

การปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง ด้วยการใช้รูปตัด  
ตามแนวลองจิจูด และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING URBAN TREE SPECIES CLASSIFICATION FROM HIGH-RESOLUTION AERIAL  
IMAGERY BY USING LONGITUDINAL PROFILES AND ANCILLARY DATA FROM AIRBORNE  
LIDAR



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง ด้วยการใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ
โดย	น.ส.สุภาภรณ์ รักษาถ้ำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุญาติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธีทัต เจริญกาลัญญดา)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุกิจ วิเศษสินธุ์)	

สุภาภรณ์ รักษาล้ำ : การปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ความละเอียดสูง ด้วยการใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด และข้อมูลเสริมจากการสำรวจ ด้วยไลดาร์ทางอากาศ. ( IMPROVING URBAN TREE SPECIES CLASSIFICATION FROM HIGH-RESOLUTION AERIAL IMAGERY BY USING LONGITUDINAL PROFILES AND ANCILLARY DATA FROM AIRBORNE LIDAR) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ชัยโชค ไวกาษา

การศึกษาเรื่องการกระจายตัวของต้นไม้ และการจำแนกพรรณไม้ในพื้นที่เมืองมีความจำเป็นอย่างมาก ต่อการบริหารจัดการและติดตามดูแลสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงด้วยวิธีการจำแนกแบบต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) โดยใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ (LiDAR) ทางอากาศเพื่อจำแนกต้นไม้ 7 ชนิดในพื้นที่ศึกษาบริเวณสวนสาธารณะสวนหลวง ร.9 กรุงเทพมหานคร พบว่าการปรับปรุงวิธีการดังกล่าวจากงานศึกษาเดิมสามารถจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่มทั้ง 7 ชนิดได้อย่างถูกต้อง โดยได้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ย (Overall Accuracy) 78.7% สังเกตได้ว่าค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกมีค่าน้อยกว่างานอ้างอิงที่รายงานค่าความถูกต้อง Overall Accuracy ที่ระดับ 88.9% เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ทั้ง 7 ชนิด มีลักษณะใกล้เคียงกันและแยกออกจากกันได้ยากกว่างานอ้างอิงที่ศึกษาต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาเพียงแค่ 3 ชนิด ในอนาคตหากมีการปรับปรุงวิธีการจำแนกด้วยการลดอิทธิพลจากผู้ทดลองและใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) คาดว่าจะสามารถช่วยหาเงื่อนไขของการจำแนกที่ดีที่สุด (optimal criteria) และสามารถจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นได้ อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ให้ค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อช่วยการบริหารจัดการต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาอื่นที่มีพืชคล้ายกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ  
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6070358921 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Tree species, Classification, Urban, High-resolution aerial imagery, LiDAR, Longitudinal profiles, Deep learning, Data science, Machine learning, Artificial Intelligence, Carbon Footprint

Supaphon Raksalam : IMPROVING URBAN TREE SPECIES CLASSIFICATION FROM HIGH-RESOLUTION AERIAL IMAGERY BY USING LONGITUDINAL PROFILES AND ANCILLARY DATA FROM AIRBORNE LIDAR. Advisor: CHAICHOKE VAIPHASA, Ph.D.

The study of urban tree distribution and classification is necessary for sustainable management of any city. This research is therefore aimed to improve the methodology of urban tree species classification by using a decision tree method. The input data comprised longitudinal profiles extracted from high-resolution aerial photos and spot heights measured by an airborne lidar system. The classification targets are 7 tree species found in Suan Luang Rama 9 Park, Bangkok Thailand. It was found that the proposed method was able to correctly classify the target trees at the overall level of 78.7%. In comparison, the reference work gained a higher overall accuracy level of 88.9% as the separability of the 3-species problem found in the reference work is much higher than the 7 species problem taken on in this study. It is suggested that the classification criteria may be optimized by the use of Deep Learning technique. This is to reduce the subjective influences of the researcher during the classification process and to increase the separability between the classes. It is therefore anticipated that the proposed methodology can be effectively applied in other urban areas that possess similar tree species.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2020

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการสนับสนุนและช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ชัยโชค ไวกาษา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ให้โอกาส ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ให้ข้าพเจ้าจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ กรมแผนที่ทหาร และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนทุนทรัพย์ และให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ วาริน ขจีมาศ เพื่อน พี่น้อง ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่คอยสนับสนุน และขอขอบคุณ ปิติ และ ชานนท์ เพื่อนที่ทำงาน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณบทเพลงทุกเพลงที่อยู่เป็นเพื่อนฉันในยามค่ำคืน และขอบคุณตัวฉันเอง ที่มีความมานะ ตั้งใจมั่น แน่วแน่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นอย่างดี

สุภาภรณ์ รักษาล้ำ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

## หน้า

.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	4
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย .....	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices).....	5
2.2 วิธีการวิเคราะห์รูปตัดตามแนวลองจิจูด.....	5
2.3 การหาค่า Roughness จากการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative).....	8
2.4 วิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree).....	10
2.5 คุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ DMC.....	10
2.6 การปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศ DMC.....	10

