



การพัฒนาระบบถ่ายภาพทางอากาศระยะไกลแบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุสำหรับการเฝ้าระวังการระบาดของโรคพืชในพื้นที่ปลูกพืชมันสำปะหลัง

Development of Image Data Acquisition System with Unmanned Radio Controlled Helicopter-Mounted Low-Altitude Remote Sensing (LARS) Platform for Disease Infestation Monitoring in Cassava Plantation

เกรียงไกร แซมสีม่วง^{1*}, เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์²

Grianggai Samseemoung^{1*}, Kriattisak Sangpradit²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110

^{1,2} Agricultural machinery engineering, Agricultural engineering, Faculty of engineering, Rajamangala university of technology thanyaburi (RMUTT), Pathumthani, 12110

* Corresponding author: Tel: +6 6 -8 -9641-7532 or +6 6 -8 -2798-8098, Fax: +6 6 -2-549-3581, E-mail: kkriankkai@hotmail.com or grianggai.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบถ่ายภาพทางอากาศควบคุมระยะไกล ติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุที่พัฒนาขึ้น สามารถถ่ายภาพมุมสูงที่คมชัด ทันต่อเหตุการณ์ เหมาะสมที่จะตรวจวัด ประเมินผลการระบาดของโรคพืชเพื่อป้องกันผลผลิตลดลงได้เป็นอย่างดี ข้อมูลจากความสูง 10-30 m จะถูกประมวลผลด้วยโปรแกรมที่ออกแบบไว้ในโปรแกรม MATLAB โดยกล้องสามารถบันทึกค่าการสะท้อนแสงแบบใกล้ช่วงคลื่นอินฟราเรดที่ 800 nm และแบบช่วงคลื่นสีแดงที่ 650 nm ส่งผลให้การจำแนกต้นมันสำปะหลังที่สมบูรณ์กับที่เป็นโรค และการระบุตำแหน่งของโรคพืชนั้นสามารถทำได้แม่นยำ จากนั้นจึงเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน และทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของต้นมันสำปะหลังที่อายุต่างกันทั้งสมบูรณ์และเกิดโรค กับระดับความสูงที่ 10-30 m นั้น มีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความสูงมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.978-0.988 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณแบบค่า NDVI และแบบค่า GNDVI ที่ได้จากระบบกับระดับค่าคลอโรฟิลล์จากเครื่องมือวัดมาตรฐานมีแนวโน้มค่าเพิ่มสูงขึ้นของพืชมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน แบบสมบูรณ์ และเกิดโรค อยู่ในช่วง 0.780-0.954 และ 0.877-0.930 และพืชมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน แบบสมบูรณ์ และเกิดโรค อยู่ในช่วง 0.860-0.931 และ 0.725-0.907 ตามลำดับ และพบว่าโปรแกรมประมวลผลภาพถ่าย มีคุณภาพที่สามารถยอมรับได้เมื่อสอบเทียบกับการตรวจวัดด้วยคน

คำสำคัญ: ระบบถ่ายภาพมุมสูงควบคุมระยะไกล, การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล, ดัชนีพืชพรรณ, กล้องถ่ายภาพดิจิทัล, กล้องถ่ายภาพใกล้ช่วงคลื่นอินฟราเรด

Abstract

The developed unmanned radio controlled helicopter mounted with RGB and NIR band digital cameras can offer near real-time results upon user demand for timely detection of disease infections in cassava plantation which is extremely important for controlling the spread of disease and preventing crop productivity losses. This system is capable of acquiring images at altitudes ranging from 10 to 30 m, and the acquired LARS images were processed to estimate vegetative-indices with MATLAB program (Red=650 nm and NIR=800 nm band center) and thereby detecting diseases in both young and mature cassava plants. Good correlations and clear data clusters were obtained in characteristic plots of NDVI and various altitude levels, by which infested plants were discriminated from healthy plants in both young and mature crops. The correlation coefficients (R^2) were in an acceptable range (0.978-0.988). Furthermore, good correlations

were obtained in characteristic plots of NDVI and GNDVI against chlorophyll content, the chlorophyll content values ($\mu\text{mol m}^{-2}$) according to t-test showed notable differences among clusters for healthy young ($R^2=0.780-0.954$), for infested young ($R^2=0.877-0.930$), for healthy mature ($R^2=0.860-0.931$), and for infested mature ($R^2=0.725-0.907$) cassava plantation, respectively. The vegetation indices based on LARS images processed, provided satisfactory results comparing with a manual measurement.

Keywords: Image data acquisition system, Digital image processing, NDVI, RGB-camera, NIR-camera

1 บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกมันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลก มีปริมาณผลผลิตแปรรูปรวม 7.27 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 2,153 ล้านบาทสหรัฐ โดยที่ความต้องการผลผลิตมันสำปะหลังทั้งภายในประเทศ และตลาดโลก ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มูลค่าการส่งออกมันสำปะหลังของไทยในปี พ.ศ. 2550-2555 เพิ่มขึ้นถึง 18.8% และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามในการศึกษาปริมาณการส่งออกผลผลิตมันสำปะหลังในรายไตรมาสกลับพบว่ามีความผันผวนสูง อันเนื่องมาจากการระบาดของโรคพืช ผลกระทบเนื่องจากความผันแปรของสภาวะอากาศโลก และฤดูกาลเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดจากปริมาณการผลิต 27.76 ล้านตัน ในเนื้อที่เพาะปลูก 7.78 ล้านไร่ มีค่าที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 9.93 เพื่อตอบสนองต่อความต้องการผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องส่งเสริมให้เกษตรกรได้มีการนำเทคโนโลยีและเทคนิคสมัยใหม่ เข้ามาช่วยในการเพิ่มผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่อไร่ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ (สสช.) สถิติการเกษตร. 2551) ทั้งนี้หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องหลายหน่วยงานได้ส่งเสริมให้เกษตรกรประยุกต์ใช้เทคนิคในการช่วยเพิ่มผลผลิตหลายวิธีการด้วยกัน อาทิเช่น เทคนิคในการเลือกใช้มันสำปะหลังพันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูก เทคนิคในการเลือกใช้ต้นพันธุ์ที่สมบูรณ์ เทคนิคในการปรับปรุงโครงสร้างดิน และการบำรุงดินในพื้นที่ปลูก เทคนิคการให้น้ำในพื้นที่ปลูก และเทคนิคที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตประการหนึ่งซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิต ก็คือการใช้ปุ๋ยเคมี โดยการใช้อย่างถูกต้อง และในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการใช้จริงของดินมันสำปะหลังในแต่ละจุดของพื้นที่ ร่วมกับการเฝ้าระวังการระบาดของโรคพืชนั้นจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้โดยตรง โดยที่ราคาหัวมันสำปะหลังสดในตลาดอาจมีความผันผวนตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้นก็ตาม หากแต่เกษตรกรสามารถควบคุม และลดต้นทุนการผลิตได้แล้ว ก็ย่อมจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มกำไรต่อเกษตรกร

ผู้เพาะปลูกได้โดยตรง จากประเด็นการลดต้นทุนการผลิตเพื่อเพิ่มกำไรแก่เกษตรกรผู้ผลิตดังกล่าว

