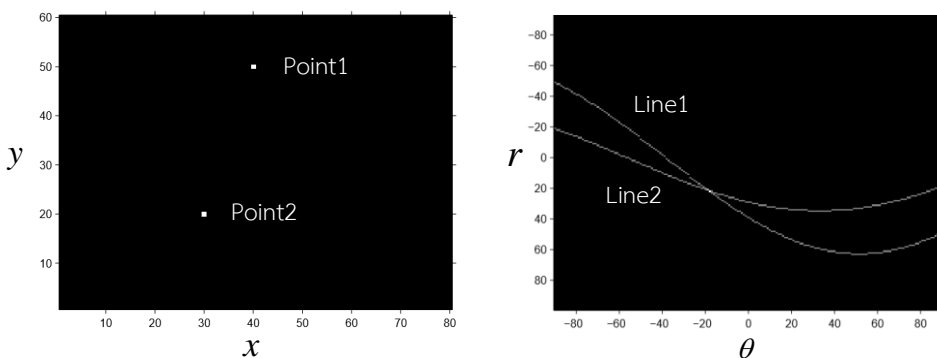
2.6 การตรวจหารอยร้าวของไข่

หลังจากได้ภาพ binary มาแล้ว ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการตรวจหารอยร้าวของไข่โดยการตรวจจับเส้นรอยร้าวในภาพด้วยวิธี Hough transform [7] ซึ่งใช้หลักการแทนเส้นตรงใน Hough space ถ้าพิจารณาจากสมการเส้นตรงซึ่งสามารถแทนได้ 2 รูปแบบดังสมการที่ 1 แต่ในทางทฤษฎีพบว่ารูปสมการเส้นตรงทางซ้ายมือไม่สามารถแทนสมการเส้นตรงในแนวตั้งได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้รูปสมการทางขวามือแทน โดยที่ r แทนระยะทางของเส้นตรงไปยังจุดกำเนิดและ θ แทนมุม ดังสมการที่ 2

$$y = ax + b \Leftrightarrow r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

เมื่อนำสมการที่ 1 ทางขวามือมาเขียนใหม่ให้มีรูปสมการสอดคล้องกับสมการที่ 1 ทางซ้ายมือ จะได้สมการที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของสมการเส้นตรงทั้ง 2 รูปแบบ ดังนั้นเส้นตรงทุกเส้นสามารถแทนในรูปสมการนี้ได้ เมื่อ $\theta \in (0, 360)$ และ $r \geq 0$ Hough space ของเส้นตรงมีขนาด 2 มิติ คือ r และ θ ซึ่งเส้นตรงจะถูกแทนด้วยจุดหนึ่งจุดใน Hough space

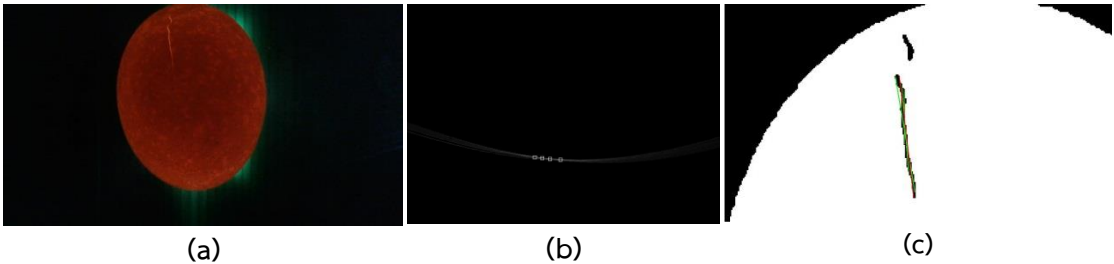
$$y = -\frac{\cos \theta}{\sin \theta} x + \frac{r}{\sin \theta} \quad (2)$$



รูปที่ 7 (a) จุดในภาพ (b) เส้นโค้งใน Hough space

หลักการสำคัญของ Hough transform คือ การ map จุดหนึ่งจุดในภาพซึ่งเส้นตรงทุกเส้นที่ผ่านจุดนี้ไปเป็นเส้นโค้งคล้ายรูปคลื่น sine ใน Hough space ดังรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการ map ของ Point1 ไปเป็น Line1 และ Point2 ไปเป็น Line2 และจุดตัดของเส้นโค้งใน Hough space แสดงว่ามีเส้นตรงเส้นหนึ่งตัดผ่านทั้ง Point1 และ Point2

