

การออกแบบระบบประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยวิธีการประมวลผลภาพร่วมกับ การวิเคราะห์ความถดถอย

Application of image processing and linear regression for estimation of leaf area

สัตตภูมิ ไทยพานิช^{1*} บารมี โอสีธิรกุล¹ และ มหศักดิ์ เกตุจำ²

Sattarpoom Thaiparnit,^{1*} Baramee Osateerakul¹ and Mahasak Ketcham²

บทคัดย่อ

การวัดพื้นที่ของใบพืชเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช บทความนี้นำเสนอการออกแบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชโดยประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นในการประเมินพื้นที่จากค่าจำนวนจุดสีและค่าอัตราส่วนของใบพืชจากภาพที่ได้จากเครื่องสแกน ในการสร้างแบบจำลองนั้นกระดาษขนาดมาตรฐานจำนวน 100 ขนาดที่มีความแตกต่างกันถูกสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ที่มีความละเอียด 100 และ 200 พิกเซล ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อได้แบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชจำนวน 3 แบบจำลอง ในการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยนำใบพืชจริงที่มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันจำนวน 60 ใบ มาใช้ทดสอบ ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองที่ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดสีของพื้นหลังและพื้นผิวใบมีความคลาดเคลื่อนต่ำ และมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความละเอียดในการสแกน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความถดถอย การประเมินพื้นที่ใบ การประมวลผลภาพดิจิทัล

Abstract

Measurements of leaf area are essential to analyze the rate of photosynthesis of plants. This article presents a system design using image processing technique and linear regression analysis to estimate a leaf area, which is derived from pixel count in a scanned leaf image. In a process of making a model, a hundred pieces of paper in different sizes were scanned by a 100 and 200 pixel scanner, and then analyzed by linear regression analysis method to create 3 models for estimating leaf area. To find errors of the models, 60 different leaves were tested. The result showed that the model created from a ratio between leaf area and background gives accurate results with very small errors, and is also flexible for resolution change in a scanning process.

Keyword: Regression analysis, Leaf area estimate, Image Procession

¹ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สุพรรณบุรี 72130

¹ Faculty of Business Administration and Information, Rajamangala University of Technology Suvamabhum, Suphanburi, 72130. Thailand.

² คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10800. Thailand.

* Corresponding author. E-mail: sattarpoom@hotmail.com

บทนำ

สังเคราะห์ด้วยแสงนับว่ามีความสำคัญ และเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารของพืชทุกชนิด ขนาดพื้นที่ของใบพืชย่อมส่งผลต่อความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Wongchun, 1988) บริเวณใบมีพื้นที่ทางฝั่งด้านหนึ่งของใบจะเป็นสีเขียว ซึ่งแสดงถึงความสามารถที่จะทำการสังเคราะห์แสงยังคงอยู่ การวัดพื้นที่ของใบพืชนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยเช่นกัน (Parparshut, 2007)

1) การวัดขนาดพื้นที่ใบด้วยแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสูงสุดและความกว้างสูงสุดของใบพืช วิธีการนี้เป็นวิธีการตรวจประเมินพื้นที่ใบโดยไม่ทำลายใบ แต่มีข้อจำกัดของแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของใบและความผิดพลาดในการตรวจวัดประเมิน

2) การวัดขนาดพื้นที่ใบด้วยวิธีการนับตารางจากกระดาษตารางมาตรฐาน เป็นวิธีการตรวจวัดประเมินโดยต้องใช้การปฏิบัติงานจากมนุษย์ค่อนข้างสูงและใช้ระยะเวลาในการตรวจวัดในแต่ละใบค่อนข้างสูง โดยมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในการตรวจวัด

3) การประเมินขนาดพื้นที่ใบด้วยเทคนิคการทำให้ตกตะกอน วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการวัดประเมินพื้นที่ใบชนิดทำลายใบ ในการตรวจวัดจำเป็นต้องใช้วิธีการทางเคมีในการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีการนี้

