



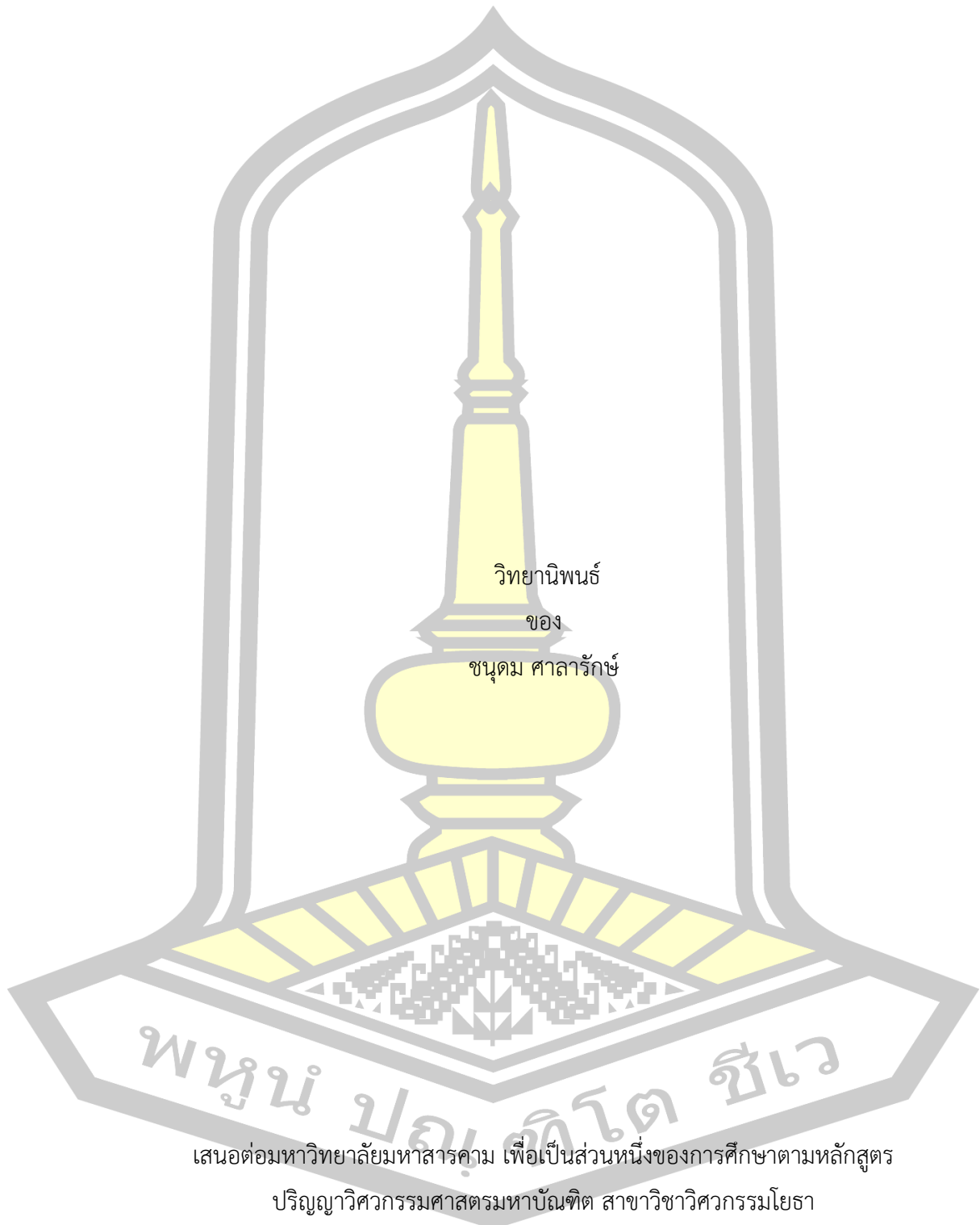
การประมาณค่าชีวมวลของ สาหร่ายสะพรั่ง โดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ

วิทยานิพนธ์
ของ
ชนุดม ศาลารักษ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ธันวาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประมาณค่าชีวมวลของ สาหร่ายสะพรั่ง โดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ



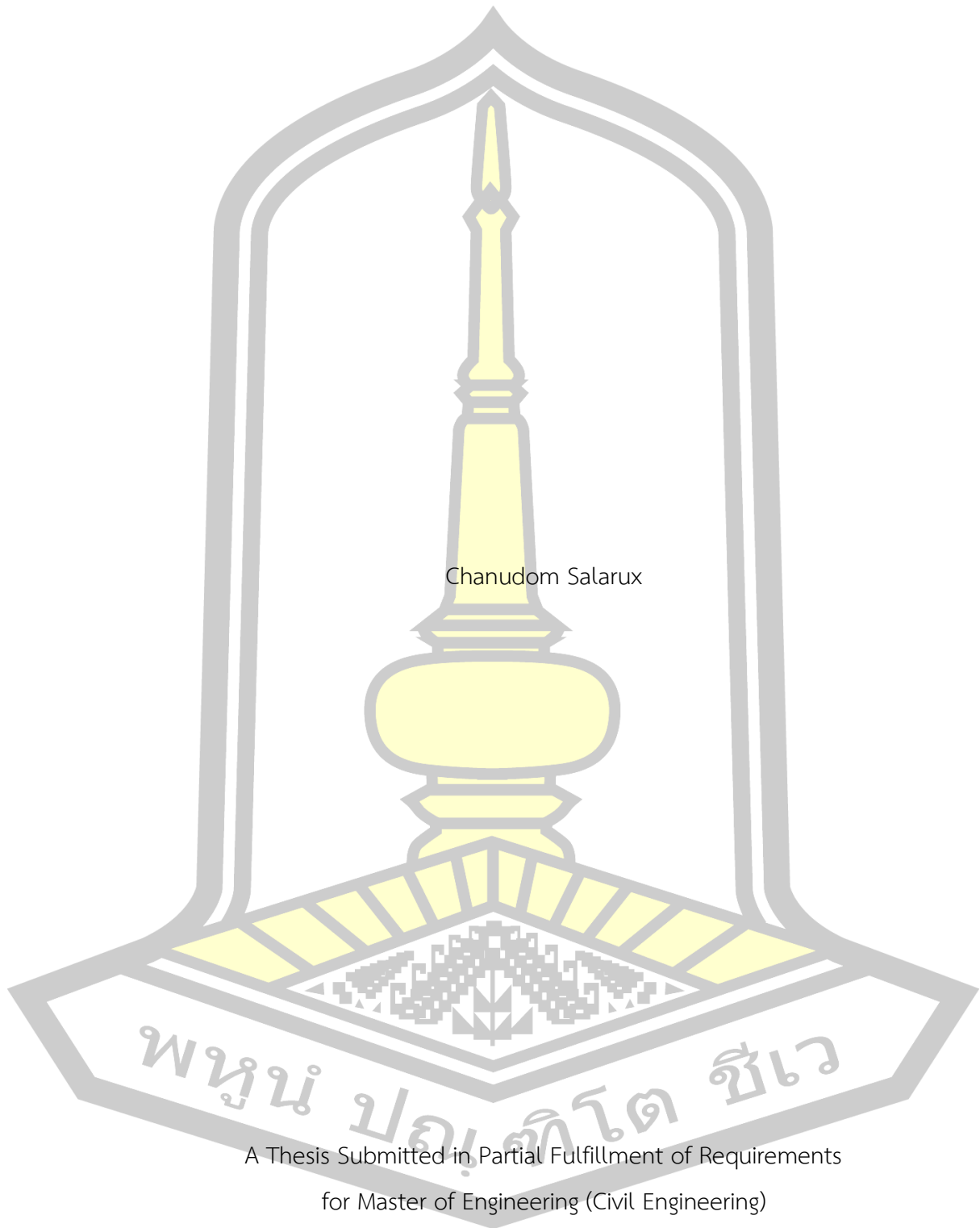
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ธันวาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Estimation of Biomass of Algal Bloom using UAV-Based Remote Sensing



Chanudom Salarux

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

December 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายชนุดม ศาลารักษ์ แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. สมพินิจ เหมือนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ศิวา แก้วปลั่ง)

กรรมการ

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ. ดร. กฤษณ์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประมาณค่าชีวมวลของ สหรัยสะพรั่ง โดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ		
ผู้วิจัย	ชนุดม ศาลารักษ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวา แก้วปลั่ง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2562

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนแสงจากกล้อง RGB และ RGN โดยใช้การสำรวจระยะไกลจากอากาศยานไร้คนขับร่วมกับการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร (Machine Learning) เพื่อประมาณค่าชีวมวลของสหรัยบลูม โดยใช้อัลกอริทึมแบบถดถอยด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร 4 วิธี (แบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และการจำแนกแบบป่าสุ่ม (Random forest)) เพื่อประเมินอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าชีวมวลของสหรัยบลูม ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลอง Random forest และ แบบจำลอง Support Vector Machine ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากกล้อง RGB ($R^2 = 0.88$ และ $RMSE = 27.92$) และกล้อง RGN ($R^2 = 0.97$ และ $RMSE = 14.24$) ตามลำดับ วิธีการที่นำเสนอในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการใช้ Machine learning กับการรับรู้จากระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับการประมาณค่าชีวมวลของสหรัยบลูมในพื้นที่อื่นๆ

คำสำคัญ : การสะพรั่งของสหรัย, ชีวมวล ,อากาศยานไร้คนขับ (UAV),การสำรวจระยะไกล

พหุบัณฑิต ชีวะ

TITLE Estimation of Biomass of Algal Bloom using UAV-Based Remote Sensing

AUTHOR Chanudom Salarux

ADVISORS Assistant Professor Siwa Kaewplang , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

The purpose of this study is to use spectral information provided from RGB and RGN cameras by using UAV-based remote sensing in combination with machine learning to estimate biomass of algal bloom. Four machine learning regression algorithms (Generalized Linear Model (GLM), Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF)) were evaluated and a suitable model created. To estimate the biomass of algal bloom. The results show that the random forest model and support vector machine model provides the most balanced results of RGB cameras ($R^2 = 0.88$ and $RMSE = 27.92$) and RGN cameras respectively. ($R^2 = 0.97$ and $RMSE = 14.24$) The methodology presented in this study can be used as a guideline for the combination of machine learning with UAV based remote sensing for estimating the biomass of algal bloom in other areas.

Keyword : Algal bloom, Biomass, UAV, Remote sensing

พหุ ประถมศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การประมาณค่าชีวมวลของ สาหร่ายสะพรั่ง โดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวา แก้วปลั่ง ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านมาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาตลอดจนให้คำแนะนำในทุก ๆ ด้านในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพินิจ เหมืองทอง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง รองศาสตราจารย์ ดร. มณีรัตน์ องค์กรธรณี และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ หากไม่ได้รับคำแนะนำที่มีค่าจากทุก ๆ ท่าน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสมบูรณ์ไม่ได้

ขอขอบคุณ คุณพงษ์พัฒน์ สัจจา น้องชายที่แสนดีในสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่คอยช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เคารพอย่างสูงยิ่ง ขอขอบคุณ นางสาววิไลพร ศาลารักษ์ ภรรยา ขอขอบใจ เด็กหญิงเสาวภา – เด็กหญิงปัทมา ศาลารักษ์ ลูกสาว และ ญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่านที่เป็นผู้ให้ความรู้ และให้การสนับสนุนมาโดยตลอดที่ยังไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ชนุดม ศาลารักษ์

พหุบัณฑิต โท ชีเว

สารบัญ

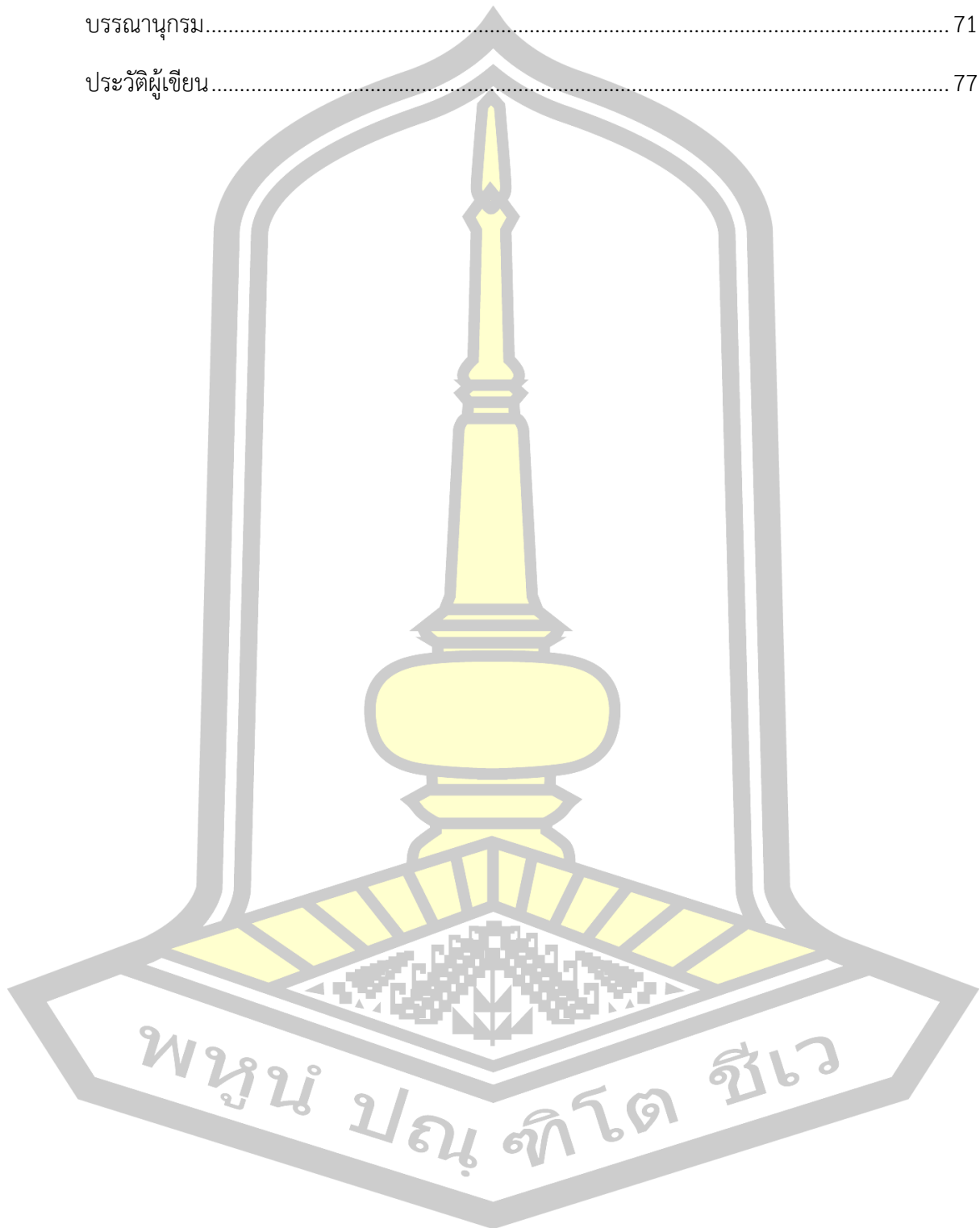
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความหมายของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ algal bloom.....	6
2.2 กระบวนการเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ algal bloom.....	6
2.3 ประโยชน์ของแพลงก์ตอนพืช.....	6
2.4 ปัญหาของการเกิดของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ algal bloom.....	7
2.5 การสำรวจแพลงก์ตอนในประเทศไทย.....	8
2.6 การประเมินคุณภาพของน้ำโดยใช้ดัชนีความหลากหลาย (diversity index).....	14
2.7 ทฤษฎีการเก็บข้อมูล.....	15
2.7.1 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing).....	15
2.7.2 การสำรวจข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry).....	18

2.8. ทฤษฎีการวิเคราะห์ข้อมูล	27
2.8.1 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี Generalized linear model	27
2.8.2 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี Support Vector Machine.....	29
2.8.3 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี DECISION TREE.....	31
2.8.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี Random Forest.....	33
2.9.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	37
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	37
3.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	38
3.3 การเก็บข้อมูลสนาม	42
3.4 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง.....	43
3.5 คุณสมบัติกล้องที่ใช้ในการศึกษา (sensor).....	45
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	45
3.7 แผนการดำเนินการศึกษา.....	49
3.8 งบประมาณ	50
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	51
4.1 ผลการศึกษา.....	51
4.1.1 ผลการประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสะพรั่ง ด้วยวิธี Generalized linear model	53
4.1.2 ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของสาหร่ายสะพรั่ง ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM).....	56
4.1.3 ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของสาหร่ายสะพรั่ง ด้วยวิธี DECISION TREE	60
4.1.4 ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของสาหร่ายสะพรั่ง ด้วยวิธี Random Forest	64
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปการอภิปราย	69

5.2 ข้อเสนอแนะ 69

บรรณานุกรม..... 71

ประวัติผู้เขียน 77



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงการค้นพบแพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสียและแหล่งน้ำธรรมชาติ	9
ตารางที่ 2 แสดงแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในแหล่งน้ำและลักษณะของแหล่งน้ำ.....	13
ตารางที่ 3 การแปลผลค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดแพลงก์ต่อนกับระดับสภาพน้ำที่ได้รับมลพิษ14	14
ตารางที่ 4 แสดงค่าดัชนีแสดงของกลุ่มสกุลของแพลงก์ตอนที่เป็นดัชนีมลพิษของน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง	15
ตารางที่ 5 ตัวอย่างความแปรปรวนของการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ซีก้าลัง (Exponential Family)....	28
ตารางที่ 6 แผนการดำเนินการศึกษาแสดงระยะเวลาการปฏิบัติงาน	49
ตารางที่ 7 แสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์	50
ตารางที่ 8 แสดงเปรียบเทียบระหว่างค่า R2 และค่า RMSE ของอัลกอริธึมการถดถอยแบบเรียนรู้ทั้งสี่ แบบซึ่งระบุ $P < 0.01$ ของ กล้อง RGN และ กล้อง RGB.....	51
ตารางที่ 9 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Generalized Linear Model ด้วยกล้อง RGB... 53	53
ตารางที่ 10 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Generalized Linear Model ด้วยกล้อง RGN 55	55
ตารางที่ 11 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM) ด้วยกล้อง RGB	57
ตารางที่ 12 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM) ด้วยกล้อง RGN	59
ตารางที่ 13 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี DECISION TREE ด้วยกล้อง RGB	61
ตารางที่ 14 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี DECISION TREE ด้วยกล้อง RGN.....	63
ตารางที่ 15 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Random Forest ด้วยกล้อง RGB	65
ตารางที่ 16 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Random Forest ด้วยกล้อง RGN.....	67

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงวัฏจักรของห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) ทางชีวภาพในแหล่งน้ำ.....	7
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี.....	16
ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	17
ภาพที่ 4 แสดงแผนที่สภาพอากาศโดยใช้ข้อมูลที่ได้มาจากดาวเทียม TIROS-I.....	18
ภาพที่ 5 แสดงเครื่องเขียนจากภาพทรวดทรงที่มีระบบฉายเป็นแบบเชิงกล (mechanical projection) ยุคก่อน ที่ใช้งานกับรูปถ่ายคู่เหลื่อม (overlapping pairs) ชนิดพอสซิทีฟโปร่งใสฟิล์มที่สามารถสร้าง (generate) มองเห็นและรังวัดแบบจำลองสามมิติ (stereoscopic model) ด้วยจุดลอย (Floating mark)	19
ภาพที่ 6 แสดงกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขแบบ Area CCD array.....	19
ภาพที่ 7 แสดงความละเอียดของเป้าหมายและการตรวจหาของเป้าหมาย	20
ภาพที่ 8 แสดงความละเอียดทางภาคพื้นดินและการแยกจากกันทางภาคพื้นดินน้อยที่สุดบนภาพถ่ายทางอากาศ	22
ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดินและความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ	23
ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดินตามความแปรผันของระดับ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ	24
ภาพที่ 11 แสดงเรขาคณิตของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลกบนภาพถ่ายทางอากาศในแนวตั้ง.....	25
ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่าง SVM ใน 2 มิติ	29
ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่าง SVM ใน 2 มิติ	30
ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่าง SVM ใน 2 มิติ	30
ภาพที่ 15 แสดงตัวจำแนกเชิงเส้น	31
ภาพที่ 16 แสดงหลักการทำ Random Forest.....	34

ภาพที่ 17 ที่ตั้งของการศึกษานี้ที่กันทรวิชัยจังหวัดมหาสารคามประเทศไทย.....	37
ภาพที่ 18 แสดง Phantom 3 Advance.....	38
ภาพที่ 19 แสดง กล้อง MAPIR Survey3.....	39
ภาพที่ 20 แสดง Application PIX4D Capture.....	39
ภาพที่ 21 แสดง กระจาด مخروط ไมโครไฟเบอร์ 42.5 มม.....	40
ภาพที่ 22 แสดง ขวดเก็บตัวอย่าง	40
ภาพที่ 23 แสดงตัวอย่างคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล	41
ภาพที่ 24 แสดง เป้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน	41
ภาพที่ 25 แสดงเครื่องมือปรับเทียบการสะท้อนของแสง.....	42
ภาพที่ 26 แสดงแผนผังขั้นตอนวิธีการเตรียมกระจาด مخروطใยแก้ว	44
ภาพที่ 27 แสดงแผนผังขั้นตอนวิธีการการวิเคราะห์.....	44
ภาพที่ 28 แสดงแผนผังขั้นตอนวิธีการศึกษา.....	46
ภาพที่ 29 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV.....	47
ภาพที่ 30 กราฟค่าความสัมพันธ์ RMSE ของ กล้อง RGN และ กล้อง RGB	52
ภาพที่ 31 กราฟค่าความสัมพันธ์ R^2 ของ กล้อง RGN และ กล้อง RGB	52
ภาพที่ 32 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี Generalized linear model.....	54
ภาพที่ 33 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี Generalized linear model.....	56
ภาพที่ 34 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM).....	58
ภาพที่ 35 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM).....	60
ภาพที่ 36 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี DECISION TREE.....	62

ภาพที่ 37 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/l) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/l) ด้วยวิธี
 DECISION TREE..... 64

ภาพที่ 38 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/l) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/l) ด้วยวิธี
 Random Forest..... 66

ภาพที่ 39 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/l) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/l) ด้วยวิธี
 Random Forest..... 68



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการวิจัย

สาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom หรือ ปรากฏการณ์น้ำเขียว นั้นเกิดขึ้นได้ทั้งน้ำกร่อย น้ำเค็ม และ น้ำจืด ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom และปัจจัยการเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom นั้นมีผลมาจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิ และสารอาหารในแหล่งน้ำ โดยสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom จะเริ่มเกิดเมื่อมีสารอาหารในแหล่งน้ำมีปริมาณสูง โดยเฉพาะ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน และผลจากสภาวะโลกร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลไปกระตุ้นการเจริญเติบโตสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom อย่างรวดเร็ว (Klemas 2011, Blondeau-Patissier, Gower et al. 2014, Lee, Marra et al. 2015, Van der Merwe and Price 2015) แหล่งน้ำที่เกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom หรือ ปรากฏการณ์น้ำเขียว ทำให้สีของแหล่งน้ำเปลี่ยนไปเนื่องจากสาหร่ายและเม็ดสีมีความหนาแน่นสูงขึ้น โดย สาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom หรือ ปรากฏการณ์น้ำเขียว รู้จักกันสาหร่ายเหล่านี้ มีอีกชื่อหนึ่งว่า แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) ซึ่งเป็นโปรทิสต์เซลล์เดียว เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายพืช และสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom บางชนิดสามารถทำให้เกิดอันตรายได้ เรียกว่า Harmful Algal blooms (HABs) หรือ การสะพรั่งของสาหร่ายที่เป็นอันตราย

จากปรากฏการณ์การเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom ในแหล่งน้ำจืดมีแนวโน้มจะผลิตสารพิษสามารถทำให้เกิดอันตรายได้ สารพิษที่ผลิตออกมานั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งระบบนิเวศน์แหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น มนุษย์ สัตว์เลี้ยง และการปศุสัตว์ (Paerl, Fulton et al. 2001, de Figueiredo, Azeiteiro et al. 2004, Hudnell 2010) โดย Harmful Algal blooms (HABs) เป็นสาเหตุหลักของการเกิดไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่มีความสามารถในการผลิตสารพิษ ที่เรียกว่า cyan toxins ซึ่งมีผลต่อคน สัตว์เลี้ยง และสัตว์ป่า (Briand, Jacquet et al. 2003, Trevino-Garrison, DeMent et al. 2015) การผลิตสารพิษโดยทั่วไปพบมากในช่วงฤดูร้อนอากาศอบอุ่นแต่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปี (Downing, Watson et al. 2001, Kanoshina, Lips et al. 2003, Graham, Jones et al. 2004, Dodds, Bouska et al. 2008) โดยสัตว์จะสัมผัสกับ cyan toxins จากการดื่มน้ำ การลุยหรือว่ายน้ำในแหล่งน้ำที่มีการ

ปนเปื้อน สำหรับคนส่วนใหญ่มักจะสัมผัสกับ cyan toxins เมื่อว่ายน้ำ เล่นเรือ หรือน้ำดื่มและอาหารที่ปนเปื้อน เป็นต้น (Kutser 2009)

สำหรับวิธีการตรวจสอบการเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom หรือปรากฏการณ์น้ำเขียวจะต้องทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามแนวชายฝั่งหรือจากเล่นเรือ (Bartram and Chorus 1999) แล้วนำตัวอย่างน้ำมาหาค่าความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ และความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการวิเคราะห์ในลักษณะแบบนี้จำเป็นต้องใช้เวลาทุกขั้นตอนรวมกันเป็นระยะเวลาหลายวัน ในขณะที่การเกิด Harmful Algal blooms (HABs) หรือ การสะพรั่งของสาหร่ายที่เป็นอันตราย เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และถ้าเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom เกิดขึ้นในพื้นที่กว้างมาก ๆ การตรวจสอบก็จะใช้เวลานานและการใช้งบประมาณที่สูงตามไปด้วย

ในช่วงแรกได้มีความพยายามอย่างต่อเนื่องในการพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเฝ้าระวัง Harmful Algal Blooms (HABs) ของ *Karenia brevis* โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมเป็นวิธีการแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น เพื่อสำรวจว่าการตรวจจับจากระยะไกลของ Florida Red Tide เป็นไปได้หรือไม่ Hybrid Scheme ได้รับการแนะนำว่าใช้ขั้นตอนวิธีที่มีพื้นฐานจากดาวเทียมที่มีอยู่แล้วทั้งสองรุ่นที่ได้รับการปรับปรุง คือ Empirical Approach (การใช้ความใสของน้ำในการทำหน้าที่ของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์) และ Bio-optical Technique (ใช้ข้อมูลการกระจายกลับพร้อมกับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์) การประเมินระยะยาวของวิธีการหลายอัลกอริทึมใหม่ได้ดำเนินการโดยใช้ชุดข้อมูล MODIS หลายปี (2002 ถึง 2006 ในช่วงฤดูร้อนถึงฤดูใบไม้ร่วง - กรกฎาคมถึงธันวาคม) ตาม Central West Florida ระหว่าง 25.75°N และ 28.25°N ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมกระทำในการวัดแหล่งกำเนิดของความอุดมสมบูรณ์ของ *K. brevis* จำนวนเซลล์ $\geq 1.5 \times 10^4 \text{ cells l}^{-1}$ กำหนด HAB ที่ตรวจพบได้ มีผลลัพธ์ทางสถิติที่นั่นเกิดขึ้นเมื่ออัลกอริทึมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองตั้งค่าสถานะตัวอย่างที่รู้จักอย่างถูกต้อง ส่วนใหญ่ของการจับคู่ที่ถูกต้องได้รับการระบุอย่างถูกต้อง (ประมาณ 80% ของทั้ง HAB และเงื่อนไขที่ไม่บาน) และจำนวนลบที่ไม่ถูกต้องหรือผลบวกปลอมถูกสร้างขึ้น (ประมาณ 20% ของแต่ละรายการ) นอกจากนี้การจำแนก HAB-positive ส่วนใหญ่ในข้อมูลดาวเทียมนั้นเป็นตัวอย่าง HAB (ค่าการทำนายเชิงบวก: $\sim 70\%$) และที่จำแนกเป็น HAB-positive เกือบทุกกรณีไม่ใช่แบบบาน (ค่าการทำนายเชิงลบ: $\sim 86\%$) ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับที่ยอดเยี่ยมโดยเฉลี่ยมีความแม่นยำมากกว่า $\sim 10\%$ มากกว่าอัลกอริทึมที่ใช้แยกต่างหาก ดังนั้น Hybrid Scheme ใหม่อาจกลายเป็นเครื่องมือที่ทรงพลังสำหรับ

การตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อมของ *K. brevis* ซึ่งมีผลกระทบที่มีค่ารวมทั้งนำไปสู่การใช้เรือที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเพื่อทำการตรวจวัด HABs ในแหล่งกำเนิด (Shen, Xu et al. 2012) ถึงอย่างไรในการใช้ดาวเทียมช่วยสำรวจสาหร่ายบูมนั้นก็ยังมีข้อเสีย คือ ไม่สามารถสำรวจได้ทันทางที่ หรือ สำรวจได้โดยด่วน ณ เวลานั้น เพราะเนื่องจากว่าดาวเทียมแต่ละดวงได้มีการกำหนดวงโคจร โคจรกลับมายังตำแหน่งเดิมเป็นระยะเวลาที่นานมาก เช่น ดาวเทียม GeoEye ประเภทการบันทึกข้อมูล: Panchromatic/Multispectral ความละเอียดของภาพต่อ พิกเซล: 0.41 เมตร (Panchromatic) และ 1.65 เมตร (Multispectral) ความกว้างแนวถ่ายภาพ: 15 กิโลเมตร โคจรกลับมายังตำแหน่งเดิม: 1-3 วัน ดาวเทียม World View ประเภทการบันทึกข้อมูล: Panchromatic ความละเอียดของภาพต่อ พิกเซล: 0.5 เมตร ความกว้างแนวถ่ายภาพ: 17.6 กิโลเมตร โคจรกลับมายังตำแหน่งเดิม: 2-5 วัน ดาวเทียม Quick Bird ประเภทการบันทึกข้อมูล: Panchromatic / Multispectral ความละเอียดของภาพต่อ พิกเซล: 0.61 เมตร (Panchromatic) และ 2.44 เมตร (Multispectral) ความกว้างแนวถ่ายภาพ: 16.5 กิโลเมตร โคจรกลับมายังตำแหน่งเดิม: 1-3 วัน เป็นต้น (GEOMATICS 2555)

ซึ่งต่อมาได้มีการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) ศึกษาในเรื่อง สาหร่ายสีเขียว หรือ Algae bloom ซึ่งอากาศยานไร้คนขับในยุคแรกเริ่มนั้น ไม่ได้สร้างขึ้นเพื่อความสนุกสนาน แต่เป็นนวัตกรรมอัจฉริยะแบบใหม่ที่สร้างอากาศยานแบบไร้คนขับขึ้นเพื่อใช้งานในทางทหาร สำหรับให้บินสำรวจพื้นที่ หรือปฏิบัติการแทนนักบินในพื้นที่เสี่ยงอันตราย แต่ในปัจจุบัน มีการผลิต UAV เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานหลากหลายด้านมากขึ้น ทั้งการบังคับ UAV เพื่อเกมกีฬา เพื่อความเพลิดเพลิน หรือเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการถ่ายภาพ เป็นต้น เรียกได้ว่า UAV (Siebert and Teizer 2014)

มีการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) ศึกษาในการวิจัยในเรื่องการหาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในปริมาณน้ำของสาหร่ายเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับสากล โดยวิธีนี้ใช้ในการติดตามและตรวจสอบระบบนิเวศ (Ramaraj, Tsai et al. 2010) และจากการศึกษาหลายรายงาน (Radwan and Kornijów 1998, Felip and Catalan 2000, Kasprzak, Padisák et al. 2008, Chauhan and Pathak 2010, Ramaraj, Tsai et al. 2010) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ชนิด A ในสาหร่ายมีแนวโน้มลดลงตามการเจริญเติบโตของปริมาณแพลงก์ตอนพืชในรูปของชีวมวล โดยการตรวจจับและหาปริมาณ HABs จะทำโดยการประเมินความเข้มข้นของไฟโคไซยานินคลอโรฟิลล์ และ ปริมาณของ

เซลล์ที่ลอยน้ำ (Buoyant Packed Cell Volume, BPCV) และจากรายงานการวิจัยการใช้อากาศยานไร้คนขับศึกษาในเรื่อง สาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom จำนวน 13 ฉบับพบว่ามีการวิจัย 10 ฉบับมุ่งเน้นศึกษาในเรื่องระบบนิเวศน้ำจืด (Honkavaara, Hakala et al. 2013, Flynn and Chapra 2014, Pölönen, Puupponen et al. 2014, Su and Chou 2015, Van der Merwe and Price 2015, Goldberg, Kirby et al. 2016, Jang, Yoon et al. 2016, Nam-Gu, CO et al. 2016, Aguirre-Gómez, Salmerón-García et al. 2017, Lyu, Malang et al. 2017) งานวิจัยจำนวน 2 ฉบับทำการศึกษาสภาพแวดล้อมชายฝั่งหรือน้ำเค็ม (Shang, Lee et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) และมีอีกงานวิจัยจำนวน 1 ฉบับได้ศึกษาในภูมิภาคที่เป็นทะเลทราย (Bollard-Breen, Brooks et al. 2015) โดยในจำนวนนี้มีรายงานการศึกษาจำนวน 5 ฉบับมุ่งศึกษาในเรื่องสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacterial blooms) (Bollard-Breen, Brooks et al. 2015, Goldberg, Kirby et al. 2016, Lyu, Malang et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) นอกจากนี้มีจำนวน 4 ฉบับทำการศึกษาการใช้สเปกตรัมที่มองเห็นได้เพื่อหา algal blooms (Flynn and Chapra 2014, Aguirre-Gómez, Salmerón-García et al. 2017, Lyu, Malang et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) และมีรายงานการศึกษาจำนวน 6 ฉบับใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) (Bollard-Breen, Brooks et al. 2015, Su and Chou 2015, Van der Merwe and Price 2015, Goldberg, Kirby et al. 2016, Jang, Yoon et al. 2016, Nam-Gu, CO et al. 2016) และรายงานการศึกษาจำนวน 3 ฉบับใช้ไฮเปอร์สเปกตรัมเซ็นเซอร์ (Honkavaara, Hakala et al. 2013, Pölönen, Puupponen et al. 2014, Shang, Lee et al. 2017)

มีการศึกษาการใช้การรับรู้ระยะไกลจากอากาศยานไร้คนขับติดตามการเพิ่มขึ้นของชีวมวลสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งเชิงพื้นที่และเวลาจากใช้ภาพถ่ายความร้อนและการจำแนกประเภท hyperspectral (Bollard-Breen, Brooks et al. 2015, Aguirre-Gómez, Salmerón-García et al. 2017, Lyu, Malang et al. 2017, Shang, Lee et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) และมีหลายรายงานการวิจัย (Kutser 2009, Flynn and Chapra 2014, Van der Merwe and Price 2015, Aguirre-Gómez, Salmerón-García et al. 2017, Lyu, Malang et al. 2017, Shang, Lee et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) แสดงให้เห็นว่าอากาศยานไร้คนขับมีความเหมาะสมในการติดตามการเปลี่ยนแปลงชีวมวลของ algal blooms เนื่องจากการเกิด algal blooms มีความแปรปรวนสูงและต้องมีการติดตามบ่อย ๆ ทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา อากาศยานไร้คนขับให้ภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและสามารถการบินถ่ายภาพได้บ่อย

ซึ่งช่วยให้เข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ algal blooms ตามฤดูกาลหรือระบุปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ระบบน้ำ ช่วยในการระบุการแพร่กระจายของ algal blooms (Bollard-Breen, Brooks et al. 2015)

จากหลายรายงานการศึกษาที่กล่าวมาแสดงให้เห็นถึงแนวทางใหม่ในการศึกษา ด้วยการใช้ประโยชน์จากความสามารถในการใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) เพื่อตรวจวัดชีวมวลของ HABs ในรูปแบบเชิงปริมาณ (น้ำหนัก) และการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อทำการประมาณค่าชีวมวลในรูปแบบเชิงปริมาณ (น้ำหนัก) ของ HABs จากกล้อง RGB และ จากกล้อง MAPIR Survey 3 โดยใช้แบบจำลอง Generalized Linear Model (GLM) , Decision Tree (DT) , Support Vector Machine (SVM) , Random Forest (RF) และทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (The coefficient of determination ; R^2) และ ค่าเฉลี่ยของรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE)

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อการประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ โดยเก็บข้อมูลของชีวมวลของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน บริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ พิกัด $16^{\circ}14'44.6''N$, $103^{\circ}14'56.3''E$

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้

สามารถใช้แบบจำลองที่เหมาะสมในการประเมินค่าชีวมวลของสาหร่าย ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือ Algae bloom ด้วยการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการประมาณค่าชีวมวลของ สาหร่ายสะพรั่ง โดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นกรอบแนวคิดในการศึกษา ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1. ความหมายของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ algal bloom

สาหร่ายสะพรั่งหรือ algal bloom คือ การรวมตัวขนาดใหญ่ของจุลชีพในทะเล เกิดขึ้นจากไดโนแฟลกเจลเลตไม่กึ่งชนิด ที่มีการสะพรั่งสีแดงหรือน้ำตาลหรือสีเขียว แล้วแต่การสภาวะ การเกิดการสะพรั่งว่าอยู่ในน้ำประเภทไหน และ มีการสะสมจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด

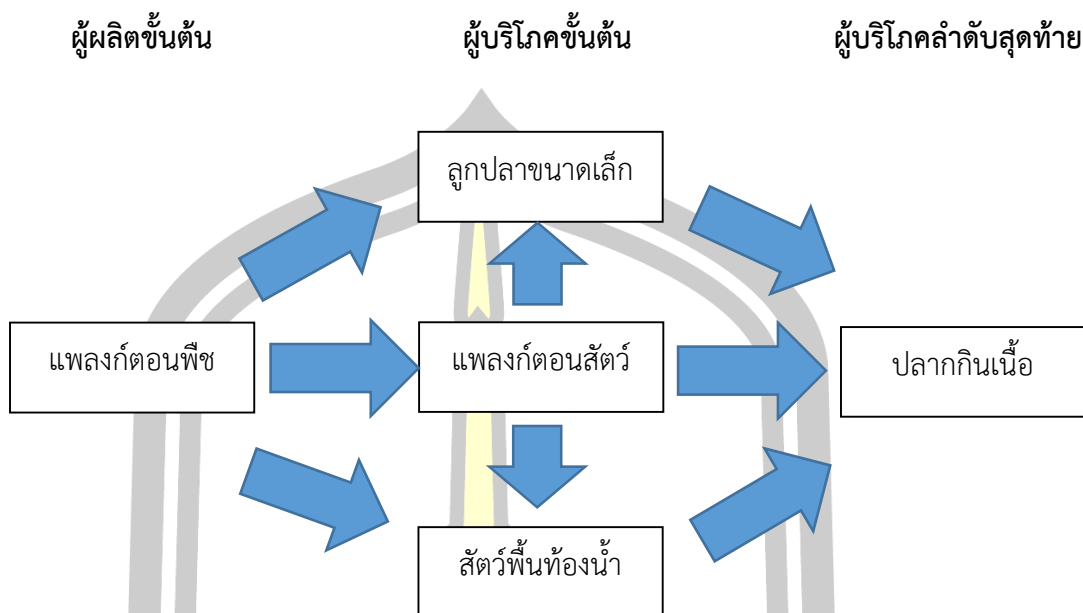
2.2 กระบวนการเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ algal bloom

ปัจจัยการเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom นั้นมีผลมาจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิ และสารอาหารในแหล่งน้ำ โดยสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom จะเริ่มเกิดเมื่อมีสารอาหารในแหล่งน้ำมีปริมาณสูง โดยเฉพาะ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน และผลจากสภาวะโลกร้อน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลไปกระตุ้นการเจริญเติบโตสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom อย่างรวดเร็ว (Klemas 2011, Blondeau-Patissier, Gower et al. 2014, Van der Merwe and Price 2015)

2.3 ประโยชน์ของแพลงก์ตอนพืช

ดังที่กล่าวสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom จะเริ่มเกิดเมื่อมีสารอาหารในแหล่งน้ำมีปริมาณสูง โดยเฉพาะ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน แต่ถ้ามีปริมาณน้อยจะมีประโยชน์ดังต่อไปนี้แพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิ (Primary producer) ของห่วงโซ่อาหารในธรรมชาติ ดังแสดงในภาพที่ 1 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2545)

พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพที่ 1 แสดงวัฏจักรของห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) ทางชีวภาพในแหล่งน้ำ
ที่มา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2545)

2.4 ปัญหาของการเกิดของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ algal bloom

จากปรากฏการณ์การเกิดสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae bloom ในแหล่งน้ำจืดมีแนวโน้มจะผลิตสารพิษสามารถทำให้เกิดอันตรายได้ สารพิษที่ผลิตออกมานั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งระบบนิเวศน์แหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น มนุษย์ สัตว์เลี้ยง และการปศุสัตว์ (Paerl, Fulton et al. 2001, de Figueiredo, Azeiteiro et al. 2004, Hudnell 2010) โดย Harmful Algal blooms (HABs) เป็นสาเหตุหลักของการเกิดไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่มีความสามารถในการผลิตสารพิษ ที่เรียกว่า cyan toxins ซึ่งมีผลต่อคน สัตว์เลี้ยง และสัตว์ป่า (Briand, Jacquet et al. 2003, Trevino-Garrison, DeMent et al. 2015) การผลิตสารพิษโดยทั่วไปพบมากในช่วงฤดูร้อนอากาศอบอุ่นแต่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปี (Downing, Watson et al. 2001, Kanoshina, Lips et al. 2003, Graham, Jones et al. 2004, Dodds, Bouska et al. 2008) โดยสัตว์จะสัมผัสกับ cyan toxins จากการดื่มน้ำ การลุยหรือว่ายน้ำในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน สำหรับคนส่วนใหญ่มักจะสัมผัสกับ cyan toxins เมื่อว่ายน้ำ เล่นเรือ หรือน้ำดื่มและอาหารที่ปนเปื้อน เป็นต้น (Kutser 2009)

2.5 การสำรวจแพลงก์ตอนในประเทศไทย

1. **ภาคกลาง** มีการศึกษาแพลงก์ตอนในพื้นที่ต่าง ๆ มีการพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 64 สกุล แพลงก์ตอนที่พบบ่อยที่สุดคือ *Oscillatoria* sp. โดยมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในรอบปี มีปริมาณเฉลี่ยสูงในเดือนมีนาคมและต่ำในเดือนธันวาคม แพลงก์ตอนพืชที่พบทั้งลำน้ำและทุกเดือนคือ *Oscillatoria* sp. *Anabaenopsis* sp. และ *Melosira* sp. และที่จังหวัดอุทัยธานี ห้วยทับเสลาพบแพลงก์ตอน 71 ชนิด แพลงก์ตอนที่พบตลอดปีคือ pennatediatom (ศรีวรวิทย์ 2546)

2. **ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ** มีการศึกษาการใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้คุณภาพน้ำในลุ่มน้ำชีในลุ่มน้ำชีตามการจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ พบสาหร่าย 41 สกุล 5 ดิวิชัน คือ Chrysophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Cyanophyta และ Pyrrophyta สาหร่ายที่พบส่วนใหญ่เป็นสกุลเดียวกัน เช่น *Strombomodas*, *Trachelomonas* เป็นต้น (ศรีวรวิทย์ 2546)

3. **ภาคตะวันออก** ได้มีการศึกษาสภาวะน้ำเสียที่มีผลต่อสัตว์น้ำ พบแพลงก์ตอนทั้งหมด 91 สกุล 149 ชนิด ดิวิชันที่พบมากที่สุดคือ Bacillariophyta บริเวณที่มีการแพร่กระจายน้ำเสียจากโรงงานพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สกุล *Anabaena*, *Chroococcus*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Euglena*, *Phacus* และ *Trachelomonas* เป็นต้น (ศรีวรวิทย์ 2546)

4. **ภาคใต้** มีรายงานความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำพบแพลงก์ตอนทั้งหมด 105 สกุล ดิวิชัน Chlorophyta พบมากที่สุด รองลงมาคือ Bacillariophyta (diatom), Cyanophyta, Euglenophyta, Chrysophyta ตามลำดับแพลงก์ตอนที่พบมากและบ่อยที่สุดคือ *Peridinium*, *Navicula*, *Oscillatoria*, *Chroococcus*, *Trachelomonas* และ *Dinobryon* โดยพบกระจายอยู่ในระดับความลึกใกล้ผิวน้ำ (ศรีวรวิทย์ 2546)

จะเห็นว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำเสียจะมีชนิดแพลงก์ตอนต่างกันมีการจัดแบ่งไว้ โดย (Evans, Oakley et al. 1985)

พูน ปณ ทิโต ชเว

ตารางที่ 1 แสดงการค้นพบแพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสียและแหล่งน้ำธรรมชาติ
(Evans, Oakley et al. 1985)

แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสีย	แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ
Group and Algae Blue green algae (Myxophyceae) Agmenellum quadriduplicatum, tenuissima Type Anabaena contracta, Anabaena montana, Entophysalis, Anabaena jenneri, Lyngbya digueti, Oscillatoria chalybea, Oscillatoria chlorine, Oscillatoria Formosa, Oscillatoria lauterbornii, Oscillatoria limosa, Oscillatoria princeps, Oscillatoria putrida, Oscillatoria tenuis, Phormidium autumanale, Phormidium uncinatum	Group and Algae Blue green algae (Myxophyceae) Agmenellum quadriduplicatum, glauca type Calothrix parietina, Coccochloris stagnina Entophysalis, Mirocoleus subtorulosus, Phormidium inundatum
Green algae (nonmotile Chlorophyceae) Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris, Chlorococcum humicole, Scenedesmus quadricauda, Spirogyra communis, Stichococcus bacillaris, Stigeoclonium tenue, Tetradron muticum	Green algae (nonmotile Chlorophyceae) Ankistrodesmus falcatus, var. acicular, Bulbochaete mirabilis, Chaetopeltis megalocystis, Cladophora glomerata, Drapamaldia plumose, Euastrum oblongum, Gloeococcus schroeteri, Micrasterias truncate, Rhizoclonium hieroglyphicum, Staurastrum punctatum, Ulotrix aequalis, Vacheria geminata
	Red algae (Rhodophyceae) Batrachospermum vagum, Hildenbrandia rivularis, Lemanea annulata

ตารางที่ 1 แสดงการค้นพบแพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสียและแหล่งน้ำธรรมชาติ (ต่อ 1)
(Evans, Oakley et al. 1985)

แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสีย	แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ
<p>Diatoms (Bacillariophyceae) Gomphonema parvulum, Hantzschia amphioxys, Melosira varians, Navicula cryptocephala, Nitzschia acicularis, Nitzschia palea, Surirella ovata</p>	<p>Diatoms (Bacillariophyceae) Amphora ovalis, Cocconeisplacentura, Cyclotella bodanica, Cymbella cesati, Meridion circulare, Navicula exigua var. capitata, Nitzschia linearis, Pinnularia nobilis, Pinnularia subcapitata, Surirellasplendida, Synedra acus var. angustissima</p>
<p>Group and Algae Blue green algae (Myxophyceae) Agmenellum quadriduplicatum, tenuissima Type Anabaena constricta, Anabaena montana, Entophysalis, Anabaena jeneri, Lyngbya digueti, Oscillatoria chalybea, Oscillatoria chlorina, Oscillatoria Formosa, Oscillatoria lauterbornii, Oscillatoria limosa, Oscillatoria princeps, Oscillatoria putrida, Oscillatoria tenuis, Phormidium autumale, Phormidium uncinatum</p>	<p>Group and Algae Blue green algae (Myxophyceae) Agmenellum quadriduplicatum, glauca type Calothrix parietina, Coccochloris stagnina Entophysalis, Mirocoleus subtorulosus, Phormidium inundatum</p>
<p>Green algae (nonmotile Chlorophyceae) Chlorella pyrenoidosa, Chlorella vulgaris, Chlorococcum humicola, Scenedesmus quadricauda, Spirogyra communis, Stichococcus bacillaris, Stigeoclonium tenue, Tetraedron muticum</p>	<p>Green algae (nonmotile Chlorophyceae) Ankistrodesmus falcatus, var. acicular, Bulbochaete mirabilis, Chaetopeltis megalocystis, Cladophora glomerata, Drapamaldia plumose, Euastrum oblongum, Gloeococcus schroeter ,</p>

ตารางที่ 1 แสดงการค้นพบแพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสียและแหล่งน้ำธรรมชาติ (ต่อ 2)
(Evans, Oakley et al. 1985)

แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสีย	แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ
	Micrasteriastruncate,Rhizocloniumhier oglyphicum, Staurastrum punctalatum, Ulotrix aequalis,Vacheria geminata
	Red algae (Rhodophyceae) Batrachospermum vagum, Hildenbrandia rivularis, Lemaneae annulata
Diatoms (Bacillariophyceae) Gomphonema parvulum,Hantzschia amphioxys, Melosira varians, Navicula cryptocephala, Nitzschia acicularis, Nitzschia palea, Surirella ovata	Diatoms (Bacillariophyceae) Amphora ovalis, Cocconeis placentura, Cyclotella bodanica, Cymbella cesati, Meridion circulare, Navicula exigua var. capitate, Nitzschia linearis,Pinnularia nobilis,Pinnularia subcapitata, Surirella splendida,Synedra acus var. angustissima
Flagellates (Euglenophyceae, Volvocales) Carteria multifilis, Chlamydomonas reinhardi, Chlorogonium euchlorum, Cryptoglena pigra	Flagellates (Chrysophyceae) Cryptophyceae,

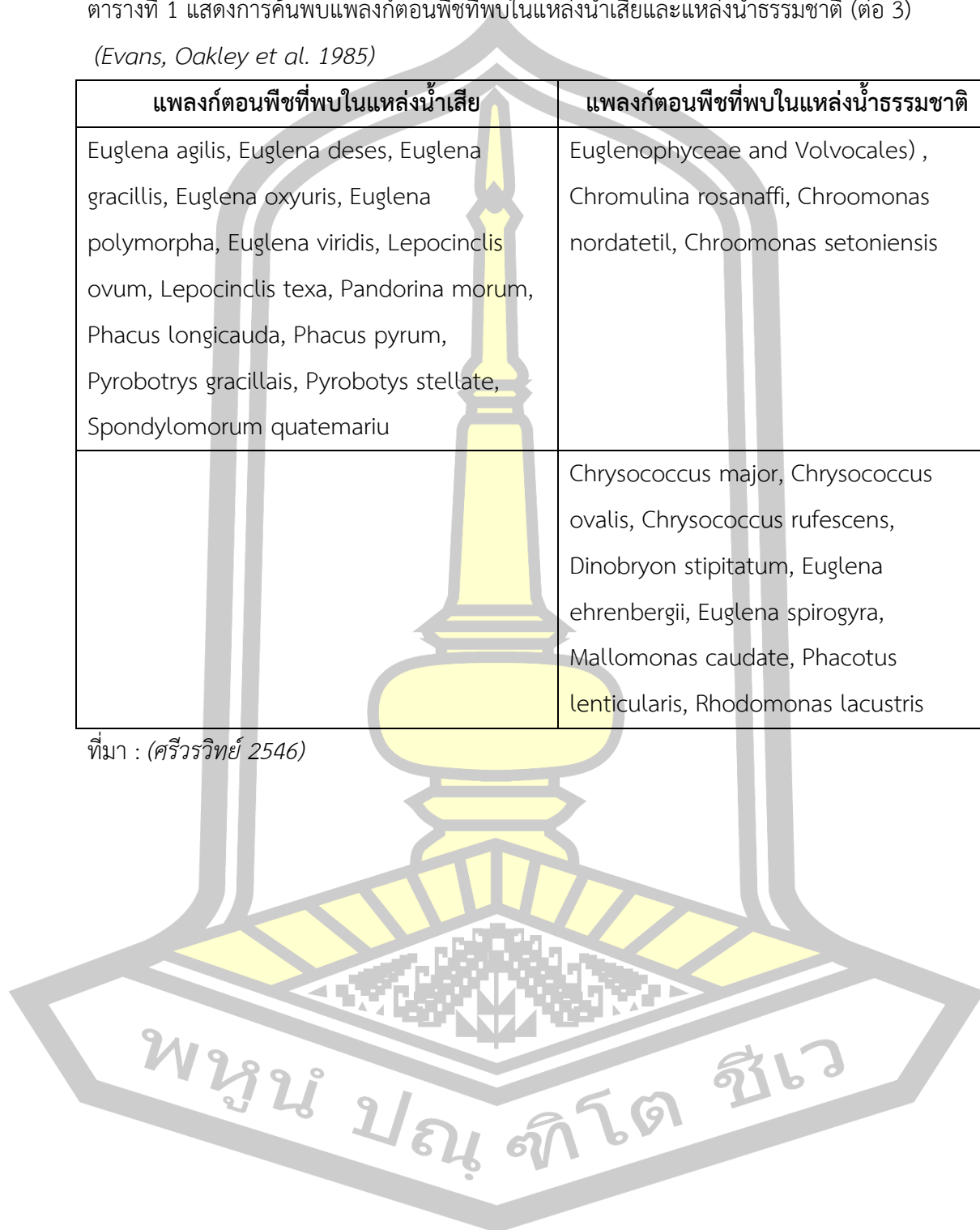
ที่มา : (ศรวิทย์ 2546)

พูน ปณ ทิโต ชีเว

ตารางที่ 1 แสดงการค้นพบแพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสียและแหล่งน้ำธรรมชาติ (ต่อ 3)
(Evans, Oakley et al. 1985)

แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำเสีย	แพลงก์ตอนพืชที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ
Euglena agilis, Euglena deses, Euglena gracillis, Euglena oxyuris, Euglena polymorpha, Euglena viridis, Lepocinclis ovum, Lepocinclis texa, Pandorina morum, Phacus longicauda, Phacus pyrum, Pyrobotrys gracillais, Pyrobotys stellate, Spondylomorom quatemariu	Euglenophyceae and Volvocales) , Chromulina rosanaffi, Chroomonas nordatetil, Chroomonas setoniensis
	Chrysococcus major, Chrysococcus ovalis, Chrysococcus rufescens, Dinobryon stipitatum, Euglena ehrenbergii, Euglena spirogyra, Mallomonas caudate, Phacotus lenticularis, Rhodomonas lacustris

ที่มา : (ศรีวรวิทย์ 2546)



นอกจากนี้ Wetzel 1975. ได้มีการแบ่งแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในแหล่งน้ำและลักษณะของแหล่งน้ำตามความเป็นกรด - ด่าง และ ปริมาณอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในแหล่งน้ำและลักษณะของแหล่งน้ำ
(Wetzel 1975)

