

การหาค่าอัตราการงอกของเมล็ดข้าวด้วยวิธีการประมวลผลภาพ* Image Processing Algorithm for Rice Seed Germination Rate Detection

ปวีณ เชื้อนแก้ว^{1**} , อรุณา พร้าโมเต²
Paween Khoenkaw^{1**} , On-Uma Pramote²

¹สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
เลขที่ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Department of Digital Technology Innovation, Faculty of Science, Maejo University
63 Moo.4, Nongharn Sub-District, Sansai Sub-District, Chiangmai 50290

²มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
เลขที่ 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

²Pibulsongkram Rajabhat University
156 Mu 5 Plaichumpol Sub-district, Muang district, Phitsanulok Province 65000

บทคัดย่อ

การหาค่าอัตราการงอกของเมล็ดข้าวเป็นขั้นตอนสำคัญในการวางแผนการเพาะปลูกและถูกนำไปใช้ในการประมาณจำนวนเมล็ดที่ต้องใช้ในพื้นที่เพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปลูกข้าวที่เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย แต่การหาค่าอัตราการงอกนั้น จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญและแรงงานอย่างมากเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาค่าอัตราการงอกของเมล็ดข้าวโดยใช้หลักการของการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการหาค่าอัตราการงอก โดยระบบที่นำเสนอจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือส่วนของการถ่ายภาพเมล็ดข้าว และส่วนของการวิเคราะห์ภาพถ่าย งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดผลด้วยการทดลองหาค่าอัตราการงอกของข้าวnok โดยเทียบความถูกต้องกับการวัดผลด้วยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งระบบที่นำเสนอให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 98.41

คำสำคัญ

การทดสอบการงอก อัตราการงอก การประมวลผลภาพ เมล็ดพันธุ์ข้าว

*ปรับปรุงเพิ่มเติมเนื้อหาจากบทความ เรื่อง An image-processing based algorithm for rice seed germination rate evaluation ที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ 2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), เชียงใหม่ ประเทศไทย วันที่ 14-17 ธันวาคม 2559

**ผู้เขียนหลัก

อีเมล: paween_k@maejo.mju.ac.th



Abstract

The germination test is the most important process in the crop planning, this parameter is needed for seed usage estimation especially rice. However, the germination test requires an expert and it is also a labor intensive work in order to get the accurate result. This research presents the algorithm for germination rate evaluation based on the image processing. The image acquisition setup and the image processing algorithm are proposed. This algorithm is evaluated using the *Oryza rufipogon* rice seed, the result is compared with the ground truth generated by an expert and the averaged accuracy is 98.41%.

Keywords

Germination Test, Germination Rate Image Processing, Rice Seed

บทนำ

การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการเพาะปลูก การใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้การเกษตรกรรมประสบความสำเร็จ โดยเฉพาะในการปลูกข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ มีความจำเป็นต้องเลือกเมล็ดพันธุ์ที่ดีด้วยเช่นกัน โดยเมล็ดพันธุ์จะต้องถูกนำมาประเมินคุณภาพก่อนที่จะนำไปปลูก เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการคาดคะเน จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการปลูก จำนวนเมล็ดที่ใช้ต่อพื้นที่ซึ่งการใช้จำนวนเมล็ดพันธุ์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกนั้นสามารถช่วยให้เกษตรกร ลดการสูญเสียได้ (Field and Renewable Energy Crops Research Institute, 2016) การทำนาในประเทศไทยนิยมทำนาอยู่สองแบบคือ

1. นาดำ ในขั้นตอนแรกเกษตรกรจะต้องทำการตกกล้า โดยจะทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ในแปลงเพาะกล้าก่อน เมื่อต้นข้าวงอกแล้วจึงทำการย้ายต้นกล้าไปปลูกยังแปลงปลูกในขั้นตอนของการปักดำ ซึ่งหากเกษตรกรใช้เมล็ดพันธุ์มากเกินไปในการตกกล้า จะทำให้มีต้นกล้าเหลือเป็นการสิ้นเปลือง แต่หากเกษตรกรใช้จำนวนเมล็ดพันธุ์น้อยเกินไป จะได้ต้นกล้าที่ไม่เพียงพอในการปักดำ (Agricultural Research Development Agency, 2016)

2. นาหว่าน เกษตรกรจำเป็นต้องทำการทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์ก่อน เพื่อหาจำนวนเมล็ดที่เหมาะสมที่ต้องใช้ต่อแปลง ซึ่งหากหว่านมากเกินไปจะทำให้ต้นข้าวชิดกันมากและได้รับแสงไม่เพียงพอ หากใช้จำนวนเมล็ดน้อยเกินไปจะส่งผลให้ผลผลิตน้อย (Bureau of Rice Research and Development, 2016)

นอกจากการวางแผนการปลูกแล้ว การประเมินคุณภาพเมล็ดยังถูกใช้ในการประเมินราคาของผลผลิต รวมทั้งประเมินว่าผลผลิตนั้นคุ้มค่าที่จะทำการเก็บเกี่ยวหรือไม่ หนึ่งในกระบวนการที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ คือ “อัตราการงอก”

อัตราการงอก คือ การหาอัตราของเมล็ดที่งอกต่อจำนวนเมล็ดที่นำมาทดสอบ สามารถคำนวณได้จากจำนวนของเมล็ดที่มีการงอกหารด้วยจำนวนเมล็ดทั้งหมด เมล็ดพันธุ์ที่มีอัตราการงอกสูง จะเป็นเมล็ดที่มีคุณภาพสูง เมื่อปลูกแล้วมีโอกาสที่เมล็ดจะงอกสูง รวมถึงมีอัตราการรอดสูงอีกด้วย โดยทั่วไป การหาอัตราการงอกสามารถทำได้โดย การวางเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการทดสอบลงบนวัสดุเพาะ ซึ่งนิยมใช้ผ้าหรือกระดาษชำระที่เปียกน้ำ จำนวน 100 เมล็ด จากนั้นให้วางทิ้งไว้จนครบ 7 วันจึงทำการตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอก ซึ่งจำนวนเมล็ดที่งอกนี้คือค่า อัตราการงอกของเมล็ดในกลุ่มตัวอย่างนั้น หากต้องการความแม่นยำสูงในการหาอัตราการงอกนั้น จำเป็นต้องสุ่มเมล็ดพันธุ์มาทำทดสอบในปริมาณที่มากขึ้น จึงจะได้ผลการประเมินอัตราการงอกที่แม่นยำ (Finch-Savage, 2015, 567 - 591)