4) การประเมินขนาดพื้นที่ใบด้วยการเจาะใบเพื่อชั่งน้ำหนัก วิธีการนี้ใช้หลักการเจาะใบพืชด้วยวัสดุที่ทราบขนาดเพื่อนำส่วนของใบพืชที่ถูกเจาะทำ

การชั่งน้ำหนักเพื่อใช้เป็นดัชนีในการคำนวณพื้นที่ใบนั้น ๆ ซึ่งมีข้อจำกัดคือจำเป็นต้องเจาะใบทุกครั้งที่จะตรวจวัด

ความยากและขั้นตอนที่ซับซ้อนการตรวจวัดตลอดจนความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการปฏิบัติการวัดประเมินพื้นที่ใบเป็นสิ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้จากวิธีการประเมินพื้นที่ใบด้วยวิธีการทั้ง 4 ข้างต้น การนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์สำหรับงานดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เทคนิคการประมวลผลภาพเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการนำมาใช้สร้างระบบ และเครื่องมือที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการกำเนิดภาพด้วยการใช้เครื่องกวาดตรวจ (scanner) และใช้ระบบภาพ RGB (Karpech, 2011) ในการดำเนินการ โดยกำหนดค่าความละเอียดที่ใช้ในสแกนภาพที่ความละเอียด 200 และ 100 จากนั้นภาพที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องกวาดตรวจจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกส่วนของใบและพื้นหลังออกจากกันด้วยอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ โดยการทำ Image segmentation เพื่อแยกองค์ประกอบของภาพ (Kwon *et al.*, 2007) ค่าจำนวนของพิกเซลจะถูกนำมาใช้ในการประเมินขนาดพื้นที่ใบพืชด้วยแบบจำลองที่เหมาะสมโดยจะนำเสนอในหัวข้อต่อจากนี้ (Karpech, 2011)

วิธีการศึกษา

ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการประมวลผลภาพ และการสร้างแบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบ ในกระบวนการทั้งสองนี้เป็นกระบวนการหลักที่มี

ความสำคัญและเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของงานวิจัยนี้ โดยผู้วิจัยนำเสนอทั้งสองประเด็นตามหัวข้อดังต่อไปนี้

การออกแบบอัลกอริทึมประมวลผลภาพ

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการสร้างภาพใบพืช โดยใช้แหล่งกำเนิดภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์ Canon LiDE110 ซึ่งมีการกำหนดค่าความละเอียดในการสแกนที่ค่าความละเอียด 100 dpi และ 200 dpi โดยใช้อัลกอริทึมเดียวกันที่ทำการออกแบบ

เพื่อวิเคราะห์หาขอบเขตของพื้นที่ใบพืช โดยนำเสนออัลกอริทึมดัง Figure 1 โดยอัลกอริทึมที่ทำการออกแบบเพื่อทำกระบวนการ Image segmentation (Nicole in press) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของพื้นผิวใบ และพื้นหลังด้วยค่า Threshold (Gonzalez and Wood, 2007) โดยภาพที่ได้จากอัลกอริทึมจะเป็นภาพในรูปแบบ Binary ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 และ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แทนพื้นหลังของภาพและพื้นผิวใบพืช

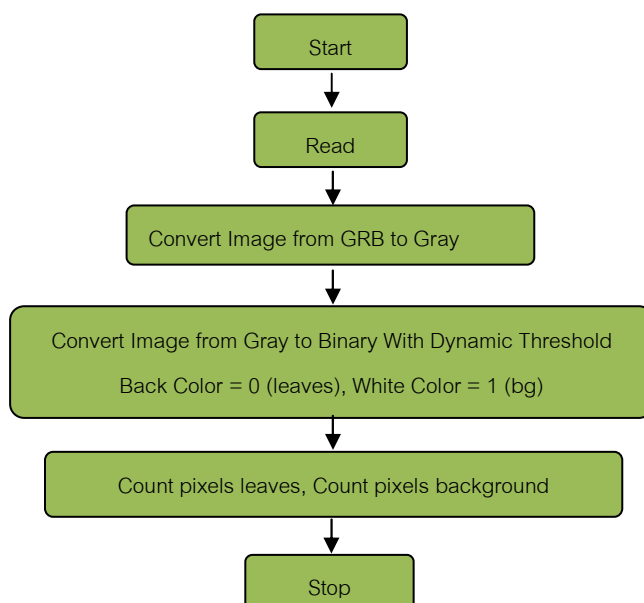
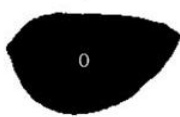
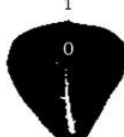
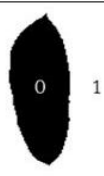
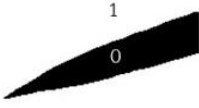