ลักษณะน้ำ	แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น	แพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นที่พบ
Oligotrophic และน้ำค่อนข้างเป็นกรด	Desmids, Staurodesmus sp., Starastrum sp.	Sphaerocystis sp., Gloeocystis sp., Tabeloria sp., Rhizosolenia sp.
Oligotrophic และน้ำเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย มีสารอาหารต่ำ	Chlorococcales sp., Oocystis sp., Botryococcus sp.	Oligotrophic diatoms
Oligotrophic และน้ำเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย	Diflagellates โดยเฉพาะ Peridinium sp. และ Ceratium sp.	Chrysophytes, Cryptophytes Diatom
Mesotrophic หรือ Eutrophic และน้ำเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย เกิดสภาวะ eutrophication ได้บางฤดู	Diflagellates เช่น Peridinium sp., Ceratium sp.	Glenodinium sp. และอื่น ๆ
Eutrophic และน้ำมักจะเป็นด่าง มีสารอาหารสูง	Diatom เช่น Asterionella sp., Fragillaria crotonensis, Synedrasi sp., Stephanodiscus sp., Aulacoseira granulate	Blue green algae (Cyanophyceae)
Eutrophic และน้ำเป็นด่าง มีสารอาหารมากในชั้นบรรยากาศอบอุ่น	Blue green algae, Microcystis sp., Anabaena sp.	Blue green algae(Cyanophyta), Euglenophyte

ที่มา : (ศรีวรวิทย์ 2546)

2.6 การประเมินคุณภาพของน้ำโดยใช้ดัชนีความหลากหลาย (diversity index)

จะเห็นว่ามีแพลงก์ตอนหลากหลายชนิดดัชนีความหลากหลายของชนิด (species diversity index) สูงเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงสถานะของแหล่งน้ำนั้น แต่ไม่สามารถชี้ให้เห็นถึงสถานะแวดล้อมทั้งหมดได้ เนื่องจากค่าดัชนีนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสถานะมลพิษของน้ำแล้วยังขึ้นอยู่กับสาเหตุอื่น ๆ อีก เช่น การมีค่าดัชนีต่ำอาจเกิดจากการที่น้ำมีมลพิษสูงหรือเกิดจากในบริเวณต้นน้ำลำธารที่มีคุณภาพดีมีอัตราไหลของกระแสน้ำสูง (ศรีวรวิทย์ 2546) ในการหาค่าดัชนีความหลากหลายในกลุ่มแพลงก์ตอนซึ่งสามารถหาได้จาก สูตร 2.1

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{(n_i)}{N} \ln \frac{(n_i)}{N} \quad 2.1$$

H = ดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอน

$$N = \text{ปริมาณแพลงก์ตอนทั้งหมด} = \sum_{i=1}^n n_i$$

n_i = จำนวนแพลงก์ตอนต่อ Taxon (ชนิดหรือสกุลหรือวงศ์)

S = จำนวนชนิดหรือสกุล หรือวงศ์ในแหล่งน้ำนั้น

ln (natural logarithm) = $2.303 \log_{10}$

การแปลผลค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดแพลงก์ตอน แสดงไว้ในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 การแปลผลค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดแพลงก์ตอนกับระดับสภาพน้ำได้รับมลพิษ (Palmer 1977)

ค่าดัชนีความหลากหลาย	ระดับสภาพน้ำได้รับมลพิษ
0-1	น้ำได้รับมลพิษอย่างรุนแรง (heavy pollution)
1-2	น้ำได้รับมลพิษปานกลาง (moderate pollution)
2-3	น้ำได้รับมลพิษเล็กน้อย (light pollution)
3-4	น้ำได้รับมลพิษน้อยมาก (slight pollution)

จากตารางที่ 4 เป็นการแสดงค่าดัชนีแสดงของกลุ่มสกุลของแพลงก์ตอนที่เป็นดัชนีมลพิษของน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง โดยพิจารณาจากค่าดัชนีมลพิษ (pollution index) ของแพลงก์ตอนพืช 20 สกุล (genus) มีระดับคะแนนตั้งแต่ 1 โดยเป็นพวกที่ทนทานต่อมลพิษรุนแรงของน้ำ ถึงระดับคะแนน 6 ซึ่งเป็นพวกที่สามารถทนทานต่อมลพิษรุนแรงของน้ำได้ ทั้งนี้คิดปริมาตร 1 มิลลิลิตรเท่านั้น (Palmer 1977)

ตารางที่ 4 แสดงค่าดัชนีแสดงของกลุ่มสกุลของแพลงก์ตอนที่เป็นดัชนีมลพิษของน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง

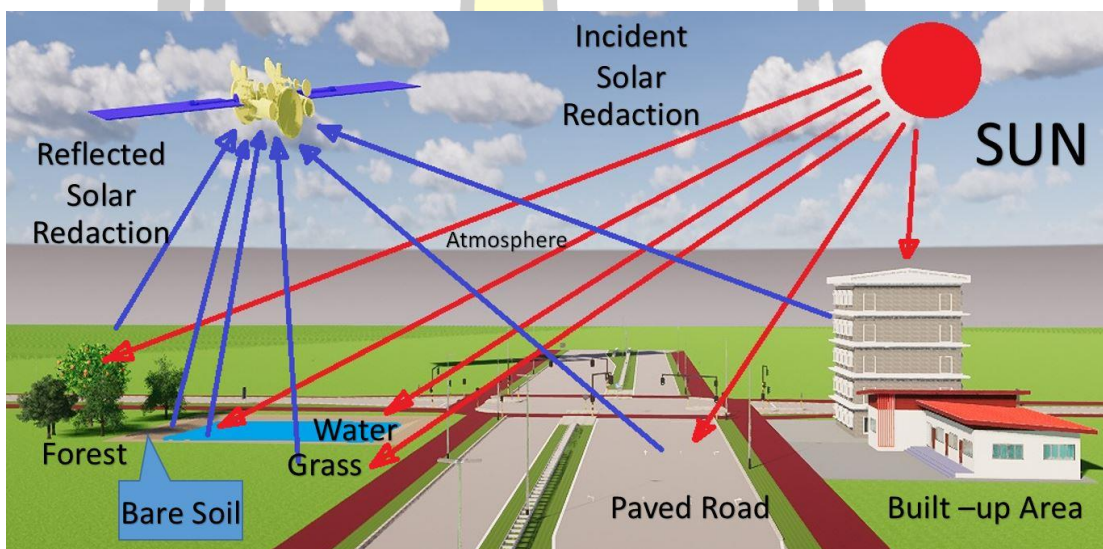
กลุ่มสกุลของแพลงก์ตอน	ค่าดัชนีมลพิษ
Anacystis , Closterium , Cyclotella ,Euglenagracilis,Gomphonema,Gomphonema parvulum ,Lepocinclis, Melosira, Micractinium , Navicula cryptocephala , Nitzschia acicularis ,Oscillatoria princeps , Oscillatoria putrida , Pandorina , Phormidium	1
Arthrospira jenneri , Chlorella vulgaris . Cyclotella meneghiniana , Melosira varians , Oscillatoria chlorine , Phacus , Stigeoclonium , Synedra	2
Chlorella , Navicula , Nitzschia ,Pandorina morum , Stigeoclonium tenue , Synedra ulna	3
Scenedesmus , Oscillatoria limosa , Oscillatoria tenuis , Scenedesmus quadricauda	4
Oscillatoria , Nitzschia palea	5
Euglena viridis	6

2.7. ทฤษฎีการเก็บข้อมูล

2.7.1. การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing)

รีโมตเซนซิง (Remote Sensing) หรือการรับรู้จากระยะไกล เป็นศัพท์เทคนิคที่ใช้เป็นครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาใน พ.ศ.2503 หมายถึง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่บันทึกคุณลักษณะของวัตถุ (Object) หรือปรากฏการณ์ (Phenomena) ต่าง ๆ จากการสะท้อนแสง หรือ การแผ่รังสีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) โดยเครื่องวัดอุปกรณ์บันทึกที่ติดอยู่กับยานสำรวจ ตามที่แสดงในภาพที่ 2 การใช้รีโมตเซนซิงเริ่มแพร่หลายนับตั้งแต่สหรัฐอเมริกา

ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกLANDSAT-1 ขึ้นใน พ.ศ.2515 ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับ วัตถุ พื้นที่ หรือ ปรางุการณ์ จากเครื่องบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้ โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล เราสามารถหาคุณลักษณะของวัตถุได้จากลักษณะการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้น ๆ คือ “วัตถุแต่ละชนิด จะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่เฉพาะตัวและแตกต่างกันไป ถ้าวัตถุหรือสภาพแวดล้อมเป็นคนละประเภทกัน” คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล ใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal)รีโมตเซนซิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนก และเข้าใจ วัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี (Remotesensing56170226.blogspot 2557)



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี

1. จากภาพที่ 3 แสดงกระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล (Process and elements of remote sensing) กระบวนการการรับรู้จากระยะไกลมี 2 กระบวนการดังต่อไปนี้คือ

1.1 การได้รับข้อมูล (Data Acquisition) เริ่มตั้งแต่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ, เกิดปฏิสัมพันธ์กับวัตถุบนพื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องวัด/อุปกรณ์บันทึกที่ติดอยู่กับยานสำรวจ (Platform) ซึ่งโคจรผ่านข้อมูลวัตถุหรือปรากฏการณ์บนพื้นผิวโลกที่ถูกบันทึกถูกแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งลงสู่

สถานีรับภาคพื้นดิน (Receiving Station) และผลิตออกมาเป็นข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลเชิงอนุมาน (Analog Data) และข้อมูลเชิงตัวเลข(Digital Data) เพื่อนำไปนำวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) วิธีการวิเคราะห์มีอยู่ 2 วิธี คือ

- การวิเคราะห์ด้วยสายตา (Visual Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลออกมาในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ไม่สามารถ วัดออกมาเป็นค่าตัวเลขได้แน่นอน
- การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลในเชิงปริมาณ (Quantitative) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าตัวเลขได้

2. องค์ประกอบของ “Remote Sensing” การตรวจวัดจากระยะไกลออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

2.1 แหล่งข้อมูลของการตรวจวัด (Sources) : ในที่นี้คือ พื้นผิวและบรรยากาศของโลก

2.2 อุปกรณ์การตรวจวัดจากระยะไกล (Remote Sensor) : ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็น

สื่อ

2.3 ระบบการประมวลผลข้อมูล (Data Processing System) : ใช้ผู้ปฏิบัติการและ

ระบบคอมพิวเตอร์



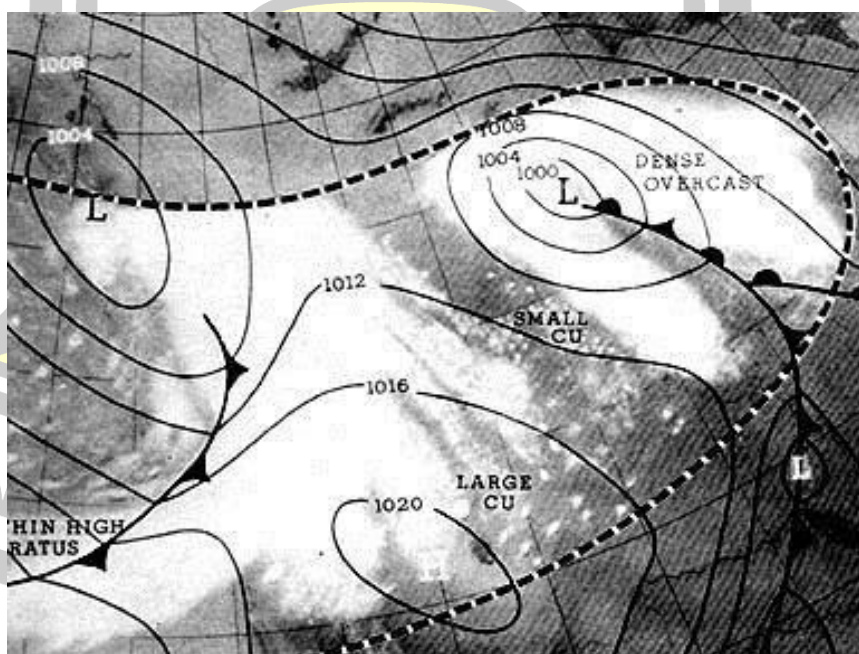
ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล

ที่มา : (Remotesensing56170226.blogspot 2557)

2.7.2 การสำรวจข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry)

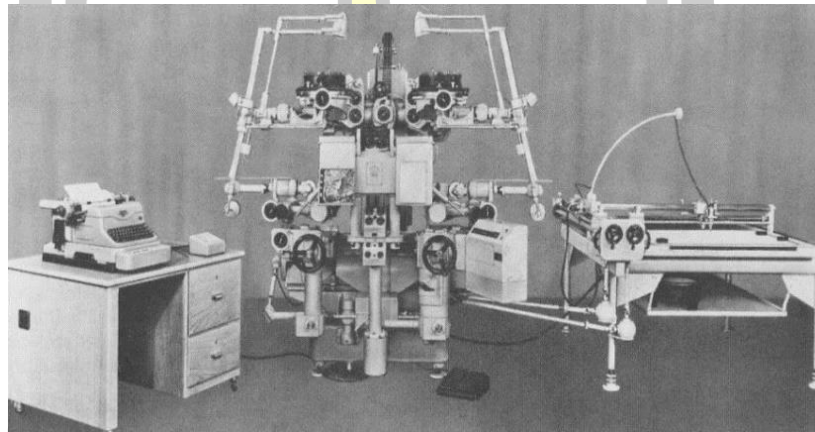
ภาพถ่ายทางอากาศได้เริ่มมีขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อ DaunierTournachon หรือ Nadar ชาว ฝรั่งเศสโดยการถ่ายจากบอลลูน ในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 นับว่าเป็นข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลอันดับแรกและในปัจจุบันยังคงนำมาใช้งานกันอยู่แพร่หลายพื้นฐานสำคัญสำหรับการใช้ประโยชน์ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ คุณลักษณะของภาพถ่ายทางอากาศเช่นความชำนาญในการแปลตีความภาพถ่ายองค์ประกอบของการแปลตีความภาพถ่ายรวมไปถึงกลยุทธ์ในการแปลตีความภาพถ่ายเป็นสิ่งที่ผู้แปลตีความจะต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานเหล่านี้มาก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้สร้างสารสนเทศจากภาพถ่าย และการแปลตีความด้วยสายตาประกอบด้วยภาพถ่ายทางอากาศและการแปลตีความด้วยสายตา (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

ใน ค.ศ.1960 ดาวเทียมไทรอส 1 (TIROS-1) ได้ส่งข้อมูลกลับมาสู่โลกพร้อมด้วยข้อมูลของเมฆที่มีรูปแบบ ต่างๆ อย่างหยาบๆ พร้อมกับภาพของพื้นผิวโลก ที่ไม่สู้ชัดเจนนักติดมาด้วย เมื่อได้ปรับปรุงให้ระบบการรับภาพบนดาวเทียมอตุณิยมวิทยาดีขึ้น แล้ว ปรากฏว่ามองเห็นลักษณะของบรรยากาศ และพื้นดินได้ชัดเจนขึ้น (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่มที่ 12) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงแผนที่สภาพอากาศโดยใช้ข้อมูลที่ได้มาจากดาวเทียม TIROS-I
ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

ภาพที่ 5 แสดงเครื่องเขียนจากภาพทรวดทรงที่มีระบบฉายเป็นแบบเชิงกล (mechanical projection) ยุคก่อน ที่ใช้งานกับรูปถ่ายคู่เหลื่อม (overlapping pairs) ชนิดพอสซีทีพีโปร่งใสฟิล์มที่สามารถสร้าง (generate) มองเห็นและรังวัดแบบจำลองสามมิติ (stereoscopic model) ด้วยจุดลอย (Floating mark) และ ภาพที่ 6 แสดงกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขแบบ Area CCD array (ก) ยี่ห้อ Leica รุ่น ADS 80 และ (ข) ยี่ห้อ Vexcel Ultracam-D ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบิน (ทบทองชั้นเจริญ 2558)



ภาพที่ 5 แสดงเครื่องเขียนจากภาพทรวดทรงที่มีระบบฉายเป็นแบบเชิงกล (mechanical projection) ยุคก่อน ที่ใช้งานกับรูปถ่ายคู่เหลื่อม (overlapping pairs) ชนิดพอสซีทีพีโปร่งใสฟิล์มที่สามารถสร้าง (generate) มองเห็นและรังวัดแบบจำลองสามมิติ (stereoscopic model) ด้วยจุดลอย (Floating mark)

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)



(ก) ยี่ห้อ Leica รุ่น ADS 80 และ (ข) ยี่ห้อ Vexcel Ultracam-D ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบิน

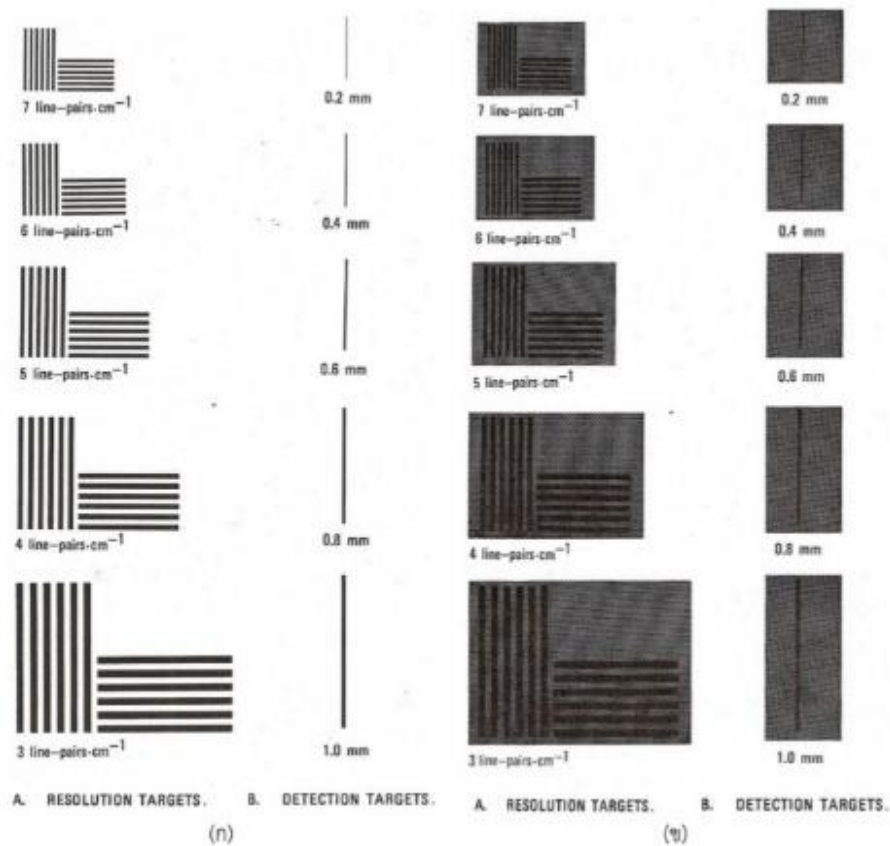
ภาพที่ 6 แสดงกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขแบบ Area CCD array

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

2.7.2.1 ภาพถ่ายทางอากาศ

1. ความละเอียด ความละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศจะพิจารณาใน 2 ประเภท คือ

1.1 ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่าย ความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) หรือกำลังการแยกขีด (resolving power) ของภาพถ่ายทางอากาศถูกควบคุมจากหลายปัจจัย ประกอบด้วย การกระเจิงในบรรยากาศ (atmospheric scattering) เป็นผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างรังสีของแสงกับแก๊ซและอนุภาคในชั้นบรรยากาศ การสั่นไหวและการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน (vibration and motion of the aircraft) การลดผลกระทบจากการสั่นไหวและการเคลื่อนที่ของเครื่องบินให้เกิดขึ้นน้อยสุด อาศัยการ ติดกล้องถ่ายภาพกับฐานที่ทำไมให้เกิดการสั่นไหวและการติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยการเคลื่อนของ เครื่องบิน กำลังการแยกขีดของเลนส์ (resolving power of lens) กำลังการแยกขีด ของเลนส์ถูกกำหนดโดยคุณภาพทางแสงและขนาดของเลนส์ เมื่อเลนส์ถูกนำไปใช้ถ่ายภาพความ ละเอียดของเป้าหมาย (Resolution targets) (ทบทองชั้นเจริญ 2558)



ภาพที่ 7 แสดงความละเอียดของเป้าหมายและการตรวจหาของเป้าหมาย

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

ภาพที่ 7 (ก) แสดงขีดจำกัดบนของจำนวนของเส้นคู่ (Line-pairs) ในหน่วยของระยะทางคิดเป็นมิลลิเมตร ซึ่งสามารถแยกชัดบนภาพถ่ายที่รับได้ โดย จำนวนสูงสุดของเส้นคู่ต่อมิลลิเมตรที่สามารถแยกชัดได้จะแสดงถึงค่าการวัดกำลังการแยกชัดของ เลนส์ 1.1.4 กำลังการแยกชัดของฟิล์ม (resolving power of films) กำลังการแยกชัด ของฟิล์มถูกกำหนดโดยหลายปัจจัย ปัจจัยสำคัญคือ สภาพการเป็นเม็ด (granularity) ของฟิล์ม โดยมี สองปัจจัยที่กำหนดสภาพการเป็นเม็ดของฟิล์มคือ การกระจายของขนาดเม็ดซิลเวอร์ฮาไลด์ในเยื่อไว แสง และสภาพทั่วไปของกระบวนการล้างฟิล์ม ฟิล์มที่มีสภาพการเป็นเม็ดสูงจะมีกำลังการแยกชัด ของฟิล์มต่ำกว่าฟิล์มที่มีสภาพการเป็นเม็ดต่ำ ซึ่งโดยปกติจะมีภาวะถ่วงดุลระหว่างสภาพการเป็นเม็ดกับ ความไวของฟิล์ม ฟิล์มที่มีสภาพการเป็นเม็ดสูงจะไวแสงมากกว่า ซึ่งหมายถึงฟิล์มนั้นจะไวต่อแสงมาก (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

ภาพที่ 7 (ข) แสดงวิธีการแยกชัดของฟิล์ม โดยการถ่ายภาพความละเอียดของเป้าหมาย (resolution targets) และการตรวจหาของเป้าหมาย (detection targets) เพื่อหาจำนวนสูงสุดของเส้นคู่ (line-pairs) ต่อมิลลิเมตร ที่สามารถแยกชัดได้จากฟิล์มที่ล้าง เป้าหมายที่มีอัตราส่วนความเปรียบต่าง (contrast) สูงจะให้ความละเอียดดีกว่าเป้าหมายที่มีอัตราส่วนความเปรียบต่างต่ำ โดยทั่วไป รูปลักษณ์ทางภูมิประเทศจะมีความเปรียบต่างต่ำ (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

1.2 ความละเอียดทางภาคพื้นดิน (ground resolution) แสดงถึงความสามารถในการแยกรูปลักษณ์ทางภาคพื้นดินบนภาพถ่ายทางอากาศ ความละเอียดของระบบ (system Resolution, R_s) โดยอาศัยสมการที่ใช้ใน การคำนวณ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.2 (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

$$R_g = \frac{H}{R_s \cdot f} \quad 2.2$$

โดยที่ R_g คือ ความละเอียดทางภาคพื้นดิน หน่วย เส้นคู่/เมตร (line-pairs/ml)

H คือ ความสูงของกล้องเหนือระดับพื้นดิน หน่วยเป็นเมตร

R_s คือ ความละเอียดของระบบ หน่วย เส้นคู่ต่อมิลลิเมตร (Line-pairs/ml)

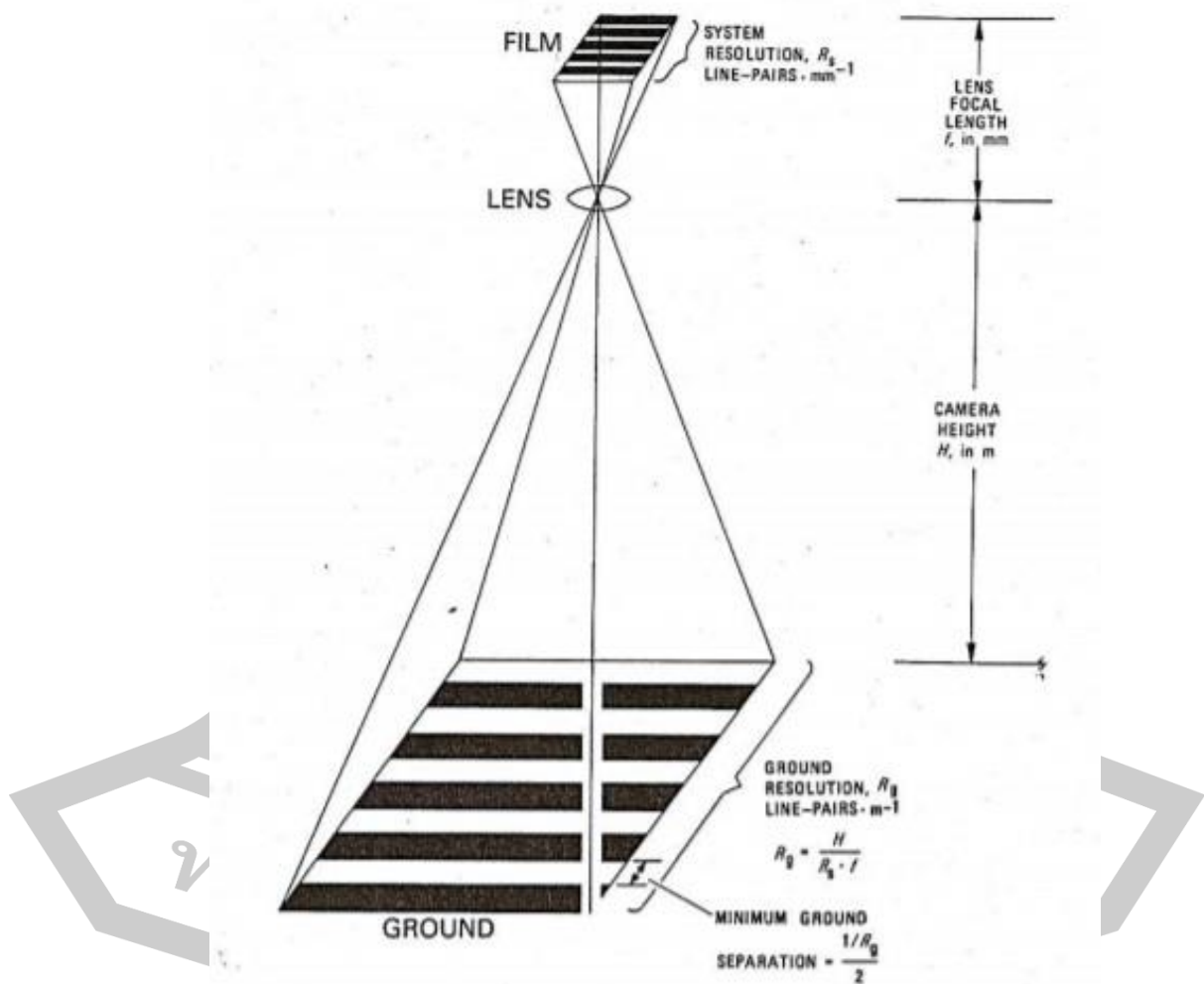
f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

การแยกจากกันทางภาคพื้นดินน้อยที่สุดเป็นการแยกจากกันระหว่างเส้นหรือแถบ ของความละเอียดของเป้าหมายทางภาคพื้นดิน ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.3

$$\text{Minimum ground separation} = \frac{10 \text{ g.line-pairs}}{R_g} \quad 2.3$$

โดยที่ R_g คือ ความละเอียดทางภาคพื้นดิน หน่วย เส้นคู่/เมตร (line-pairs/ml)

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานทางเรขาคณิตระหว่างความละเอียดของระบบ และความละเอียดทางภาคพื้นดิน และนำมาใช้ในการคำนวณค่าการแยกจากกันทางภาคพื้นดินน้อยที่สุด (minimum ground separation) ของเป้าหมาย ซึ่งเป็นค่าระยะทางน้อยสุดระหว่างวัตถุสอง ชนิดในภาคพื้นดินที่สามารถแยกออกจากกันได้บนภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 8 แสดงความละเอียดทางภาคพื้นดินและการแยกจากกันทางภาคพื้นดินน้อยที่สุดบนภาพถ่ายทางอากาศ