โดยทั่วไปแล้ว การหาอัตราการงอกนั้นจะมีปัญหาหรืออุปสรรคหลักอยู่ 3 ประการคือ

1. ความผิดพลาดจากการนับจำนวนเมล็ด ซึ่งจะเกิดขึ้นในขั้นตอนของการหยิบเมล็ดมาจำนวน 100 เมล็ดเพื่อนำมาเรียงบนวัสดุเพาะและนับเมล็ดอีกครั้งหลังจากที่เมล็ดมีการงอก ซึ่งขั้นตอนนี้จะต้องทำการนับจำนวนเมล็ดถึง 2 ครั้ง

2. ความผิดพลาดจากการจำแนกกลุ่มของเมล็ดว่า เป็นเมล็ดที่มีการงอก หรือไม่งอกซึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่เมล็ดเริ่มงอกแล้ว จึงมีการหยิบเมล็ดขึ้นจากวัสดุเพาะมาทำการจำแนกว่าเมล็ดมีการงอกหรือไม่มีการงอก โดยดูความสมบูรณ์ของใบอ่อนและราก ซึ่งในขั้นตอนนี้มีความจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญสูงในการจำแนก

3. การทำงานกับเมล็ดที่มีจำนวนมาก ซึ่งปัญหานี้เกิดขึ้นในกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูงในการประเมินอัตราการงอก จะต้องใช้เมล็ดเป็นจำนวนมากมาทดสอบ เพื่อให้กลุ่มประชากรเมล็ดที่สุ่มมา มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งทำให้ต้องใช้แรงงานของผู้เชี่ยวชาญสูงขึ้น และต้องใช้เวลาในการทดสอบนานขึ้นตามไปด้วย เพื่อที่จะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ ขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพ จึงถูกนำเข้ามาช่วยการงานทางด้านการประเมินอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ของพืชบางชนิด

Howarth (1993, 185-194) ได้พัฒนาระบบประเมินอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ ผักกาดหอมและข้าวฟ่างโดยใช้การประมวลผลภาพเข้ามาตรวจวัดอัตราการเติบโตของรากซึ่งประกอบไปด้วยระบบสองแสงสว่าง ระบบถ่ายภาพ ประมวลผลภาพ และการรู้จำรูปแบบ โดยงานวิจัยพบว่า สามารถวิเคราะห์อัตราการงอกได้อย่างถูกต้องสำหรับเมล็ดที่มีรากงอกออกมาเป็นเส้นตรงและความถูกต้องจะต่ำสำหรับเมล็ดที่มีรากงอกออกมาเป็นเส้นโค้ง

Sako, Fujimura, Evans & Bennett (2001, 625-636) ได้นำเสนอระบบประเมินอัตราการงอกของเมล็ดผักกาดหอม โดยเน้นที่ต้นทุนและการใช้งานที่ง่าย โดยนำภาพที่ถ่ายได้ไปประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ลักษณะสัญญาณที่เด่นของภาพเมล็ดจะถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งระบบนี้ให้ค่าความถูกต้องที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับการทำโดยมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์จะเกิดความผิดพลาดสูงถึงร้อยละ 14.71

R Ureña & Berenguel (2001, 1-20) ได้ปรับปรุงระบบเพิ่มเติมโดยใช้สีของเมล็ดเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ภาพ งานวิจัยนี้ใช้กล้อง CCD สีเข้ามาช่วยในการถ่ายภาพ และใช้คุณสมบัติทางสีของเมล็ดเข้ามาช่วยในการจำแนกใบและเมล็ดโดยทำการวัดพื้นที่ของใบเลี้ยงของพืช (Cotyledons) ด้วยการประมวลผลภาพ และนำเอาลักษณะเด่นนี้ไปใช้ในการจำแนกการงอกในขั้นตอนถัดไปด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) และกฎที่ตั้งโดยผู้เชี่ยวชาญ

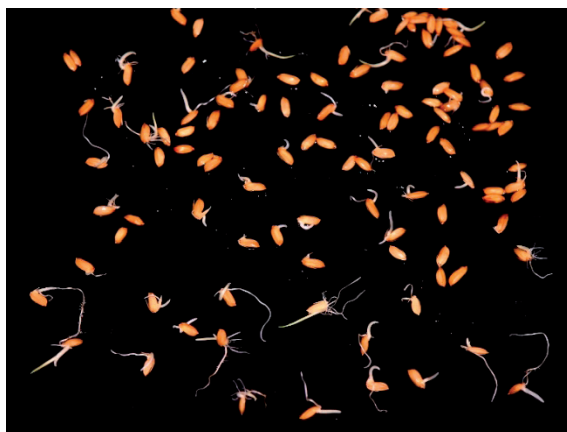
Hoffmaster, Fujimura, McDonald & Bennett (2003, 701-713) ได้พัฒนาระบบประเมินอัตราการงอกของถั่วเหลือง โดยใช้คอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพเข้ามาช่วย โดยงานวิจัยนี้ได้เน้นไปที่ความเร็วในการประมวลผล ข้อมูลนำเข้าเป็นภาพของเมล็ดถั่วเหลืองที่เพาะบนกระดาษชำระสีขาว โดยระบบจะทำการจำแนกเมล็ดถั่วออกเป็นสองกลุ่ม คือ ปกติและผิดปกติ กลุ่มที่ปกติจะถูกนำไปคำนวณหารูปร่าง จากนั้นจะถูกนำไปวัดความยาวและใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยประเมินอัตราการงอก

ความท้าทายในการใช้วิธีการประมวลผลภาพ เพื่อหาอัตราการงอกของเมล็ดข้าวที่มีอยู่ 3 ประการคือ

1. เมล็ดข้าวมีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพให้แต่ละเมล็ดมีความละเอียดสูงได้
2. รากของเมล็ดข้าวที่มีการงอกนั้นไม่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีแนวโน้มที่จะพันกับรากของเมล็ดอื่น ทำให้การแยกส่วน (Segmentation) แต่ละเมล็ดออกจากกันนั้นทำได้ยาก