หลักการข้างต้นนี้ได้นำมาทดลองใช้หาเส้นรอยร้าวของไข่ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าวิธี Hough transform สามารถหาเส้นรอยร้าวจากภาพได้ดังรูปที่ 8b พบว่าเกิดจุดตัดทั้งหมด 4 จุดใน Hough space จึงนำจุดในภาพทั้งหมดที่ทำให้เกิดจุดตัดดังกล่าวมาเชื่อมเป็นเส้นตรงได้ทั้งหมด 4 เส้น ซึ่งพบว่าเส้นตรงทั้ง 4 อยู่ในตำแหน่งรอยร้าวพอดีดังรูปที่ 8c



รูปที่ 8 (a) ภาพต้นฉบับ (b) จุดตัดใน Hough space (c) เชื่อมเส้นตรงจากจุดในภาพ

จากรูปที่ 8c พบว่า Hough transform สามารถใช้จับเส้นรอยแตกเส้นหลักได้เท่านั้นไม่สามารถหาได้ครอบคลุมครบทุกเส้น จึงไม่เหมาะสำหรับใช้หารอยร้าวที่มีลักษณะแตกเป็นวงกว้าง แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้เน้นพิจารณาว่าไข่มีรอยร้าวหรือไม่ ไม่ได้เน้นความละเอียดของเส้นรอยร้าวที่จับได้

ทดสอบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหารอยร้าวของไข่ได้ โดยการทดลองจะนำไข่ที่ละฟองไปใส่ไว้ในกล่องซึ่งเชื่อมต่อกับปั๊มสุญญากาศ เพื่อช่วยให้เห็นรอยร้าวได้ชัดเจนขึ้น ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยการทดลองแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 ประเภท คือ ไข่ที่เห็นรอยร้าวอย่างชัดเจน ไข่ที่เห็นรอยร้าวเล็กน้อย ไข่ที่เห็นรอยร้าวได้ยาก และไข่ที่ไม่พบรอยร้าวจากการสังเกตด้วยสายตา ผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหารอยร้าวของไข่ทั้ง 4 ประเภท ได้ถูกต้องเฉลี่ย 86.25 %

3. ผลการทดลองและวิจารณ์


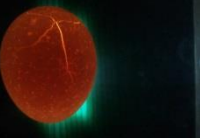


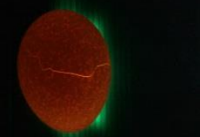
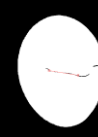

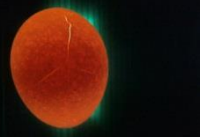
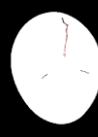

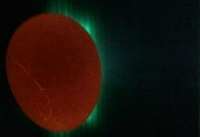
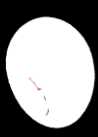

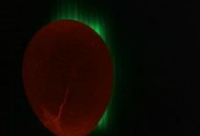
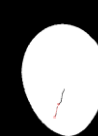

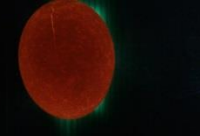


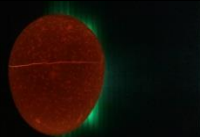
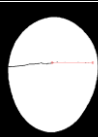

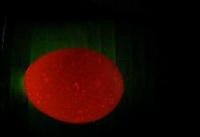


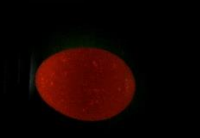


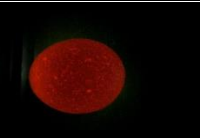

3.1 การหารอยร้าวด้วยวิธีที่นำเสนอ

การทดลองจะไข่ไข่ไก่ทั้งหมด 80 ฟอง เพื่อ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการตรวจหารอยร้าวของไข่จำนวน 10 ฟอง

	ประเภทของรอยร้าว			
	เห็นรอยร้าวชัดเจน	เห็นรอยร้าวเล็กน้อย	เห็นรอยร้าวได้ยาก	ไม่พบรอยร้าว
จำนวนไข่ที่ใช้ทดสอบ (ฟอง)	20	20	20	20
จำนวนไข่ที่ตรวจพบรอยร้าว (ฟอง)	18	17	16	2
ร้อยละความถูกต้อง (%)	90 %	85 %	80 %	90 %