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความแม่นยำทางการเกษตร เพื่อเข้ามาช่วยพัฒนาระบบการจัดการ และการบำรุงรักษา โดยมุ่งเป้าหมายไปยังการบริหารจัดการ การให้ปุ๋ย และการตรวจวัดเฝ้าระวังการระบาดของโรคพืชในพื้นที่ปลูก (Samseemoung et al., 2010) โรคใบไหม้ (Cassava Bacterial Blight: CBB) ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*, โรคใบจุดสีน้ำตาล (Brown Leaf Spot) ที่เกิดจากเชื้อรา *Cercosporidium henningsii*, โรคยอดพุ่มที่เกิดจากเชื้อไฟโทพลาสมาหรือโรคพุ่มแจ้ มันสำปะหลัง (Phyllody) และโรคแอนแทรคโนส (Cassava Anthracnose Disease, CAD) ที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *Manihotis* เหล่านี้สามารถที่จะระบุตำแหน่งบริเวณที่เกิดโรค ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงในด้านของการลดต้นทุนการผลิต การป้องกันความเสียหายแบบทันทั่วทั้ง (Swain et al., 2007) และสุดท้ายแล้วเป็นการเพิ่มผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสดต่อไร่ ให้มีปริมาณสูงขึ้น จึงได้ทำการออกแบบและสร้างระบบถ่ายภาพทางอากาศมุมสูง ควบคุมระยะไกล แบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ ที่ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบ Near-Infrared bands และแบบ RGB bands ซึ่งมีราคาที่ถูกกว่า (Samseemoung et al., 2011) โดยที่ตัวกล้องจะติดตั้งระบบกดตัดเตอร์ภาพแบบควบคุมระยะไกล ด้วยรีโมทแบบคลื่นสัญญาณความถี่ 72 MHz ขึ้นมา โดยข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จะถูกประมวลผลเพื่อตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของพืช ความหนาแน่น และบริเวณที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคพืช ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายที่ออกแบบไว้ (IPAS) โดยใช้คำสั่งในโปรแกรม MATLAB จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายมุมสูงที่ได้จากกล้องทั้งสองชนิด ที่ระดับความสูง และอัตราการเจริญเติบโตหลังจากพืชงอกแตกต่างกันตามลำดับ โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังนี้

1. ทำการออกแบบ และสร้างระบบถ่ายภาพทางอากาศมุมสูงแบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ ที่สามารถบินถ่ายภาพเหนือแปลงปลูกมันสำปะหลัง ที่ระยะความสูง 10-30 m พร้อมทั้งระบบกดตัดเตอร์ถ่ายภาพได้ในระยะไกล โดยที่เฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุนั้น

จะมีอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความสูงแบบระบบดิจิทัล ที่สามารถควบคุมความสูงในการบินได้ที่ระดับภาคพื้นดิน โดยระบบถ่ายภาพทางอากาศมุมสูงนี้ จะทำการถ่ายภาพในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก เพื่อการได้มาซึ่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ป้องกันปัญหาการซ้อนทับกันของวัตถุในภาพถ่ายที่เกิดจากแสงตกกระทบ ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากระบบจะถูกบันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำของกล้องถ่ายภาพ

2. ทำการออกแบบ และพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ที่สามารถทำการวิเคราะห์ภาพถ่าย หาค่าของ

ดัชนีพืชพรรณ โดยจะแยกเอาข้อมูลวัตถุที่สนใจออกจากภาพพื้นหลัง Background และยังสามารถทำการประมวลผลวัตถุที่สนใจในภาพถ่ายออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของวัตถุต่อพื้นที่ได้อีกด้วย

3. ทำการจัดทำแผนที่ประยุกต์ทางการเกษตร ที่สอดคล้องกับระบบที่จะพัฒนา และข้อมูลที่จัดบันทึกจากข้อ 1 และ 2 ตามลำดับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการการใช้ปุ๋ยเคมี และลดความเสียหายที่เกิดจากการระบาดของโรคพืชแบบต้นทั่วทั้งที่

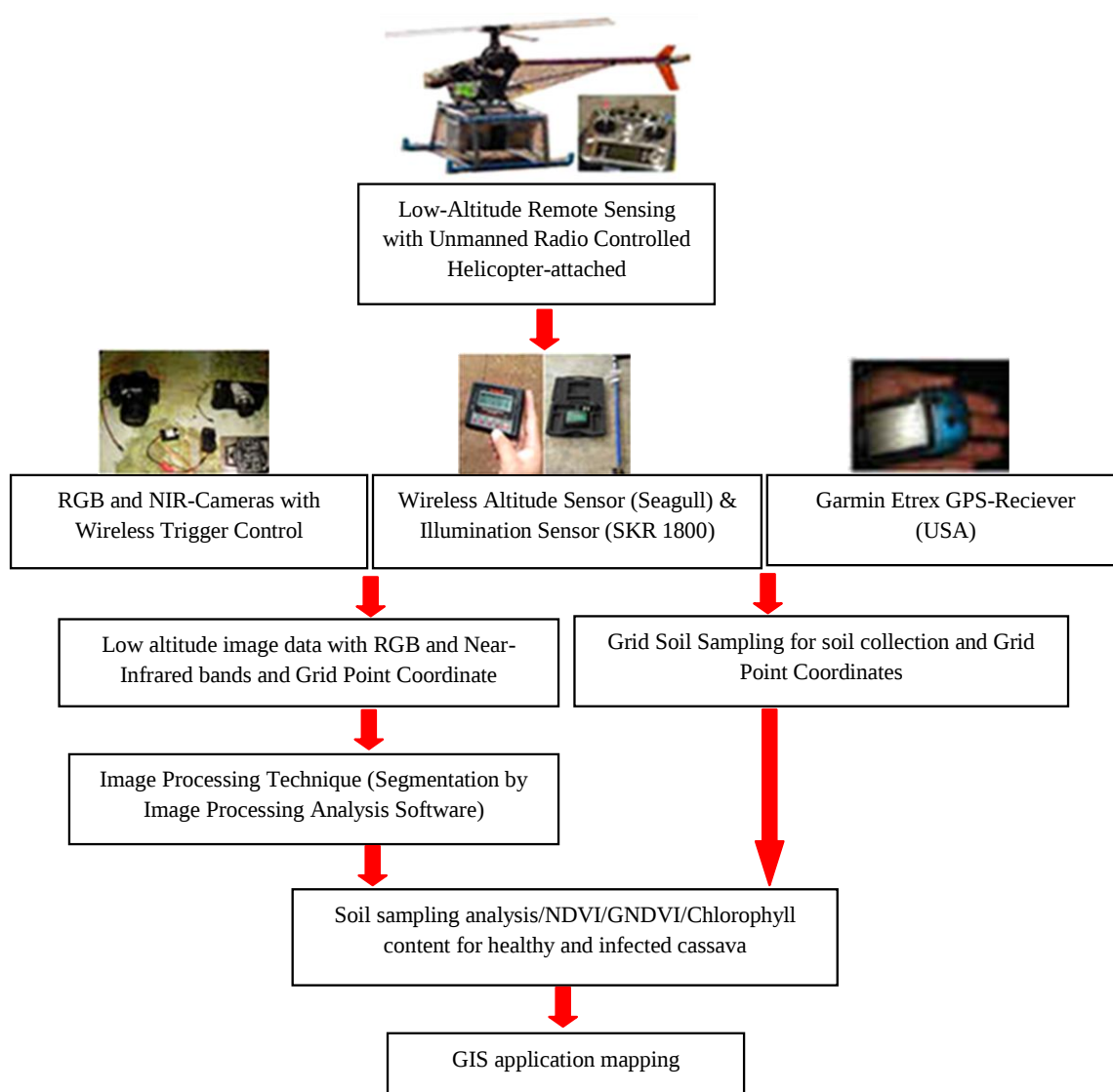


Figure 1 Instrumentation and overall procedural configuration. Low-altitude remote sensing image data acquisition system in cassava plantation.