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

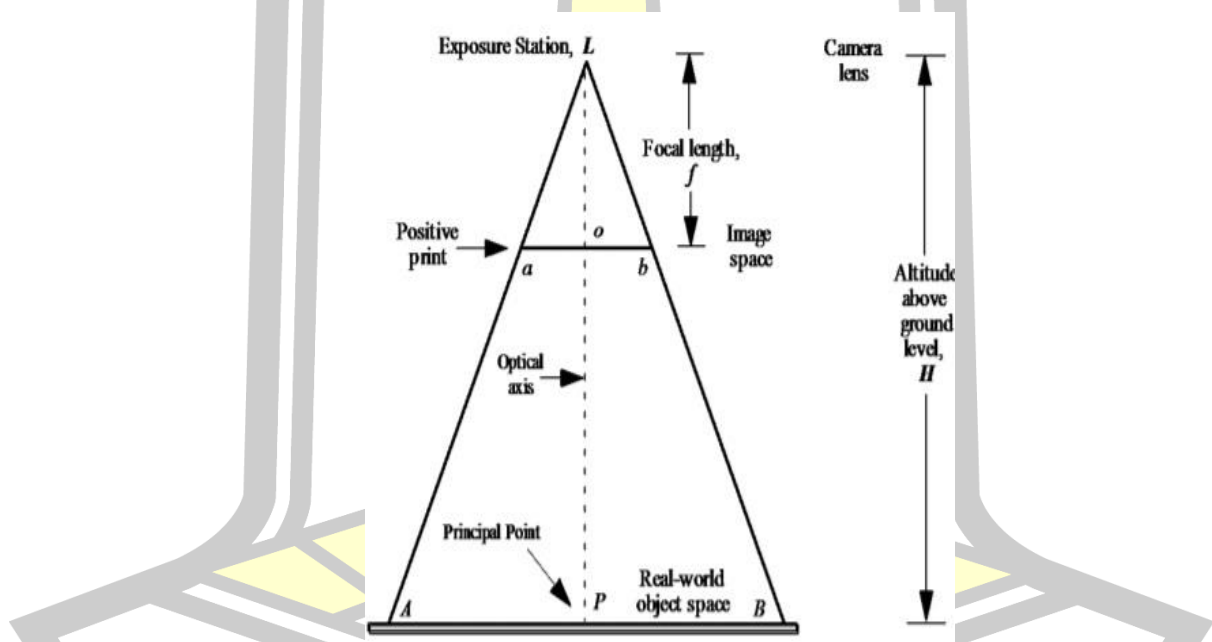
2.7.2.2 มาตรฐานของภาพถ่าย โดยทั่วไป มาตรฐานของภาพถ่ายทางอากาศจะคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดินและความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ แสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.4 – 2.6 (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

$$S = \frac{ab}{AB} \quad 2.4$$

หรือ
$$S = \frac{f}{H} \quad 2.5$$

หรือ
$$\text{scale} = \frac{1}{H/f} \quad 2.6$$

โดยที่ s คือ มาตรฐาน , ab คือ ระยะทางในภาพถ่ายทางอากาศ , AB คือ ระยะทางในภาคพื้นดิน H คือ ความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดิน , f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดินและความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

ในขณะเดียวกัน หากนำความสูงต่ำของภูมิประเทศมาพิจารณาด้วย การคำนวณหา มาตรฐาน ส่วนของภาพถ่ายทางอากาศจะนำระดับความสูงของภูมิประเทศ (h) มาพิจารณา เพื่อปรับแก้ ความสูง ของกล้องถ่ายภาพให้ตรงกับความเป็นจริง แสดงดังภาพที่ 10 มาตรฐานจะคำนวณตาม ระดับความ สูงต่ำของภูมิประเทศ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.7 – 2.9 (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

$$S_{min} = \frac{f}{H-h_{min}} \tag{2.7}$$

$$S_{max} = \frac{f}{H-h_{max}} \tag{2.8}$$

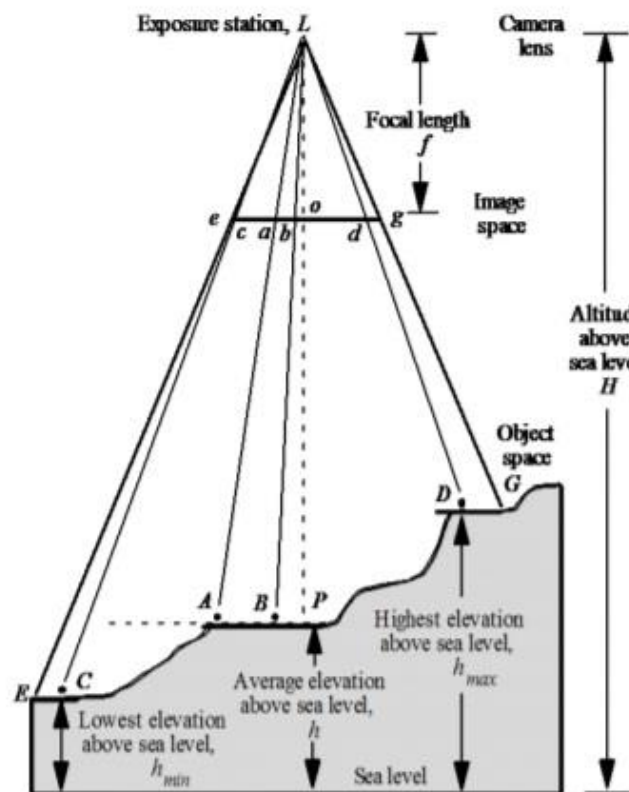
$$S_{avg} = \frac{f}{H-h_{avg}} \tag{2.9}$$

โดยที่ s_{min} คือ มาตรการส่วน ณ ระดับความสูงของภูมิประเทศต่ำที่สุด เหนือระดับน้ำทะเล

S_{max} คือ มาตรการส่วน ณ ระดับความสูงของภูมิประเทศสูงที่สุด เหนือระดับน้ำทะเล

S_{avg} คือ มาตรการส่วน ณ ระดับความสูงของภูมิประเทศเฉลี่ย เหนือระดับน้ำทะเล

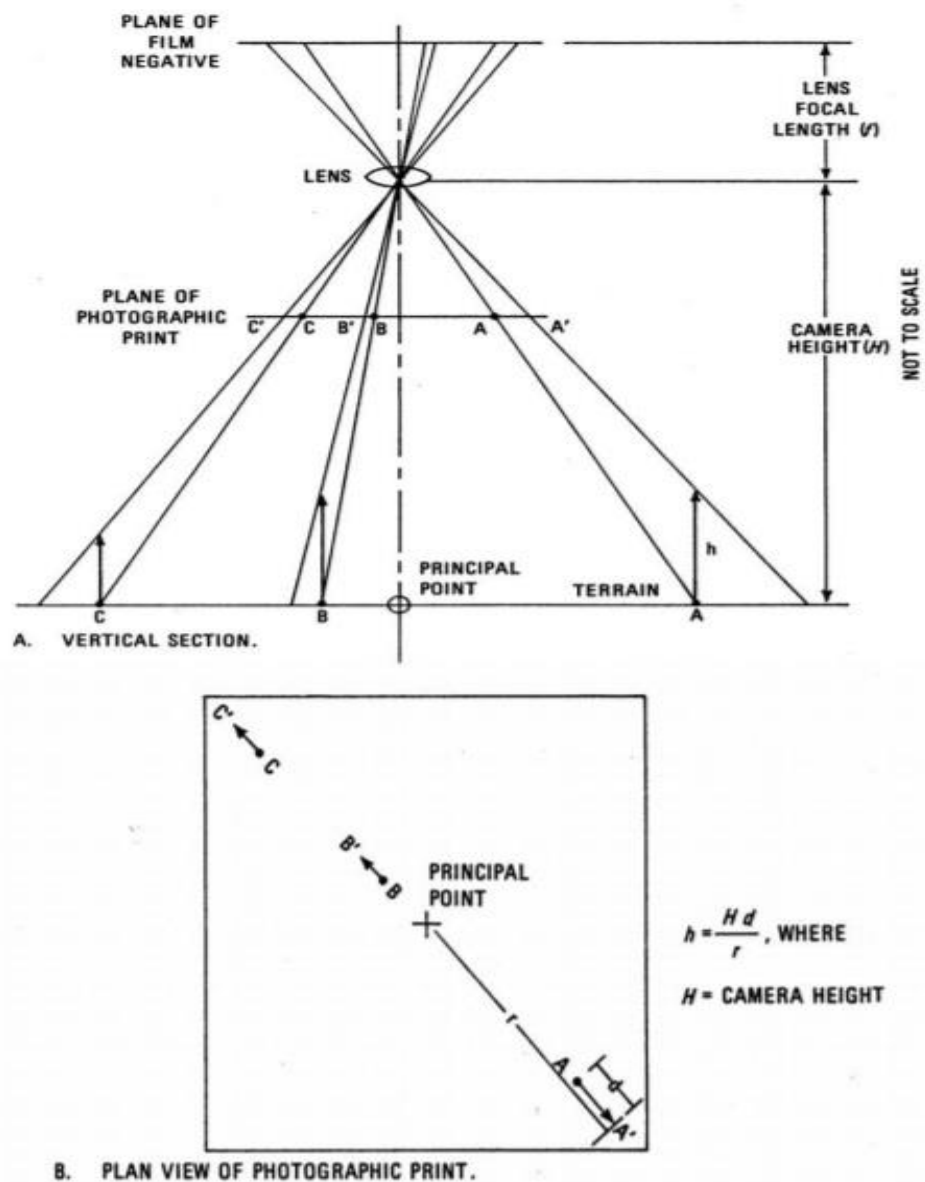
H คือ ความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดิน , f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ



ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกล้องถ่ายภาพเหนือพื้นดินตามความแปรผันของระดับ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

2.7.2.3. การเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก การเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลกจะปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศแนวตั้งที่ ถ่ายภาพโดยกล้องในแนวตั้งลงด้านล่าง ยอดของวัตถุ เช่น ตึกจะเอียงออกจากจุดमुख्यสำคัญ (principal point) หรือศูนย์รับแสง (optical center) ของภาพถ่าย ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจะ เพิ่มขึ้นตามระยะทางในแนวรัศมีที่เพิ่มขึ้นจากจุดศูนย์กลาง และมีขนาดสูงสุดที่มุมของภาพถ่าย (ทบทองชั้นเจริญ 2558)



ภาพที่ 11 แสดงเรขาคณิตของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลกบนภาพถ่ายทางอากาศในแนวตั้ง

ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

รูปที่ 11 แสดงเรขาคณิตของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลกบนภาพถ่ายทางอากาศใน แนวตั้ง โดยที่รังสี ของแสงถูกส่งผ่านจากภูมิประเทศผ่านเลนส์ของกล้องและส่งต่อไปยังฟิล์ม ภาพถ่ายทางอากาศที่ผลิต จากฟิล์มจะปรากฏเหมือนว่าภาพถ่ายทางอากาศอยู่ในตำแหน่งของระนาบของการพิมพ์ภาพถ่าย (plane of photographic print) (ภาพที่ 11 a) ลูกศรตามแนวตั้งบนสภาพภูมิประเทศแสดงแทนวัตถุที่มีความสูงแตกต่างกัน ที่ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งที่มีระยะห่างจากจุดมุมสำคัญที่แตกต่างกัน รังสีของแสงที่สะท้อนจากฐานของวัตถุ A ตัดกับ ระนาบของการพิมพ์ภาพถ่าย ณ ตำแหน่ง A และรังสีจากยอดของวัตถุ (ปลายของลูกศร) ตัดกับ ระนาบของการพิมพ์ภาพถ่าย ณ ตำแหน่ง A' ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A ถึง A' คือ การเลื่อน ตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก หรือ (d) ที่แสดงในระนาบการมอง (ภาพที่ 11 b) ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) บนภาพถ่ายทางอากาศ มี คุณสมบัติสำคัญดังนี้

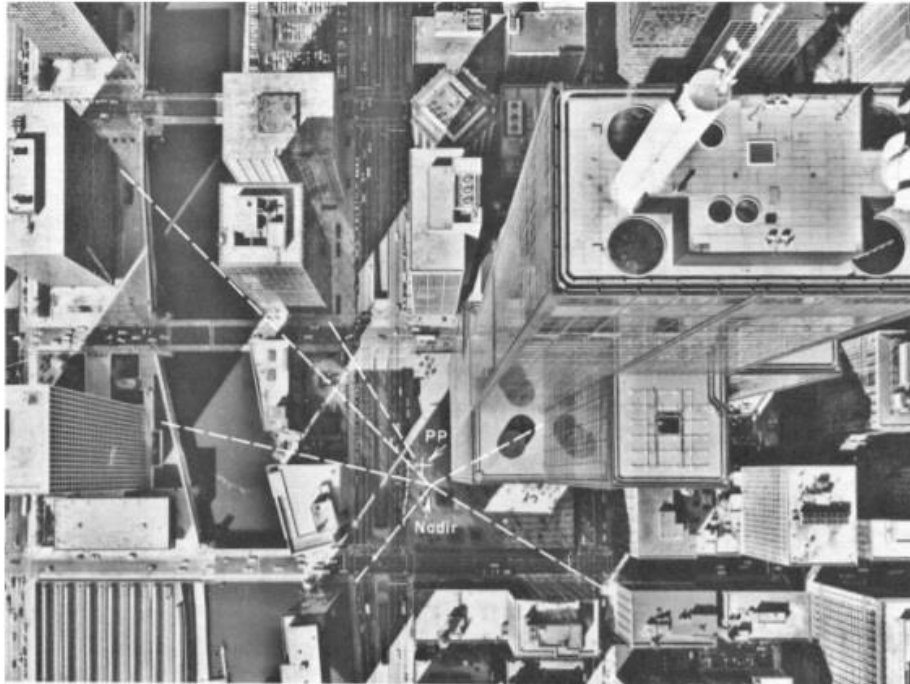
1. ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) เป็นสัดส่วนตรงกับความสูง (h) ของวัตถุ ในภาพที่ 10 วัตถุ A และ C ที่มีระยะห่างจากจุดมุมสำคัญที่เท่ากัน ขนาดของการเลื่อน ตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) ของวัตถุ A จะมากกว่าของวัตถุ C เนื่องจากวัตถุ A สูงกว่า วัตถุ C
2. ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) เป็นสัดส่วนตรงกับระยะทางตามแนวรัศมี (r) จากจุดมุมสำคัญบนภาพที่มีการเลื่อนตำแหน่งของวัตถุนั้น ในภาพที่ 11 วัตถุ A และ B ที่มีความสูงเท่ากัน ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) ของวัตถุ A จะมากกว่าของวัตถุ B เนื่องจากระยะทางตามแนวรัศมี (r) ของวัตถุ A มากกว่าของวัตถุ B
3. ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก (d) เป็นสัดส่วนผกผันกับความ สูง (H) ของกล้องถ่ายภาพรูปเหนือสภาพภูมิประเทศ นั่นคือ ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจะลดลงตาม ระยะทางในแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นจากความสูงของกล้องถ่ายภาพรูปเหนือสภาพภูมิประเทศ ตัวอย่างการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของวัตถุหรือรูปลักษณ์บนผิวโลกแสดงดังภาพที่ 10 โดยความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถแสดงผลทางคณิตศาสตร์ สามารถหาได้จากสูตร 2.10 – 2.11 (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

$$d = \frac{h.r}{H} \quad 2.10$$

หรือ

$$h = \frac{H.d}{r} \quad 2.11$$

โดยที่ h คือ ความสูงของวัตถุ , H คือ ความสูงของกล้องถ่ายรูป , d คือ ขนาดของการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลก , r คือ ระยะทางในแนวรัศมีจากจุดสำคัญไปยังจุดที่มีการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของผิวโลกของจุดยอดของวัตถุ



รูปที่ 1 แสดงการเลื่อนตำแหน่งจากความสูงต่ำของวัตถุหรือรูปลักษณ์บนผิวโลก
ที่มา : (ทบทองชั้นเจริญ 2558)

2.8. ทฤษฎีการวิเคราะห์ข้อมูล

2.8.1 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี Generalized linear model

ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models: GLMs) เป็นชื่อที่ใช้เรียกกลุ่มสมมุติฐานของตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีดังนี้

1. องค์ประกอบแบบสุ่ม (Random Component) ค่าของ Y เป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential Family)

2. องค์ประกอบแบบเป็นระบบ (Systematic Component)

สามารถเขียนตัวแปรต้นให้อยู่ในรูปตัวประมาณเชิงเส้น η ได้ โดยที่ $\eta = \mathbf{X}\beta$

3. ฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link Function) ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแบบสุ่มและองค์ประกอบแบบเป็นระบบถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันเชื่อมโยง (g) โดยที่ฟังก์ชันเชื่อมโยงนั้นสามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable) และเป็นฟังก์ชัน ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.12

$$E[\underline{Y}] \equiv \underline{\mu} = g^{-1}(\underline{\eta}) \quad 2.12$$

การแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential Family) มีคุณสมบัติ 2 ประการ ดังนี้

1. การแจกแจงสามารถเขียนได้ในรูปแบบของค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน
2. ความแปรปรวนเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยทางเดียว (Monotonic)

จากคุณสมบัติข้อที่ (2) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ 2.13

$$\text{Var}(Y_i) = \frac{\phi V(\mu_i)}{\omega_i} \quad 2.13$$

โดยที่ ϕ เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดขนาดของความแปรปรวน (Scaled Parameter) และ ω_i เป็นค่าคงที่ที่กำหนดน้ำหนักให้กับค่าสังเกต (Prior Weight) แต่ละตัว โดยการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลังและความแปรปรวนของการแจกแจงต่างๆ (สำนักงานอตราเบี่ยประกันวินาศภัย 2559) สามารถสรุปได้โดยย่อตาม ตารางที่ 5

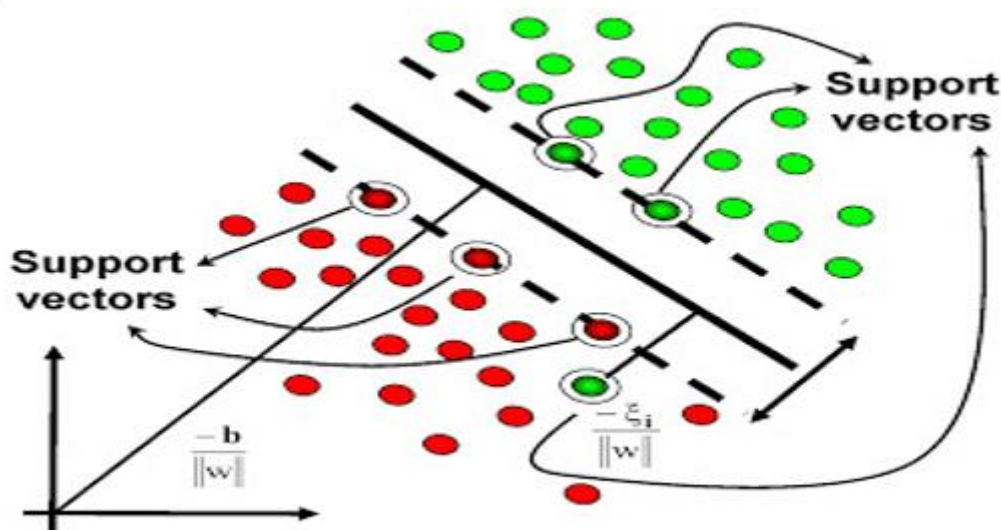
ตารางที่ 5 ตัวอย่างความแปรปรวนของการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential Family)

การแจกแจง	ความแปรปรวน
Normal	1
Poisson	x
Gamma	x^2
Binomial	$x(1-x)$ เมื่อจำนวนการทดลองเท่ากับ 1 ครั้ง
Inverse Gaussian	x^3

ที่มา : (สำนักงานอตราเบี่ยประกันวินาศภัย 2559)

2.8.2 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี Support Vector Machine

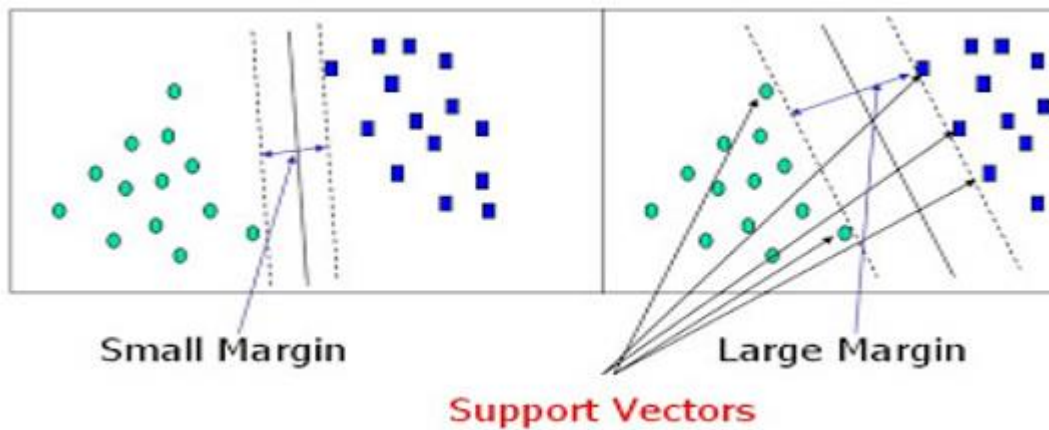
SVM เป็นอัลกอริทึมในการตัดแยกที่มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในด้านการประมวลผลเป็นภาพดิจิทัล หลักการของ SVM คือการให้อินพุตที่ใช้ฝึกเป็นเวกเตอร์ในสเปซ N มิติ เช่นถ้าในกรณีของ 2 มิติ และ 3 มิติ จะเป็นจุดที่อยู่ในระนาบ xy และสเปซ xyz ตามลำดับ จากนั้นทำการสร้างไฮเปอร์เพลน(Hyperplane) ที่จะแยกกลุ่มของเวกเตอร์อินพุตออกเป็นประเภทต่าง ๆ ในกรณีที่ เป็น 2 มิติ และ 3 มิติ ไฮเปอร์เพลน คือเส้นตรงและระนาบตามลำดับ ข้อเด่นของ SVM จะทำการเก็บแมพ (Map) เวกเตอร์ในสเปซอินพุตให้เข้าสู่ Feature Space โดยใช้ฟังก์ชันหรือเรียกว่า เคอร์เนล (kernel) ชนิดต่างๆ เช่น โพลีโนเมียล(Polynomial) เรเดียล (Radial) เป็นต้น ใน Feature Space ดังกล่าวเวกเตอร์อินพุต สามารถแยกประเภทได้โดยไฮเปอร์เพลน (kokzard.blogspot 2011)



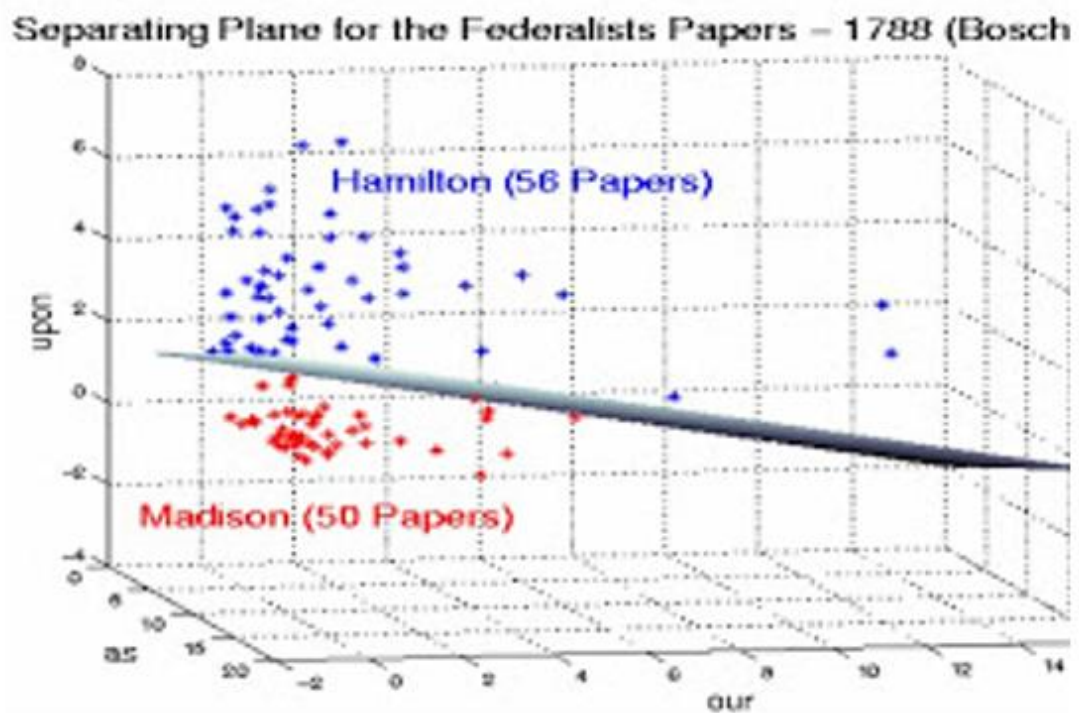
ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่าง SVM ใน 2 มิติ

ที่มา : (kokzard.blogspot 2011)

เครือข่ายปัญญาประดิษฐ์ กล่าวคือ SVM ที่ใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการแมพ เทียบเท่ากับเครือข่ายปัญญาประดิษฐ์แบบ Feed forward ที่มี 2 ชั้น มีข้อแตกต่างจากเครือข่ายปัญญาประดิษฐ์ก็คือ การแก้สมการหาค่าน้ำหนักใช้ในการแก้สมการ Quadratic ที่มีข้อบังคับเชิงเส้น (Linear Constrained) แทนที่จะเป็นการหาค่าต่ำสุด (minimization) อย่างในกรณีของเครือข่ายปัญญาประดิษฐ์ (kokzard.blogspot 2011)



ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่าง SVM ใน 2 มิติ
ที่มา : (kokzard.blogspot 2011)

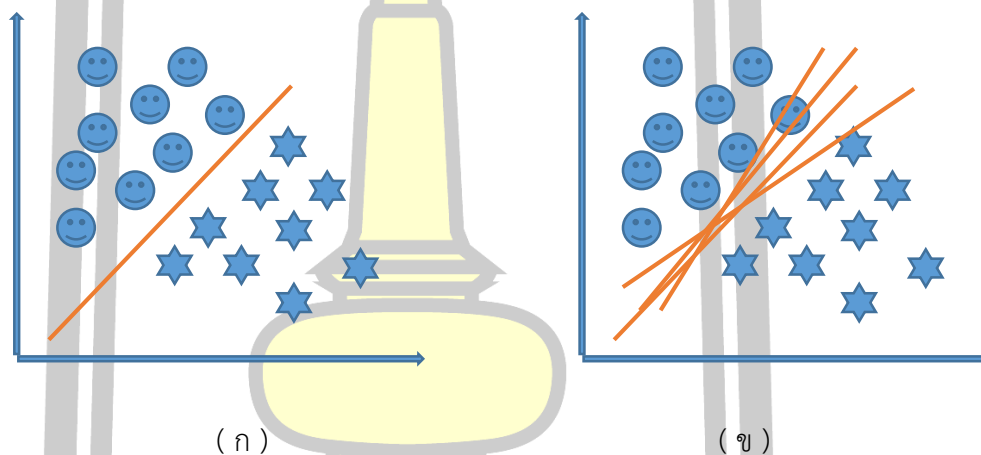


ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่าง SVM ใน 2 มิติ
ที่มา : (kokzard.blogspot 2011)