2.7 คุณสมบัติของไลดาร์ LiDAR ทางอากาศ .....	11
2.8 การตรวจสอบผลการจำแนก .....	12
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	14
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	16
4.1 พื้นที่ศึกษาและต้นไม้ที่สนใจ .....	16
4.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม .....	19
4.3 การจำแนกพรรณไม้ .....	19
4.4 การประเมินค่าความถูกต้อง .....	20
4.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	20
4.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	20
บทที่ 5 ผลการศึกษา .....	25
5.1 ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูด .....	25
5.2 การหาค่า Roughness จากการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของรูปตัดตามแนวลองจิจูด .....	32
5.3 การหาค่าความสูงของต้นไม้ (Tree Height) ที่ได้จากข้อมูล LiDAR .....	40
5.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) .....	46
5.5 ผลการตรวจสอบการจำแนก .....	48
บทที่ 6 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	51
6.1 อภิปรายผลการศึกษา .....	51
6.2 สรุปผล .....	57
6.3 ข้อเสนอแนะ .....	58
ภาคผนวก .....	59
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิด ด้วยวิธี Classification Error Matrix จำนวน 30 ชุดข้อมูลทดสอบ .....	60
บรรณานุกรม .....	76



ประวัติผู้เขียน..... 81



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการตรวจสอบผลการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix.....	12
ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดต้นไม้ .....	17
ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดต้นไม้ และค่าการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้แต่ละชนิด .....	18
ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนข้อมูลต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษาแต่ละชนิด.....	22
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นจามจุรี จำนวน 15 ต้น.....	25
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นจามจุรี จำนวน 15 ต้น (ต่อ).....	26
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นประดู่ จำนวน 16 ต้น .....	26
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นประดู่ จำนวน 16 ต้น (ต่อ).....	27
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นพิกุล จำนวน 12 ต้น .....	27
ตารางที่ 5.6 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นไม้วงศ์ปาล์ม จำนวน 18 ต้น.....	28
ตารางที่ 5.7 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นไม้วงศ์ปาล์ม จำนวน 21 ต้น (ต่อ).....	29
ตารางที่ 5.8 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นหางนกยูง จำนวน 11 ต้น.....	29
ตารางที่ 5.9 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นทุกระจง จำนวน 21 ต้น .....	30

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นหูกวาง จำนวน 9 ต้น.....	31
ตารางที่ 5.11 แสดงค่าสถิติ RMSE ของค่าความชื้นของรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละ ชนิด.....	32
ตารางที่ 5.12 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นจามจุรี.....	40
ตารางที่ 5.13 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นประดู่.....	41
ตารางที่ 5.14 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นพิบูล.....	42
ตารางที่ 5.15 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้วงศ์ปาล์ม.....	42
ตารางที่ 5.16 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้วงศ์ปาล์ม (ต่อ)	43
ตารางที่ 5.17 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหางนกยูง.....	43
ตารางที่ 5.18 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหางนกยูง (ต่อ) ...	44
ตารางที่ 5.19 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกระจง.....	44
ตารางที่ 5.20 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกระจง (ต่อ).....	45
ตารางที่ 5.21 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกวาง.....	45
ตารางที่ 5.22 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกวาง (ต่อ).....	46
ตารางที่ 5.23 แสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ชุดข้อมูลที่ 1-10.....	49
ตารางที่ 5.24 แสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ชุดข้อมูลที่ 11-20.....	49
ตารางที่ 5.25 แสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ชุดข้อมูลที่ 21-30.....	49
ตารางที่ 5.26 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 27 ที่ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (ชุดข้อมูลที่ 27).....	50
ตารางที่ 5.27 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 19 ที่ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยต่ำสุด (ชุดข้อมูลที่ 19).....	50
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดของต้นไม้แต่ละชนิด.....	52



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญรูปลูกภาพ

### หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะรูปตัดตามแนวลองจิจูดของพีช 6 ประเภท (Zhang & Hu, 2012).....	6
รูปที่ 2.2 แสดงวิธีวัดตามแนว Sun Azimuth angle.....	6
รูปที่ 2.3 แสดงการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต (Zhang & Hu, 2012) .....	7
รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) (อาชิฐู ลาภพระแก้ว, 2557).....	8
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะรูปตัดตามแนวลองจิจูดของต้นจามจู้รี ต้นหูกระจง และต้นไม้วงศ์ปาล์มตามลำดับ (อาชิฐู ลาภพระแก้ว, 2557).....	8
รูปที่ 4.1 แสดงแผนที่ขอบเขตพื้นที่ศึกษา บริเวณสวนหลวง ร.9 .....	16
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะต้นจามจู้รี และต้นประดู่ ตามลำดับ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555).....	18
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะต้นพิกุล ต้นไม้วงศ์ปาล์ม และต้นหางนกยูง ตามลำดับ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555) .....	18
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะหูกระจง และต้นหูกวาง ตามลำดับ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555).....	19
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย .....	21
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงตำแหน่งต้นไม้ที่สนใจทั้งหมด 7 ชนิด ร่วมกับภาพ DMC .....	22
รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงตำแหน่งต้นไม้ที่สนใจทั้งหมด 7 ชนิด ร่วมกับภาพ NDVI .....	23
รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนการหาค่า NDVI เฉลี่ยตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละต้น โดย (a) วาดเรื่อนยอดบนภาพถ่าย DMC (b) นำขอบเขตเรื่อนยอดมาซ้อนทับกับภาพที่มีค่า NDVI (c) วาดเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูด (d) ดึงค่า NDVI ของแต่ละจุดภาพตามแนวแนวลองจิจูด .....	24
รูปที่ 5.1 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นจามจู้รี .....	33
รูปที่ 5.2 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นหูกระจง.....	34
รูปที่ 5.3 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นพิกุล .....	35