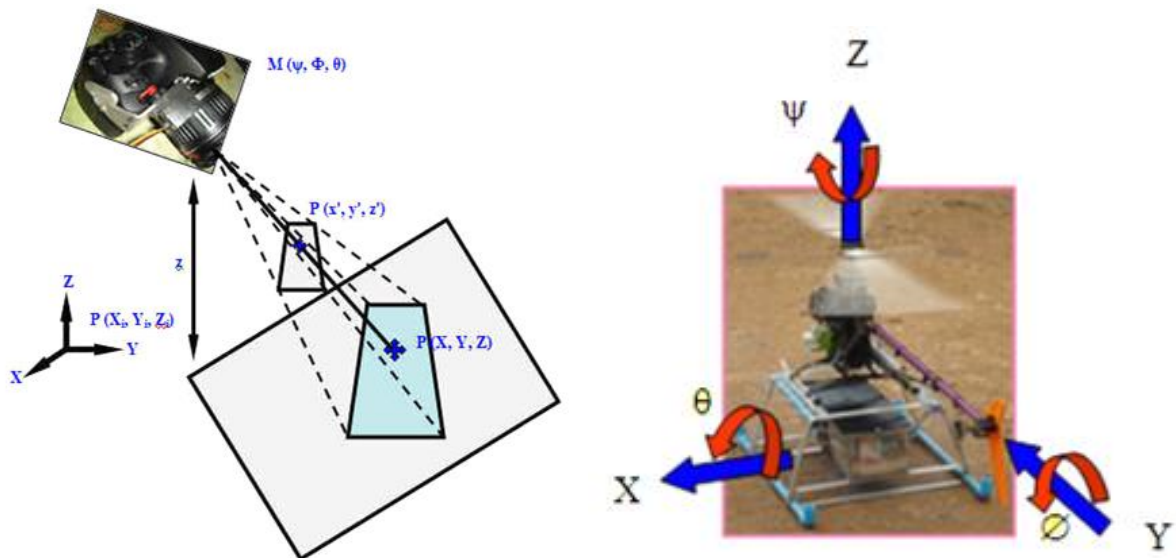


Figure 2 Unmanned radio-controlled helicopter platform. Positioning transformation from local image coordinate to global coordinate.

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบ และสร้างระบบถ่ายภาพทางอากาศระยะไกล แบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ

ทำการสร้างระบบถ่ายภาพทางอากาศระยะไกล แบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุขึ้น โดยการทำงานของกล้องนั้นจะควบคุมการกดชัตเตอร์ที่พื้นดินด้านล่างแบบควบคุมระยะไกล ด้วยรีโมทแบบคลื่นสัญญาณความถี่ 72 MHz ที่มีระยะควบคุมการทำงาน 400 m ขึ้นมา โดยระบบนี้จะติดตั้งอยู่บนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุที่สามารถบินถ่ายภาพเหนือแปลงปลูกมันสำปะหลัง ที่ระยะความสูง 10-30 m เพื่อทำการถ่ายภาพมุมสูง รายละเอียดส่วนประกอบของระบบถ่ายภาพมุมสูงควบคุมระยะไกลแบบบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ ดัง Figure 1 จะประกอบด้วยกล้องดิจิทัลแบบธรรมดา (True color (R-G-B) digital camera photography EOS 1000D (Canon Co. Ltd.) ที่มี image size resolution: 1280x1024 (10.1 Mpixels), Lens: 18 mm) กล้องดิจิทัลแบบถ่ายภาพในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (Color-infrared (CIR) digital (G-R-NIR) photography (ADC Tetracam Inc.) ที่มี image size resolution: 1280x1024 (1.3 Mpixels), Lens: 8.5 mm) ชุดรีโมทควบคุมการกดชัตเตอร์ภาพระยะไกล (Wireless trigger control (Jelsoft Enterprises Ltd.)) ชุดอุปกรณ์วัดระดับความสูง (Altitude sensor (Seagull Wireless Dashboard Flight System FCC 900 MHz version; Jelsoft Enterprises Ltd.) ที่มี System accuracy: 1 foot) อุปกรณ์วัดพิกัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System, GPS ที่มี GPS accuracy: Position: < 15 meters, 95%

typical Velocity: 0.05 meter/sec steady state) และชุดอุปกรณ์วัดความเข้มแสงสว่าง (Two channels, band center of 660 nm and 730 nm, SKR 1800, Skye Instruments Ltd., UK) ที่มี sensor type: cosine corrected head, Absolute calibration error: <3%, Detector: GaAsP Photocells, Response time: 10 ns เป็นต้น

ในส่วนของการพิกัดที่มีการบิดเบือนไปของภาพถ่ายมุมสูงที่ได้จากระบบนั้น จะมีสาเหตุมาจากค่ามุมดังต่อไปนี้ (Samseemoung et al., 2012)

- 1) มุมพิทช์ (Pitch angle, θ) โดยเป็นค่ามุมที่คิดจากระบบหมุนรอบแกน x มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $\pm 90^\circ$
- 2) มุมโรล (Roll angle, ϕ) โดยเป็นค่ามุมที่คิดจากระบบหมุนรอบแกน y มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $\pm 180^\circ$
- 3) มุมยอว์ (Yaw angle, ψ) โดยเป็นค่ามุมที่คิดจากระบบหมุนรอบแกน z มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $\pm 180^\circ$

มุมที่สร้างปัญหาการบิดเบือนของภาพถ่ายมุมสูงมากที่สุดได้แก่ มุมยอว์ (Yaw angle, ψ) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายมาสร้างเป็นแผนที่ทางภาคเกษตร จะใช้ระบบพิกัดแกนรวมใหญ่แทนพิกัดแกนย่อย โดยจะทำการแปลงค่าพิกัด ละติจูดและลองจิจูดในทิศทางเดียวกับระบบ ดังแสดงใน Figure 2 โดยจะมีอุปกรณ์ digital compass (C-100, KVH, USA) บันทึกทิศทางในแนวทิศเหนือ ($0-360^\circ$) เมื่อระบบทำการถ่ายภาพมุมสูง และมีอุปกรณ์ IMU (Inertial Measurement Units) sensor VG-400 ทำการบันทึกค่ามุม roll และมุม pitch อีกด้วย โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกติดตั้งขึ้นบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุด้วย

การแปลงค่าพิกัดแกนรวมใหญ่นี้จะทำการคำนวณค่ามุม (ψ , ϕ , θ) ออกมาในรูปแบบของระบบเมทริกซ์ (M) ดังแสดงในสมการที่ 1 และใน Figure 2 แสดงวิธีการหาค่าจุดศูนย์กลางของพิกัดแกนรวมใหญ่ $P(X, Y, Z)$ ซึ่งสามารถทำได้โดยจะต้องทราบค่าจุดอ้างอิงที่พื้นผิวโลกหรือค่าพิกัด Ground coordinate, $P(X_i, Y_i, Z_i)$ และระยะความสูงจากพิกัดอ้างอิงถึงระบบถ่ายภาพ z ก่อน จากนั้นกำหนดให้จุดกึ่งกลางของเลนส์กล้องบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุมีค่าพิกัดเป็น $P(x, y, z)$ จากพิกัดจุดอ้างอิงที่พื้นผิวโลกหรือค่าพิกัด Ground coordinate, $P(X_i, Y_i, Z_i)$ จะได้จุดพิกัดกึ่งกลางของภาพถ่ายมุมสูงที่แปลงแล้วเป็น $P(x', y', z')$ จากค่าพิกัดนี้เมื่อแก้สมการเมทริกซ์ออกมา ก็จะได้ทราบค่าจุดศูนย์กลางของพิกัดแกนรวมใหญ่ $P(X, Y, Z)$ ดังรายละเอียดแสดงด้านล่างนี้

$$M_1(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_1(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$M_1(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

(1)

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = M(\psi, \phi, \theta) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

(2)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}$$

(3)

จากสมการที่ 2 จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = M_1(\psi)M_1(\phi)M_1(\theta) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

ในแนวทิศทางแกน z นั่นคือ $M_1(\psi)$ นั้นจะไม่นำมาคิดเนื่องจากเป็นมุมยอร์ที่เกิการหมุนในแนวความสูง ดังนั้นจะได้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = M_1(\phi)M_1(\theta) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

(4)

หรือว่าเป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

นำค่าที่ได้จากด้านบนไปแทนในรูปของสมการที่ 3 จะได้

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos \phi + y \sin \phi \sin \theta - z \sin \phi \cos \theta \\ y \cos \theta + z \sin \theta \\ -x \sin \phi - y \cos \phi \sin \theta + z \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}$$