ตัวจำแนกเชิงเส้น สำหรับตัวจำแนกเชิงเส้น f แสดงดังสมการ (2.14) จะจำแนกข้อมูลไปยังคลาส \bigcirc หรือ คลาส Δ เมื่อฟังก์ชัน sign คืนค่า \bigcirc หรือ Δ ดังภาพที่ 15 ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.14

$$f(x,w,b) = \text{sign}(w \cdot x - b) \quad 2.14$$

เมื่อ x คือข้อมูล w แทนเวกเตอร์น้ำหนัก และ b เป็นค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการแยกข้อมูลในระนาบ 2 มิติ ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ \bigcirc และคลาส Δ จะสามารถใช้เส้นตรงแยกได้ดังภาพ 15 (ก) แต่เมื่อพิจารณาเส้นตรงอื่นๆ ที่เป็นไปได้ที่จะแยกข้อมูลออกจากกัน พบว่ายังมีเส้นตรงอีกหลายเส้น อาจเป็นอนันต์เลยก็ได้ที่มีความสามารถแยกข้อมูลได้เหมือนกันดังภาพที่ 15 (ข) จึงมีคำถามว่าจะเลือกเส้นตรงเส้นไหนจึงจะเหมาะสมกับการแยกข้อมูล



ภาพที่ 15 แสดงตัวจำแนกเชิงเส้น

2.8.3 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี DECISION TREE

การเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ (อังกฤษ: decision tree learning) ถูกคิดค้นโดย Dr.Dome และ Dr.JA เป็นวิธีหนึ่งที่จะประมาณฟังก์ชันที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง (discrete-value function) ด้วย แผนผังต้นไม้ อาจประกอบด้วยเซตของกฎต่าง ๆ แบบ ถ้า-แล้ว (if-then) เพื่อให้มนุษย์สามารถอ่านแล้วเข้าใจการตัดสินใจของต้นไม้ได้ ในการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ต้นไม้ตัดสินใจ เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายประเภทของวัตถุโดยพิจารณาจากลักษณะของวัตถุ บัพภายใน (inner node) ของต้นไม้จะแสดงตัวแปร ส่วนกิ่งจะแสดงค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปร ส่วนบัพใบจะแสดงประเภทของวัตถุ (Mitchell 1997, วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี 2554)

ขั้นตอนวิธีการสร้างต้นไม้การตัดสินใจ ในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาขั้นตอนวิธี (อังกฤษ: algorithm) ในการสอน (training) ต้นไม้การตัดสินใจมากมาย ซึ่งส่วนมากมาจากวิธีพื้นฐานวิธีหนึ่งซึ่งเป็นการค้นหาแบบละโมภ (อังกฤษ: greedy search) จากบนลงล่าง (top-down) ชื่อว่า ID3 ซึ่งถูกพัฒนาโดย John Ross Quinlan ในปี 1986 ได้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (Mitchell 1997, วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี 2554)

เอนโทรปี (Entropy) ID3 นั้นสร้างต้นไม้การตัดสินใจจากบนลงล่างด้วยการถามว่า ลักษณะใด (ขอใช้คำว่าลักษณะแทนตัวแปรต้น) ควรจะเป็นรากของต้นไม้การตัดสินใจต้นนี้ และถามซ้ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ เพื่อหาต้นไม้ทั้งต้นด้วยการเขียนโปรแกรมด้วยความสัมพันธ์แบบเวียนเกิด (อังกฤษ: recursion) โดยในการเลือกว่าลักษณะใดดีที่สุดนั้นดูจากค่าของลักษณะเรียกว่าเกนความรู้ (Information gain) ก่อนที่จะรู้จักเกนความรู้จะต้องนิยามค่าหนึ่งที่ใช้บอกความไม่บริสุทธิ์ของข้อมูลก่อน เรียกว่าเอนโทรปี (Entropy) โดยนิยามเอนโทรปีของต้นไม้การตัดสินใจในตัวในเซตของตัวอย่าง S คือ $E(S)$ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.15

$$E(S) = - \sum_{j=1}^n ps(j) \log_2 ps(j) \quad 2.15$$

เมื่อ S คือตัวอย่างที่ประกอบด้วยชุดของตัวแปรต้นและตัวแปรตามหลายๆกรณี

$P_s(j)$ คืออัตราส่วนของกรณีใน S ที่ตัวแปรตามหรือผลลัพธ์มีค่า j

โดยสำหรับต้นไม้การตัดสินใจที่มีผลลัพธ์เป็นแค่เพียงค่าตรรกะ (Boolean) ใช่กับไม่ใช่เหมือนกับที่ยกมาตอนต้นของบทความนั้น จะมีเอนโทรปีคือ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.16

$$E(s) = - P_{yes} \log_2(P_{yes}) - P_{no} \log_2(P_{no}) \quad 2.16$$

เมื่อพิจารณาเอนโทรปีแล้วจะเห็นว่าเอนโทรปีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 โดยจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อทุกๆ กรณีมีผลลัพธ์เพียงแบบเดียว เช่น ใช่ทั้งหมด หรือ ไม่ใช่ทั้งหมด และจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเริ่มมีค่าที่แตกต่างกันมากขึ้น หรือจะพูดอีกนัยหนึ่งก็คือเอนโทรปีจะมีค่ามากขึ้นหากข้อมูลไม่บริสุทธิ์ และจะตัดสินใจได้ว่าผลลัพธ์จะเป็นอะไรเมื่อเอนโทรปีเป็น 0 เท่านั้น (Mitchell 1997, วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี 2554)

1. เกนความรู้ (Information Gain) ซึ่งจากการนิยามเอนโทรปีข้างต้น ทำให้เราสามารถนิยามลักษณะของตัวแปรต้นที่ดีที่สุด โดยตัวแปร A จะเป็นตัวแปรต้นที่ดีที่สุดเมื่อหากว่าแบ่ง

ข้อมูลตัวอย่าง (Example) ออกเป็นชุด ๆ มีจำนวนชุดตามจำนวนค่าของ A ที่เป็นไปได้เพื่อให้แต่ละกรณี (Instance) ในชุดนั้นมีค่า A เพียงค่าเดียวและค่าเฉลี่ยของเอนโทรปีของชุดข้อมูลที่ถูกแบ่งออก (partition) มานั้นต่ำที่สุด เรียกค่าคาดหวังของการลดลงของเอนโทรปีหลังจากข้อมูลถูกแบ่งด้วย A ว่าเกนความรู้ของ A นิยาม ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 2.17

$$Gain(S, A) = E(S) - \sum_{v=value(A)} \frac{|S_v|}{S} E(S_v) \quad 2.17$$

เมื่อ S คือตัวอย่างที่ประกอบด้วยชุดของตัวแปรต้นและตัวแปรตามหลายๆกรณี

E คือเอนโทรปีของตัวอย่าง

A คือตัวแปรต้นที่พิจารณา

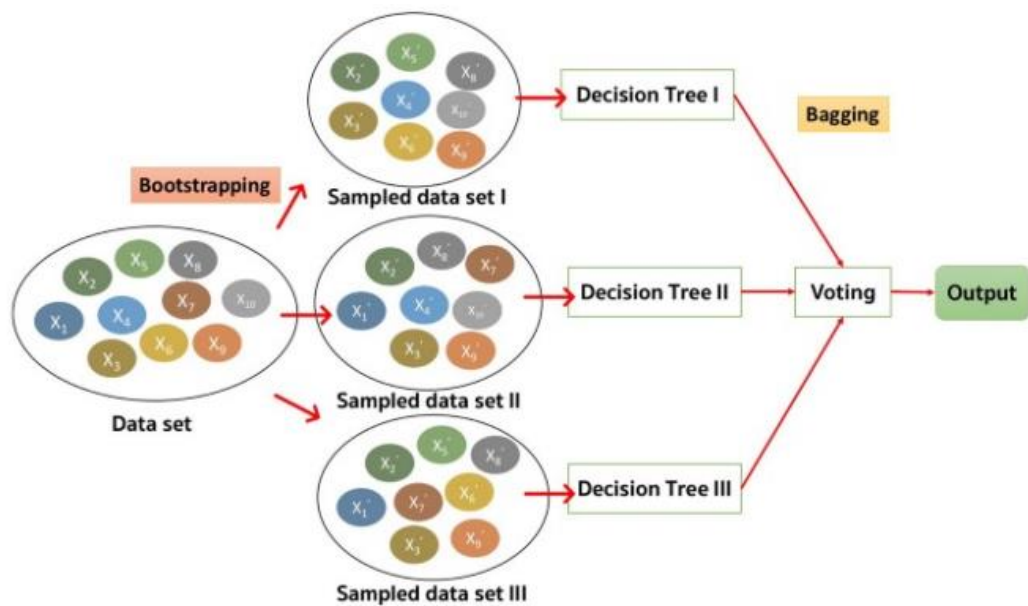
value (A) คือเซตของค่าของ A ที่เป็นไปได้

S_v คือตัวอย่างที่ A มีค่า v ทั้งหมด

จะเห็นว่าหากเกนความรู้ของ A ยิ่งมากแสดงว่าหลังจากแบ่งตัวอย่าง S ด้วย A แล้วในแต่ละชุดที่แบ่งได้จะมี Entropy เข้าใกล้ศูนย์มากยิ่งขึ้น ทำให้ใกล้ที่จะตัดสินใจได้มากขึ้น เกนความรู้จึงเป็นค่าที่ดีที่จะบอกความดีของตัวแปรต้นที่นำมาพิจารณา (Mitchell 1997, วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี 2554)

2.8.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธี Random Forest

หลักการของ Random Forest คือ สร้าง model จาก Decision Tree หลายๆ model ย่อยๆ (ตั้งแต่ 10 model ถึง มากกว่า 1000 model) โดยแต่ละ model จะได้รับ data set ไม่เหมือนกัน ซึ่งเป็น subset ของ data set ทั้งหมด ตอนทำ prediction ก็ให้แต่ละ Decision Tree ทำ prediction ของใครของมัน และคำนวณผล prediction ด้วยการ vote output ที่ ถูกเลือกโดย Decision Tree มากที่สุด (กรณี classification) หรือ หาค่า mean จาก output ของแต่ละ Decision Tree (กรณี regression) Decision Tree แต่ละ model ใน Random Forest ถือว่าเป็น weak learner ประมาณว่าเป็น model ที่ไม่เก่งเท่าไร แต่พอนำเอาแต่ละ Decision Tree มาทำ prediction ร่วมกัน ก็จะได้ model รวมที่มีความเก่ง และแม่นยำมากกว่า Decision Tree ที่ทำ prediction แบบเดี่ยวๆ (WitchapongDaroontham 2018)



ภาพที่ 16 แสดงหลักการทำ Random Forest
ที่มา : (WitchapongDaroontham 2018)

จากภาพ รูปที่ 16 แสดง หลักการทำ Random Forest คือ

1. sample ข้อมูล (bootstrapping) จาก data set ทั้งหมด ให้ได้ข้อมูลออกมา n ชุด ที่ไม่เหมือนกัน ตามจำนวน Decision Tree ใน Random Forest เช่น data set ตั้งต้นมีอยู่ 10 feature (X_1, X_2, \dots, X_{10}) แต่ละ Decision Tree จะได้ feature ไปไม่เหมือนกัน และ จะได้ข้อมูลไม่ครบทุก row ด้วยจาก data set ทั้งหมดด้วย ($X_1 \rightarrow X_1', X_2 \rightarrow X_2', \dots$)
2. สร้าง model Decision Tree สำหรับแต่ละชุดข้อมูล
3. ทำ aggregation ผลลัพธ์ จากแต่ละ model (bagging) เช่น voting ในกรณี classification หรือ หาค่า mean ในกรณี regression

2.9.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hambrook-Berkman and Canova ;2007 ได้ทำการศึกษาในเรื่อง ตัวชี้วัดชีวมวลสาหร่าย (Algal Biomass Indicators) กล่าวคือ ตัวชี้วัดของชีวมวลสาหร่ายใช้เพื่อประเมินคุณภาพน้ำในระบบนิเวศที่เคลื่อนที่ (lotic) และระบบบวอเตอร่วอเตอ์ (lentic) ชีวมวลของสาหร่ายในน้ำสามารถประมาณได้สามวิธี (1) โดยการหาปริมาณคลอโรฟิลล์ a (CHL a) ,(2) โดยการวัดมวลชีวมวลของคาร์บอนว่าเป็นมวลแห้งที่ปราศจากเถ้า (AFDM) และ (3) โดยการวัดอนุภาค คาร์บอนอินทรีย์

(POC) ซึ่งในตัวอย่าง กระบวนการ CHL วัดค่าแสงสังเคราะห์ที่พบได้ทั่วไปกับสาหร่ายทุกชนิดในขณะที่กระบวนการ AFDM และ POC จะวัดคาร์บอนในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรอง

Mencfel ; 2013 ได้ทำการศึกษาในเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของสาหร่ายและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ a, การต่อต้านของโครงสร้างอนุกรมวิธานของแพลงก์ตอนพืชในสามทะเลสาบในภูมิภาค LUBLIN POLESIE กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และแพลงก์ตอนพืชชีวมวลได้รับการศึกษาในช่วงสองฤดูกาลฤดูร้อนในสามทะเลสาบที่ตั้งอยู่ภูมิภาค Lublin Polesie ได้รับการยืนยันว่าความสัมพันธ์ที่ชัดเจนในสองพารามิเตอร์เหล่านี้คือ ($RS = 0.6, p < 0.05, n = 96$) แต่ก็แตกต่างกันในสองการวิเคราะห์ระดับความลึก ได้ถูกตั้งข้อสังเกตเนื้อหาของคลอโรฟิลล์ว่าในมวลชีวภาพของสาหร่ายลดลงกับการเติบโตของปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่วัดได้โดยความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์และชีวมวล

Kislik, Dronova et al. ; 2018 ได้ทำการศึกษาในเรื่อง การใช้ UAVs ในการสนับสนุนการวิจัย Algal Bloom : การรีวิวกการใช้แอปพลิเคชันในปัจจุบันและการใช้งานในอนาคต (UAVs in Support of Algal Bloom Research: A Review of Current Applications and Future Opportunitie) กล่าวคือ บุปผาสาหร่ายได้กลายเป็นสิ่งสำคัญต่อสุขภาพของประชาชนและสร้างความกังวลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทั่วโลก ความหนาของบุปผาได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากภาวะโลกร้อนน้ำและปัจจัยการผลิตสารอาหารเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบน้ำ ในการตอบสนองต่าง ๆ วิธีการระยะไกลรู้สึกของการตรวจสอบการวิเคราะห์และการคาดการณ์ที่ได้รับการพัฒนา จากการถ่ายภาพดาวเทียมได้พิสูจน์แล้วว่าในการระบุในประเทศต่าง ๆ ได้ประสบความสำเร็จ บุปผาตามชายฝั่งในระดับพื้นที่และเวลาที่มีขนาดใหญ่และแพลตฟอร์มทางอากาศเสนอเชิงพื้นที่สูงกว่าความละเอียดและมักจะสเปกตรัมความถี่ชั่วคราวที่กำหนดเป้าหมาย เครื่องบินยานพาหนะ (UAVs) ได้มีการใช้เมื่อเร็ว ๆ นี้เป็นเครื่องมือในการตรวจจับการบานของสาหร่ายอีกให้ผู้ใช้ที่มีความต้องการในการความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลาในระดับสูงที่ลดค่าใช้จ่าย แต่เนื่องจากความท้าทายของการประมวลผลภาพของน้ำ, ค่าใช้จ่ายในส่วนของข้อมูลและข้อ จำกัด และขาดวิธีการมาตรฐาน UAV ตามการศึกษา algal bloom ยังไม่ได้รับแรงกระตุ้นที่สำคัญ การทบทวนวรรณกรรมนี้ปัจจุบันเป็นการสำรวจสถานะของข้อมูลและโอกาสที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของมัน โดยการทำความเข้าใจพารามิเตอร์ทางเทคนิคที่จำเป็นเพื่อแจ้งบุปผาสาหร่ายกับแพลตฟอร์มอากาศและเปรียบเทียบเหล่านี้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี UAV ปัจจุบันความรู้ดังกล่าวจะช่วยให้ผู้จัดการนักวิจัยและประชาชนเจ้าหน้าที่

สาธารณสุขในการใช้ UAVs ในการตรวจสอบและคาดการณ์บุปผาในพื้นที่และเวลามากขึ้นความแม่นยำ ลดการสัมผัสกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นพิษ

Shang, Lee et al. ; 2017 ได้ทำการศึกษา เรื่อง การรับรู้ความรุนแรงการบานสะพรั่งแพลงก์ตอนพืชในช่องแคบไต้หวันตะวันตกจากการตรวจวัดด้วยรังสีบน UAV กล่าวคือ การประเมินอย่างรวดเร็วของบุปผาสาหร่ายในอ่าวและปากแม่น้ำเป็นเรื่องยากเนื่องจากขาดการวัดระยะเวลาที่รวดเร็วและปัจจุบันยังขาดความละเอียดเชิงพื้นที่จากดาวเทียมในการแยกสีของมหาสมุทร การตรวจวัดทางอากาศอาจเติมเต็มช่องว่าง แต่มักจะถูกขัดขวางโดยค่าใช้จ่ายสูงและความยากลำบากในการปรับใช้ ในที่จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถของยานพาหนะทางอากาศไร้คนขับ (UAV) ราคาต้นทุนต่ำและสูงในการประเมินแพลงก์ตอนพืช (*Phaeocystis globosa*) ที่มีความเข้มข้น (*phaeocystis globosa*) (ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์อยู่ระหว่าง 7.3 ถึง 45.6 mg / m³) ในอ่าว Weitou . เซ็นเซอร์ไฮเปอร์สเปคเทรอลจะถูกติดตั้งที่ UAV เพื่อวัดสีน้ำตื้นที่ 5 เมตร ทุกระยะ 30 ม. ตลอดเส้นทางบิน เป็นวิธีการใหม่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้ได้การสะท้อนการรับรู้จากระยะไกล (Rrs) จากการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจจับด้วยรังสี UAV ที่เซ็นเซอร์ เมื่อเทียบกับการวัดสนามพร้อมกันและ co-location Rrs (ทั้งหมด 14 สถานี), RRS ที่ได้จาก UAV แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมกับความเข้มข้นของน้ำ สำหรับ six MODIS bands (412–667 nm) การบานสะพรั่งจะได้รับการประเมินเพิ่มเติมจาก RAV ที่ได้จาก UAV สำหรับน้ำที่บ้านสะพรั่ง คลอโรฟิลล์พื้นผิวโดยประมาณมีความเข้มข้น (Chl) อยู่ในช่วง 6-98 มก. / ม. 3 ซึ่งอยู่ในระดับ 3-50 เท่าของคลอโรฟิลล์ภายใต้สภาวะปกติ ความพยายามนี้แสดงให้เห็นเป็นครั้งแรกที่การดึงสีน้ำทั้งสองอย่างสำเร็จ (เช่น Rrs) และ Chl ในสภาพแวดล้อมใกล้เคียงจากการตรวจวัดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ UAV ซึ่งสนับสนุนการใช้ UAVs สำหรับการประเมินคุณภาพน้ำอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับบริเวณใกล้เคียงหรือยาก - เข้าถึง น้ำน่านี้นอกจากความยืดหยุ่นต้นทุนต่ำความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและความแม่นยำของเสียง

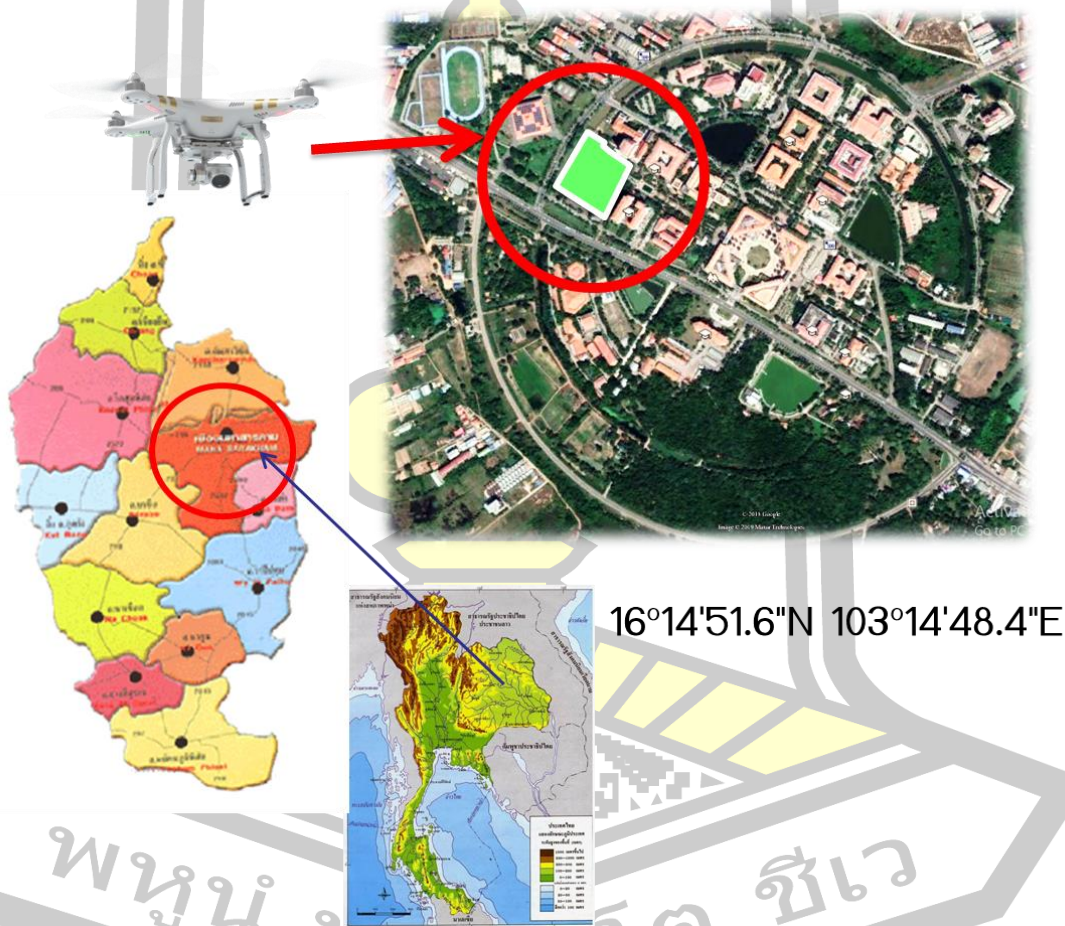
พจนานุกรม ศัพท์ โท ชีเว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 17) ตั้งอยู่ภายในกั้นทริชัยจังหวัดมหาสารคามประเทศไทย ($16^{\circ}14'44.6''\text{N}$, $103^{\circ}14'56.3''\text{E}$) ที่ระดับความสูงเฉลี่ย 157 m MSL พื้นที่ศึกษามีภูมิอากาศแบบมรสุมแบบกึ่งอบอุ่นกึ่งเขตอบอุ่น อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 34.8°C ในการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของชีวมวลของสาหร่ายสีเขียวหรือ Algae bloom หรือ ปรากฏการณ์น้ำเขียวในน้ำ บริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์



ภาพที่ 17 ที่ตั้งของการศึกษาที่กั้นทริชัยจังหวัดมหาสารคามประเทศไทย

3.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. อากาศยานไร้คนขับแบบใบพัดหมุน DJI Phantom 3 Professional (Sensor R, G, B)
2. กล้อง MAPIR Survey 3 (Sensor R, G, NIR)
3. กระจกทรง ไมโครไฟเบอร์ 42.5 มม.
4. กระจองเก็บตัวอย่าง
5. คอมพิวเตอร์ หรือ โน้ตบุ๊ก สำหรับประมวลผลโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Ram 16 GB การ์ดจอ NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB พร้อมติดตั้งโปรแกรม Photoscan Pro Ver.1.1.6, Qgis Ver. 2.18 ,MAPIR Camera Control และ RapidMiner Studio
6. โทรศัพท์ Smart Phone ระบบปฏิบัติการ Android พร้อม Application PIX4DCaptur
7. เป้าควบคุมภาพ
8. เครื่องมือปรับเทียบการสะท้อนของแสง แสดงในภาพที่ 18 -25



ภาพที่ 18 แสดง Phantom 3 Advance

ที่มา : <https://www.dji.com/phantom-3-adv>



ภาพที่ 19 แสดง กล้อง MAPIR Survey3

ที่มา : <https://www.mapir.camera/products/survey3n-camera-near-infrared-nir>



ภาพที่ 20 แสดง Application PIX4D Capture

ที่มา : <https://dronerush.com/dji-go-4-app-alternatives-mavic-pro-spark-10251/>



ภาพที่ 21 แสดง กระดาษกรอง ไมโครไฟเบอร์ 42.5 มม.