รูปที่ 5.4 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นหู กว้าง.....	36
รูปที่ 5.5 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นไม้ วงศ์ปาล์ม.....	37
รูปที่ 5.6 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นประดู่ .....	38
รูปที่ 5.7 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นหาง นกยูง.....	39
รูปที่ 5.8 ผลการจำแนกต้นไม้ด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) .....	47
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของต้นหูกระเจง และต้นหูกว้าง (a) ลักษณะทรงพุ่มของต้นหู กระเจง (b) ลักษณะใบของต้นหูกระเจง (c) ลักษณะทรงพุ่มของต้นหูกระเจง (d) ลักษณะใบของต้นหู กระเจง (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555).....	54
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะทรงพุ่มของ (a) ต้นจามจุรี (b) ต้นประดู่ (c) ต้นพิกุล (d) ต้นหูกว้าง (e) ต้นไม้วงศ์ปาล์ม (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555).....	55
รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะใบของ (a) ต้นจามจุรี (b) ต้นประดู่ (c) ต้นพิกุล (d) ต้นหูกว้าง (e) ต้นไม้ วงศ์ปาล์ม (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555).....	55

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการและติดตามต้นไม้ในเมืองอย่างยั่งยืน นั้นถือเป็นกิจกรรมที่สำคัญสำหรับพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองทั่วโลกซึ่งต้นไม้ในเขตเมือง ที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การปรับปรุงระบบการจัดการต้นไม้จำเป็นต้องได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและสอดคล้องกับสภาพต้นไม้ในเขตเมืองและความถูกต้องของข้อมูลยังช่วยเพิ่มประโยชน์ในการจัดการ การพัฒนา และการวางแผนการจัดการเมืองที่ดี ซึ่งต้นไม้ในเขตเมืองนั้นมีความสำคัญและให้ประโยชน์อย่างมากในทุกด้าน เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศวิทยา สังคม วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ รวมถึงการกรองมลพิษทางอากาศและเสียง (Nowak & F. Dwyer, 2010) นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญในการวางผังเมือง และทำหน้าที่ผลิตก๊าซออกซิเจน และดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ป้องกันการพังทลายของดิน ลดความเสียหายที่เกิดจากต้นไม้มากขึ้น และเป็นที่อยู่อาศัยสำหรับสัตว์นานาชนิด (Akamphon & Akamphon, 2014; Conine et al., 2004; Gobster & Westphal, 2004; Huang et al., 2007; Ma & Ju, 2011; Shahidan et al., 2010; Xiao & McPherson, 2005) ปัจจุบันประเทศไทยปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) สูงสุดเป็นอันดับ 22 ของโลก (Moran, 2019) โดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้กำหนดว่าเมืองที่มีสิ่งแวดล้อมที่ดี ควรมีพื้นที่สีเขียวอยู่ที่ 9 ตารางเมตรต่อคน ซึ่งข้อมูลจากสำนักงานสวนสาธารณะ กรุงเทพมหานคร (กทม.) ระบุว่ากรุงเทพฯ มีสวนสาธารณะ 7 ประเภท (สวนหย่อมขนาดเล็ก, สวนหมู่บ้าน, สวนชุมชน, สวนระดับย่าน, สวนระดับเมือง, สวนถนน, สวนเฉพาะทาง) รวมแล้วมีพื้นที่สีเขียว 6.43 ตร.ม.ต่อคน เทียบจากเกณฑ์ของ WHO แล้ว พื้นที่สีเขียวทั้งในกรุงเทพฯ ยังถือว่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และต่ำกว่าพื้นที่สีเขียวในประเทศพัฒนาแล้วอื่นๆ เช่น บราซิล 52 ตารางเมตรต่อคน, สหรัฐฯ 23.1 ตารางเมตรต่อคน และแคนาดา 12.6 ตารางเมตรต่อคน และจากข้อมูลสหประชาชาติ (United Nations) ระบุว่า 54% ของประชากรทั่วโลกอาศัยในเมืองใหญ่ต่างๆ มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนย้ายเข้ามาอยู่ในพื้นที่เขตเมืองเพิ่มขึ้นเป็น 66% ในปี 2593 หรือคิดเป็น 2 ใน 3 ของประชากรทั่วโลก โดยทวีปเอเชียและแอฟริกาจะมีการไหลเข้าของประชากรสู่เมืองในอัตราที่สูง และข้อมูลจากนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2560 – 2579 ระบุว่าในปี 2558 ประเทศไทยมีประชากร

เมืองจำนวน 22.42 ล้านคน หรือ 31.44% ของจำนวนประชากรทั้งประเทศ ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เมือง และเทศบาล เป็นผลให้มีพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น และพื้นที่เกษตรกรรมลดลง (สำนักข่าวสิ่งแวดล้อม, 2561) ดังนั้นเมื่อประชากรเพิ่มขึ้นในเขตเมือง การบริหารจัดการป่าไม้จึงจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อช่วยสร้างระบบนิเวศที่ดี มีการผลิตออกซิเจนและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพียงพอ ซึ่งต้นไม้ในเขตเมือง หรือต้นไม้แต่ละชนิดมีความสามารถในการผลิตออกซิเจนและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน การศึกษาเรื่องการกระจายตัวของต้นไม้ และการจำแนกพรรณไม้ในพื้นที่เมืองจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