Figure 1 Algorithm for the analysis of the parameters used to assess leaf area.

จากอัลกอริทึมที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของอัลกอริทึม ด้วยการนำภาพใบพืชจำนวน 60 ใบ มาทำการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นภายใต้โครงสร้างของอัลกอริทึมที่ออกแบบ เพื่อทดสอบว่าอัลกอริทึมที่ออกแบบ

สามารถแบ่งแยกขอบเขตของพื้นที่ใบและส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่ใบได้อย่างชัดเจนหรือไม่ โดยแสดงตัวอย่างรูปภาพใบพืชก่อนและหลังการใช้อัลกอริทึมดัง Table 1

Table 1 Samples before and after being processed with image processing techniques.

No.	Image of leaf before being processed	Image of leaf after being processed with image processing techniques.
1		
2		
3		
60		

จากการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมในการประมวลผลภาพที่นำเสนอสามารถปรับค่าสีของใบให้มีค่าเป็นสีดำได้อย่างชัดเจน ซึ่งค่าสีของใบที่ได้จากอัลกอริทึมจะมีค่าเพียงสองค่า คือ ค่าสีขาว (1) และค่าของสีดำ (0) ภาพที่ได้จากอัลกอริทึมจากตัวอย่างภาพใน Table 1 จะถูกนำไปวิเคราะห์หาจำนวนจุดสีด้วยสมการที่ 1 โดยสมการนี้ทำการนับจำนวนจุดสีที่มีค่าเป็นสีดำ (0) เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับคำนวณหาพื้นที่ใบในสมการที่ 5 และ 6

$$leaf_pixel = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}, a_{ij} = 0 \quad (1)$$

นอกจากนี้ภาพที่ได้จากอัลกอริทึมจากตัวอย่างภาพใน Table 1 ยังถูกนำไปใช้หาอัตราส่วนของพื้นผิวใบ โดยนำค่าที่ได้จากสมการที่ 1 มาหาอัตราส่วนในรูปแบบร้อยละเมื่อเทียบกับจำนวนจุดสีทั้งหมดของภาพ โดยแสดงในสมการที่ 2 ซึ่งค่าอัตราส่วนของพื้นผิวใบ (leaf ratio) จะถูกนำไปใช้สำหรับประเมินพื้นที่ใบในสมการที่ 7