3. ข้าวมีการงอก และอัตราการเติบโตของรากที่แตกต่างกัน ซึ่งใน 1 กลุ่มตัวอย่าง อาจมีเมล็ดที่มีความยาวของรากแตกต่างกันได้มากถึง 4 เท่า โดยตัวอย่างของเมล็ดข้าว 1 กลุ่มที่ใช้ทดสอบได้แสดงในภาพที่ 1

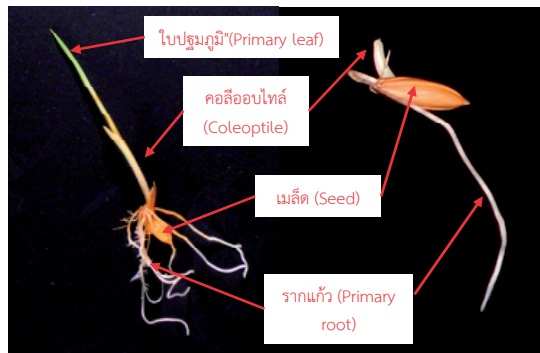
ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอ วิธีการใหม่ในการวัดอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยใช้หลักของการประมวลผลภาพ ซึ่งสามารถเอาชนะความท้าทายทั้ง 3 ประการที่กล่าวมาแล้วได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 1: เมล็ดข้าวที่มีอัตราการเติบโตของรากที่แตกต่างกันใน 1 กลุ่มตัวอย่าง

วิธีการที่นำเสนอ

ส่วนหลักของระบบที่นำเสนอคือ การจำแนกเมล็ดข้าวจากภาพถ่าย ว่าเมล็ดมีการงอกหรือไม่ โดยสังเกตจากการแตกรากและใบอ่อน ถ้ามีการตรวจพบรากหรือใบอ่อนงอกออกมาจากเมล็ด จะถือว่าเมล็ดนั้นมีการงอกเกิดขึ้น แต่ถ้าไม่พบจะถือว่าเมล็ดนั้นไม่มีการงอก ซึ่งส่วนประกอบของเมล็ดข้าวที่มีการงอกได้แสดงในภาพที่ 2 การงอกจะเริ่มจาก คอเลออปไทล์ (เนื้อเยื่อหุ้มยอดแรกเกิด) ตามด้วยรากแก้ว และใบปฐมภูมิตามลำดับ



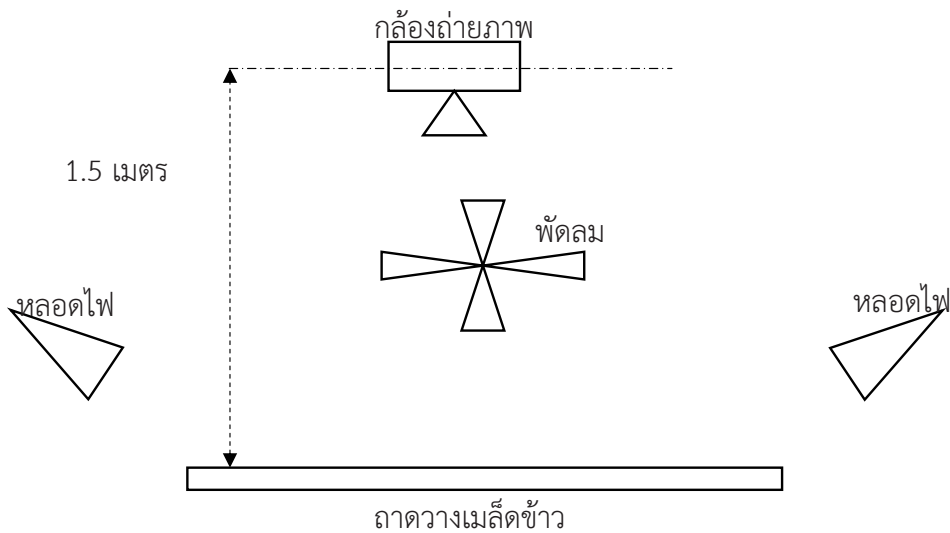
ภาพที่ 2: ส่วนประกอบของเมล็ดข้าวที่มีการงอก

ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของการถ่ายภาพเมล็ดข้าว และส่วนของการประมวลผลภาพเมล็ดข้าว

1. ส่วนของการถ่ายภาพเมล็ดข้าว จะเริ่มจากการนำเมล็ดข้าวที่ได้เพาะไว้บนวัสดุเพาะออกมาเป่าให้แห้งด้วยลมเย็น แล้วนำมาเกลี่ยให้สม่ำเสมอบนถาด โดยถาดสำหรับวางเมล็ดข้าวจะต้องมีสีดำด้าน ไม่สะท้อนแสง โดยมีการจัดกล้องและแสงดังแสดงในภาพที่ 3