การได้รับข้อมูลต้นไม้ในเขตเมืองที่ทันสมัยเพื่อศึกษาการกระจายตัวของพรรณไม้ต่างๆ เป็นเรื่องยาก เนื่องจากความซับซ้อนของเมือง และปัจจัยหลายอย่างที่ต้องทำการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูล เช่น ขอบเขตของเมือง อายุของต้นไม้ ความหลากหลายของต้นไม้ การจำกัดการเข้าถึงพื้นที่ส่วนบุคคล การเติบโตของสภาพแวดล้อม ซึ่งในอดีตจะใช้วิธีการสำรวจภาคพื้นดินในการเก็บข้อมูล ทำให้ใช้เวลาอย่างมาก และมีค่าใช้จ่ายสูง จึงทำให้การเก็บข้อมูลที่มีบริเวณกว้างเป็นไปได้ยากลำบาก ดังนั้นการหาวิธีการเก็บข้อมูลแทนการสำรวจภาคสนามจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง และการสำรวจข้อมูลระยะไกลจึงเข้ามามีบทบาทในการสำรวจต้นไม้ในเมืองมากขึ้น

การสำรวจระยะไกลและการจำแนกพรรณไม้ของต้นไม้ในเมืองนิยมใช้การแปลจากภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญ และประสบการณ์ของผู้แปลในการกำหนดเกณฑ์ในการจำแนกเป็นอย่างมาก (Fournier et al., 1995; Waser et al., 2011) การจำแนกประเภทของต้นไม้จะใช้คุณสมบัติของวัตถุที่จำแนกหรือเกณฑ์เพื่ออธิบายถึงต้นไม้แต่ละประเภท (Brandtberg, 2002) โดยคุณสมบัติที่ถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกด้วยต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) เพื่อจำแนกประเภทได้ดีที่สุด สำหรับต้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การสะท้อน (Spectral Signatures), พื้นผิว (Texture), ค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices (VI)), รูปร่าง (Shape) และอื่นๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งการจำแนกเป็น 2 วิธีคือ จำแนกการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel-Based) และการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-Based) ซึ่งในอดีตการจำแนกด้วยวิธี Pixel-Based เพื่อกำหนดความคล้ายคลึงกันจะต้องสร้าง Feature ตัวแทน เพื่อกำหนดคุณลักษณะเชิง Pixel หรือกลุ่ม Pixel ให้เป็นตัวแทนคุณลักษณะของต้นไม้ หรือกลุ่มต้นไม้ประเภทนั้นๆ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนามาเป็นการจำแนกด้วยอัตราส่วนช่วงคลื่น เช่น ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) โดยการคำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่มีเก็บค่าการสะท้อนของพืชพรรณ แต่ยังคงยากที่จะจำแนกต้นไม้ลักษณะต้นเดียวในระดับสายพันธุ์ได้ดี และไม่สามารถจำแนกต้นไม้ที่เป็นลักษณะกลุ่มได้ ซึ่งเป็นลักษณะต้นไม้ส่วนใหญ่ในประเทศที่อยู่เขตร้อนชื้น



เมื่อเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมีการพัฒนามากขึ้น การสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ (Airborne Light Detection and Ranging : Airborne LiDAR) ได้เข้ามามีบทบาท ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถจำแนกต้นไม้ในระดับโครงสร้าง สามารถตรวจจับด้วยเลเซอร์ ไม่ว่าจะเป็นเรือนยอด หรือใบของต้นไม้ ซึ่งช่วยในการจำแนกต้นไม้ได้เป็นอย่างดี (Riaño et al., 2004) ด้วยความเข้มของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาสามารถบ่งบอกถึงประเภทใบของต้นไม้ (Suratno et al., 2009) รวมถึงขนาดของใบ การวางแนวใบไม้ การเกาะกลุ่มกันของใบ และความหนาแน่นของใบ (Korpela et al., 2010) ข้อมูลที่ได้จาก LiDAR สามารถจำแนกต้นไม้ที่มีความหนาแน่นสูงในระดับสายพันธุ์ ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบความสูงทรงพุ่ม และด้วยศักยภาพของการตรวจจับแสง สามารถจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ในพื้นที่เขตเมืองได้ถูกต้อง (K. Wang et al., 2018) อย่างไรก็ตามการใช้ LiDAR เพื่อจำแนกสายพันธุ์ต้นไม้เพียงอย่างเดียวนั้นสามารถจำแนกได้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) เท่ากับ 32.9% ซึ่งต่ำกว่าการใช้ภาพถ่าย hyperspectral เพียงอย่างเดียวที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม 79.2% (Alonzo et al., 2014)

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการเสนอวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) ของภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงหลายช่วงคลื่น มาใช้ในการจำแนกประเภทของต้นไม้ในเขตเมือง โดยมีแนวคิดที่ว่า ขนาด รูปร่าง ทรงพุ่ม และสีของใบไม้ แต่ละชนิดมีผลต่อค่าการสะท้อนที่ต่างกัน จึงทำการเก็บค่าการสะท้อนรูปตัดตามแนวลองจิจูดแล้วนำมาจำแนกต้นไม้ในลักษณะต้นไม้เดียวในระดับพรรณไม้ โดยวิเคราะห์ทางเรขาคณิตร่วมกับการจำแนกด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) พบว่ามีความแม่นยำในการจำแนกชนิดของพืชสูงถึง 75% (Zhang & Hu, 2012) โดยพื้นที่ศึกษาที่ประเทศแคนาดา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอากาศหนาว และจากการศึกษาดังกล่าวใช้กับต้นไม้ที่เป็นลักษณะต้นไม้เดียวเท่านั้น ในเวลาต่อมา อาชีวะ (2557) ได้นำแนวคิดของ Zhang และ Hu มาทำการจำแนกต้นไม้ในเมืองในระดับสายพันธุ์ในพื้นที่เขตร้อน พื้นที่ศึกษาคือ สวนหลวง ร.9 กรุงเทพมหานคร โดยทำการจำแนกพืชที่มีรูปร่างทางเรขาคณิตแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ หูกกระจง พืชวงศ์ปาล์ม และจามจุรี จากการจำแนกแสดงให้เห็นว่า การใช้ Longitudinal Profile ในการจำแนกนั้นช่วยให้สามารถจำแนกพืชเขตร้อนในพื้นที่เมืองได้ค่าความถูกต้องโดยรวมถึง 88.9% (อาชีวะ ลากพระแก้ว, 2557)