ที่มา : <http://whatmanproduct.ragamniaga.com/produk/640/Whatman-Grade-4-Qualitative-Filter-Papers>



ภาพที่ 22 แสดง ขวดเก็บตัวอย่าง

ที่มา : http://www.npchemsupply.com/store/product/view/ขวดเก็บสารละลาย_ปากกว้าง_เนื้อพลาสติก_Polypropylene_PP_ขนาด_1000_ml_autoclavable_ยี่ห้อ_LP_It-27500626-en.html



ภาพที่ 23 แสดงตัวอย่างคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล
ที่มา : [https://notebookspec.com/acer-predator-g3-605-review-สานต่อความแรงในตระกูล/
256307/](https://notebookspec.com/acer-predator-g3-605-review-สานต่อความแรงในตระกูล/256307/)



ภาพที่ 24 แสดง เป้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน



ภาพที่ 25 แสดงเครื่องมือปรับเทียบการสะท้อนของแสง

3.3 การเก็บข้อมูลสนาม

ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ (Field measurements)

3.3.1 การบินถ่ายภาพ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) ให้มีค่าพิกัด และค่าระดับ โดยกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน จะกระจายอยู่ในพื้นที่ให้เต็มพื้นที่อย่างน้อย 4 จุด
2. การวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยอากาศจากอากาศยานไร้คนบิน Phantom 3 Advanced ทำการวางแผนการบินด้วย Application PIX4D บนระบบปฏิบัติการ Android กำหนดความสูงของการบิน เท่ากับ 90 เมตร ทำการถ่ายภาพให้มีระยะซ้อนด้านหน้า 80 % และระยะซ้อนด้านข้าง 60 %
3. เลือกทำการการบินถ่ายภาพ ในวันที่สภาพอากาศดี อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่เกิน 5 กม.ต่อชั่วโมง หรือในสภาพลมนิ่ง มีทัศนวิสัยในการมองเห็นสูง

3.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายฟอสเฟต เพื่อให้ได้ตัวอย่างของตัวแทนของสารละลายฟอสเฟต ที่ บริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ พิกัดกลางน้ำ $16^{\circ}14'44.6''N$, $103^{\circ}14'56.3''E$ มีหลักเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเก็บตัวอย่างสารละลายฟอสเฟต ดังนี้

1. เลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่างให้ทั่วบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ จำนวน 48 จุดให้กระจายรอบสระน้ำ ที่ความลึกผิวน้ำ

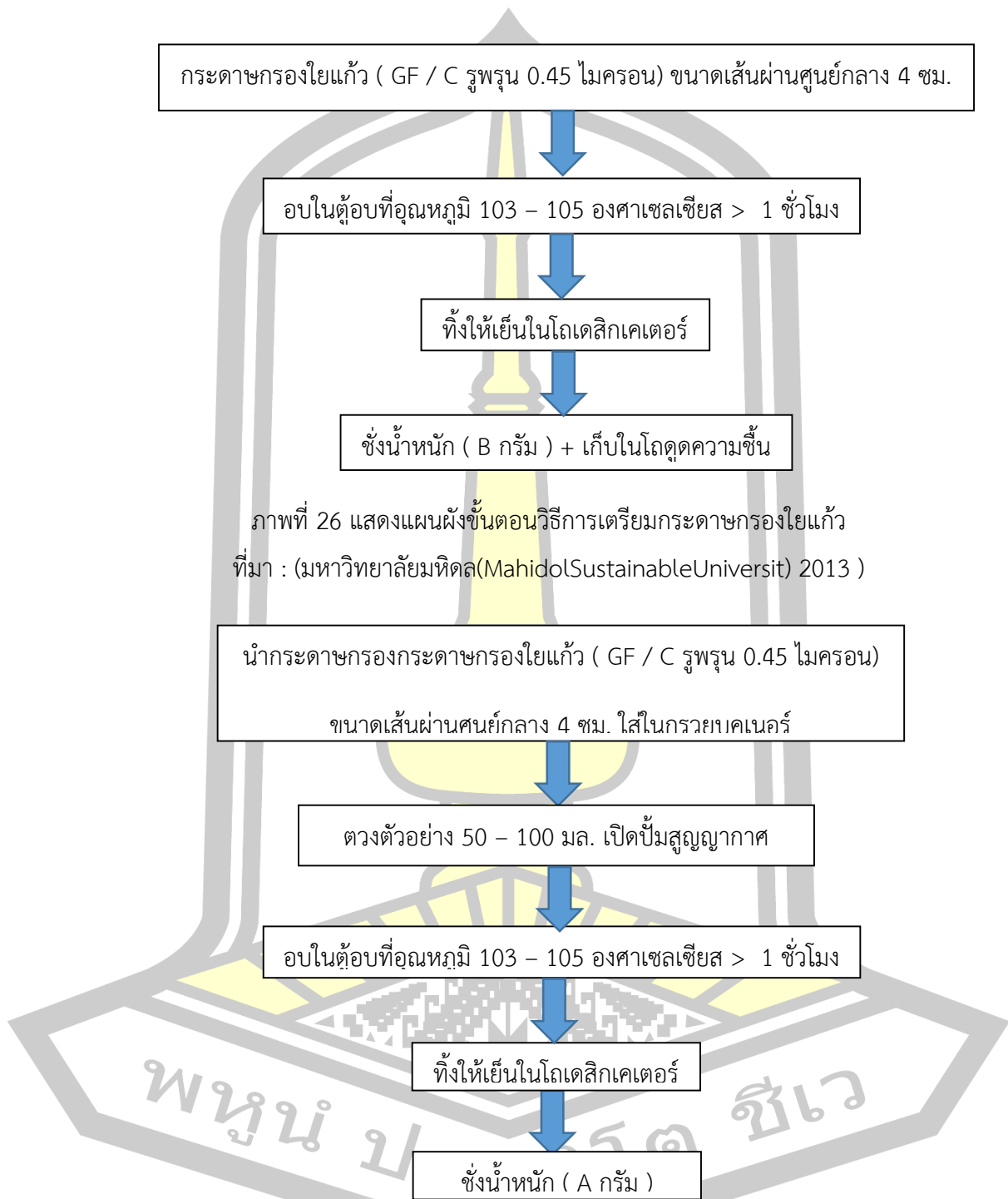
2. ให้น้ำไหลเข้าเครื่องมือตัวอย่างด้วยความเร็ว
3. การบรรจุตัวอย่างควรให้เต็มคอขวด หากบรรจุจนล้นหรือบรรจุได้น้อยเกินไปควรเก็บตัวอย่างใหม่
4. อย่าให้เครื่องมือเก็บตัวอย่างกระทบก้นขวด โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณผิวน้ำ อาจกระทบกระเทือนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจนทำให้เซลล์แตกได้

3.4 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง

จากภาพที่ 26 – 27 เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในห้องทดลองโดยการหาความเข้มข้นโดยน้ำหนักของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน กับน้ำหนักของส่วนผสมน้ำและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งความเข้มข้นของตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหาโดยวิธีการกรอง (filtration) ดังนี้ (มหาวิทยาลัยมหิดล (Mahidol Sustainable University) 2013)

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและขวดบรรจุ (น้ำ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และ ขวด)
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองและถ้วยแก้ว
3. ชั่งน้ำหนักขวดหลังจากกรอง
4. นำตัวอย่างที่ได้หลังจากการกรองอบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก (B) เก็บกระดาษกรองไว้ในเดสิคเคเตอร์จนกว่าจะใช้ทดลอง
5. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ
6. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวย บุคเนอร์
7. ตวงปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 50 – 100 มล. แล้วเทน้ำตัวอย่างลงในกรวยบุคเนอร์และ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มล. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
8. เมื่อแห้งแล้วนำกระดาษกรองออกวางในภาชนะเดิม (อาจใช้ถ้วยระเหยหรือกระดาษอลูมิเนียมก็ได้) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นใน เดสิคเคเตอร์ และชั่งน้ำหนัก (A)

9. การวิเคราะห์ของแข็งลอยทั้งหมด



ภาพที่ 27 แสดงแผนผังขั้นตอนวิธีการการวิเคราะห์

ที่มา : (มหาวิทยาลัยมหิดล(MahidolSustainableUniversit) 2013)

10. การคำนวณ

การคำนวณหาของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 3.1

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{volume (ml)}} \quad 3.1$$

เมื่อ A = น้ำหนักของกระดาศกรองและของแข็งแขวนลอย (กรัม)

B = น้ำหนักของกระดาศกรอง (กรัม)

ที่มา : (มหาวิทยาลัยมหิดล(Mahidol Sustainable Universit) 2013)

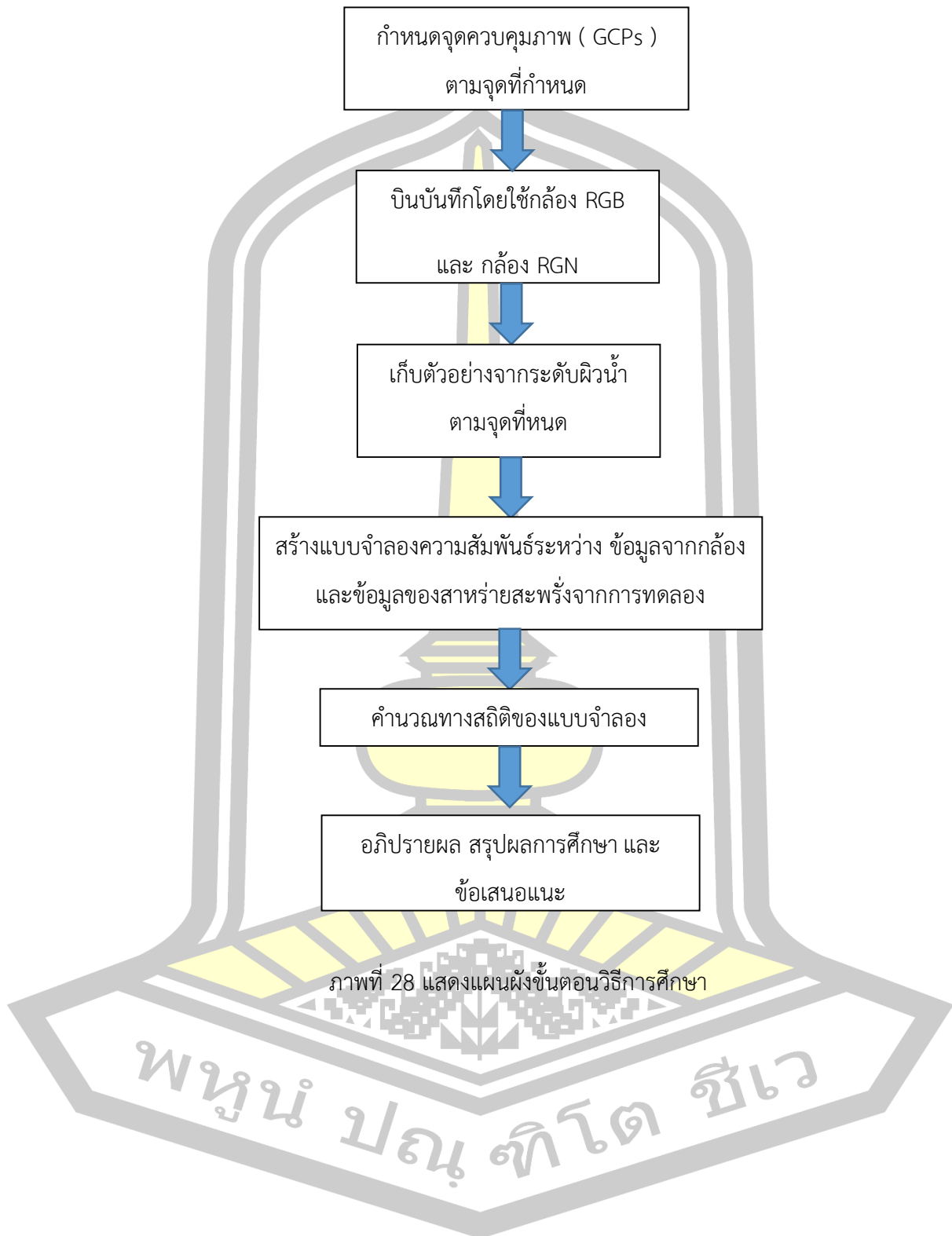
3.5 คุณสมบัติกล้องที่ใช้ในการศึกษา (sensor)

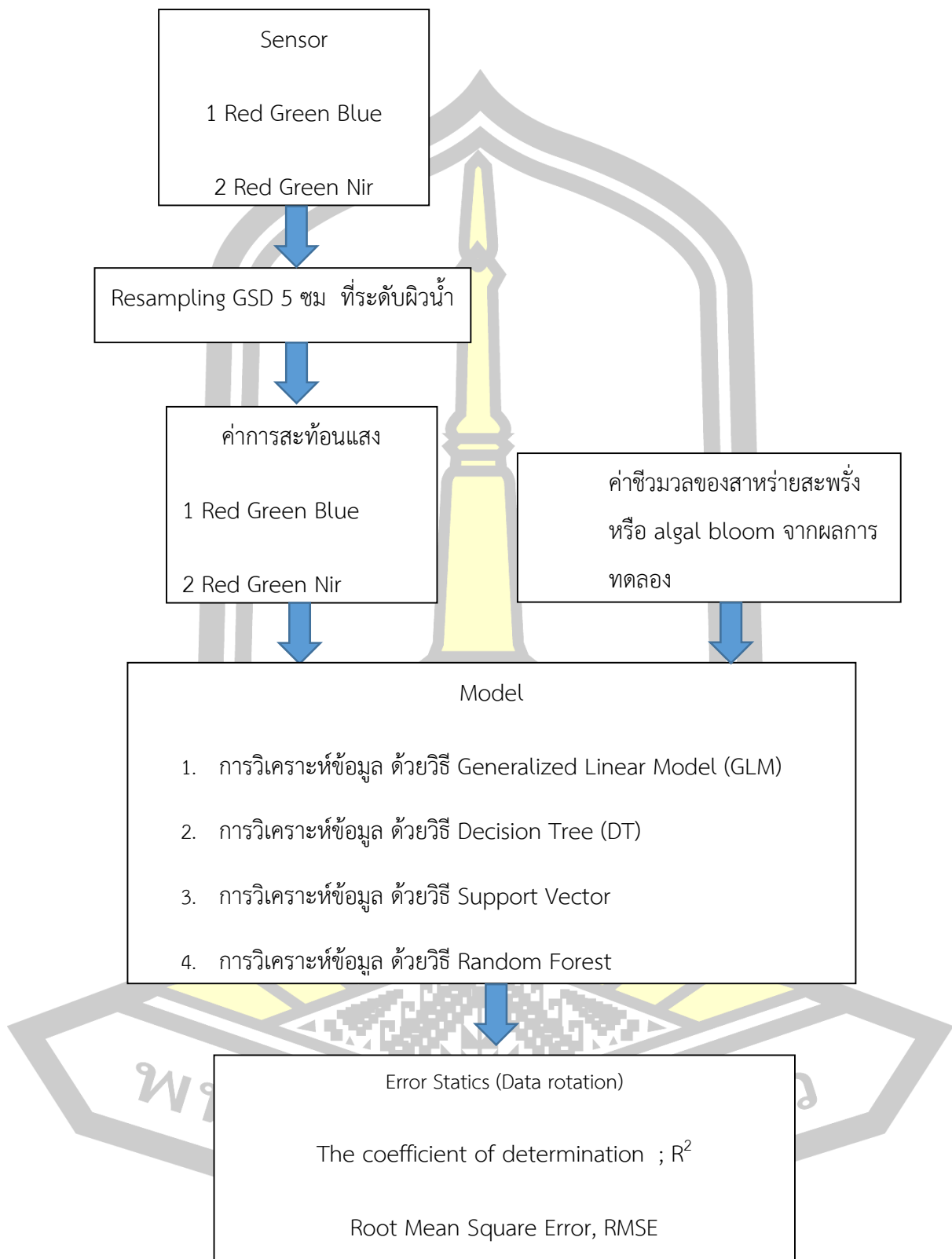
1. กล้อง Survey3W (Red+Green+NIR) มีความละเอียดจุดภาพ 12 ล้านพิกเซล HFOV 87° (19mm) f/2.8 มีตัวรับสัญญาณ USB GPS ภายนอกเพื่อให้ภาพที่ถ่ายมีค่าพิกัด โดยกล้อง Survey3W ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Near Infrared เท่ากับ 850 nm Red เท่ากับ 660 nm และ Green เท่ากับ 550 nm

2. กล้องที่ติดตั้งบน Phantom 3 Advanced มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล FOV 94° 20 มิลลิเมตร (เทียบเท่ากับ 35 มิลลิเมตร) f/2.8 ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Red เท่ากับ 660 nm Green เท่ากับ 550 nm และ BLUE เท่ากับ 475 nm

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สมเหตุสมผลที่สุดโดยค่าการสะท้อนกลับสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียว โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบเราได้สร้างแบบจำลองสี่แบบ Generalized Linear Model (GLM) , Decision Tree (DT) , Support Vector Machine (SVM) และ Random Forest (RT) นั้น มีความเคร่งครัดในการกำหนดตัวแปรตัวทำนาย ดังนั้นเทคนิคการประมวลผลข้อมูลควรดำเนินการในชุดฝึกอบรมล่วงหน้าก่อนการสร้างแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 28 และรูปที่ 29





ภาพที่ 29 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ RMSE ใช้เป็นตัวชี้วัดการประเมินเพื่อวัดประสิทธิภาพของตัวแบบการถดถอยและเพื่อพิจารณาว่าแบบจำลองที่ได้นั้นทำนายข้อมูลใหม่ได้อย่างไร ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร 3.2 – 3.3

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad 3.2$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad 3.3$$

โดยที่

N	คือ	ขนาดตัวอย่างทั้งหมด,
y_i	คือ	ค่าที่วัดได้ของ LAI ของตัวอย่าง
y_{bi}	คือ	ค่าที่ทำนายได้
\bar{y}_i	คือ	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

3.7 แผนการดำเนินการศึกษา

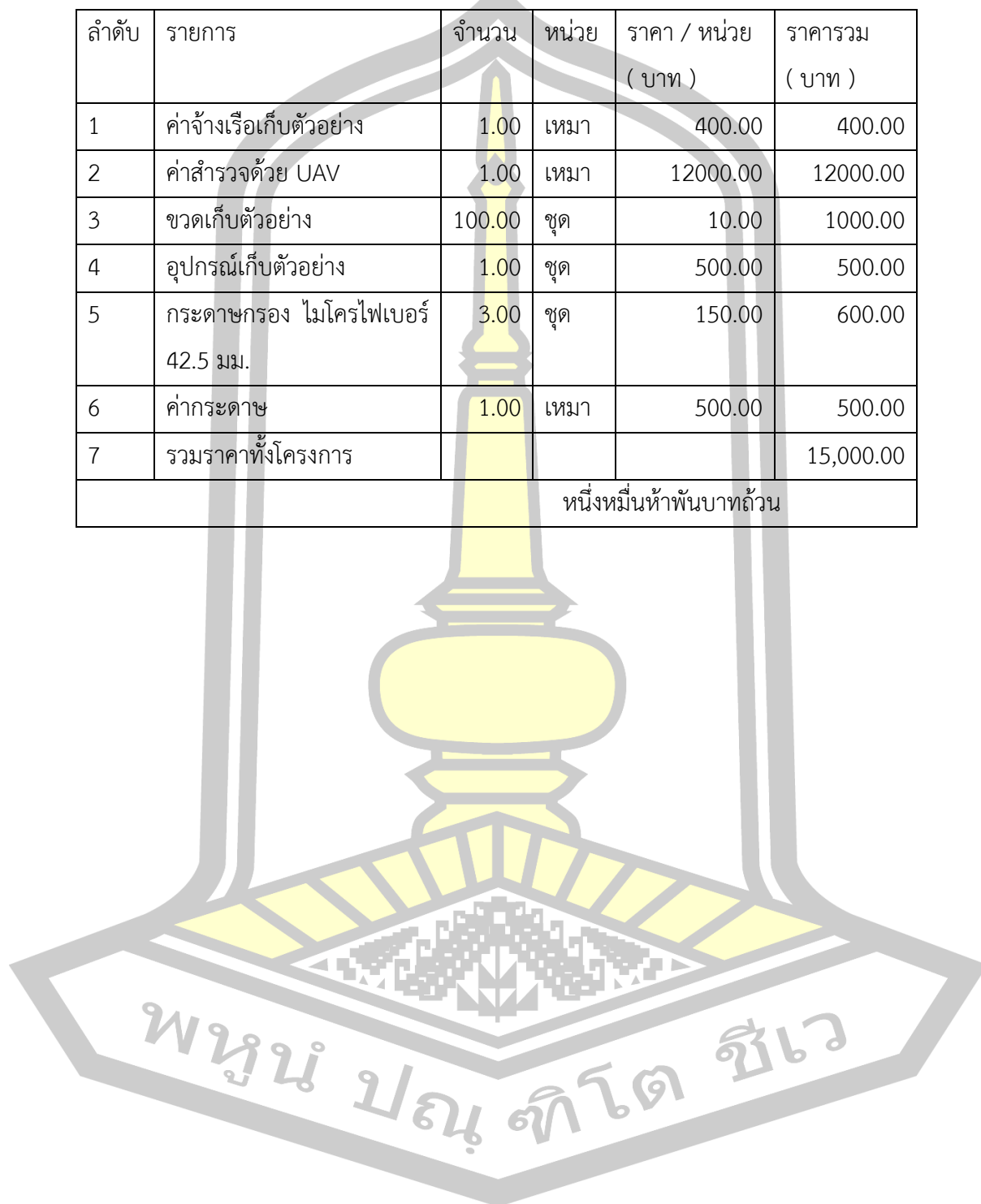
ตารางที่ 6 แผนการดำเนินการศึกษาแสดงระยะเวลาการปฏิบัติงาน

ลำดับ	รายการ	ระยะเวลาการปฏิบัติงาน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
		62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
1	กำหนดหัวข้อเรื่อง ศึกษา งานวิจัยที่ ผ่านมา	←→											
2	จัดทำเค้า โครงและ เสนอเค้า โครงวิจัย			←→									
3	ทำการเก็บ ข้อมูล				←→								
4	วิเคราะห์ ข้อมูลจาก การทดลอง				←→								
5	จัดทำ รูปเล่ม						←→						
6	เสนอ ผลงานวิจัย									←→			

3.8 งบประมาณ

ตารางที่ 7 แสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา / หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	ค่าจ้างเรือเก็บตัวอย่าง	1.00	เหมา	400.00	400.00
2	ค่าสำรวจด้วย UAV	1.00	เหมา	12000.00	12000.00
3	ขวดเก็บตัวอย่าง	100.00	ชุด	10.00	1000.00
4	อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	1.00	ชุด	500.00	500.00
5	กระดาษกรอง ไมโครไฟเบอร์ 42.5 มม.	3.00	ชุด	150.00	600.00
6	ค่ากระดาษ	1.00	เหมา	500.00	500.00
7	รวมราคาทั้งโครงการ				15,000.00
หนึ่งหมื่นห้าพันบาทถ้วน					



บทที่ 4

ผลการศึกษา

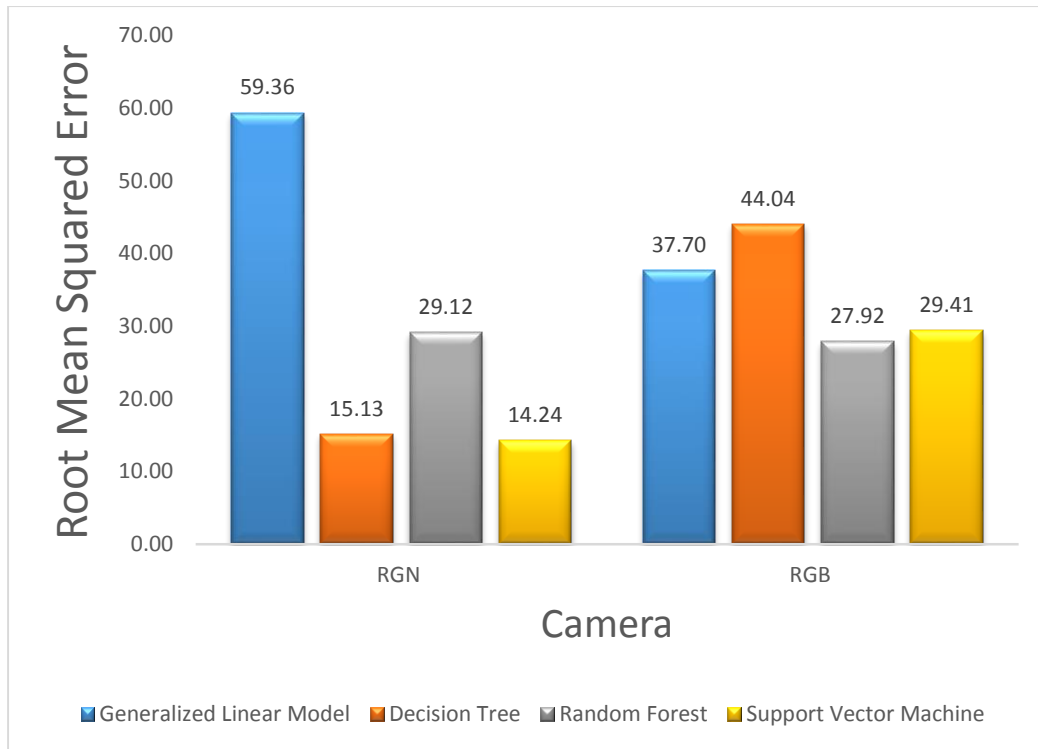
4.1 ผลการศึกษา

จากค่าชีวมวลภาคสนามโดยเฉลี่ยที่วัดในสนามคือ 427.5 mg / l (N = 40, SD = 28.4) ค่า R² ของแบบจำลอง Generalized Linear Model (GLM) , Decision Tree (DT) , Support Vector Machine (SVM) , Random Forest (RF) ถูกแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 30-31 ผลการวิจัยพบว่า The Random Forest Machine model ให้ผลลัพธ์ที่สมดุที่สุด (R² = 0.88 และ RMSE = 27.92) ของกล้อง RGB และ Support Vector Machine model ให้ผลลัพธ์ที่สมดุที่สุด (R² = 0.97 และ RMSE = 14.24) ของกล้อง RGN

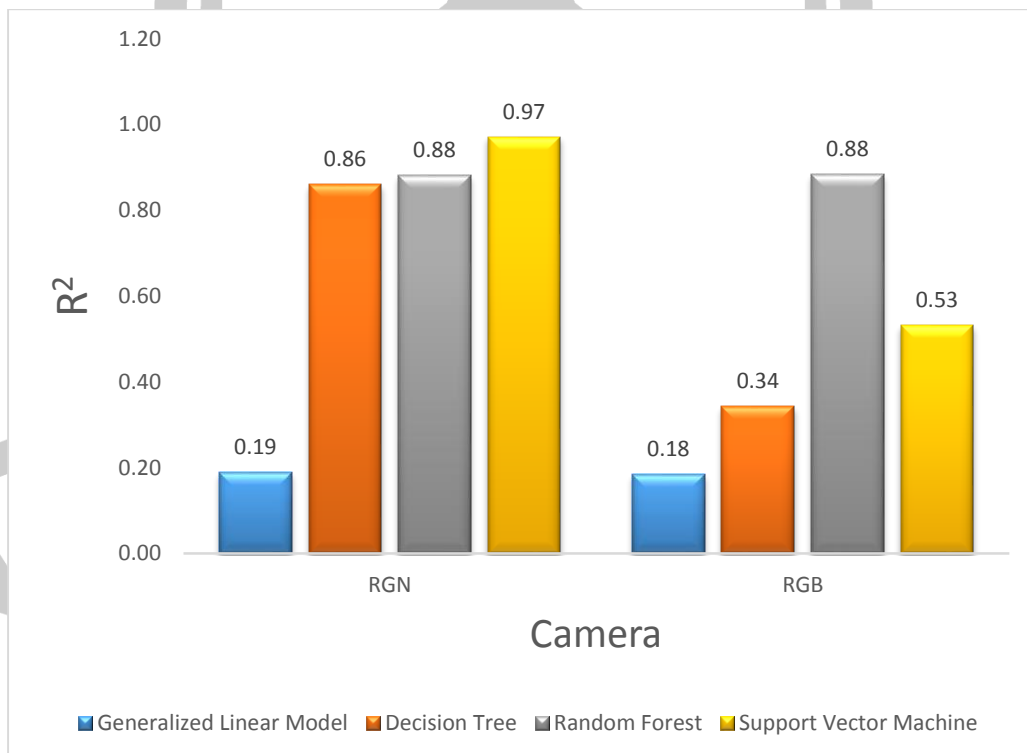
ตารางที่ 8 แสดงเปรียบเทียบระหว่างค่า R² และค่า RMSE ของอัลกอริธึมการถดถอยแบบเรียนรู้ทั้งสี่แบบซึ่งระบุ P <0.01 ของ กล้อง RGN และ กล้อง RGB

Model	RGB		RGN	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Generalized Linear Model (GLM)	0.18	37.70	0.19	59.36
Decision Tree (DT)	0.34	44.04	0.86	15.13
Random Forest (RF)	0.88	27.92	0.88	29.12
Support Vector Machine (SVM)	0.53	29.41	0.97	14.24

พหุ ประถมศึกษา



ภาพที่ 30 กราฟค่าความสัมพันธ์ RMSE ของ กล้อง RGN และ กล้อง RGB



ภาพที่ 31 กราฟค่าความสัมพันธ์ R^2 ของ กล้อง RGN และ กล้อง RGB

4.1.1 ผลการประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสีเขียวด้วยวิธี Generalized linear model

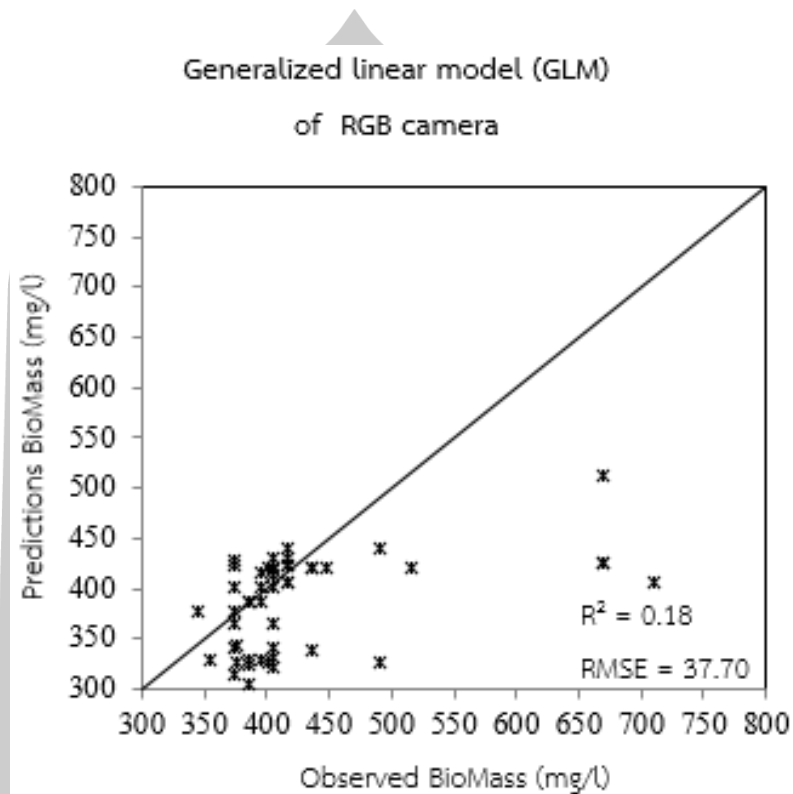
ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณปริมาณชีวมวลของสาหร่ายสีเขียว หรือ Algae bloom ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Generalized linear model ทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะได้ดังนี้