ดังนั้นผลลัพธ์ของค่าพิกัดแกนรวมใหญ่ที่ได้จะเป็นดังนี้

$$X = x \cos \phi + y \sin \phi \sin \theta - z \sin \phi \cos \theta + X_i \quad (5)$$

$$Y = y \cos \theta + z \sin \theta + Y_i \quad (6)$$

$$Z = -x \sin \phi - y \cos \phi \sin \theta + z \cos \phi \cos \theta + Z_i \quad (7)$$

ดังนั้นแล้วค่าจุดกึ่งกลางของพิกัดแกนรวมใหญ่ $P(X, Y, Z)$ ที่คำนวณได้ ดังสมการที่ 5, 6 และ 7 จะถูกใช้เป็นจุดอ้างอิงของภาพถ่ายมุมสูงเมื่อเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพถ่ายต่อไป และพิกัดแกน Z หรือความสูงนั้นจะไม่ใช้

2.2 การออกแบบพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศมุมสูง และการประเมินผลพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การออกแบบ และพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศมุมสูง

ระบบโปรแกรมที่พัฒนาจะทำการดึงข้อมูลภาพจากดาต้าเบส (Database) โดยที่ผู้ใช้สามารถที่จะทำการ เลือกข้อมูลภาพได้ โดยที่ตัวโปรแกรมจะทำการตรวจสอบจำนวนพิกซ์โดยวิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนย่อยๆ (Sub image) แล้วทำการตรวจจับสีของวัตถุที่สนใจเพื่อหาจำนวนต่อพื้นที่ โดยขั้นตอนการประมวลผลภาพในการตรวจจับสีเขียวของพืชเพื่อหาจำนวนต่อพื้นที่นั้น ดังแสดงใน Figure 3 ความสามารถของโปรแกรม 1) โปรแกรมสามารถดึงข้อมูลจากดาต้าเบสมาเพื่อแสดงผลออกทางหน้าต่างของโปรแกรม และทำการประมวลผลภาพ ดังแสดงใน Figure 4 รวมถึงการแสดงผลออก

ทางหน้าต่างของโปรแกรม เพื่อแจ้งให้ระบบทราบถึงข้อมูลสีเขียวของพืชที่ทำการตรวจจับ 2) โปรแกรมจะต้องสามารถทำการเปลี่ยนแม่แบบสีจากภาพสีเป็นภาพโทนขาวดำได้ 3) โปรแกรมจะต้องมีความสามารถในการทำการบันทึกข้อมูลรูปภาพที่กระทำการประมวลผลแล้วลงฮาร์ดดิสก์ได้ (Gray image, Bimodal image) ดังแสดงใน Figure 5

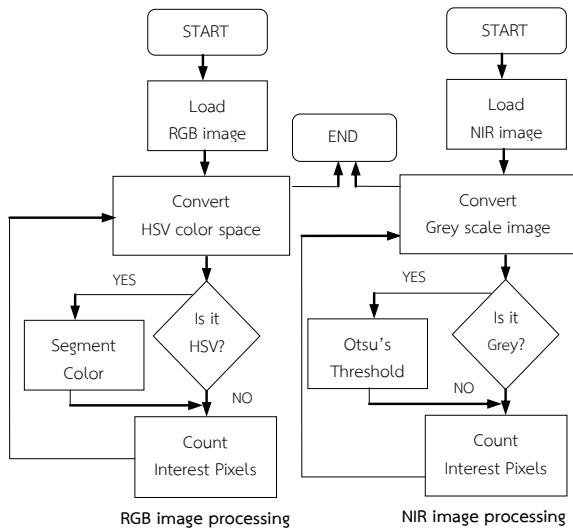


Figure 3 Image processing technique. Flowchart of the image processing analysis software (IPAS).

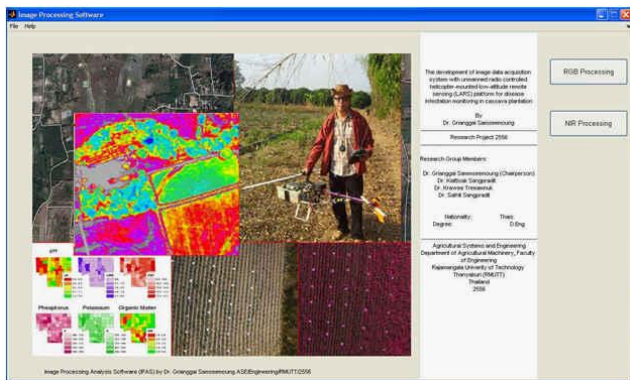


Figure 4 Detail of the program. The image processing analysis software (IPAS) window.

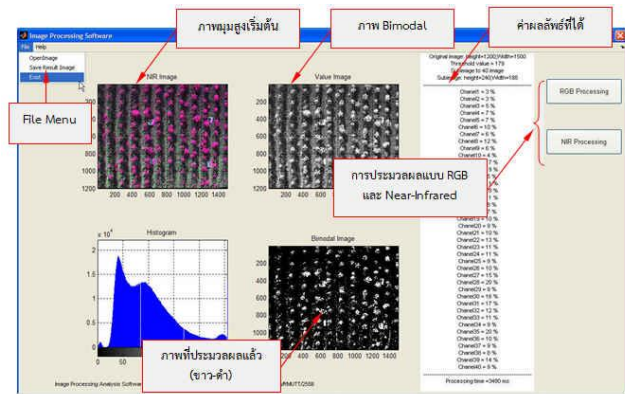


Figure 5 GUI output windows. Image processing analysis software (IPAS) in terms of disease infestation monitoring.

2.2.2 การประเมินผลพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ และค่าคลอโรฟิลล์

ค่าดัชนีพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index, NDVI) คือค่าดัชนีการสะท้อนแสง นิยมนำมาใช้ในทางวิจัยทางการเกษตรทั่วไป (Samseemoung et al., 2011) สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 8 ด้านล่างนี้

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (8)$$

โดยที่ ρ_{NIR} หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด 800 nm และ ρ_R หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง 650 nm

ค่าคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content, Chl ($\mu\text{mol m}^{-2}$)) ดังแสดงในสมการที่ 9 (Jayasuriya et al., 2012) จะใช้พิจารณาถึงความสัมพันธ์กันของพืชต้นสำหรับพืชที่เกิดโรค โดยที่พืชที่เริ่มเกิดโรคจะมีค่าการสะท้อนแสงที่ลดลงและมีค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ที่ต่ำ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดค่านี้คือ Minolta SPAD 502 Meter, Spectrum Technology Inc., USA ที่มี Measure sample: crop leaves, Measure system: optical density difference, Measure area: 2x3 mm และ Accuracy: within +/- 1.0 SPAD unit reading ดังแสดงใน Figure 9(c) ด้านบน

$$Chl (\mu\text{mol m}^{-2}) = 10^{M^{0.265}} \quad (9)$$

โดยที่ ค่า M จะหมายถึง ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบพืชที่เครื่องวัดอ่านได้ จะเป็นตัวเลขดิจิทัล และค่า Chl หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของค่าคลอโรฟิลล์ (มีหน่วยเป็น $\mu\text{mol m}^{-2}$)

ค่าของ Green normalized difference vegetation index (GNDVI) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะหมายถึง ค่าคลอโรฟิลล์ ที่หามาจากค่า

การสะท้อนแสงที่ใบพืช เมื่อพืชนั้นมีอายุการเจริญเติบโตไม่เท่ากัน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 10 (Samseemoung et al., 2011)

$$GNDVI = \frac{PNIR - \rho_G}{PNIR + \rho_G} \quad (10)$$

โดยที่ ρ_{NIR} จะหมายถึง ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด 800 nm และ ρ_G หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีเขียว 550 nm

2.2.3 การประเมินผลพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ และค่าการบดอัดตัวของดิน