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะนำเอาวิธีการจำแนกด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจของ อาชีวะ (2557) มาปรับปรุงเพื่อให้จำแนกได้ความถูกต้องที่สูงขึ้นด้วยการใช้ข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วย LiDAR ทางอากาศ พื้นที่ศึกษาคือ บริเวณสวนหลวง ร.9 กรุงเทพมหานคร โดยทำการจำแนกพืชที่มีรูปร่างทางเรขาคณิตที่ซับซ้อน 7 ชนิด ได้แก่ ต้นจามจุรี ประดู่ พิกุล ต้นไม้วงศ์ปาล์ม หางนกยูง หูกกระจง และหูกวาง ในลักษณะต้นไม้เดียวและกลุ่ม และสุดท้ายจะรายงานค่าความถูกต้องของการจำแนกเพื่อยืนยันผลการทดลอง

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงหลายช่วงคลื่น ด้วยวิธีการจำแนกแบบ Decision Tree โดยใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วย LiDAR ทางอากาศ

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

การวิจัยนี้มีสมมติฐานว่าการใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) ของข้อมูลภาพถ่ายความละเอียดสูงหลายช่วงคลื่น และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วย LiDAR ทางอากาศสามารถจำแนกต้นไม้ในเมือง 7 ชนิด ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่มได้ถูกต้องมากกว่าการใช้ภาพถ่ายทางอากาศแต่เพียงอย่างเดียว

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในการวิจัยนี้จะทำการจำแนกต้นไม้โดยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) โดยใช้ปัจจัยในการจำแนกคือ การจำแนกด้วยอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) และการจำแนกด้วยวิธีการประมาณค่ารูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profile) ในการจำแนกต้นไม้ต้นเดี่ยวและต้นไม้กลุ่มแต่ละชนิด โดยใช้เงื่อนไขในการจำแนกที่แตกต่างกันร่วมกับข้อมูลไลดาร์ (LiDAR) ที่มีความละเอียด 1.5 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณจึงไม่ได้ทำการศึกษาด้วยข้อมูลระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงอื่นได้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อสนับสนุนงานบริหารจัดการต้นไม้ในเมืองในเขตร้อนชื้น ในพื้นที่สวนหลวง ร.9

1.5.2 เพื่อให้ทราบว่าภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง และการวิเคราะห์ด้วยรูปตัดตามแนวลองจิจูด และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ เป็นวิธีการที่เหมาะสมเพื่อจำแนกต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาหรือไม่

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)

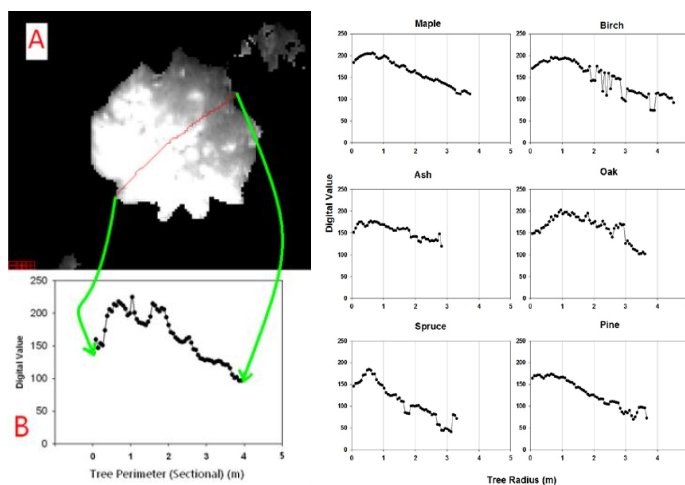
ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, (NDVI)) นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ใน Vegetation Indices (Xue & Su, 2017) เป็นการจำแนกด้วยอัตราส่วนช่วงคลื่น โดยช่วงของค่าของดัชนี NDVI อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยเก็บค่าการสะท้อนจากพื้นสีเขียวที่ปกคลุมพื้นที่ มาคำนวณหาค่าการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band) และคลื่นอินฟราเรดระยะใกล้ (Near-Infrared Band) ดังสมการที่ (1)

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (1)$$

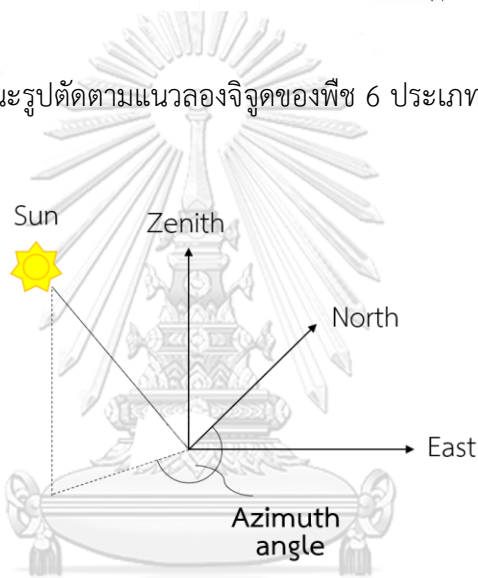
โดยที่ *NIR* คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดระยะใกล้ (Near-Infrared Band)  
*R* คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