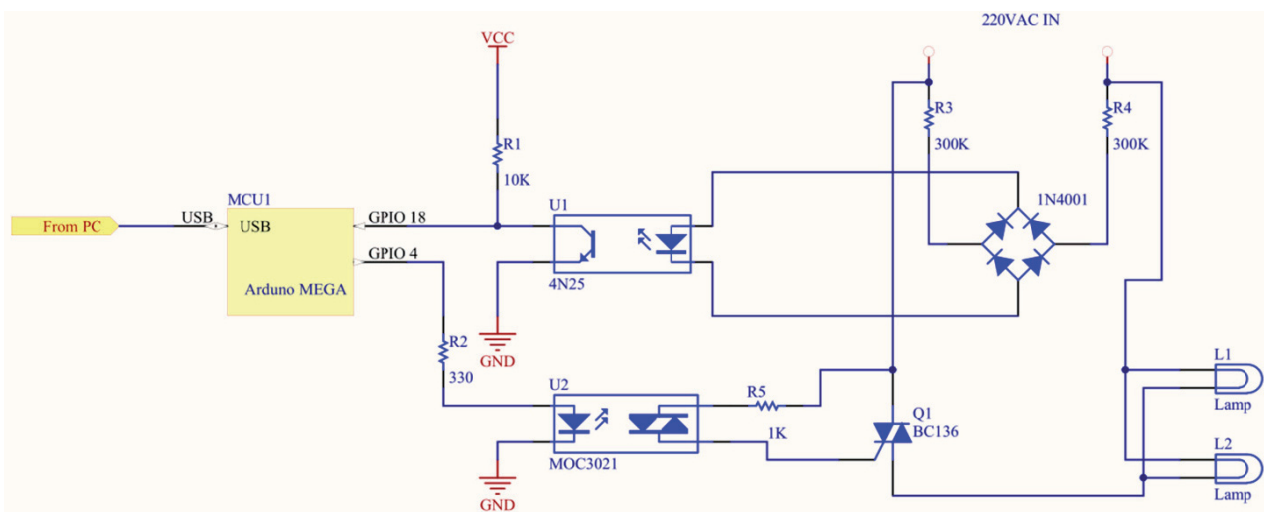
กล้องถ่ายภาพความละเอียดสูงชนิด DSLR ได้ถูกใช้ในการถ่ายภาพเมล็ดข้าว ให้แสงโดยหลอดไฟ จำนวน 2 หลอด ฉายลงมาด้วยมุมที่แคบกว่า 30 องศา เพื่อช่วยเน้นขอบ (Contour) และลวดลาย (Texture) ของเมล็ดข้าวให้เห็นได้ชัดเจนและป้องกันไม่ให้เกิดการสะท้อนเข้ามาที่กล้อง

อย่างไรก็ตาม การจัดแสงลักษณะนี้จะก่อให้เกิดเงาของเมล็ดข้าวที่มีขนาดใหญ่ โดยที่เงาของเมล็ดข้าวจะถูกกำจัดออกในขั้นตอนของการประมวลผลภาพ เลนส์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ จะใช้เลนส์ทางยาวโฟกัสยาว เพื่อลดความบิดเบี้ยวของภาพ (Distortion) เนื่องจากเมล็ดข้าวมีขนาดเล็ก การถ่ายภาพด้วยเลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสสั้น จะทำให้เมล็ดข้าวที่อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางกรอบของภาพถ่าย มีขนาด แตกต่างจากเมล็ดที่อยู่ขอบของกรอบภาพถ่ายเป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้เลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสไกล สามารถช่วยลดปัญหาในส่วนนี้ได้ ภาพที่ถ่ายในส่วนนี้จะถูกส่งไปประมวลผลยังส่วนของการประมวลผลภาพ ต่อไป



ภาพที่ 3: การจัดกล้องและแสงสำหรับถ่ายภาพหลอดไฟ

หลอดไฟที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการถ่ายภาพ จะถูกควบคุมความสว่างด้วยคอมพิวเตอร์ตามความเหมาะสม โดยวงจรที่ใช้ในการควบคุมความสว่างของหลอดไฟได้แสดงในภาพที่ 4 โดยวงจรนี้ใช้หลักการทำงานของวงจรควบคุมเฟสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Phase Control) โดยทำการเรียงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง และส่งค่าแรงดันผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocoupler) ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega เพื่อตรวจจับการผ่านศูนย์ (Zero Crossing) ของไฟฟ้ากระแสสลับ มีการตรวจพบจุดที่มีการผ่านศูนย์แล้ว จะส่งสัญญาณไปควบคุมควบคุมเวลาการเปิดและปิดหลอดไฟเพื่อให้ได้แสงสว่างในปริมาณที่ต้องการ โดยควบคุมเวลาการเปิดและปิดนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกโปรแกรมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB



ภาพที่ 4: วงจรที่ใช้ในการควบคุมความสว่างของหลอดไฟในการถ่ายภาพ

2. ส่วนของการประมวลผลภาพ จะประกอบด้วยส่วนย่อย 3 ส่วน คือ ส่วนลบพื้นหลัง (Background Subtraction) ส่วนแยกส่วน (Seed Segmentation) แยกภาพเมล็ดข้าวและส่วนแยกภาพรากและใบ (Root and Leaf Segmentation) ภาพรวมขั้นตอนของการประมวลผลภาพได้แสดงไว้ในภาพที่ 5

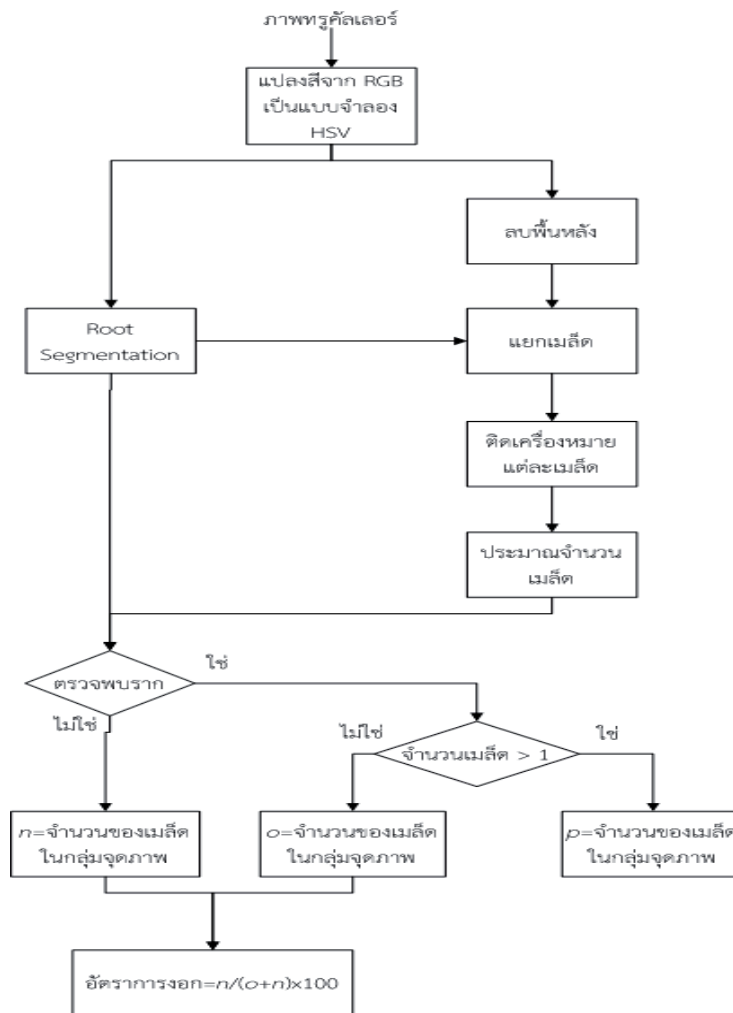
ขั้นตอนแรกของการประมวลผลภาพ คือ แปลงภาพจากกล้องดิจิทัลจากสีในแบบจำลองสี RGB ไปเป็นแบบจำลอง HSV ซึ่ง H แทนสีของภาพ S แทนความอิ่มตัวของสีและ V แทนความสว่างของภาพ (6ก) แสดงตัวอย่างของภาพที่เป็นสีในแบบจำลองสี RGB ภาพที่ 6(ข) 6(ค) 6(ง) คือส่วนของ สี ความอิ่มตัวของสี และความสว่าง ตามลำดับ