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการทดสอบการตรวจหารอยร้าวของไข่ประเภทต่าง ๆ จำนวน 10 ฟอง

ลำดับ ที่	ภาพไข่ก่อนทดสอบ	ประเภทของ รอยร้าว	ภาพไข่ที่ถ่ายได้จากกล้อง สุญญากาศ	ผลการทดสอบด้วย วิธีที่นำเสนอ
1		เห็นรอยร้าว ชัดเจน		
2		เห็นรอยร้าว ชัดเจน		
3		เห็นรอยร้าว เล็กน้อย		
4		เห็นรอยร้าว เล็กน้อย		
5		เห็นรอยร้าว เล็กน้อย		
6		เห็นรอยร้าว ได้ยาก		
7		เห็นรอยร้าว ได้ยาก		
8		ไม่มีรอยร้าว		
9		ไม่มีรอยร้าว		
10		ไม่มีรอยร้าว		

จากตารางที่ 2 พบว่าในส่วนของไซที่มีรอยร้าวชัดเจนสามารถตรวจพบรอยร้าวได้แม่นยำสูงกว่าในกลุ่มของไซที่มีรอยร้าวเล็กน้อยและไซที่เห็นรอยร้าวได้ยาก เนื่องจากปมสมบูรณ์อากาศไม่สามารถช่วยให้เปลือกไซในแยกออกมาอย่างชัดเจนในตำแหน่งด้านบนหรือด้านล่างของไซ ซึ่งแข็งกว่าส่วนอื่นของเปลือกไซ และบางกรณีที่ผิวเปลือกไซสกรปรกเป็นจุดดำและรอยด่างเมื่อส่องไฟ หรือเปลือกไซหนาเกินไปทำให้แสงไฟลอดผ่านได้น้อย ทำให้ภาพของไซที่ได้ทึบและไม่เห็นรอยร้าวที่เปลือก ส่งผลให้ความแม่นยำในการตรวจหารอยร้าวลดลง ในส่วนไซที่ไม่มีพบรอยร้าวจากการสังเกตพบข้อผิดพลาดในกรณีที่มีผิวของไซเมื่อนำมาส่องไฟพบรอยกระเป็นเส้นคล้ายรอยแตกทำให้การตรวจสอบเกิดความผิดพลาด ส่วนตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างผลการทดลองเป็นภาพ 10 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 80 ตัวอย่าง ของรอยร้าวทั้ง 4 ประเภท คือ ไซที่เห็นรอยร้าวอย่างชัดเจน ไซที่เห็นรอยร้าวเล็กน้อย ไซที่เห็นรอยร้าวได้ยากจากการสังเกตด้วยสายตาและไซที่ไม่มีรอยร้าว

3.2 การหารอยร้าวด้วยวิธีลบภาพพื้นหลัง (background subtraction)

วิธีลบภาพพื้นหลังเป็นวิธีการที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการที่นำเสนอโดยแตกต่างกันที่ขั้นตอนหารอยร้าวที่เน้นหา

ความแตกต่างระหว่างภาพก่อนและขณะใช้แรงดันสุญญากาศ ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอจะเน้นการปรับปรุงคุณภาพภาพให้ได้ภาพรอยร้าวที่ต้องการมากที่สุด โดยจะรับภาพช่วงวินาทีที่ 1 กับวินาทีที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงที่รอยร้าวมีความชัดเจนมากที่สุดมาแปลงเป็นภาพ grayscale จากนั้นนำภาพมาลบกันเพื่อหาความแตกต่างของภาพ แล้วกำจัดพื้นหลัง เมื่อกำจัดพื้นหลังเสร็จแล้วจะแปลงภาพเป็นไบนารี และตรวจจับรอยร้าว โดยหากในภาพพบวัตถุใด ๆ ก็ตามถือว่าเป็นรอยร้าว