#### 2.2 วิธีการวิเคราะห์รูปตัดตามแนวลองจิจูด

การจำแนกต้นไม้ด้วยวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด จะทำการตรวจสอบความยาวของเส้นตัดเรือนยอดของต้นไม้ตามแนวลองจิจูดตามแนวคิดที่ว่า ขนาด รูปร่าง ทรงพุ่ม มีผลทำให้ค่าการสะท้อนต่างกันดังรูปที่ 2.1 ดังนั้นจึงทำการเก็บค่าการสะท้อนของเรือนยอดของต้นไม้แต่ละชนิดตามแนวลองจิจูดด้วยวิธีวัดตามแนว Sun Azimuth Angle ดังรูปที่ 2.2 และนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักทางเรขาคณิต (Zhang & Hu, 2012) และเนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ มีพื้นที่ศึกษาอยู่ในประเทศไทย ซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีมุม Sun Azimuth มีผลกับประเทศไทยน้อยมาก ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการกำหนดรูปตัดตามแนวลองจิจูดด้วยการเลือกมุมที่มีลักษณะทางการภาพที่ดีที่สุด โดยเลือกมุมประมาณ 45 องศา โดยวัดจากจุดทิศเหนือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ไปยังทิศตะวันออกในแนวระนาบ อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาเพื่อต่อยอดในอนาคต ควรศึกษาการเลือกมุม Sun Azimuth เพิ่มเติมเพื่อเป็นการยืนยันการเลือกมุมที่ดีที่สุด



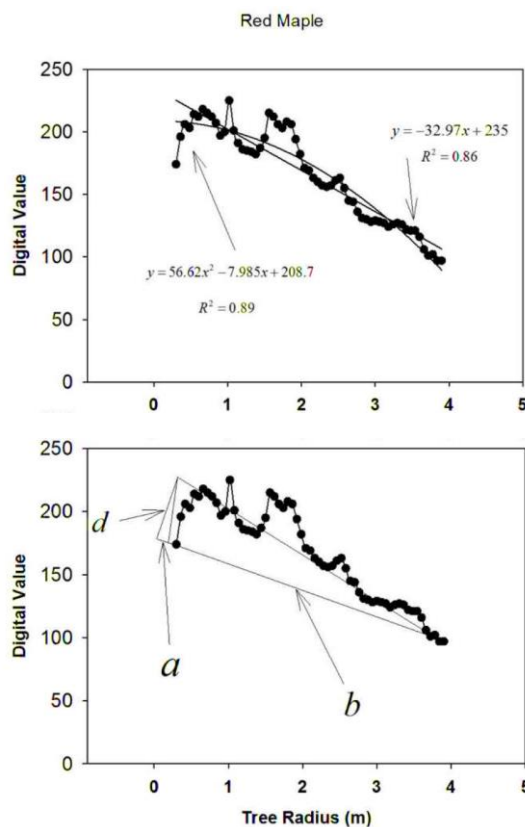
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะรูปตัดตามแนวลองจิจูดของพืช 6 ประเภท (Zhang & Hu, 2012)



รูปที่ 2.2 แสดงวิธีวัดตามแนว Sun Azimuth angle

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลังจากที่ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด และทำการวิเคราะห์ทางเลขาคณิต ด้วยการสร้างรูปสามเหลี่ยมเวกเตอร์ โดยสร้างเส้นตรงที่เหมาะสมกับทั้งสองด้านของสามเหลี่ยม ถ้าส่วนโค้งมีรูปร่างแบน ใกล้กับเส้นตรงที่เหมาะสม ค่า  $d$  จะมีค่าต่ำ และค่า  $p$  จะติดลบ ถ้าส่วนโค้งมีรูปร่างผิปกติค่า  $d$  จะมีค่าสูงเป็นพิเศษ และค่า  $p$  จะเข้าใกล้ 1 ถ้าส่วนโค้งเบ้ซ้าย ค่า  $p$  จะน้อยกว่า 1 ถ้าส่วนโค้งเบ้ขวา ค่า  $p$  จะมากกว่า 1 ดังรูปที่ 2.3



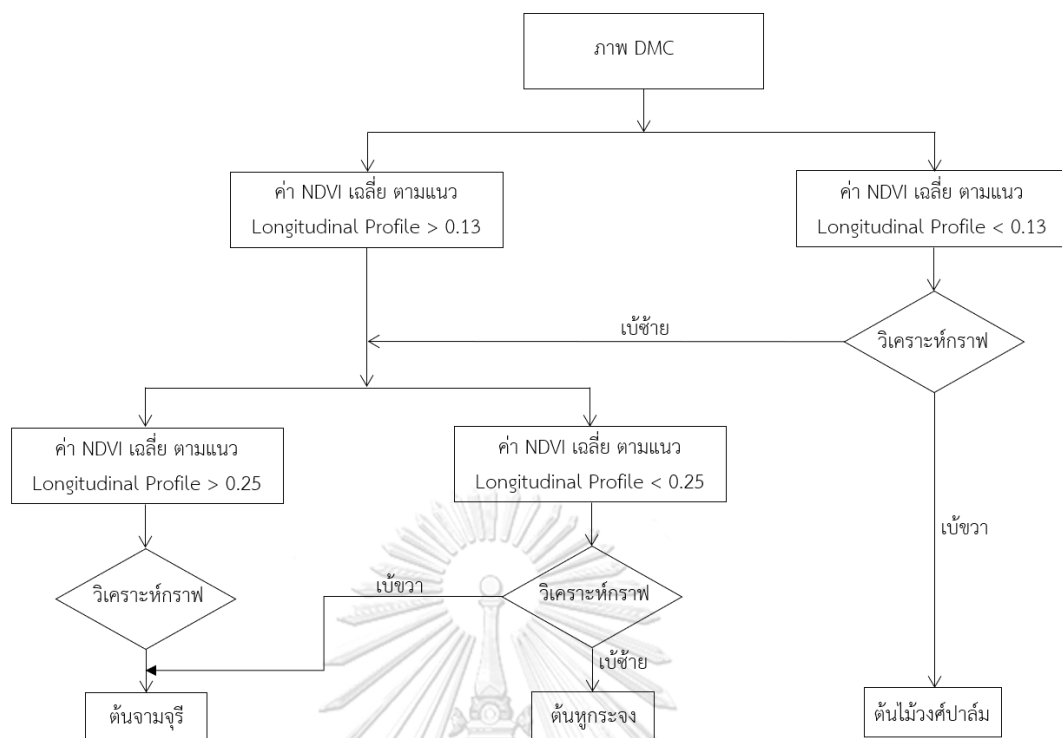
รูปที่ 2.3 แสดงการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต (Zhang & Hu, 2012)