จากนั้นจึงทำการลบพื้นหลังของภาพออกไป โดยพิจารณาจุดภาพที่มีความสว่างต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ให้เป็นส่วนของพื้นหลัง โดยใช้สมการที่ (1) กำหนดให้ Im_{HSV} คือ ภาพถ่ายเมล็ดข้าวในแบบจำลองสี HSV และ Im_V คือ ความสว่างของภาพ Im_{HSV} โดย θ_f เป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดค่าความสว่างสูงสุดที่ใช้พิจารณาว่าจุดภาพนั้น คือ พื้นหลัง ผลลัพธ์ของสมการนี้ คือ Fg_{HSV} ซึ่งเป็นภาพในแบบจำลอง HSV ที่มีการลบพื้นหลังออกไป เรียกว่าภาพพื้นหน้า ตัวอย่างภาพแบบจำลองพื้นหน้าที่ได้จากการประมวลผลในขั้นตอนนี้แสดงภาพ 6(จ) และเมื่อนำเอาแบบจำลองนี้ไปตัดครอบจุดภาพออกมาจากภาพต้นฉบับจะได้ภาพพื้นหน้าดังแสดงในภาพที่ 6(ฉ)

$$Fg_{HSV}(x, y) = \begin{cases} Im_{HSV}(x, y) ; \text{where } Im_V(x, y) > \theta_f \\ 0 ; \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

ขั้นตอนถัดไป คือ การแยกส่วนของรากและคอลลีออปไทล์ออกมาจากภาพพื้นหน้า โดยภาพนี้ได้ถูกลบพื้นหลังออกไปแล้วและเหลืออยู่เพียงภาพของ เมล็ด ราก ใบ และคอลลีออปไทล์ ในขั้นตอนนี้อ่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกว่าส่วนของจุดภาพนั้น คือ ราก หรือ คอลลีออปไทล์ หรือไม่ โดยขั้นตอนของการจำแนกเป็นไปตามสมการที่ (2) โดย Fg_S คือ ค่าความอิ่มของสี θ_{r1} และ θ_{r2} คือ ตัวแปรที่ใช้กำหนดช่วงของค่าความอิ่มของสีที่ใช้ในการจำแนก และ $Root$ คือ ภาพที่แสดงตำแหน่งที่ตรวจพบรากและคอลลีออปไทล์ ภาพนี้จะเป็นภาพแบบไบนารี โดยจุดภาพที่เป็นรากและคอลลีออปไทล์ จะมีค่าเป็น “1” และจุดภาพอื่นๆ เช่นจุดที่เป็นเมล็ดข้าว จะมีค่าเป็น “0” ตัวอย่างตำแหน่งของรากและคอลลีออปไทล์ที่จำแนกได้จากขั้นตอนนี้ได้แสดงในภาพที่ 6(ช)

$$Root(x, y) = \begin{cases} 1 ; \text{where } \theta_{r1} < Fg_S(x, y) < \theta_{r2} \\ 0 ; \text{others} \end{cases} \quad (2)$$



ภาพที่ 5: ภาพรวมของระบบในส่วนของการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนต่อไป คือ การแยกส่วนภาพที่เป็นเมล็ดข้าว ซึ่งภาพนี้จะมีเพียงส่วนที่เป็นเมล็ดข้าวเท่านั้น โดยส่วนอื่นที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวจะถูกกำจัดออกไป ภาพนี้ถูกสร้างขึ้นมานำเอาภาพพื้นหน้าที่ได้จากสมการที่ (1) ในส่วนของความสว่าง มาแปลงเป็นภาพแบบไบนารี ด้วยวิธีการบิตค่าขึ้น จากนั้นให้นำภาพรากและคอลลอปไทล์ ที่สร้างไว้ด้วยสมการที่ (3) มาลบออก จะได้เป็นภาพเมล็ดข้าว ที่แสดงตำแหน่งจุดภาพที่เป็นเมล็ดข้าว โดยภาพนี้จะเป็นภาพแบบไบนารี ดังอธิบายไว้ในสมการที่ (3) ตัวอย่างของภาพเมล็ดข้าวที่ถูกแยกออกมาในขั้นตอนนี้แสดงในภาพที่ 6(ข)