1. จากตารางที่ 9 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ Blue จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสีเขียว เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 9 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Generalized Linear Model ด้วยกล้อง RGB

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	439.6	17	670.0	511.6	33	670.0	425.5
2	406.0	420.5	18	490.0	326.4	34	406.0	330.3
3	416.0	407.2	19	416.0	439.4	35	406.0	322.0
4	437.0	420.3	20	448.0	420.5	36	437.0	338.6
5	437.0	420.7	21	417.0	423.6	37	416.0	407.2
6	416.0	429.3	22	406.0	418.4	38	406.0	413.7
7	406.0	401.0	23	406.0	430.7	39	402.0	420.3
8	406.0	366.0	24	375.0	401.0	40	396.0	401.0
9	406.0	341.0	25	345.0	376.8	41	375.0	376.8
10	402.0	326.0	26	375.0	366.0	42	375.0	341.0
11	396.0	388.0	27	376.0	343.5	43	386.0	388.0
12	355.0	328.5	28	376.0	326.0	44	375.0	428.5
13	375.0	315.3	29	385.0	388.0	45	396.0	415.3
14	385.0	305.1	30	386.0	323.2	46	670.0	424.4
15	375.0	422.0	31	396.0	328.5	47	417.0	422.0
16	386.0	329.3	32	711.0	405.1	48	515.3	420.0

จะได้ค่าจากกล้อง RGB ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.18 และค่า RMSE มีค่า 37.70 ดังภาพที่ 32



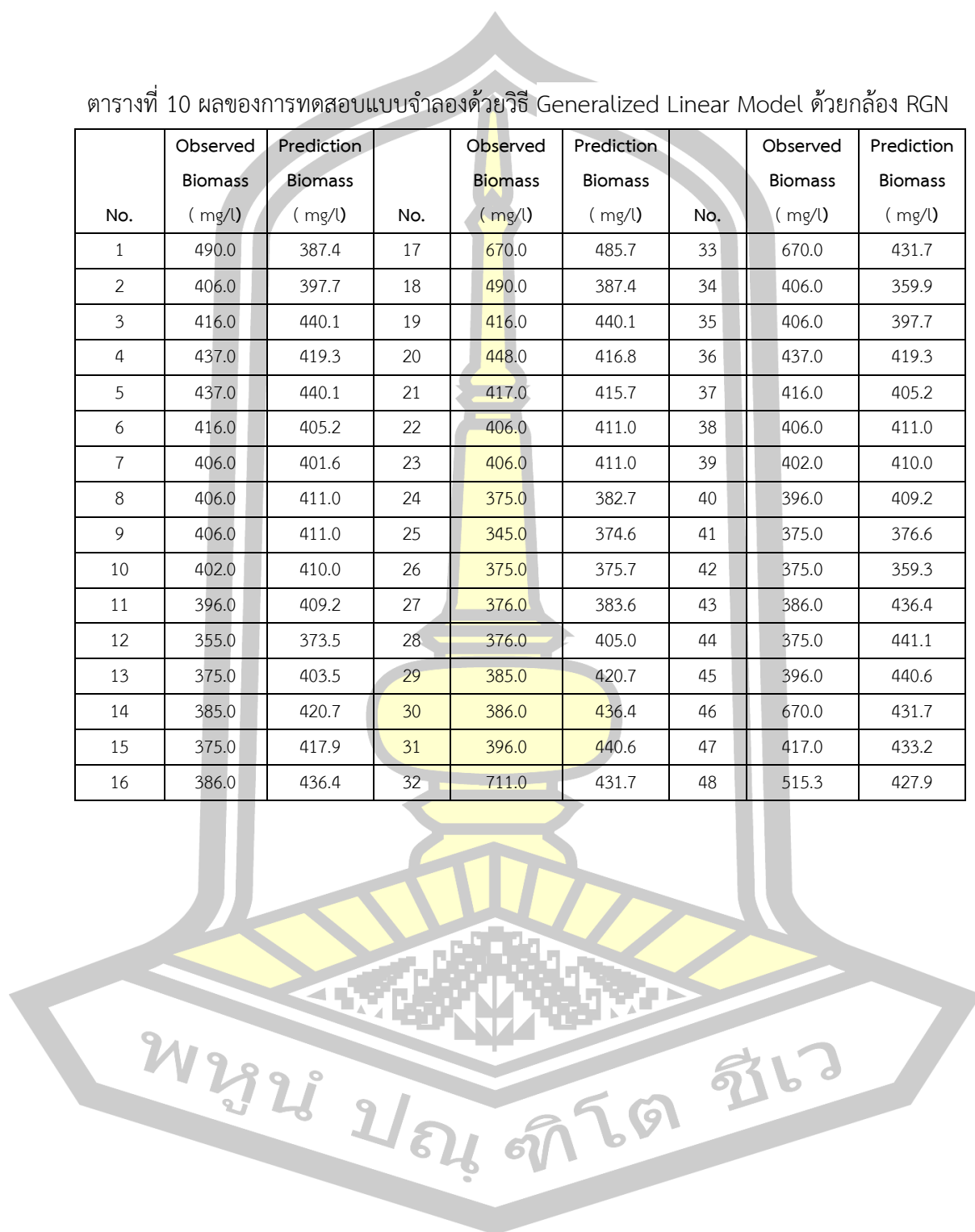
ภาพที่ 32 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/l) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/l) ด้วยวิธี Generalized linear model

2. จากตารางที่ 10 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ NIR จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสายห่วยสะพรั่ง เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

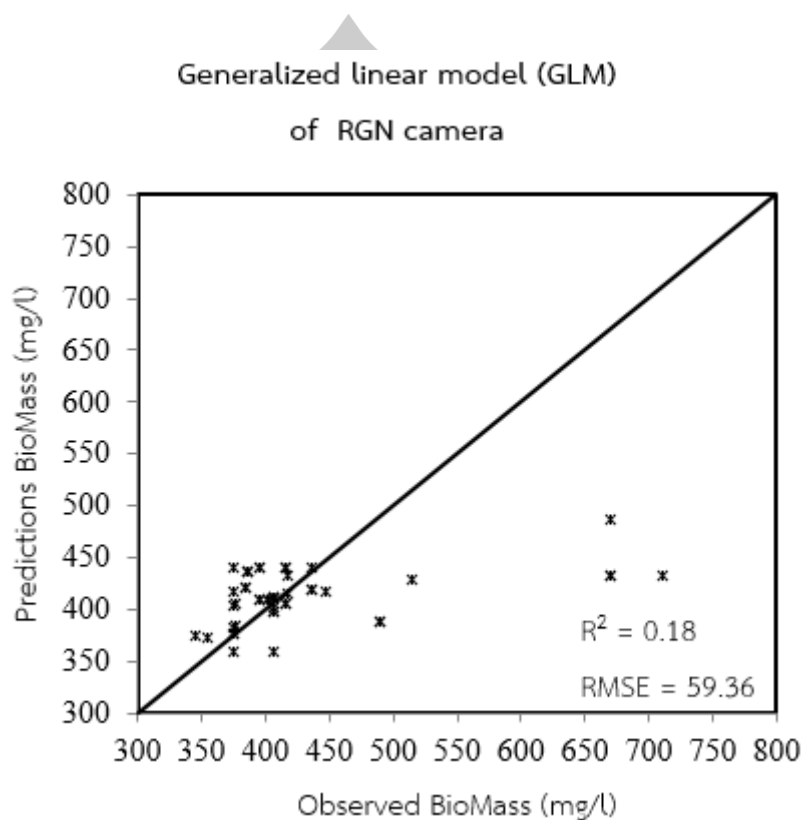
พูน ปณ ทิโต ชีเว

ตารางที่ 10 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Generalized Linear Model ด้วยกล้อง RGN

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	387.4	17	670.0	485.7	33	670.0	431.7
2	406.0	397.7	18	490.0	387.4	34	406.0	359.9
3	416.0	440.1	19	416.0	440.1	35	406.0	397.7
4	437.0	419.3	20	448.0	416.8	36	437.0	419.3
5	437.0	440.1	21	417.0	415.7	37	416.0	405.2
6	416.0	405.2	22	406.0	411.0	38	406.0	411.0
7	406.0	401.6	23	406.0	411.0	39	402.0	410.0
8	406.0	411.0	24	375.0	382.7	40	396.0	409.2
9	406.0	411.0	25	345.0	374.6	41	375.0	376.6
10	402.0	410.0	26	375.0	375.7	42	375.0	359.3
11	396.0	409.2	27	376.0	383.6	43	386.0	436.4
12	355.0	373.5	28	376.0	405.0	44	375.0	441.1
13	375.0	403.5	29	385.0	420.7	45	396.0	440.6
14	385.0	420.7	30	386.0	436.4	46	670.0	431.7
15	375.0	417.9	31	396.0	440.6	47	417.0	433.2
16	386.0	436.4	32	711.0	431.7	48	515.3	427.9



จะได้ค่าจากกล้อง RGN ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.18 และค่า RMSE มีค่า 59.36 ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี Generalized linear model

4.1.2 ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของสาหร่ายสะพรั่ง ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM)

SVM เป็นอัลกอริทึมในการตัดแยกที่มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในด้านการประมวลผลเป็นภาพดิจิทัล หลักการของ SVM คือการให้อินพุตที่ใช้ฝึกเป็นเวกเตอร์ในสเปซ N มิติ เช่นถ้าในกรณีของ 2 มิติ และ 3 มิติ จะเป็นจุดที่อยู่ในระนาบ xy และสเปซ xyz ตามลำดับ จากนั้นทำการสร้างไฮเปอร์เพลน(Hyperplane) ที่จะแยกกลุ่มของเวกเตอร์อินพุตออกเป็นประเภทต่าง ๆ ในกรณีที่เป็น 2 มิติ และ 3 มิติ ไฮเปอร์เพลน คือเส้นตรงและระนาบตามลำดับ ข้อเด่นของ SVM จะทำการเก็บแมพ (Map) เวกเตอร์ในสเปซอินพุตให้เข้าสู่ Feature Space โดยใช้ฟังก์ชันหรือเรียกว่า เคอร์เนล (kernel) ชนิดต่างๆ เช่น โพลีโนเมียล(Polynomial) เรเดียล (Radial) เป็นต้น ใน Feature Space ดังกล่าวเวกเตอร์อินพุต สามารถแยกประเภทได้โดยไฮเปอร์เพลน ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายระยะเอียดสูงจากอากาศ

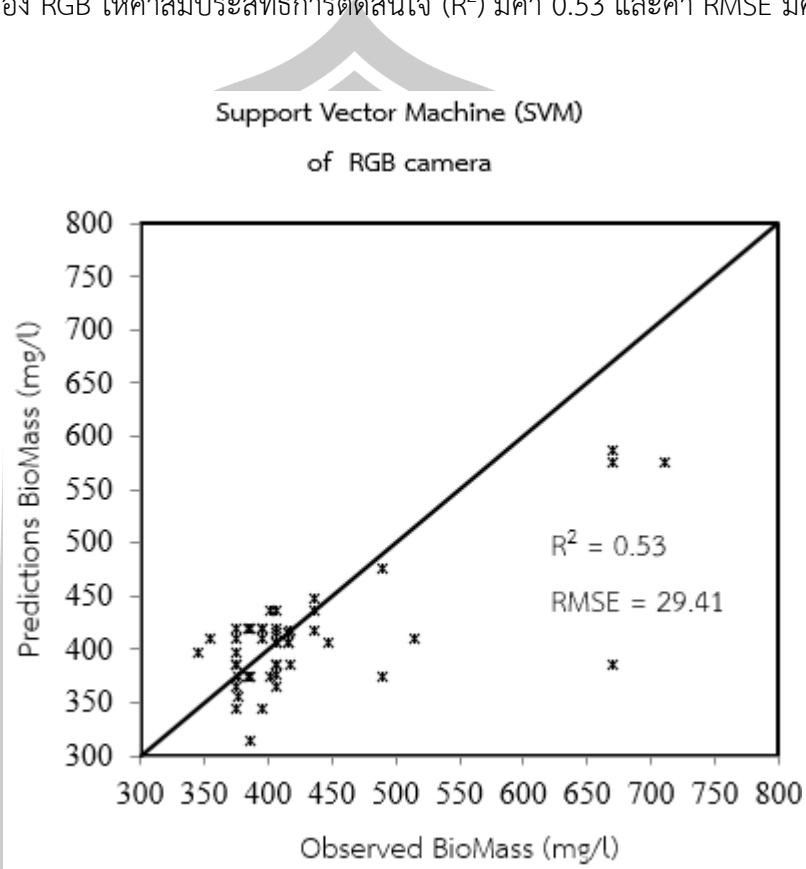
ยานไร้คนขับเพื่อประมาณปริมาณชีวมวลของสาหร่ายสีเขียวหรือ Algae bloom ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

1. จากตารางที่ 11 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ Blue จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสีเขียวหรือ Algae ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 11 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM) ด้วยกล้อง RGB

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	475.0	17	670.0	586.0	33	670.0	386.0
2	406.0	406.0	18	490.0	375.0	34	406.0	376.0
3	416.0	416.0	19	416.0	406.0	35	406.0	385.9
4	437.0	437.0	20	448.0	406.0	36	437.0	417.0
5	437.0	448.0	21	417.0	417.0	37	416.0	416.0
6	416.0	406.0	22	406.0	416.0	38	406.0	437.0
7	406.0	419.0	23	406.0	406.0	39	402.0	437.0
8	406.0	385.0	24	375.0	419.0	40	396.0	419.0
9	406.0	365.0	25	345.0	396.0	41	375.0	396.0
10	402.0	375.0	26	375.0	385.0	42	375.0	365.0
11	396.0	418.8	27	376.0	355.0	43	386.0	418.8
12	355.0	409.8	28	376.0	375.0	44	375.0	409.8
13	375.0	345.0	29	385.0	418.8	45	396.0	345.0
14	385.0	375.0	30	386.0	315.0	46	670.0	575.0
15	375.0	385.9	31	396.0	409.8	47	417.0	385.9
16	386.0	375.0	32	711.0	575.0	48	515.3	409.6

จะได้ค่าจากกล้อง RGB ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.53 และค่า RMSE มีค่า 29.41 ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/l) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/l) ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM)

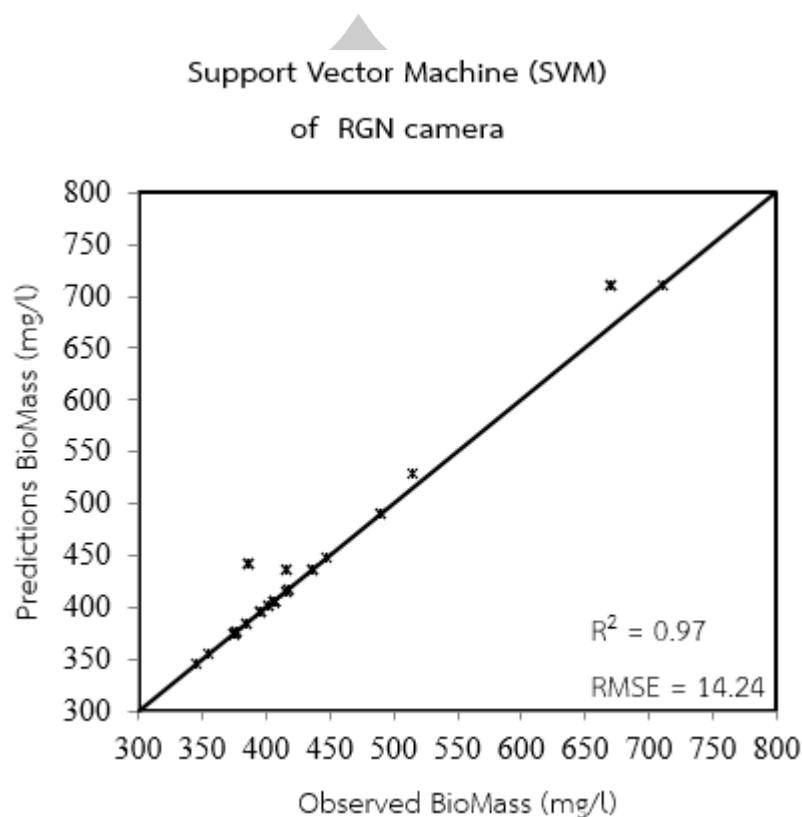


2. จากตารางที่ 12 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ NIR จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 12 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM) ด้วยกล้อง RGN

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	490.0	17	670.0	711.0	33	670.0	711.0
2	406.0	406.0	18	490.0	490.0	34	406.0	406.0
3	416.0	437.0	19	416.0	437.0	35	406.0	406.0
4	437.0	437.0	20	448.0	448.0	36	437.0	437.0
5	437.0	437.0	21	417.0	417.0	37	416.0	416.0
6	416.0	416.0	22	406.0	406.0	38	406.0	406.0
7	406.0	406.0	23	406.0	406.0	39	402.0	402.0
8	406.0	406.0	24	375.0	375.0	40	396.0	396.0
9	406.0	406.0	25	345.0	345.0	41	375.0	375.0
10	402.0	402.0	26	375.0	375.0	42	375.0	375.0
11	396.0	396.0	27	376.0	376.0	43	386.0	441.2
12	355.0	355.0	28	376.0	376.0	44	375.0	375.0
13	375.0	375.0	29	385.0	385.0	45	396.0	396.0
14	385.0	385.0	30	386.0	441.2	46	670.0	711.0
15	375.0	375.0	31	396.0	396.0	47	417.0	417.0
16	386.0	441.2	32	711.0	711.0	48	515.3	529.0

จะได้ค่าจากกล้อง RGN ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.97 และค่า RMSE มีค่า 14.24 ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/L)

ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM)

4.1.3 ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของสาหร่ายสีเขียว ด้วยวิธี DECISION TREE

ต้นไม้ตัดสินใจเป็นวิธีการพื้นฐานอย่างหนึ่งสำหรับการทำเหมืองข้อมูล ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณปริมาณชีวมวลของสาหร่ายสีเขียว หรือ Algae bloom ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

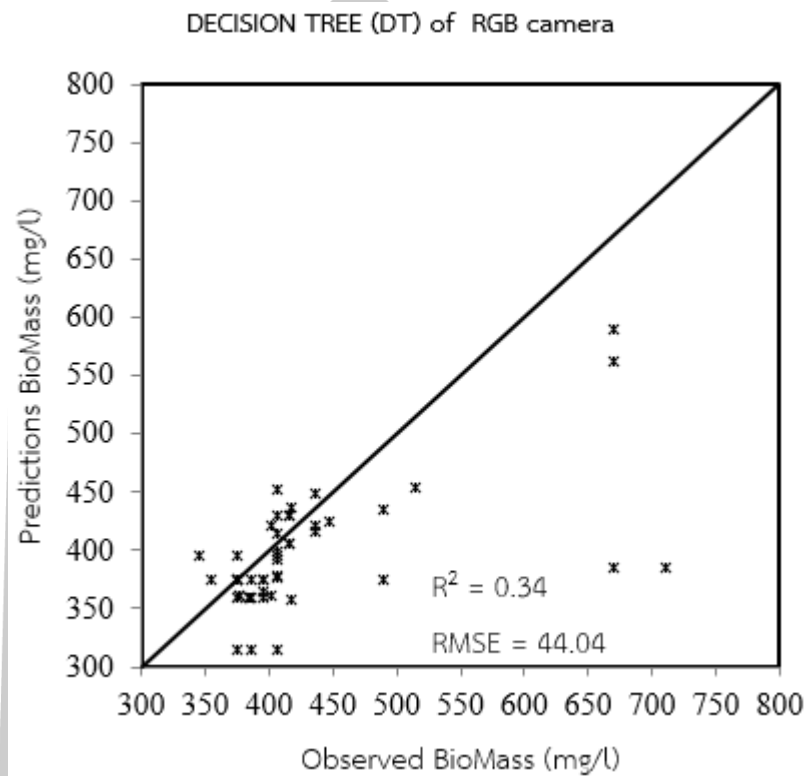
1. จากตารางที่ 13 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ Blue จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสีเขียว หรือ Algae ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 13 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี DECISION TREE ด้วยกล้อง RGB

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	435.00	17	670.0	589.33	33	670.0	386.00
2	406.0	414.40	18	490.0	375.00	34	406.0	376.00
3	416.0	430.00	19	416.0	406.00	35	406.0	315.00
4	437.0	421.25	20	448.0	425.00	36	437.0	417.00
5	437.0	448.00	21	417.0	436.00	37	416.0	430.00
6	416.0	406.00	22	406.0	452.00	38	406.0	430.00
7	406.0	379.00	23	406.0	399.33	39	402.0	421.25
8	406.0	395.00	24	375.0	375.00	40	396.0	375.00
9	406.0	392.00	25	345.0	396.00	41	375.0	396.00
10	402.0	361.67	26	375.0	375.00	42	375.0	375.00
11	396.0	360.00	27	376.0	361.67	43	386.0	360.00
12	355.0	375.00	28	376.0	361.67	44	375.0	375.00
13	375.0	360.00	29	385.0	360.00	45	396.0	365.40
14	385.0	360.00	30	386.0	315.00	46	670.0	561.80
15	375.0	315.00	31	396.0	375.00	47	417.0	358.20
16	386.0	375.00	32	711.0	385.00	48	515.3	454.60

พหุ ประถมศึกษา

จะได้ค่าจากกล้อง RGB ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.34 และค่า RMSE มีค่า 44.04 ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี DECISION TREE

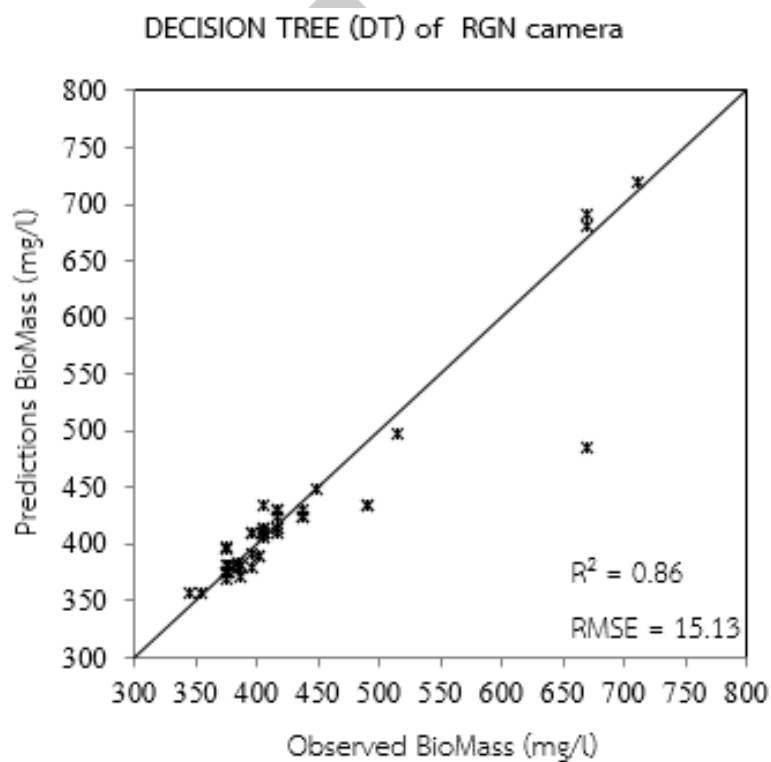
2. จากตารางที่ 14 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ NIR จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสะพรั่ง หรือ Algae ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 14 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี DECISION TREE ด้วยกล้อง RGN

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	434.0	17	670.0	680.0	33	670.0	690.0
2	406.0	414.0	18	490.0	434.0	34	406.0	434.0
3	416.0	430.0	19	416.0	430.0	35	406.0	414.0
4	437.0	423.7	20	448.0	448.0	36	437.0	423.7
5	437.0	430.0	21	417.0	409.0	37	416.0	414.0
6	416.0	414.0	22	406.0	409.0	38	406.0	409.0
7	406.0	406.0	23	406.0	409.0	39	402.0	389.3
8	406.0	409.0	24	375.0	375.0	40	396.0	409.0
9	406.0	409.0	25	345.0	355.8	41	375.0	375.0
10	402.0	389.3	26	375.0	375.0	42	375.0	369.0
11	396.0	409.0	27	376.0	382.0	43	386.0	382.0
12	355.0	355.8	28	376.0	376.0	44	375.0	382.0
13	375.0	396.0	29	385.0	379.0	45	396.0	391.0
14	385.0	384.0	30	386.0	372.0	46	670.0	485.0
15	375.0	398.0	31	396.0	380.0	47	417.0	423.7
16	386.0	382.0	32	711.0	720.0	48	515.3	497.3

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

จะได้ค่าจากกล่อง RGN ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.86 และค่า RMSE มีค่า 15.13 ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล่อง RGN กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี DECISION TREE

4.1.4 ผลการประมาณค่าความเข้มข้นของสาหร่ายสีเขียว ด้วยวิธี Random Forest

หลักการของ Random Forest คือ สร้าง model จาก Decision Tree หลายๆ model ย่อยๆ (ตั้งแต่ 10 model ถึง มากกว่า 1000 model) โดยแต่ละ model จะได้รับ data set ไม่เหมือนกัน ซึ่งเป็น subset ของ data set ทั้งหมด ตอนทำ prediction ก็ให้แต่ละ Decision Tree ทำ prediction ของใครของมัน และคำนวณผล prediction ด้วยการ vote output ที่ ถูกเลือกโดย Decision Tree มากที่สุด (กรณี classification) หรือ หาค่า mean จาก output ของแต่ละ Decision Tree (กรณี regression) Decision Tree แต่ละ model ใน Random Forest ถือว่าเป็น weak learner ประมาณว่าเป็น model ที่ไม่เก่งเท่าไร แต่พอนำเอาแต่ละ Decision Tree มาทำ prediction ร่วมกัน ก็จะได้ model รวมที่มีความเก่ง และแม่นยำมากกว่า Decision Tree ที่ทำ prediction แบบเดี่ยว ๆ ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายระยะเฉียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณปริมาณชีวมวลของ

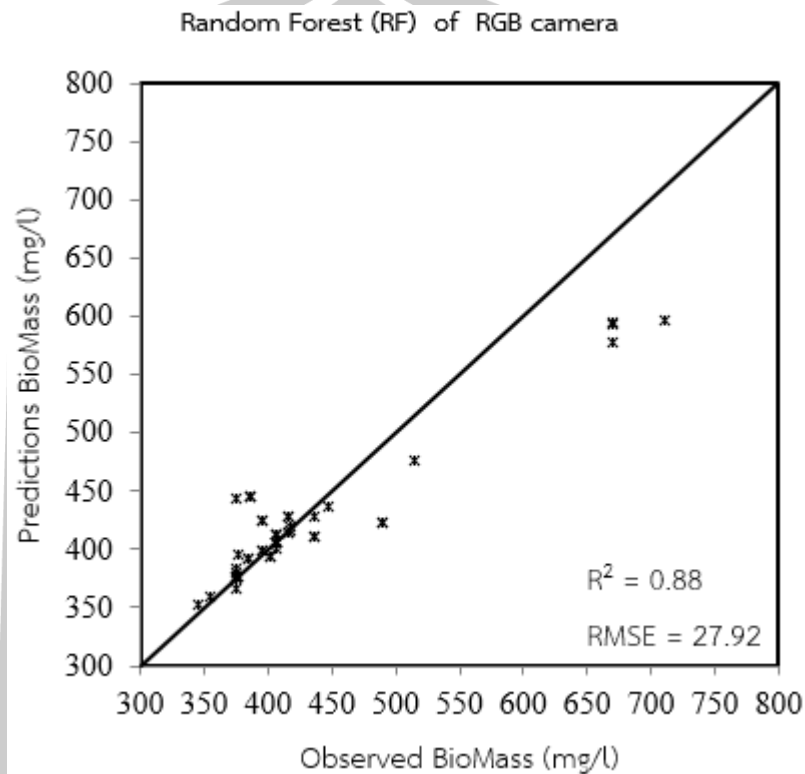
สาหร่ายสีเขียวหรือ Algae bloom ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