การวัดค่าการบดอัดตัวของดินนั้น จะใช้เครื่องมือเซนเซอร์ SC 900 soil compaction meter of Spectrum® Technologies, Inc., USA. ดังแสดงใน Figure 9(c) ด้านล่าง โดยสามารถนำมาใช้วัดค่าการบดอัดตัวดิน ซึ่งลักษณะของดินที่มีการบดอัดตัวสูง ชั้นดินจะมีการป้องกันการแทรกซึมของน้ำและลดอัตราการดูดซึมน้ำลง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของรากพืช ในบางกรณีเครื่องมือสามารถอ่านความลึกของดินจะถูกกำหนดโดยความลึกของเสียงเซ็นเซอร์ ค่าดัชนีกรวยจะวัดจากโพลีเซลล์เซ็นเซอร์และสามารถแสดงค่าในหน่วยของ psi หรือ kPa

2.3 การสอบเทียบข้อมูลที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้กับข้อมูลที่เก็บได้จากการตรวจวัดด้วยคน

สำหรับการสอบเทียบการประมวลผลภาพถ่าย จะมีวิธีการสอบเทียบที่จะกระทำได้โดยการกำหนดพื้นที่ขนาด 1 m² จากนั้นทำการโปรยชิ้นไม้ที่ทาสีแดง ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว เอาไว้ (เนื่องจากเป็นค่าสีที่ประมวลผลภาพถ่ายออกมาชัดเจนที่สุด) จำนวนหนึ่งร้อยชิ้นคิดเป็น 100% ดังแสดงใน Figure 6 ทำการทดสอบที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 10, 15, และ 20 m และวิธีการที่แตกต่างกัน ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบ Near-Infrared bands (NIR-camera) และข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบ RGB bands (RGB-camera)



Figure 6 Image processing calibration methods. The wood particles in 1 m² areas at different heights.

2.4 การเตรียมแปลงทดสอบ

แปลงทดสอบนี้ตั้งอยู่ที่พิกัด (Latitude 14.14°N) และ (Longitude 101.48°E) ในตำบลโนนหอม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี โดยแปลงทดสอบนี้จะปลูกเป็นพื้นที่ทั้งหมด 40x40 m² ลักษณะเป็นพื้นที่ราบไม่ต้องยกทรง พื้นที่ที่ใช้ปลูกเป็นมันสำปะหลังระยะยอ 5 โดยมีระยะปลูกระหว่างแถวประมาณ 80-100 cm และระยะระหว่างต้น 80-100 cm ต่อจากนั้นทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็น ตารางสี่เหลี่ยม โดยมีระยะห่าง 5x5 m² ดังแสดงใน Figure 7 โดยใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือสูตร 16-8-16 ในอัตรา 50-100 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจะแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละเท่าๆ กัน ในครั้งแรกให้ใส่ปุ๋ยหลังจากปลูกไปแล้ว 1 เดือน ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเมื่อมีอายุได้ 3 เดือน หลังจากนั้นปล่อยให้เจริญเติบโตและเกิดโรคระบาดตามธรรมชาติ โดยคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพของดินในแปลงทดสอบนั้น ข้อมูลทั้งหมดแสดงไว้ดัง Table 1

Table 1 Physical and chemical properties of soil in cassava crop plantation.

Soil Depth (cm)		0-25
pH levels		5.5
Soil Texture (Clay)	Sand (%)	40
	Silt (%)	15
	Clay (%)	45
Organic Matter (%)		1.59
Particle Density (g/cm ³)		2.57
Bulk Density (g/cm ³)		1.39
Moisture Content (%)		20.12

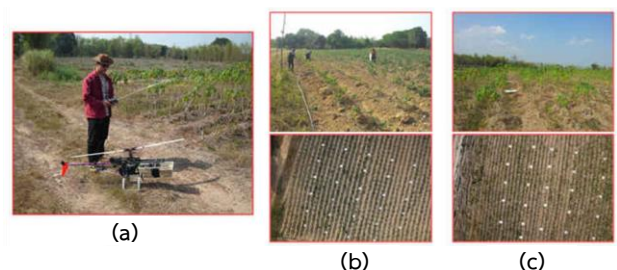


Figure 7 Low-altitude unmanned radio-controlled helicopters with image acquisition system. (a) Preparation of instruments, (b) Plant material and site selection at cassava 1 month, (c) Site selection at cassava 5 month (Lat. 14.14°N, Long. 101.48°E).

2.5 การจัดทำแผนที่ประยุกต์ทางการเกษตร

ทำการวิเคราะห์และแปลผลภาพถ่าย และวัดและรวบรวมข้อมูลอ้างอิงภาคพื้นดิน (Ground Truth) ได้แก่ ข้อมูลพิกัดตำแหน่งในพื้นที่ที่ทำการทดสอบ ข้อมูลธาตุอาหารในพื้นที่ ข้อมูลลักษณะโครงสร้างของดิน ค่าความเป็นกรดต่างของดิน ค่าความชื้น และตำแหน่งการกระจายตัวของโรคพืชในพื้นที่ โดยในส่วนของการจัดทำออกมาเป็นแผนที่ประยุกต์ทางการเกษตรนั้น จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นจุด โดยมีระยะห่างแต่ละจุดนั้นเท่ากัน ต่อจากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้มาประมวลผลเพื่อตรวจวัดค่าข้อมูลดังที่กล่าวมาแล้ว พร้อมกับทำการจดบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งของแต่ละจุดด้วย แล้วจึงนำข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่โปรแกรม ArcView GIS 3.2 จัดทำออกมาเป็นแผนที่ประยุกต์ทางการเกษตรต่อไป (Swain and Jayasuriya, 2007)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การสอบเทียบข้อมูลที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้กับข้อมูลที่ได้รับจากการตรวจวัดด้วยคน

คุณภาพที่สามารถทำการยอมรับได้ของการสอบเทียบการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันของระดับความสูง และชนิดของกล้องหรือระบบถ่ายภาพทางอากาศ วิธีการสอบเทียบสามารถกระทำได้โดยการกำหนดพื้นที่ขนาด 1 m^2 แล้วโปรยขี้เถ้าที่ไม่ทาสีแดงเอาไว้จำนวนหนึ่งร้อยชิ้นคิดเป็น 100% ทำการทดสอบที่ระดับความสูงแตกต่างกันและวิธีการที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งที่ระดับความสูง 10 m เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบ Near-Infrared bands (NIR-camera) นั้น พบว่ามีจำนวนเปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าที่ไม่ทาสีแดงที่ได้สูงที่สุดคือ 87.33% จำนวนเปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าที่ไม่ทาสีแดงจากข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบ RGB bands (RGB-camera) พบว่ามีค่าดังนี้ 76.89% ต่อไปที่ระดับของความสูง 15 และ 20 m พบว่าจำนวนเปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าที่ไม่ทาสีแดงของ NIR-camera และ RGB-camera ลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 81.53%-83.07% และ 68.56%-73.86% ตามลำดับ ดังนั้นจะพบว่าชนิดของระบบตรวจจับข้อมูลแบบ NIR-camera นั้น มีความเหมาะสมมากที่สุดเป็นอย่างมากในการนำมาใช้ที่ทุกระดับความสูง ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Artificial test plot for image processing calibration at different altitudes and image data acquisition system. (Average illumination during observations: Red=1650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and NIR=1050 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at 12:00 hrs.)

No. of image acquisition system	Altitude levels (m)		
	10	15	20
1. Labor force	100a	100a	100a
2. RGB-camera	76.89b	73.86b	68.56c
3. NIR-camera	87.33d	83.07d	81.53d

Means for each characteristic followed by the same column are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's Multiple Range test

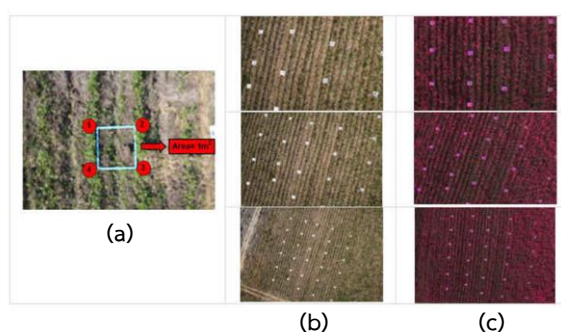


Figure 8 Stages of image data calibration. (a) An image processing calibration, the percentage of wood particles in 1 m^2 areas, (b) Raw image from RGB-camera, (c) Raw image from NIR-camera at height of 10, 15 and 20 m, respectively.