$$Seed(x, y) = [Fg_V(x, y)] - Root \quad (3)$$

ขั้นตอนต่อไป คือ การตรวจจับการงอก หลักการคร่าวๆ ของการตรวจจับการงอกคือ ตรวจดูข้าวที่ละเมล็ดว่ามีรากหรือคอลิออปไทล์เชื่อมต่ออยู่หรือไม่ ถ้ามีให้ถือว่าข้าวเมล็ดนั้นมีการงอก ขั้นตอนแรกของการตรวจจับการงอกคือ การแบ่งส่วนภาพออกเป็นกลุ่มของจุดภาพ (Pixel Blob) โดยแต่ละจุดภาพจะต้องมีข้าว 1 เมล็ด ซึ่งขั้นตอนวิธีลาเบลลิ่งภาพ (Image Labelling) ได้ถูกนำมาใช้ ตัวอย่างเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดที่ถูกแยกในขั้นตอนนี้ได้แสดงในภาพที่ 6(ณ) โดยจุดภาพของข้าวเมล็ดเดียวกันจะแสดงด้วยสีเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม ปัญหาของการใช้ขั้นตอนวิธีนี้คือ หากเมล็ดข้าวถูกวางเอาไว้ในตำแหน่งที่ติดกันหรืออยู่ใกล้กันมาก อาจส่งผลให้ข้าวมากกว่า 1 เมล็ดถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มจุดภาพเดียวกันได้ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มขั้นตอนของการประมาณจำนวนเมล็ดข้าวในกลุ่มจุดภาพเข้าไปโดยการเทียบจำนวนจุดที่มีค่าเป็น “1” ในกลุ่มจุดภาพกับจุดภาพอ้างอิงที่มีข้าวอยู่ 1 เมล็ด ดังสมการที่ (4) โดย A คือ จำนวนของจุดภาพที่มีค่าเป็น “1” ในกลุ่มของจุดภาพนั้น $Seed_{ref}$ คือ จำนวนของจุดที่มีค่าเป็น “1” ของข้าว 1 เมล็ด และ SeedCount คือ จำนวนของเมล็ดข้าวในกลุ่มของจุดภาพนั้น โดยถ้ามีเศษเหลือจากการหารให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม

$$SeedCount = \left\lceil \frac{A}{Seed_{ref}} \right\rceil \quad (4)$$

หลังจากนั้นจะทำการสร้างหน้าต่างสำหรับค้นหารากและคอลิออปไทล์โดยทำการขยายพื้นที่ของกลุ่มจุดภาพที่ต้องการจะค้นหาให้โตขึ้นด้านละ r จากนั้นนำหน้าต่างนี้ไปทำการตัดครอบ (Crop) จากภาพราก (Root) ในตำแหน่งเดียวกันจากนั้นจะทำการนับจำนวนจุดภาพที่มีค่าเป็น “1” ในภาพที่ทำการตัดครอบออกมา หากค่านี้มีจำนวนมากกว่าค่าอ้างอิง $\theta_{germinated}$ แสดงว่ามีการตรวจพบรากหรือคอลิออปไทล์เชื่อมต่ออยู่ ให้ถือว่าข้าวเมล็ดนั้นมีการงอกเกิดขึ้น หากตรวจไม่พบให้ถือว่าข้าวเมล็ดนั้นไม่มีการงอก ตัวอย่างของหน้าต่างที่ใช้ในการค้นหารากและคอลิออปไทล์แสดงในภาพที่ 6(ญ) โดยพื้นของเมล็ดข้าวได้แสดงไว้ด้วยกรอบสีน้ำเงิน และหน้าต่างสำหรับค้นหาที่มีการตรวจพบการงอกได้แสดงไว้ด้วยกรอบสีเขียว และสีแดงสำหรับหน้าต่างที่ตรวจไม่พบการงอก

ในกรณีที่กลุ่มของจุดภาพมีข้าวอยู่มากกว่า 1 เมล็ดให้ถือว่า ข้าวทุกเมล็ดไม่มีการงอกเกิดขึ้น แต่หากกลุ่มของจุดภาพที่ตรวจพบ รากมีข้าวอยู่มากกว่า 1 เมล็ด จะไม่นำจุดภาพนั้นมาพิจารณา เนื่องจากไม่สามารถยืนยันได้ว่ารากที่ตรวจพบนั้นได้งอกออกมาจากข้าวทุกเมล็ดในนั้นหรือไม่

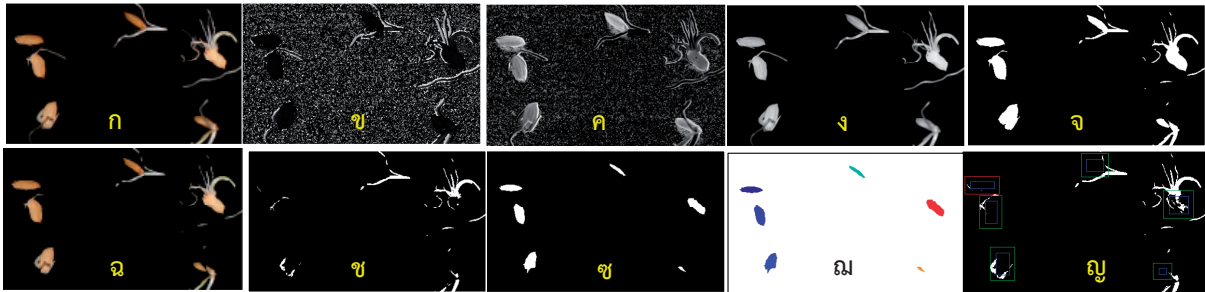
ขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณอัตราการงอก โดยจะทำการคำนวณตามสมการที่ (5) โดยที่ n คือ จำนวนเมล็ดข้าวที่ไม่งอก o คือ จำนวนเมล็ดข้าวที่งอกของกลุ่มจุดภาพที่ประกอบด้วยข้าวเพียงเมล็ดเดียว ค่า o คือ จำนวนเมล็ดข้าวที่งอกของกลุ่มจุดภาพที่ประกอบด้วยข้าวหลายเมล็ด และ GerminationRate คือ ร้อยละของอัตราการงอกที่คำนวณได้

$$GerminationRate = \frac{o}{n+o} \times 100 \quad (5)$$

$$GerminationRate' = \frac{p}{n+p} \times 100 \quad (6)$$

$$GerminationRate'' = \frac{o+p}{n+o+p} \times 100 \quad (7)$$

$$SeedNumberEstimation = n + o + p \quad (8)$$



ภาพที่ 6: ตัวอย่างผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนของการประมวลผลภาพ

การทดลองและวัดผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ข้าวนก หรือข้าวปา (Oryza Rufipogon) ซึ่งข้าวชนิดนี้นิยมใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เช่น นกหรือไก่ เนื่องจากข้าวชนิดนี้มีระยะเวลาในการงอกที่สั้นกว่าข้าวชนิดอื่นๆ เพื่อให้การกระจายตัวของกลุ่มประชากรของข้าวที่งอกและไม่งอก ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้เมล็ดข้าวที่มีอายุเก่าประมาณ 2 ปี จากร้านจำหน่ายอาหารสัตว์ในอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ก่อนการทดลองเมล็ดพันธุ์ได้ถูกเพาะบนกระดาษชำระชุ่มน้ำเป็นเวลา 8 วัน จากนั้นจึงถูกนำมาเป่าให้แห้งด้วยพัดลม และนำมาเกลี่ยให้เรียบบนถาดเซรามิก โดยถาดเซรามิกสำหรับใช้ถ่ายภาพนี้ได้ถูกเตรียมโดยการพ่นด้วยสีอะคริลิคแลคเกอร์ชนิดดำด้าน ยี่ห้อ WIN รหัสสี 202 400CC ซึ่งสีชนิดนี้มีคุณสมบัติในการลดการสะท้อนของแสงได้ดี