- ให้  $d$  คือระยะปกติ จากจุดสู่ระยะฐานที่เชื่อมระหว่างจุดปลายทั้งสองด้าน  
 $P$  คือสมการการวิเคราะห์กราฟค่ารูปตัดตามแนว โดยมีอัตราส่วนของสองส่วนจาก  $a$  และ  $b$  หาได้จากสมการที่ (2)

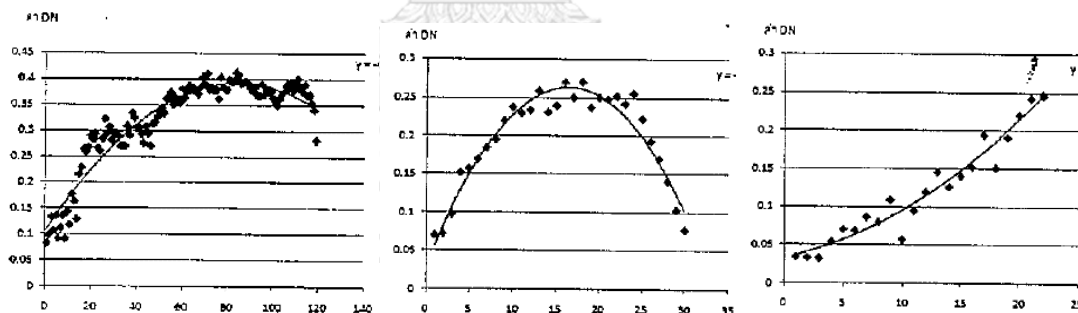
$$P = \frac{a}{b} \quad (2)$$

- โดยที่  $a$  คือส่วนต่างของเส้นฐานจากสมการเส้นตรงกับสมการเส้นโค้ง  
 $b$  คือระยะเส้นฐาน

ต่อมา อาซิฐ ได้นำแนวคิดการวิเคราะห์ด้วยวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูดมาใช้ในการจำแนกต้นไม้ในเมืองเขตร้อนชื้นซึ่งพืชมีลักษณะที่ต่างกัน หลังจากที่ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด อาซิฐทำการวิเคราะห์ด้วยสมการพหุนามเมื่อยลอันดับที่ 2 โดยกำหนดเงื่อนไขดังรูปที่ 2.4 และผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) (อาชิฐู ลากพระแก้ว, 2557)



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะรูปตัดตามแนวลองจิจูดของต้นจามจุรี ต้นทุกระจง และต้นไม้วงศ์ปาล์มตามลำดับ (อาชิฐู ลากพระแก้ว, 2557)

### 2.3 การหาค่า Roughness จากการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative)

การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ด้วยค่า Derivative ของ Reflectance Signatures ซึ่งสามารถตรวจจับคุณสมบัติเด่นของสิ่งปกคลุมดินได้ ซึ่งค่า Derivative ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน พบว่าสามารถจำแนกข้อมูลที่มีขนาดเล็ก และคุณภาพไม่ดีได้ (Bao et al., 2013) โดยทั่วไปแล้วการนำค่า Reflectance

Signatures ที่ได้จากการสะท้อนของ Spectral มาใช้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมด้วยอัลกอริทึมต่างๆ ไม่อาจให้ค่าการจำแนกที่ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการใช้งานจริงมีปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงนำข้อมูลค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของค่าการสะท้อนมาใช้ เนื่องจากความชันที่ได้จากการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) สามารถตรวจจับลักษณะเด่นของวัตถุได้ดีกว่าการใช้ค่าการสะท้อนตรง ๆ (Philpot, 1991; Tsai & Philpot, 1997) และงานวิจัยครั้งนี้จึงใช้ค่า Derivative มาช่วยในการจำแนกต้นไม้ในเมือง โดยการหาค่า Derivative ของค่า NDVI ตามแนวเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละชนิด และทำการหาค่า RMSE จากค่าอนุพันธ์ (Derivative) โดยค่า RMSE ที่ได้จะใช้เพื่อระบุความราบเรียบ (Roughness) ของเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูด โดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการหาค่าความชันหรือค่าอนุพันธ์ของค่า NDVI ของแต่ละจุดภาพอยู่บนเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละต้นจากสมการที่ (3) (Tsai & Philpot, 1997)

$$\frac{dY}{dX} = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \quad (3)$$