Table 3 Practical independence of NDVI values from illumination level from 10:30 hrs (Azimuth angle: 33 degree) to 14:30 hrs (Azimuth angle: 10 degree) recorded with SKR 1800 of Skye Instruments Ltd.

Experiment No.	Illumination levels ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		NDVI values	
	Red	NIR	Young cassava	Mature cassava
			(3 months)	(6 months)
1	1967	1298	0.639	0.638
2	1852	1214	0.636	0.636
3	1587	978	0.637	0.637
4	1675	988	0.638	0.637
5	1462	867	0.637	0.640

จากข้อมูลใน Table 3 พบว่าระดับของค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน และ 6 เดือนที่คำนวณได้จากภาพถ่ายมุมสูงตามค่าการสะท้อนแสงที่ใบพืชจากระบบออกแบบที่แปรผันตามค่าของระดับความสว่างของแสงตามช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 10:30 น. จนถึงเวลา 14:30 น. นั้นมีค่าที่คงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก นั้นหมายความว่าช่วงเวลาของวันดังกล่าวสามารถที่จะทำการทดสอบโดยที่ค่าการดัชนีการสะท้อนแสงนั้นจะไม่คลาดเคลื่อนเลย ดัง Figure 9(a) และ 9(b)

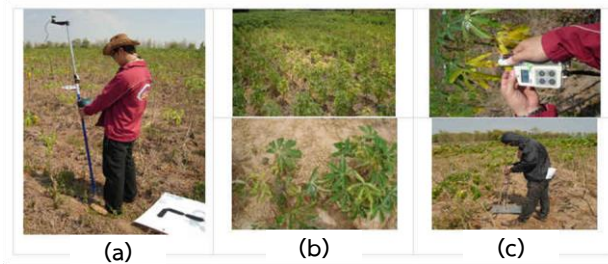


Figure 9 Effect of illumination level on NDVI index values. (a) SKR 1800 of Skye Instruments Ltd., (b) Normal image at 3 months (infected) from RGB-camera at 10:30 and 14:30 hrs., (c) Using an instrument of Leaf chlorophyll content meter (Minolta SPAD 502) and SC 900 Soil compaction meter of Spectrum® Technologies, Inc., USA.

3.2 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลังที่สมบูรณ์ และที่เริ่มเกิดโรค (6 เดือน) กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่ได้จากระบบถ่ายภาพทางอากาศระยะไกล แบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน

ในส่วนของการหาค่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างพืชที่สมบูรณ์ และที่เริ่มเกิดโรค จากการประยุกต์ใช้ค่าดัชนีของการสะท้อนแสงที่คำนวณได้จากภาพถ่ายมุมสูงจากระบบที่ออกแบบไว้แล้วนั้น ค่าดัชนีเหล่านี้ ได้แก่ ค่า NDVI และค่า GNDVI จาก NIR-camera (3 เดือน สมบูรณ์), NIR-camera (3 เดือน เกิดโรค), NIR-camera (6 เดือน สมบูรณ์), NIR-camera (6 เดือน เกิดโรค) ตามลำดับ

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลังที่อายุ 3 และ 6 เดือน กับค่าระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภาพมุมสูงในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด

จาก Table 4 จะพบว่าที่ระดับความสูง 15 และ 20 m นั้นมีค่าดัชนีพืชพรรณที่ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากระดับความสูงที่ระดับความสูง 10 และ 30 m อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% และจากระดับค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลัง (NDVI) ที่มีอายุ 3 และ 6 เดือน ทั้งเกิดโรคและไม่เกิดโรค พบว่าจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกระดับความสูงที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จาก Figure 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของมันสำปะหลังที่มีอายุต่างกัน กับค่าระดับความสูงที่ 10, 15, 20 และ 30 m นั้น จะพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณของมันสำปะหลังจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มมากขึ้น ดังนี้ $R^2=0.988$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน (สมบูรณ์), $R^2=0.978$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน (เกิดโรค), $R^2=0.987$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือน (สมบูรณ์) และค่า $R^2=0.985$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือน (เกิดโรค)

Table 4 Artificial test plot for NDVI values at differences of height and image data acquisition system. (Average illumination during observations: Red= $1650 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and NIR= $1050 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 12:00 hrs.)

Altitude levels (m)	NDVI values			
	NIR-camera (3 months healthy)	NIR-camera (3 months infect)	NIR-camera (6 months healthy)	NIR-camera (6 months infect)
10	0.714i	0.465d	0.648g	0.421c
15	0.682h	0.438c	0.616f	0.401b
20	0.668h	0.429c	0.604f	0.392b
30	0.613f	0.394b	0.555e	0.360a

Means for each characteristic followed by the same column are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan's Multiple Range test

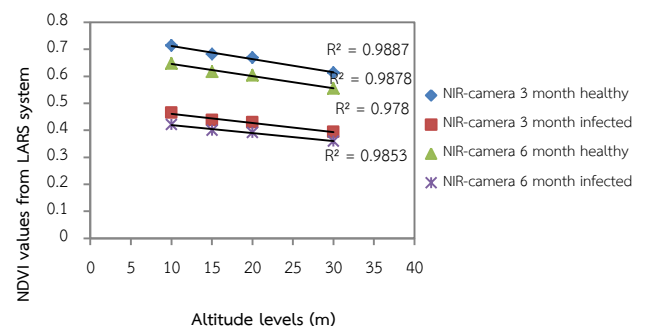


Figure 10 Cross-correlation characteristics between low altitude remote sensing images based NDVI indices and various altitudes from healthy, infested, young and mature cassava.

3.2.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลังที่มีอายุต่างกันที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้กับระดับค่าคลอโรฟิลล์

สำหรับมันสำปะหลังที่มีอายุ 3 และ 6 เดือน จะพบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI นั้นจะมีความสัมพันธ์กับระดับค่าคลอโรฟิลล์ในแนวโน้มนที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนี้ $R^2=0.780$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน (สมบูรณ์), $R^2=0.954$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน (เกิดโรค), $R^2=0.860$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือน (สมบูรณ์) และค่า $R^2=0.931$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือน (เกิดโรค)

ค่าดัชนีพืชพรรณ GNDVI ของพืชมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน แบบสมบูรณ์ และแบบเกิดโรค แสดงความสัมพันธ์แบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกับค่าคลอโรฟิลล์ (Figure 11) ด้วยค่า $R^2 = 0.877$ และ 0.930

ค่าดัชนีพืชพรรณ GNDVI ของพืชมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน แบบสมบูรณ์ และแบบเกิดโรค แสดงความสัมพันธ์แบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ด้วยค่า $R^2 = 0.907$ และ 0.725 ตามลำดับ

ในด้านการเปรียบเทียบกันระหว่าง ค่าคลอโรฟิลล์ ($\mu\text{mol m}^{-2}$) กับค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI และแบบ GNDVI ที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้นั้น พบว่ามีค่าที่น่าเชื่อถือสูงโดยจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 781-1220 $\mu\text{mol m}^{-2}$ สำหรับมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน (สมบูรณ์), 348-662 $\mu\text{mol m}^{-2}$ สำหรับมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน (เกิดโรค), 1012-1430 $\mu\text{mol m}^{-2}$ สำหรับมันสำปะหลังอายุ 6 month (สมบูรณ์), 131-364 $\mu\text{mol m}^{-2}$ สำหรับมันสำปะหลังอายุ 6 month (เกิดโรค) ดังแสดงใน Figure 11 และ 12 ตามลำดับ

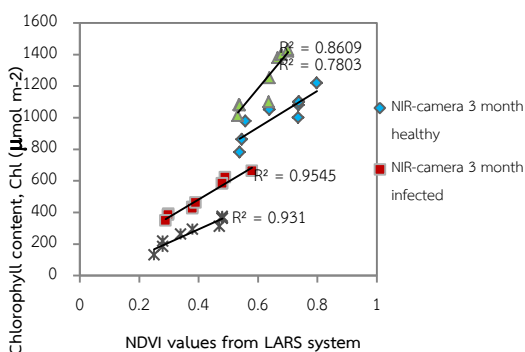


Figure 11 Correlation between leaves chlorophyll content estimated from leaf reflectance values and reflectance indices NDVI for healthy and infested cassava plantation.