เมล็ดข้าวบนถาดได้ถูกถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลชนิด DSLR รุ่น Canon EOS400D โดยใช้เลนส์ 55-200 มิลลิเมตร ถ่ายที่ความไวแสง ISO 100 ความเร็วชัตเตอร์ 1/125 และค่าช่องรับแสงที่ f/5.0 การปรับสมดุลสีขาว (White Balance) ใช้ระบบอัตโนมัติของกล้องโดยใช้บัตรสีเทากลาง (Gray Card) เป็นจุดอ้างอิงแหล่งกำเนิดแสงใช้หลอดไส้ร้อน (Incandescent Light Bulb) กำลังส่อง 40 วัตต์ และค่าอุณหภูมิสีขาว 4200K (Daylight) โดยทำการปรับแสงสว่างให้ส่องสว่างบนพื้น 211 ลักซ์

ภาพที่ถ่ายได้จะถูกย่อขนาดลงเป็น 1020 x 1212 และถูกนำไปประมวลผลในส่วนของการประมวลผลภาพโดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้ $\theta_f = 0.3$, $\theta_{r1} = 0$, $\theta_{r2} = 0.3$, $Seed_{ref} = 1274$, $\theta_{germinated} = 90$ โดยค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้ได้มาจากการสังเกตและการทดลองเบื้องต้นซึ่งการทดลองนี้ได้ใช้ภาพถ่ายจำนวนทั้งสิ้น 40 ภาพ

การวัดและประเมินผลระบบที่นำเสนอได้แบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ คือ การประมาณจำนวนเมล็ดข้าวในภาพ ซึ่งคำนวณด้วยสมการที่ (8) และการประเมินอัตราการงอกโดยมีการประเมินอัตราการงอกในการทำงานของขั้นตอนวิธีทั้ง 3 แบบคือ

แบบที่ 1 ประเมินอัตราการงอก โดยเลือกพิจารณาเฉพาะกลุ่มจุดภาพที่มีเมล็ดข้าวอยู่เพียงเมล็ดเดียว การคำนวณอัตราการงอกจะใช้สมการที่ (5) ในการคำนวณ

แบบที่ 2 ประเมินอัตราการงอก โดยเลือกพิจารณาเฉพาะกลุ่มจุดภาพที่มีเมล็ดข้าวอยู่มากกว่าหนึ่งเมล็ด โดยหากมีการตรวจพบรากในกลุ่มจุดภาพ จะถือว่าข้าวทุกเมล็ดในกลุ่มจุดภาพนั้นมีการงอก และหากไม่พบรากจะถือว่าข้าวทุกเมล็ดในกลุ่มจุดภาพนั้นไม่มีการงอก สมการที่ใช้คำนวณอัตราการงอก คือ สมการที่ (6)

แบบที่ 3 ประเมินอัตราการงอก โดยพิจารณาทุกกลุ่มจุดภาพ (แบบที่ 1 รวมกับแบบที่ 2) สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการงอกคือสมการที่ (7)

ค่าที่ได้จากการคำนวณของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลเฉลี่ยที่ถูกสร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยผลเฉลี่ยถูกสร้างขึ้นโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ใช้ในการทดลอง ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์อัตราการงอกของเมล็ดข้าวด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

ค่าที่วัด	ความถูกต้อง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
การประมาณจำนวนเมล็ดทั้งหมด	ร้อยละ 96.37	3.94
การประเมินอัตราการงอกแบบที่ 1	ร้อยละ 98.41	1.87
การประเมินอัตราการงอกแบบที่ 2	ร้อยละ 91.65	11.10
การประเมินอัตราการงอกแบบที่ 3	ร้อยละ 95.69	7.80

จากการทดลองพบว่า ระบบมีความถูกต้องในการตรวจนับเมล็ดข้าวในภาพถ่ายโดยเฉลี่ยร้อยละ 96.37 การประเมินอัตราการงอกโดยนำเอากลุ่มจุดภาพที่เกิดจากข้าวมากกว่าหนึ่งเมล็ด (แบบที่ 2) จะให้ความถูกต้องต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 91.65 โดยความผิดพลาดส่วนใหญ่เกิดจากการที่เมล็ดข้าวบางเมล็ดในกลุ่มจุดภาพไม่ได้มีการงอกแต่ระบบได้ระบุว่า ทุกเมล็ดในกลุ่มจุดภาพมีการงอกเกิดขึ้น และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการประมาณจำนวนเมล็ดข้าวในกลุ่มจุดภาพ การประเมินอัตราการงอกที่ให้ความถูกต้องมากที่สุดคือการใช้กลุ่มจุดภาพที่เกิดจากข้าวเพียงหนึ่งเมล็ด (แบบที่ 1) ซึ่งมีความถูกต้องเฉลี่ยมากถึงร้อยละ



98.41 ซึ่งมีค่ามากกว่าความถูกต้องในการนับเมล็ดข้าวทั้งภาพ โดยจากการสังเกตพบว่ากลุ่มจุดภาพที่มีเมล็ดข้าวเพียงเมล็ดเดียวสามารถประมวลผลได้อย่างแม่นยำทั้งส่วนของการประมาณจำนวนและการวิเคราะห์การงอก เนื่องจากค่าอัตราการงอกนั้นเป็นค่าแทนกลุ่มประชากรของเมล็ดข้าว จึงไม่จำเป็นต้องนำเมล็ดข้าวทุกเมล็ดในภาพมาพิจารณาซึ่งในการทดลองนี้ในแต่ละภาพจะมีเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 200 ถึง 300 เมล็ด ดังนั้นการไม่นำเอากลุ่มเมล็ดข้าวที่อยู่ชิดกันมาพิจารณา จึงเป็นการช่วยลดความผิดพลาดลง เนื่องจากระบบที่นำเสนอเป็นแบบอัตโนมัติจึงสามารถทำงานกับเมล็ดข้าวจำนวนมากได้ ซึ่งช่วยให้กลุ่มประชากรมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่าการประมาณอัตราการงอกที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอจึงมีความถูกต้องที่สูงขึ้นตามไปด้วย การประเมินเชิงคุณภาพได้ใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้ใช้งานที่เป็นเกษตรกรพบว่า ในการปลูกข้าวนั้นเกษตรกรไม่เคยทำการประเมินอัตราการงอก และให้ข้อแนะนำว่าระบบควรจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นจำนวนเมล็ดข้าวที่ต้องใช้ ในหน่วยของกิโลกรัมต่อไป