ตารางที่ 4 แสดงผลทดลองเปรียบเทียบการหารอยร้าวไประหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีลบภาพพื้นหลัง ซึ่งในการทดลองจะใช้ไซจำนวน 100 ฟอง แบ่งเป็นไซที่มีรอยร้าวจำนวน 50 ฟอง และไซที่ไม่มีรอยร้าวจำนวน 50 ฟอง จากการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอมีความถูกต้องเฉลี่ย 92 % มากกว่าวิธีลบภาพพื้นหลังซึ่งมีความถูกต้อง 79 % สาเหตุที่วิธีลบภาพพื้นหลังมีความถูกต้องในการหารอยร้าวที่ต่ำกว่าเกิดจากตัวอย่างรอยร้าวในไซบางฟองสามารถมองเห็นได้ชัดเจนอยู่แล้ว เมื่อใช้วิธีลบภาพพื้นหลังจึงไม่เห็นถึงความแตกต่างของภาพจึงตรวจจับรอยร้าวไม่ได้ หรือแม้แต่ไซที่ไม่มีร้าวหากพบจุดขนาดเล็กบนภาพจะกำหนดให้ไซฟองนั้นมีรอยร้าวเป็นต้น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความถูกต้องการหารอยร้าวไประหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธีลบพื้นหลัง

ประเภท	ความถูกต้องของไซที่มีรอยร้าว (%)	ความถูกต้องของไซที่ไม่มีรอยร้าว (%)	เฉลี่ย (%)
วิธีที่นำเสนอ	86	98	92
วิธีลบภาพพื้นหลัง	82	76	79

4. สรุป

การทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหารอยร้าวได้ถูกต้องเฉลี่ย 86.25 % และยังพบว่าการใช้ปมสมบูรณ์อากาศมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

ให้ตรวจหารอยร้าวของไซได้ดีขึ้น โดยช่วยให้เห็นรอยร้าวขนาดเล็กได้ชัดเจนขึ้น แต่ในกรณีที่ไซบางฟองเกิดรอยร้าวแค่เพียงเล็กน้อย แม้ว่าจะใช้กล้องแรงดันสุญญากาศเข้าช่วยก็ยังสังเกตเห็นถึงรอยแตกได้ยาก

นอกจากนั้นถ้าผิวไข่สกปรก เป็นจุดดำหรือรอยต่าง อาจส่งผลให้ความถูกต้องลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีลบภาพพื้นหลัง พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ความถูกต้อง 92 % ซึ่งสูงกว่าวิธีลบภาพพื้นหลังซึ่งให้ความถูกต้องเพียง 79 % จากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ความแม่นยำสูงและเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นเครื่องคัดแยกไข่ที่มีรอยร้าวเพื่อช่วยลดปัญหาการจ้างแรงงานซึ่งปัจจุบันมีต้นทุนค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังเป็นการยกมาตรฐานการผลิตให้สูงขึ้นซึ่งส่งผลต่อศักยภาพในการแข่งขันสินค้าทางการเกษตรของประเทศเพื่อให้เกิดการต่อยอดงานวิจัยสู่การนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง โดยอาจจะมีการปรับเปลี่ยนวิธีการให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เพื่อให้ระบบที่ออกแบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] สมชาย ศรีพูล, 2549, หลักการเลี้ยงสัตว์, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์.
- [2] ศรีธรรม เอกสิทธิ์ และ Jindal, V.K., 2546, การตรวจเช็ครอยแตกร้าวของเปลือกไข่จากสัญญาณเสียง, น. 583, การประชุมวิชาการ

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

- [3] Mansoory, M.S., Ashtiyani, M. and Sarabadani, H., 2011, Automatic crack detection in eggshell based on SUSAN Edge Detector using fuzzy thresholding, Mod. Appl. Sci. 5(6): 117-125.
- [4] Yoon, S.C., Lawrence, K.C., Jones, D.R. and Heitschmidt, G.W., 2012, Improved modified pressure imaging and software for egg micro-crack detection and egg quality grading, Amer. Soc. Agric. Biol. Eng. 282012: 283-293.
- [5] Fang, W. and Youxian, W., 2011, Detecting preserved eggshell crack using machine vision, Int. Confer. Inform. Technol. Comp. Eng. Manag. Sci. 2011(03): 62-65.
- [6] ภัสราภรณ์ ลิ้วสัญชน และครองขวัญ แก้วชูชื่น, 2555, การตรวจหารอยร้าวของเปลือกไข่, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 50 น.
- [7] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, อีรชาติ แสนชัย และศศิ ศรีสัตตบุตร, 2544, การปรับปรุง Hough transform ให้ดีขึ้น, น. 209-216, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.