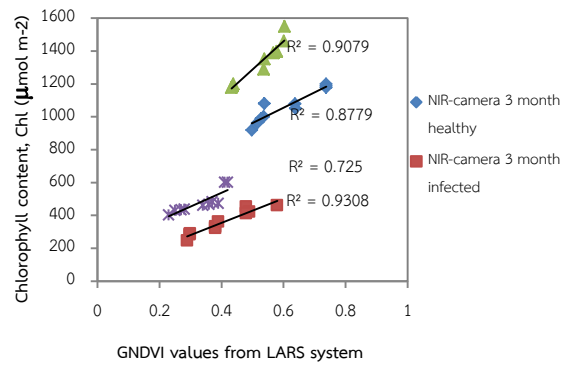


Figure 12 Correlation between leaves chlorophyll content estimated from leaf reflectance values and reflectance indices GNDVI for healthy and infested cassava plantation.

3.2.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลัง กับค่าการบดอัดตัวของดิน

สำหรับมันสำปะหลังที่มีอายุ 3 และ 6 เดือน จะพบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI นั้นจะมีความสัมพันธ์กับระดับค่าการบดอัดตัวของดิน (psi) ในแนวโน้มนที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ดังแสดงใน Figure 13 ดังนี้ $R^2=0.882$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน (สมบูรณ์), $R^2=0.700$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน (เกิดโรค), $R^2=0.790$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือน (สมบูรณ์) และค่า $R^2=0.731$ สำหรับมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือน (เกิดโรค) ตามลำดับ

ในด้านการเปรียบเทียบกันระหว่าง ค่าการบดอัดตัว (psi) กับค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI ที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้นั้น พบว่ามีความชัดเจนสูงโดยจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 225-330 psi สำหรับมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน (สมบูรณ์), 255-371 psi สำหรับมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน (เกิดโรค), 420-490 psi สำหรับมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน (สมบูรณ์), 420-534 psi สำหรับมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน (เกิดโรค) ตามลำดับ

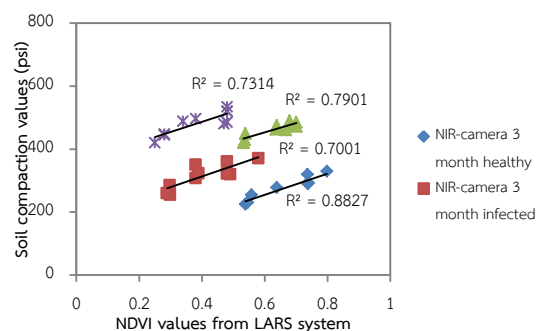


Figure 13 Correlation between the soil compaction estimated from the precision instrument and reflectance indices NDVI for healthy and infested cassava plantation.

3.2.4 การจัดทำแผนที่ประยุกต์ทางการเกษตร

แผนที่ประยุกต์ทางการเกษตรที่จัดทำขึ้นมานี้จะประกอบไปด้วย ข้อมูลของพิกัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกประมาณ 30 จุด และข้อมูล จำนวนค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของพืช ที่ได้จากกล้องดิจิตอล ทั้งสองที่ระดับความสูง 15 m ขั้นตอนการสร้างแผนที่ทางการเกษตร นั้น จะเริ่มจากการนำภาพถ่ายมุมสูงแต่ละเฟรมภาพที่ได้ทำการ แบ่งกริดพื้นที่ ระยะห่าง 5x5 m นำมาต่อกันเป็นภาพใหญ่ จากนั้นที่ แต่ละกริดหรือบริเวณใกล้เคียงจะต้องทำการประมวลผลภาพเพื่อ คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของพืชจากนั้นนำข้อมูล ทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม ArcView GIS 3.2 เพื่อทำการสร้างออกมา เป็นแผนที่ทางการเกษตร ดังแสดงใน Figure 14 โดยแผนที่จะบ่ง บอกถึงความหนาแน่นของพืช ตำแหน่งของการเจริญเติบโตดี ไม่ดี ในแปลงปลูก บริเวณที่มีการบดอัดตัวสูง และบริเวณที่เกิดโรค ระบาด

4 สรุป

จากผลการทดสอบที่ได้ในงานวิจัยนี้ พบว่าระบบถ่ายภาพทาง อากาศควบคุมระยะไกล แบบติดตั้งบนเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ ด้วยกล้องดิจิตอลแบบ RGB และแบบ Near-Infrared band ที่พัฒนาขึ้นมา สามารถถ่ายภาพมุมสูงที่มีความคมชัด ทันต่อ เหตุการณ์ มีความเหมาะสมที่จะตรวจวัด ประเมินผล และเฝ้าระวัง การระบาดของโรคพืช ในพื้นที่ปลูกพืชมันสำปะหลังได้เป็นอย่างดี โดยกล้องถ่ายภาพมุมสูงแบบใกล้ช่วงคลื่นอินฟราเรดนั้นจะบันทึกค่า การสะท้อนแสงในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดที่ 800 nm และในช่วง คลื่นสีแดงที่ 650 nm แบบต่อเนื่อง จึงส่งผลให้การจำแนก มันสำปะหลังว่าสมบูรณ์หรือไม่นั้นสามารถกระทำได้อย่างแม่นยำ จากนั้นได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้กับ เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ภาคพื้นดิน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหา ค่าความสัมพันธ์ออกมา ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะสร้างความเชื่อมั่นได้ว่าผลที่ ออกมาสามารถที่จะจำแนก มันสำปะหลังที่เป็นโรค กับ มันสำปะหลังสมบูรณ์ ได้อย่างถูกต้อง และสามารถทดแทนภาพถ่าย จากดาวเทียมที่มีราคาสูงได้เป็นอย่างดี

โรคใบไหม้ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*, โรคใบจุดสีน้ำตาลที่เกิดจากเชื้อรา *Cercosporidium henningsii*, โรคยอดพุ่มที่เกิดจากเชื้อไฟโต พลาสมา และโรคแอนแทรกโนสที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *Manihotis* เหล่านี้นั้น สามารถที่จะระบุ ตำแหน่ง และจำแนกออกมาตั้งแต่ระยะ 3 เดือน และระยะ 6 เดือน ในพื้นที่แปลงปลูกได้โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณจากการ สะท้อนแสงที่ใบพืชในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดที่ 800 nm และ

ในช่วงคลื่นสีแดงที่ 650 nm และทำการตรวจสอบค่าความแม่นยำ กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดมาตรฐานอีกครั้งหนึ่ง จึงทำให้การ ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณนั้น มีค่าความ เชื่อมั่นสูง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของ มันสำปะหลังที่มีอายุต่างกันทั้งสมบูรณ์และเกิดโรค กับค่าระดับ ความสูงที่ 10, 15, 20 และ 30 m นั้น พบว่ามีแนวโน้มค่า R^2 ลดลงเมื่อที่ระดับความสูงมากขึ้น โดยอยู่ในช่วง 0.978-0.988

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของพืช มันสำปะหลังที่มีอายุต่างกันแบบค่า NDVI และแบบค่า GNDVI ที่ได้ จากระบบที่ออกแบบไว้ กับระดับค่าคลอโรฟิลล์ที่วัดได้จากเครื่องมือ วัดมาตรฐาน พบว่ามีแนวโน้มค่า R^2 เพิ่มขึ้นของพืชมันสำปะหลัง อายุ 3 เดือน แบบสมบูรณ์ และแบบเกิดโรค โดยอยู่ในช่วง 0.780-0.954 และ 0.877-0.930 และพืชมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน แบบสมบูรณ์ และแบบเกิดโรค โดยอยู่ในช่วง 0.860-0.931 และ 0.725-0.907 ตามลำดับ