1. จากตารางที่ 15 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ Blue จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสีเขียวหรือ Algae ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 15 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Random Forest ด้วยกล้อง RGB

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	423.9	17	670.0	578.5	33	670.0	593.6
2	406.0	413.4	18	490.0	423.9	34	406.0	399.9
3	416.0	428.7	19	416.0	428.7	35	406.0	413.4
4	437.0	411.8	20	448.0	436.7	36	437.0	411.8
5	437.0	428.7	21	417.0	415.5	37	416.0	414.7
6	416.0	414.7	22	406.0	406.2	38	406.0	406.2
7	406.0	412.1	23	406.0	406.2	39	402.0	394.4
8	406.0	406.2	24	375.0	375.8	40	396.0	398.6
9	406.0	406.2	25	345.0	351.8	41	375.0	375.2
10	402.0	394.4	26	375.0	376.0	42	375.0	367.0
11	396.0	398.6	27	376.0	396.2	43	386.0	444.8
12	355.0	359.2	28	376.0	376.9	44	375.0	442.9
13	375.0	379.5	29	385.0	392.5	45	396.0	424.4
14	385.0	392.5	30	386.0	444.8	46	670.0	595.5
15	375.0	383.6	31	396.0	424.4	47	417.0	419.5
16	386.0	444.8	32	711.0	597.5	48	515.3	475.6

จะได้ค่าจากกล้อง RGB ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.88 และค่า RMSE มีค่า 27.92 ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/L) ของกล้อง RGB กับ ชีวมวล (mg/L) ด้วยวิธี Random Forest

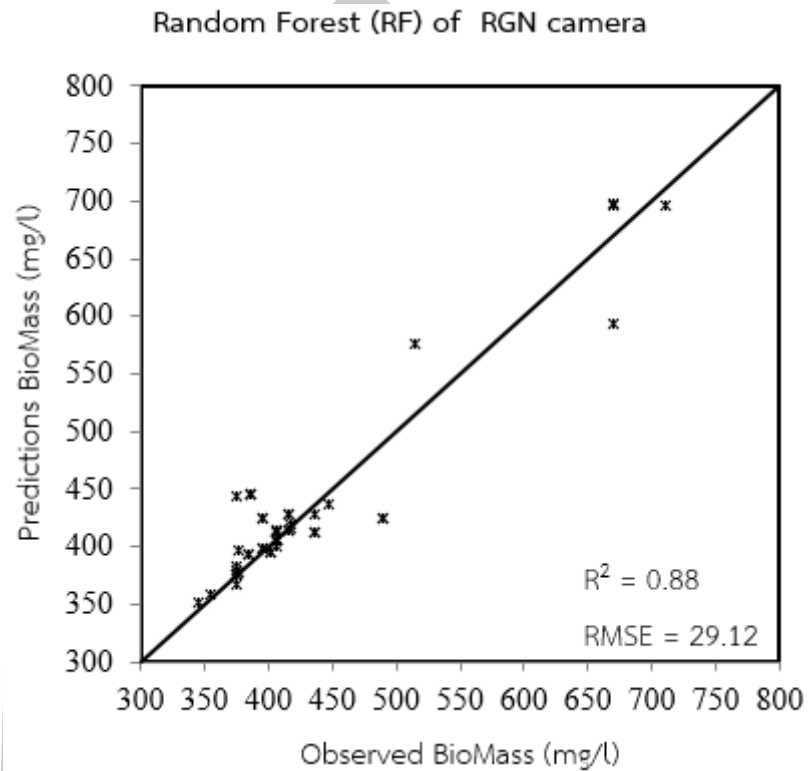
2. จากตารางที่ 16 โดยกำหนดให้ผลการสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ NIR จากชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) เป็น Independent Variable (X) และ ค่าของสาหร่ายสีเขียวหรือ Algae ในบริเวณสระน้ำข้าง อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็น Dependent variable (Y) ด้วยฟังก์ชัน Non Parametric ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 16 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี Random Forest ด้วยกล้อง RGN

No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)	No.	Observed Biomass (mg/l)	Prediction Biomass (mg/l)
1	490.0	423.9	17	670.0	698.5	33	670.0	593.6
2	406.0	413.4	18	490.0	423.9	34	406.0	399.9
3	416.0	428.7	19	416.0	428.7	35	406.0	413.4
4	437.0	411.8	20	448.0	436.7	36	437.0	411.8
5	437.0	428.7	21	417.0	415.5	37	416.0	414.7
6	416.0	414.7	22	406.0	406.2	38	406.0	406.2
7	406.0	412.1	23	406.0	406.2	39	402.0	394.4
8	406.0	406.2	24	375.0	375.8	40	396.0	398.6
9	406.0	406.2	25	345.0	351.8	41	375.0	375.2
10	402.0	394.4	26	375.0	376.0	42	375.0	367.0
11	396.0	398.6	27	376.0	396.2	43	386.0	444.8
12	355.0	359.2	28	376.0	376.9	44	375.0	442.9
13	375.0	379.5	29	385.0	392.5	45	396.0	424.4
14	385.0	392.5	30	386.0	444.8	46	670.0	695.5
15	375.0	383.6	31	396.0	424.4	47	417.0	419.5
16	386.0	444.8	32	711.0	695.5	48	515.3	575.6



จะได้ค่าจากกล้อง RGB ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.88 และค่า RMSE มีค่า 29.12 ดังแสดงรูปภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงค่าคาดการณ์ของชีวมวล (mg/l) ของกล้อง RGN กับ ชีวมวล (mg/l) ด้วยวิธี Random Forest



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการอภิปราย

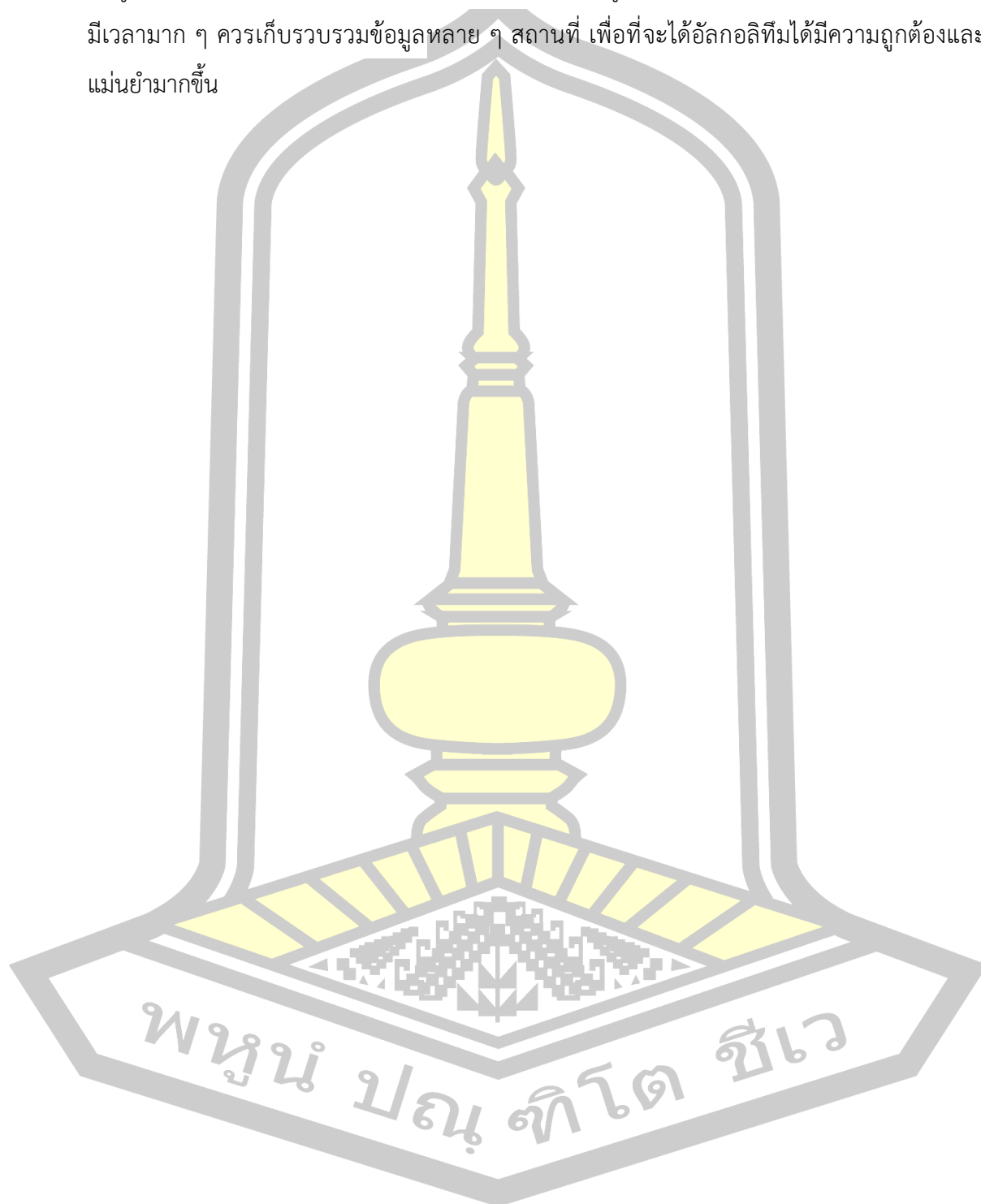
มีการศึกษาการใช้การรับรู้ระยะไกลจากอากาศยานไร้คนขับติดโดยติดตามการเพิ่มขึ้นของชีวมวลสาหร่ายสีเขียวหรือ Algae bloom ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งเชิงพื้นที่และเวลาจากใช้ภาพถ่ายความร้อนและการจำแนกประเภท hyperspectral (Bollard-Breen, Brooks et al. 2015, Aguirre-Gómez, Salmerón-García et al. 2017, Lyu, Malang et al. 2017, Shang, Lee et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) และมีหลายรายงานการวิจัย (Kutser 2009, Flynn and Chapra 2014, Van der Merwe and Price 2015, Aguirre-Gómez, Salmerón-García et al. 2017, Lyu, Malang et al. 2017, Shang, Lee et al. 2017, Xu, Gao et al. 2018) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ข้อมูลสเปกตรัมจากกล้อง RGB และ RGN โดยใช้การตรวจจับระยะไกลแบบ UAV ร่วมกับ Machine learning เพื่อประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสีเขียว สำหรับอัลกอริทึมถดถอยของ Machine learning นั้นใช้ 4 วิธี (Generalized Linear Model (GLM), Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF)) ประเมินและสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม เพื่อประมาณค่าชีวมวลของสาหร่าย ผลการวิจัยพบว่า The Random Forest Machine model ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ($R^2 = 0.88$ และ $RMSE = 27.92$) ของกล้อง RGB และ Support Vector Machine model ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ($R^2 = 0.97$ และ $RMSE = 14.24$) ของกล้อง RGN อธิบายไว้ในบทที่ 4

โดยสรุปการศึกษานี้เป็นครั้งแรกที่แสดงให้เห็นถึงการผสมผสานระหว่าง Machine learning กับการใช้การรับรู้ระยะไกลบนพื้นฐานของ UAV สำหรับการประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสีเขียว แบบจำลองทางสถิติที่น่าเสนอแสดงความสัมพันธ์ทางสถิติ (เช่น R^2 ที่ดีที่สุด = 0.97) ที่มีค่า RMSE ต่ำ (เช่น RMS ต่ำสุด = 14.24 ของกล้อง RGN) ดังนั้นจากผลที่คาดหวังเห็นว่าการศึกษานี้จะเป็นแนวทางที่มีประโยชน์สำหรับการประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสีเขียว

5.2 ข้อเสนอแนะ

การประมาณค่าชีวมวลของสาหร่ายสีเขียวโดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ ในครั้งนี้ได้มีข้อจำกัดในระยะเวลาของผู้ทำวิจัยเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสรรน้ำ ข้างอาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็นพื้นที่ทำการวิจัยเพราะจากการเฝ้าสังเกตของพื้นที่ได้มี Harmful Algal blooms (HABs) หรือ การสะสมของสาหร่ายที่เป็นอันตราย เป็นจำนวนมาก เพราะเวลา

น้อยเกินไปจึงทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างอาจน้อยเกินไป และสถานที่เก็บรวบรวมข้อมูลจึงไม่หลากหลาย ซึ่งมีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ข้อมูลโดยตรง แต่ในการวิจัยครั้งต่อไปถ้าหากมีเวลามาก ๆ ควรเก็บรวบรวมข้อมูลหลาย ๆ สถานที่ เพื่อที่จะได้อัลกอริทึมที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- Aguirre-Gómez, R., O. Salmerón-García, G. Gómez-Rodríguez and A. Peralta-Higuera (2017). "Use of unmanned aerial vehicles and remote sensors in urban lakes studies in Mexico." *International journal of remote sensing* **38**(8-10): 2771-2779.
- Bartram, J. and I. Chorus (1999). *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*, CRC Press.
- Blondeau-Patissier, D., J. F. Gower, A. G. Dekker, S. R. Phinn and V. E. Brando (2014). "A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans." *Progress in oceanography* **123**: 123-144.
- Bollard-Breen, B., J. D. Brooks, M. R. Jones, J. Robertson, S. Betschart, O. Kung, S. C. Cary, C. K. Lee and S. B. Pointing (2015). "Application of an unmanned aerial vehicle in spatial mapping of terrestrial biology and human disturbance in the McMurdo Dry Valleys, East Antarctica." *Polar biology* **38**(4): 573-578.
- Briand, J.-F., S. Jacquet, C. Bernard and J.-F. Humbert (2003). "Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems." *Veterinary research* **34**(4): 361-377.
- Chauhan, U. and N. Pathak (2010). "Effect of different conditions on the production of chlorophyll by *Spirulina platensis*." *J. Algal Biomass Utiln* **1**(4): 89-99.
- de Figueiredo, D. R., U. M. Azeiteiro, S. M. Esteves, F. J. Gonçalves and M. J. Pereira (2004). "Microcystin-producing blooms—a serious global public health issue." *Ecotoxicology and environmental safety* **59**(2): 151-163.
- Dodds, W. K., W. W. Bouska, J. L. Eitzmann, T. J. Pilger, K. L. Pitts, A. J. Riley, J. T. Schloesser and D. J. Thornbrugh (2008). *Eutrophication of US freshwaters: analysis of potential economic damages*, ACS Publications.
- Downing, J. A., S. B. Watson and E. McCauley (2001). "Predicting cyanobacteria dominance in lakes." *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* **58**(10): 1905-1908.
- Evans, R., K. Oakley and G. Clark-Walker (1985). "Elevated levels of petite formation in

strains of *Saccharomyces cerevisiae* restored to respiratory competence. I. Association of both high and moderate frequencies of petite mutant formation with the presence of aberrant mitochondrial DNA." *Genetics* **111**(3): 389-402.

Felip, M. and J. Catalan (2000). "The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima." *Journal of Plankton Research* **22**(1): 91-106.

Flynn, K. and S. Chapra (2014). "Remote sensing of submerged aquatic vegetation in a shallow non-turbid river using an unmanned aerial vehicle." *Remote Sensing* **6**(12): 12815-12836.

GEOMATICS, G. A. C. G. G. M. (2555). "Mapping Satellite (ดาวเทียมสำรวจแผนที่) สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2562. จาก. <http://geomatics-tech.blogspot.com/2012/05/mapping-satellite.html#ixzz648bNa2V0>."

Goldberg, S. J., J. T. Kirby and S. C. Licht (2016). "Applications of Aerial Multi-Spectral Imagery for Algal Bloom Monitoring in Rhode Island." SURFO Technical Report No. 16-01: 28.

Graham, J. L., J. R. Jones, S. B. Jones, J. A. Downing and T. E. Clevenger (2004). "Environmental factors influencing microcystin distribution and concentration in the Midwestern United States." *Water research* **38**(20): 4395-4404.

Honkavaara, E., T. Hakala, J. Kirjasniemi, A. Lindfors, J. Mäkynen, K. Nurminen, P. Ruokokoski, H. Saari and L. Markelin (2013). "New light-weight stereoscopic spectrometric airborne imaging technology for high-resolution environmental remote sensing case studies in water quality mapping." *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* **1**: W1.

Hudnell, H. K. (2010). "The state of US freshwater harmful algal blooms assessments, policy and legislation." *Toxicon* **55**(5): 1024-1034.

Jang, S. W., H. J. Yoon, S. N. Kwak, B. Y. Sohn, S. G. Kim and D. H. Kim (2016). "Algal bloom monitoring using UAVs imagery." *Adv. Sci. Technol. Lett* **138**: 30-33.

Kanoshina, I., U. Lips and J.-M. Leppänen (2003). "The influence of weather conditions (temperature and wind) on cyanobacterial bloom development in the Gulf of Finland (Baltic Sea)." *Harmful Algae* **2**(1): 29-41.

Kasprzak, P., J. Padisák, R. Koschel, L. Krienitz and F. Gervais (2008). "Chlorophyll a

- concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass?" *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* **38**(3-4): 327-338.
- Klemas, V. (2011). "Remote sensing of algal blooms: an overview with case studies." *Journal of Coastal Research* **28**(1A): 34-43.
- kokzard.blogspot. (2011). "อัลกอริทึม Support Vector Machine (SVM) ", from <http://kokzard.blogspot.com/2011/10/jfjkdshfkjsldf.html>.
- Kutser, T. (2009). "Passive optical remote sensing of cyanobacteria and other intense phytoplankton blooms in coastal and inland waters." *International Journal of Remote Sensing* **30**(17): 4401-4425.
- Lee, Z., J. Marra, M. J. Perry and M. Kahru (2015). "Estimating oceanic primary productivity from ocean color remote sensing: A strategic assessment." *Journal of Marine Systems* **149**: 50-59.
- Lyu, P., Y. Malang, H. H. Liu, J. Lai, J. Liu, B. Jiang, M. Qu, S. Anderson, D. D. Lefebvre and Y. Wang (2017). "Autonomous cyanobacterial harmful algal blooms monitoring using multirotor UAS." *International journal of remote sensing* **38**(8-10): 2818-2843.
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning*, McGraw hill.
- Nam-Gu, B., L. CO, D.-G. Jungangdae-ro and S.-G. Gwanganhaebyeon-ro (2016). "Application of Unmanned Aerial Vehicle Imagery for Algal Bloom Monitoring in River Basin." *International Journal of Control and Automation* **9**(12): 203-220.
- Paerl, H. W., R. S. Fulton, P. H. Moisaner and J. Dyble (2001). "Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria." *The Scientific World Journal* **1**: 76-113.
- Palmer, R. (1977). *The Rambling Soldier: Life in the Lower Ranks, 1750-1900, Through Soldiers' Songs and Writings*, Kestrel Books.
- Pölonen, I., H.-H. Puupponen, E. Honkavaara, A. Lindfors, H. Saari, L. Markelin, T. Hakala and K. Nurminen (2014). UAV-based hyperspectral monitoring of small freshwater area. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI*, International Society for Optics and Photonics.
- Radwan, S. and R. Kornijów (1998). "Hydrobiological features of lakes--nowadays status and currents of changes." *Łęczyna--Włodawa Lakes. Natural Monography (Jeziora Łęczyńsko-Włodawskie. Monografia przyrodnicza)*. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Lublin: 129-144.

Ramaraj, R., D. Tsai and P. H. Chen (2010). "What the truth of chlorophyll a for biologist to measure the algae biomass." *J. Chinese Soil, Water Conserv*: 1-10.

Remotesensing56170226.blogspot. (2557). "การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS)." Retrieved วันศุกร์ที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557, from <http://remotesensing56170226.blogspot.com/2014/11/remote-sensing-remotesensing.html>.

Shang, S., Z. Lee, G. Lin, C. Hu, L. Shi, Y. Zhang, X. Li, J. Wu and J. Yan (2017). "Sensing an intense phytoplankton bloom in the western Taiwan Strait from radiometric measurements on a UAV." *Remote Sensing of Environment* **198**: 85-94.

Shen, L., H. Xu and X. Guo (2012). "Satellite remote sensing of harmful algal blooms (HABs) and a potential synthesized framework." *Sensors* **12**(6): 7778-7803.

Siebert, S. and J. Teizer (2014). "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system." *Automation in construction* **41**: 1-14.

Su, T.-C. and H.-T. Chou (2015). "Application of multispectral sensors carried on unmanned aerial vehicle (UAV) to trophic state mapping of small reservoirs: a case study of Tain-Pu reservoir in Kinmen, Taiwan." *Remote Sensing* **7**(8): 10078-10097.

Trevino-Garrison, I., J. DeMent, F. Ahmed, P. Haines-Lieber, T. Langer, H. Ménager, J. Neff, D. Van Der Merwe and E. Carney (2015). "Human illnesses and animal deaths associated with freshwater harmful algal blooms—Kansas." *Toxins* **7**(2): 353-366.

Van der Merwe, D. and K. Price (2015). "Harmful algal bloom characterization at ultra-high spatial and temporal resolution using small unmanned aircraft systems." *Toxins* **7**(4): 1065-1078.

Wetzel, R. (1975). "WB Sauders Company, Philadelphia, London, and Toronto. Xii." *Limnology*.

WitchapongDaroontham. (2018). "เจาะลึก Random Forest !!!— Part 2 of “รู้จัก Decision Tree, Random Forest, และ XGBoost!!!”, from <https://medium.com/@witchapongdaroontham>.

Xu, F., Z. Gao, X. Jiang, W. Shang, J. Ning, D. Song and J. Ai (2018). "A UAV and S2A data-based estimation of the initial biomass of green algae in the South Yellow Sea." *Marine pollution bulletin* **128**: 408-414.

ทบทองชั้นเจริญ. (2558). "การสำรวจข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry)." from

<http://www.tobthong.rbru.ac.th>.

มหาวิทยาลัยมหิดล(MahidolSustainableUniversit) (2013). "คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย."

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. (2554). "ต้นไม้ตัดสินใจ." from <https://th.wikipedia.org/wiki/>.

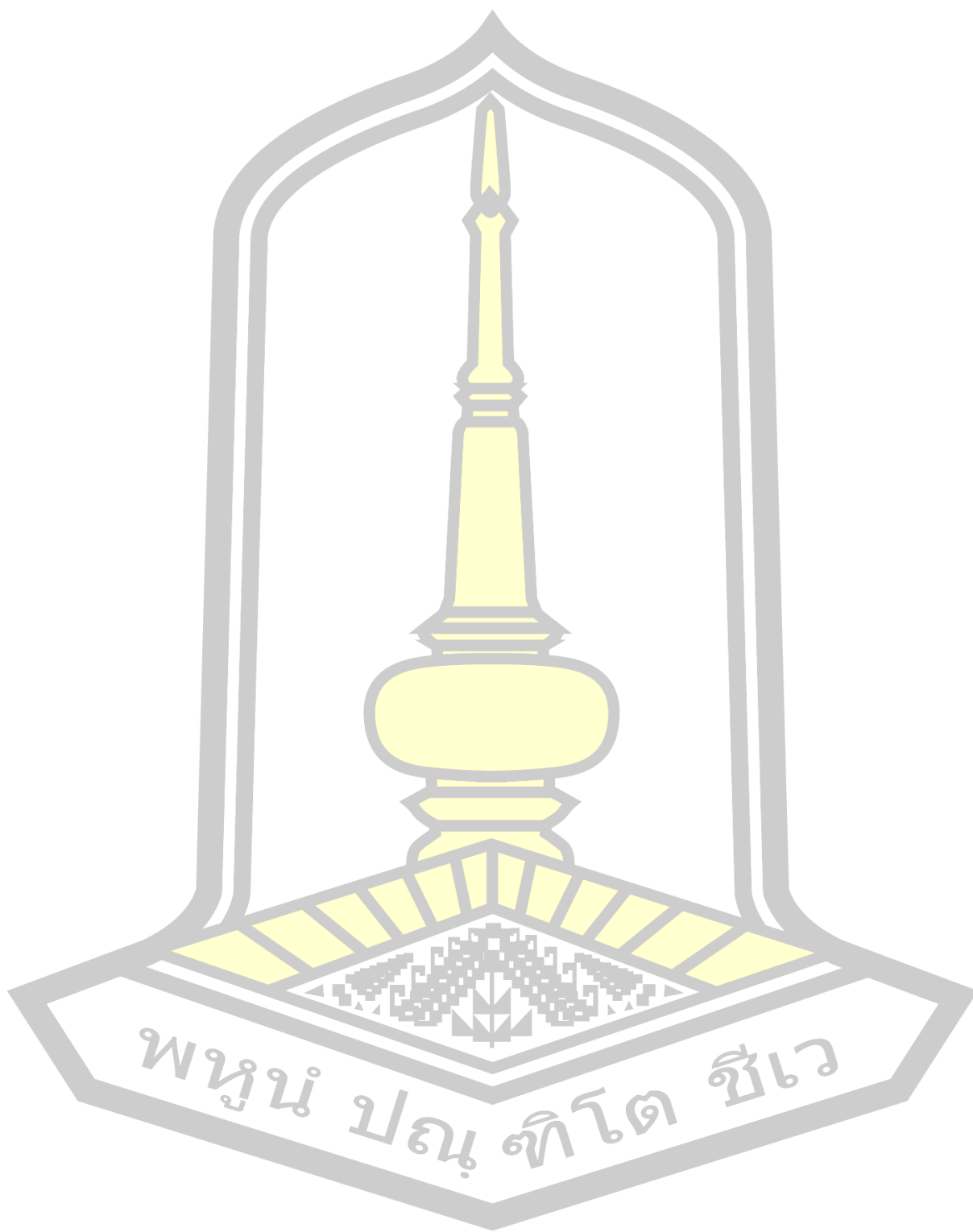
ศรীরวิทย์, ส. (2546). "การใช้แพลงก์ตอนเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำของคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์." 9-17.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (เล่มที่ 12). "การแปลความหมายภาพในรูปถ่ายทางอากาศ."

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2545). "ประโยชน์ของแพลงก์ตอนพืช, สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2562. จาก. http://www.sesa10.go.th/e-learning/biology/contents/2plankton/page_2.4.html."

สำนักงานอัตรเบี่ยงประกันวินาศภัย (2559). การสร้างตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป(Generalized Linear Models), คู่มือสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ด้านคณิตศาสตร์ประกันภัย.





พหุมนุ ปณ ทิตโต ชัยเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายชนุดม ศาสลารักษ์
วันเกิด	วันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลกันทรวิชัย อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 47 หมู่ที่ 2 บ้านขามพัฒนา ตำบลขามเฒ่าพัฒนา อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรโยธา ปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองช่าง เทศบาลตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2536 ประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านขามเฒ่า (ขามเฒ่าผดุงศิลป์) พ.ศ. 2539 มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนกันทรวิชัย พ.ศ.2542 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ช่างสำรวจ วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม พ.ศ.2544 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) ช่างสำรวจ วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม พ.ศ.2549 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ.2551 ประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ.2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผลงานวิจัย	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจัดการลุ่มน้ำขนาดเล็ก กรณีศึกษา : ลุ่มน้ำห้วยสายบาตร จังหวัดขอนแก่น