$$leaf_ratio = \frac{leaf_pixel \times 100}{total_pixel} \quad (2)$$

โดย leaf ratio คือ อัตราส่วนของพื้นผิวใบ

leaf pixel คือ จำนวนจุดสีของพื้นผิวใบ

total pixel คือ จำนวนจุดสีทั้งหมดของภาพ

การสร้างแบบจำลองในการประเมินพื้นที่ใบ

ในกระบวนการนี้จะนำเสนอขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้สำหรับประเมินขนาดพื้นที่ใบพืชจากจำนวนจุดสีของใบพืชจากภาพ ข้อมูลภาพตัวอย่างที่สร้างจากกระดาษมาตรฐานที่มีขนาดที่แตกต่างกันจำนวน 100 ตัวอย่างถูกนำมาใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการประเมินขนาดของพื้นที่ใบพืช (Thaiparnit, 2013) เพื่อใช้สำหรับหาผลลัพธ์ของจำนวนจุดสีของกระดาษมาตรฐานในแต่ละขนาด โดยข้อมูลจุดสีจากภาพตัวอย่างทั้งหมดแยกตามค่าความละเอียดจะถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับประเมินขนาดพื้นที่ใบและวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเป็นวิธีที่ถูกเลือกในการดำเนินการสร้างแบบจำลองครั้งนี้ การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายคือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปร คือตัวแปรอิสระหนึ่งตัวและตัวแปรตามหนึ่งตัวความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองเป็นลักษณะเชิงเส้นตรงถ้ามีตัวแปร 2 ตัว เป็นคู่ๆ เราอาจจะดูว่าตัวแปร 2 ตัวนั้นมีความสัมพันธ์กันในลักษณะใดโดยการสร้างแผนภาพการกระจาย (scatter diagram) ระหว่างตัวแปร 2 ตัวในกรณีที่แผนภาพการกระจายนั้นเป็นเส้นตรงเราสามารถสร้างเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ ดังสมการที่ 3 ซึ่งสมการดังกล่าวเรียกว่าสมการถดถอยอย่างง่าย (บุญใจ, 2550)

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

โดย Y_i เป็นค่าของตัวแปรตาม

α เป็นค่าของ Y_i เมื่อ X เป็นศูนย์

β เป็นค่า Slope ของสมการ, สัมประสิทธิ์ของความถดถอย

ε_i เป็นค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณของ Y_i

วิธีหาค่า α และ ค่า β จะประมาณโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมกันมากโดยมีหลักการคือจะทำให้ผลรวมกำลังสองของความแตกต่างระหว่าง Y_i และ $\hat{Y}_i$ ที่ได้จากการประมาณมีค่าต่ำที่สุดซึ่งสมการประมาณการจะมีรูปแบบดังสมการที่ 4 (Kwon et al., 2007)

$$\hat{Y}_i = a + bx_i \quad (4)$$

โดย a เป็นค่า Y-intercept เป็นค่าประมาณของ α

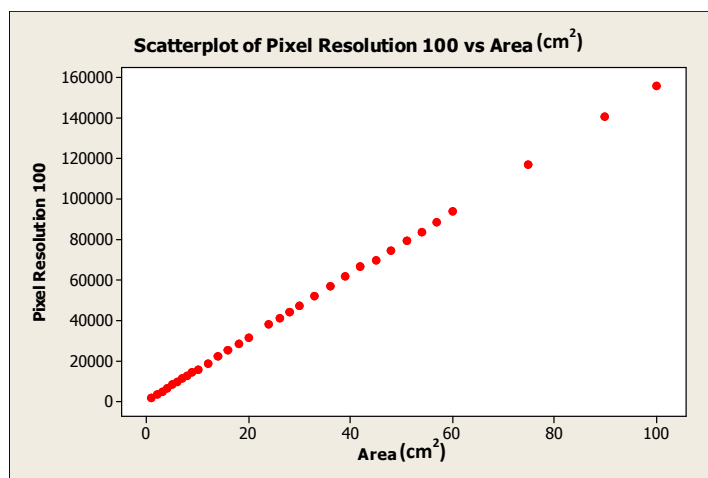
b เป็นค่า Slope เป็นค่าประมาณของ β

$\hat{Y}_i$ คือค่าประมาณการของ Y_i เมื่อตัวแปรอิสระคือ x_i

ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายนั้น ผู้วิจัยได้นำเสนอแบบจำลองจำนวน 3 รูปแบบ คือ 1) แบบจำลองที่สร้างจากจำนวนจุดสีที่ความละเอียด 100 2) แบบจำลองที่สร้างจากจำนวนจุดสีที่ความละเอียด 200 3) แบบจำลองที่ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดสีของพื้นหลังและพื้นผิวใบในการสร้างแบบจำลองที่สร้างจากจำนวนจุดสีที่ความละเอียด 100 และ 200 ถูกสร้างจากข้อมูลจุดสีจากกระดาษมาตรฐานจำนวน 100 ตัวอย่าง โดยแสดงค่าจำนวนจุดสีทั้ง 2 ค่าความละเอียดดัง Figure 2 และ Figure 3

Table 2 Examples of data used to create a model.