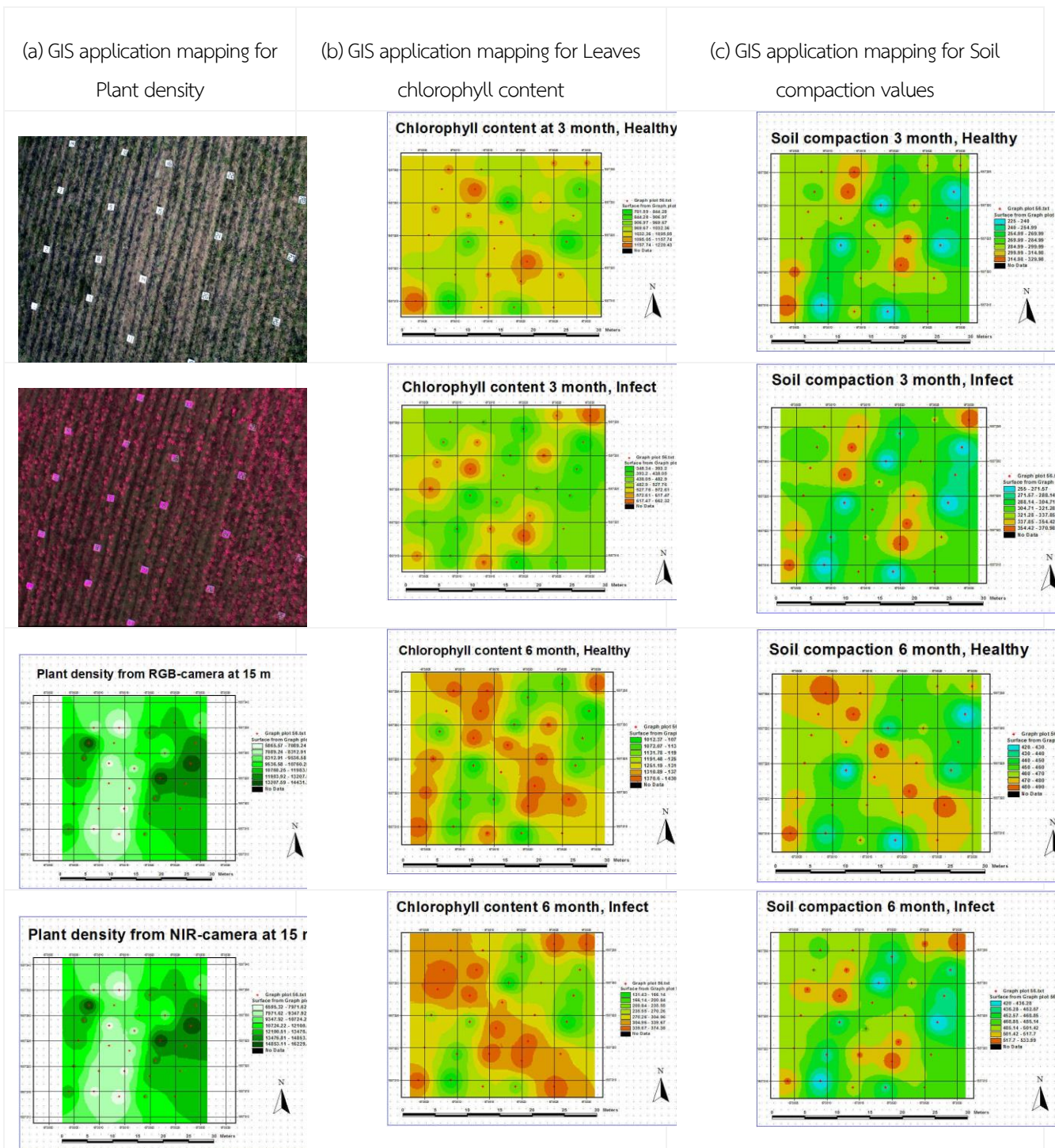


Figure 14 GIS application maps for crop status monitoring and herbicide application for healthy and infested cassava plantation. (a) GIS application maps for Plant density, (b) GIS application maps in leaves Chlorophyll content estimated from leaf reflectance values, (c) GIS application maps in soil compaction estimated from the precise instrument measurement, respectively.

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมันสำปะหลังที่มีอายุต่างกันแบบค่า NDVI ที่ได้จากระบบที่ออกแบบไว้ กับระดับค่าการบดอัดตัวที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน พบว่ามีแนวโน้มค่า R^2 แบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นของพืชมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน แบบสมบูรณ์ และแบบเกิดโรค โดยอยู่ในช่วง 0.700-0.882

และพืชมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน แบบสมบูรณ์ และแบบเกิดโรค โดยอยู่ในช่วง 0.731-0.790 ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบระบบที่ออกแบบไว้กับการตรวจวัดด้วยคนที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันแล้ว จะพบว่า จำนวนค่าเปอร์เซ็นต์

ความหนาแน่นของพืช จากระบบ NIR-camera และระบบ RGB-camera นั้นจะมีค่าลดลง ที่ระดับความสูง 10 m ขึ้นไป

ในส่วนของคุณภาพของระบบที่ยอมรับได้จากซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การสอบเทียบแล้ว พบว่ามีค่าที่สามารถยอมรับได้

ข้อเสนอแนะหรือแนวคิตรงานวิจัย งานวิจัยนี้สามารถที่จะเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการต่อยอดในการนำเอาเทคโนโลยีเฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ เข้ามาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายมุมสูงได้ และที่ระดับความสูง 5 m ขึ้นไป ผู้วิจัยท่านอื่นสามารถที่จะนำกล้องแบบ Web-cam มาประยุกต์ใช้แทนกล้องที่มีราคาสูงได้

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัย ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โครงการวิจัย-เงินงบประมาณ พ.ศ. 2556 ร่วมกับ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ที่สนับสนุนเงินงบประมาณ อุปกรณ์ บุคลากร และสถานที่ ในการเตรียมการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (สสช.) สถิติการเกษตร. 2551. เอกสารสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2551. แหล่งข้อมูล: <http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/agricult/ais-northe/ais-northe.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 9 ตุลาคม 2556.

Samseemoung, G., Hemantha, P., Jayasuriya, W., Soni, P. 2010. Detection and Analysis of Oil Palm Pest Infestation by Radio-Controlled Helicopter-Mounted Low-Altitude Remote Sensing Platform: Methodology Using Image Processing and Vegetation Indices Analyses. Asia Forum, International Agricultural Engineering Conference (IAEC)-2010, Shanghai (China), 17-20 September 2010.

Samseemoung, G., Hemantha, P., Jayasuriya, W., Soni, P. 2011. Oil palm pest infestation monitoring and evaluation by helicopter-mounted, low altitude remote sensing platform. Journal of Applied Remote Sensing, 5, 053540-053540-16.

Samseemoung, G., Soni, P., Hemantha, P., Jayasuriya, W. and Salokhe, V.M.. 2012. Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop

growth and weed infestation in a soybean plantation. Precision Agriculture, 13, 611 – 627.

Jayasuriya, H.P.W., Swain, K.C., Samseemoung, G. 2012. Potential Applications of low-altitude remote sensing (LARS) with radio-controlled helicopter platforms: Case studies on nutrient and pest management under agriculture systems in developing countries. Presented at 11th International Conference on Precision Agriculture, 15 - 18 July, Indianapolis, USA.

Swain, K.C., Jayasuriya, H.P.W. 2007. Land-use suitability evaluation criteria for precision agriculture adoption in a moderately yielding soybean cropping area in Thailand. Asia-Pacific Journal of Rural Development, 17, 113 - 125.

Swain, K.C., Jayasuriya, H.P.W., Salokhe, V.M. 2007. Low altitude remote sensing (LARS): A potential substitution to satellite based remotes sensing for precision agriculture adoption in fragmented and diversified farming conditions, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Invited Overview No. 12, Volume IX. September, 2007.