ผลการประเมินโดยนักวิจัยทางด้านพืชพบว่า ระบบที่นำเสนอสามารถช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้มาก และมีข้อแนะนำ คือ ควรจะประยุกต์เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนโทรศัพท์มือถือจะสามารถทำงานได้สะดวกมากขึ้น อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่า ความถูกต้องของการทำงานนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น

1. สภาพแสงของแสง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อในส่วนของการตัดแยกเมล็ดและการตรวจหารากและคอสีของใบโพธิ์ หากถ่ายภาพในสภาพแสงที่เข้มเกินไป จะส่งผลให้เกิดการตัดคลิปปิง (Color Clipping) ทำให้ภาพที่ถ่ายได้สูญเสียรายละเอียดของสีไป ตัวอย่างเช่น ภาพที่ถ่ายได้จะสูญเสียรายละเอียดของสีเหลืองเมล็ดข้าวไป ทำให้การทำงานในส่วนของการตรวจนับรากและคอสีของใบโพธิ์ มีความสับสนระหว่างส่วนของเมล็ดข้าวและส่วนของราก เนื่องจากจะมีสีเหมือนกัน

2. ความชื้นของเมล็ดข้าว หากความชื้นสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดข้าวส่วนใหญ่ติดกันเป็นก้อน การวิเคราะห์ภาพจะมีโอกาสผิดพลาดได้สูง นอกจากนี้ หากเมล็ดข้าวเปียกน้ำ หรือมีหยดน้ำเกาะที่เมล็ด จะเกิดการสะท้อนแสงจากหลอดไฟไปยังกล้องถ่ายภาพโดยตรงซึ่งจะส่งผลให้เกิดการตัดคลิปปิง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

3. กลไกของการปรับโฟกัสกล้องของถ่ายรูป ที่มีการขยับเลนส์ ส่งผลให้อัตราการขยายของภาพเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามพารามิเตอร์ของการโฟกัส ซึ่งเป็นการทำงานโดยอัตโนมัติของกล้องถ่ายภาพที่ไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้ภาพมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าปกติ จึงส่งผลต่อการประมาณจำนวนเมล็ดข้าว แต่อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการถ่ายภาพด้วยเลนส์แบบที่มีระยะโฟกัสเดียว (Fixed Focus Lens) ในระยะโฟกัสอนันต์ (Infinity Focus)

สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการใหม่ในการตรวจวัดอัตราการงอกของเมล็ดข้าวด้วยวิธีการประมวลผลภาพ ระบบจะประกอบด้วยส่วนของการถ่ายภาพ ซึ่งใช้กล้องถ่ายรูปดิจิทัลแบบ DSLR ระบบควบคุมแสงสว่างควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้าวที่ทำการเพาะในวัสดุเพาะและถูกเป่าให้แห้งแล้ววางลงบนถาดสีดำด้าน

จากนั้นจึงทำการถ่ายภาพ โดยภาพที่ได้จะถูกนำไปประมวลผลโดยใช้เทคนิคการแปลงแบบจำลองสีแบบ HSV จากนั้นจึงนำไปตรวจหารากและคอสีออปไทล์ แยกเมล็ด และนับจำนวนในขั้นต่อไป ในการทดลองนี้ใช้ข้าวฉวก ในการทดลองโดยทำการถ่ายภาพจำนวน 40 ภาพ โดยเปรียบเทียบค่าอัตราการงอกที่คำนวณได้จากวิธีการที่นำเสนอกับอัตราการงอกที่วิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า มีความถูกต้องของการนับเมล็ดข้าวที่ร้อยละ 96.37 ± 3.94 และความถูกต้องของการวัดอัตราการงอกที่ร้อยละ 98.41 ± 1.87 ระบบที่นำเสนอนี้สามารถนำไปช่วยลดเวลาในการนับเมล็ดและวิเคราะห์การงอกสำหรับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Field and Renewable Energy Crops Research Institute. (2016). **Seed Quality Testing**. Retrieved March 18, 2016, from http://www.doa.go.th/fcri/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=26.
- Agricultural Research Development Agency (Public Organization). (2016). **Rice Research Database: Rice Plantation**. Retrieved March 18, 2016, from http://kasetinfo.arda.or.th/arda/rice/?page_id=123.
- Bureau of Rice Research and Development. (2016). **Rice Plantation**. Retrieved March 18, 2016, from <http://www.brrd.in.th/rkb2/management/index.php-file=content.php&id=2.htm>.
- Finch-Savage, W.E. (2015). Seed vigour and crop establishment: Extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**. 67(3), 567 - 591.
- Howarth, M. S. & Stanwood, P. C. (1993). Measurement of seedling growth rate by machine vision. **Proc. SPIE 1836, Optics in Agriculture and Forestry**. May 12, 1993 (pp. 185-194). doi:10.1117/12.144027.
- Sako, Y. ; M. B. M., K. ; Fujimura, Evans, A. F. & Bennett, M. A. (2001). A system for automated seed vigor assessment. **Seed Science and Technology**. 2001, 625-636.
- R Ureña, F. R. G. & Berenguel, M. (2001). A machine vision system for seeds quality evaluation using fuzzy logic. **Computers and Electronics in Agriculture**. 32(1), 1-20.
- Hoffmaster, A. L. ; Fujimura, K. ; McDonald, M. B. & Bennett, M. A. (2003). An automated system for vigor testing three-day-old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**. 2003 (31), 701-713.