Size of the object	Pixel of leaf at resolution 100	Pixel of leaf at resolution 200
1	1824	6834
2	3533	13315
3	4943	19105
4	6600	25735
5	8261	32055
6	9759	37982
7	11446	44461
8	12724	50671
9	14235	56840
...	...	...
75	117019	466890
90	140382	560109
100	155631	620944

**Figure 2** Scatter diagram of pixel count on a scanned leaf area at a resolution of 100.

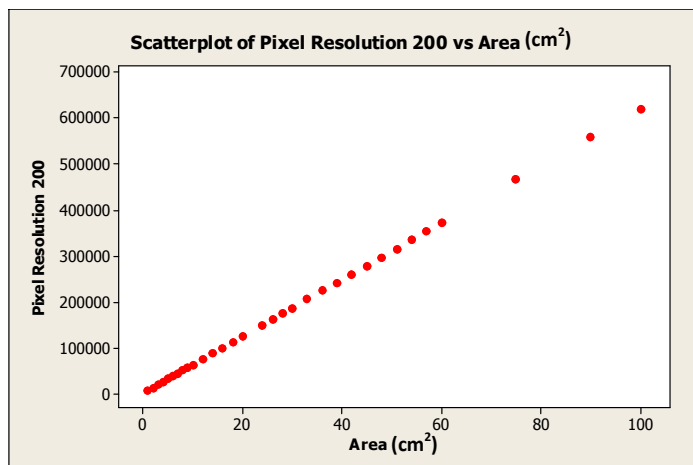


Figure 3 Scatter diagram of pixel count on a scanned leaf area at a resolution of 200.

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากข้อมูลเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยกรรมวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพบว่าจำนวนจุดสีของใบพืชที่การสแกนความละเอียดทั้ง 2 มีความเป็นเส้นตรงแบบแปรผันตรง ซึ่งได้แบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยการสแกนที่ความละเอียด 100 ดังสมการที่ 5 และได้แบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยการสแกนที่ความละเอียด 200 ดังสมการที่ 6

$$Leaf_{Area} = -.299 + (.000644 \times leafe_pixel) \quad (5)$$

$$Leaf_{Area} = -.111 + (.000161 \times leafe_pixel) \quad (6)$$

โดย *leafe_pixel* คือ จำนวนจุดสีที่ความละเอียด 100 และ 200

จากแบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยการสแกนที่ความละเอียด 100 และ 200 จะเห็นได้ว่าหากทำการสแกนที่ความละเอียดต่างกัน จะส่งผลต่อแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงไป หรือกล่าวได้ว่าแบบจำลองจะยึดโยงกับความละเอียดในการสแกน โดยไม่มีความยืดหยุ่นกับค่าความละเอียดอื่น ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการสร้างแบบจำลองที่ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดสีของพื้นหลัง และพื้นผิวใบเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวและให้มีความยืดหยุ่นตามค่าความละเอียดในการสแกนภาพที่เปลี่ยนแปลงไป โดยแสดงตัวอย่างข้อมูลการสร้างแบบจำลองใน Table 3 และแสดงแบบจำลองดังสมการที่ 7

Table 3 Examples of data used to create a model from a ratio between leaf area and background.

Object's actual size (cm ²)	Pixel of leaf resolution 200	Pixel of background resolution 200	Ratio of leaf (R)
1	6834	4084150	0.17
2	13315	4077669	0.33
...	...	...	...
100	620944	3470040	15.18

$$Leaf_{area} = -.110 + (6.60 \times leaf_ratio) \quad (7)$$

โดย *leaf_ratio* คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างจุดสีพื้นหลังและพื้นผิวใบ

ทดสอบและหาความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

จากแบบจำลองทั้งสามที่นำเสนอผู้วิจัยได้นำแบบจำลองมาทำการทดสอบการประเมินพื้นที่ใบ

เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทั้งสาม โดยใบพืชจะถูกตรวจวัดประเมินขนาดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (win DIAS color image) ตัวอย่างใบพืชที่มีลักษณะแตกต่างกันจำนวน 60 ใบ จะถูกนำมาใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินพื้นที่ใบโดยแสดงผลการประเมินด้วยแบบจำลองทั้ง 3 ใน Table 4

Table 4 The results of the experiment with the three models.

No.	Model resolution 100	Model resolution 200	Model ratio of leaf	Actual size of leaf
1	0.876	0.989	0.992	1
2	1.976	2.033	2.038	2
3	3.951	4.032	4.041	4
4	13.977	13.935	13.964	14
...	...	...	...	...
60	99.927	99.861	100.067	100

จาก Table 4 เป็นผลการทดสอบวัดประเมินขนาดพื้นที่ใบจำนวน 60 ใบ โดยผลการทดลองพบว่า แบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยค่าอัตราส่วนของจุดสีจะมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.437% และแบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืช

ด้วยการสแกนที่ความละเอียด 200 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.457% และสุดท้ายพบว่าแบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยวิธีการสแกนที่ความละเอียด 100 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.098% สรุปผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

Table 5 The average of error from the experiment.

Type	Model	Error average
Resolution 100	$Leaf_{Area} = -.299 + (.000644 \times P)$	1.098%
Resolution 200	$Leaf_{Area} = -.111 + (.000161 \times P)$	0.457%
Ratio of Leaf	$Leaf_{area} = -.110 + (6.60 \times R)$	0.437%

สรุป

จากปัญหาและข้อจำกัดของการวัดประเมินพื้นที่ใบที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในบทความนั้น ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาวิธีการวัดประเมินพื้นที่ใบโดยใช้เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ร่วมกับวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลสร้างเครื่องมือสำหรับประเมินพื้นที่ใบเพื่อแก้ปัญหาและลดข้อจำกัดดังกล่าว โดยใช้แบบจำลองในการประเมินพื้นที่ใบ ซึ่งแบบจำลองทั้งสามที่นำเสนอพบว่าแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดคือ แบบจำลองสำหรับประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยค่าอัตราส่วนระหว่างจุดสีพื้นหลังและพื้นผิวใบ นอกจากนี้ผู้วิจัยพบว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความละเอียด และพบว่าการสแกนที่ค่าความละเอียดที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่ลดลง ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้งานควรคำนึงถึงค่าความละเอียดในการสแกนที่จะส่งผลต่อความเที่ยงตรงและระยะเวลาในการประมวลผลที่สูงขึ้น หากนำเทคนิคการประเมินพื้นที่ใบพืชด้วยเทคนิคอัตราส่วนจุดสีที่นำเสนอจะลดข้อจำกัดในการสแกนด้วยความละเอียดที่แตกต่างกันและแบบจำลองสามารถนำไปใช้กับค่าความละเอียดในการสแกนที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี ของทุกแบบจำลองที่นำเสนอใน Table 5

เอกสารอ้างอิง

- บุญใจ ศรีสถิตนรากร. 2550. ระเบียบวิธีวิจัยแนวทางสู่ความสำเร็จ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Gonzalez, R. C. and R. E. Wood. 2007. Digital Image Processing, 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Karpech P. 2011. Finding the leaf areas from digital photos. *Khon Kaen AGR. J.*: 392–397.
- Kwon, D., L .Karhunen and S. Elwood. 2007. A image segmentation method based on improved watershed algorithm and region merging. *IEEE Trans Circuits and Syst. Video Technol.* 17: 517 – 529.
- Nicole, R. Study on the matlab segmentation image segmentation. *J. Name Stand. Abbrev.*: in press.
- Parparshut, P. 2007. Physiology of plants. Odeonstore, Bangkok.
- Thaiparnit, S. 2013. Design algorithms and modeling to determine the leaf area from photos. pp. 6 In: 2nd International Conference on Education Reform and Management Innovation.
- Wongchun, W. 1998. Principles of plant physiology. Funny publishing, Bangkok.