โดยที่	$X_0$	คือ ลำดับจุดภาพบนเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูด
	$X_1$	คือ ลำดับจุดภาพบนเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูดถัดไปตามลำดับ
	$Y_0$	คือ ค่า NDVI ของแต่ละจุดภาพตามลำดับจุดภาพก่อนหน้า
	$Y_1$	คือ ค่า NDVI ของแต่ละจุดภาพตามลำดับจุดภาพถัดไปตามลำดับ

จากนั้นขั้นตอนที่สอง นำค่าอนุพันธ์ของต้นไม้แต่ละต้นมาหาค่า RMSE (Greenwalt & Schultz, 1968) จากสมการที่ (4) เพื่อใช้ในการจำแนกความราบเรียบ (Roughness) ของเส้นตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละชนิด

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

โดยที่	$y_i$	คือ ค่าที่ได้จากสมการเส้นตรงของแต่ละจุดภาพ
	$\hat{y}_i$	คือ ค่าความชันของแต่ละจุดภาพ
	$n$	คือ จำนวนจุดภาพบนเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูด

## 2.4 วิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree)

วิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) เป็นวิธีการที่ใช้โครงสร้างต้นไม้มาแสดงเป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะและผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ โดยสามารถใช้เลือก และจัดอันดับตัวแปรเพื่อจำแนกระหว่างตัวเลือกที่ต้องการ (Belgiu & Drăgu, 2016) มีลักษณะโครงสร้างคล้ายต้นไม้ซึ่งโครงสร้าง หรือกิ่งก้านของเงื่อนไขการตัดสินใจจะแคบลงเรื่อย ๆ เพื่อให้เข้าใจผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ที่สุด ข้อดีของแผนผังการตัดสินใจมีลักษณะโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน

## 2.5 คุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ DMC

กล้องถ่ายภาพทางอากาศ Digital Mapping Camera I (DMC I) ซึ่งเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบดิจิทัล 4 ช่วงคลื่นคือ Red, Green, Blue, Near-Infrared เก็บค่าการสะท้อนช่วงคลื่น (Spectral sensitivity) ดังนี้ ช่วงคลื่น Blue 400-580 nm, ช่วงคลื่น Green: 500-650 nm, Red: 590-675 nm, และช่วงคลื่น Near-Infrared 675-850 nm มุมที่ใช้ในการบินถ่ายภาพ Cross Track  $69.3^\circ$  x Along Track  $42^\circ$  ความยาวโฟกัส 120 mm ความละเอียด (Radiometric resolution) 12 bit ภาพที่ได้จะมีขนาด 7,680 x 13,824 pixels

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขความละเอียดสูง บริเวณสวนหลวง ร.9 ถนนเฉลิมพระเกียรติ ร.9 แขวงสวนหลวง เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250 บันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพ DMC มาตรฐาน 1: 15,000 มีความละเอียดจุดภาพ 18 x 18 เซนติเมตร พ.ศ. 2560 จากกรมแผนที่ทหาร เพื่อนำมาหาค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)

## 2.6 การปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศ DMC

การปรับแก้ภาพเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากการบินถ่ายภาพ ในการสร้างภาพออร์โธในอดีตต้องมีการคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation Parameter: EOP) ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์และวิธีการอ้างอิงค่าพิกัดโดยตรงของข้อมูลภาพกับภูมิประเทศ (Direct Georeferencing : DG) โดยใช้ระบบการรังวัดกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม (GPS) ร่วมกับระบบการหาค่าอาการเอียงของเครื่องบิน (Inertial Measurement Unit : IMU)



การศึกษานี้ทำการปรับแก้ภาพถ่ายด้วยค่าการปรับแก้ภายนอก (Exterior Orientation Parameter : EOP) ที่ได้จากวิธีการอ้างอิงค่าพิกัดโดยตรงของข้อมูลภาพกับภูมิประเทศ โดยไม่ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน

## 2.7 คุณสมบัติของไลดาร์ LiDAR ทางอากาศ

การรังวัดด้วยไลดาร์ (LiDAR) ให้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลกลุ่มจุดระดับหนาแน่นที่เรียกว่า Point Cloud จุดระดับที่ได้จะมีทั้งค่าพิกัดทางราบและค่าระดับ กลุ่มจุดระดับที่ได้จากการสะท้อนกลับของสัญญาณเลเซอร์ที่อาจจะกระทบได้ทั้งต้นไม้ที่สามารถทะลุทะลวงยอดไม้ และพืชที่ไม่หนาที่มากในพื้นที่ป่า พื้นที่ที่มีพืชปกคลุมอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ รวมทั้งจุดระดับบนภูมิประเทศ ซึ่งจุดระดับที่ได้จำนวนมากที่ได้สามารถแสดงผลเป็นแบบจำลองพื้นผิว (DSM) ได้ทันที (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555)

ไลดาร์ (LiDAR) ย่อมาจาก Light Detection and Ranging เป็นการรังวัดแบบจำลองระดับด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระยะทางวิธีหนึ่งที่สำคัญในปัจจุบันที่ทำให้ได้แบบจำลองระดับมีความละเอียดถูกต้องถึงระดับเดซิเมตร และจุดระดับที่ได้ครอบคลุมพื้นที่อย่างหนาแน่นมากกว่าหนึ่งจุดต่อตารางเมตร ไลดาร์เป็นเครื่องวัดระยะทางที่ปล่อยคลื่นเลเซอร์ด้วยความถี่สูงมาก เพื่อวัดระยะทางจากอากาศยานไปสู่พื้นผิวภูมิประเทศ ข้อมูลระยะทางที่ได้จะสามารถนำไปคำนวณให้เป็นค่าระดับจำนวนมากของจุดบนภูมิประเทศ การรังวัดด้วยไลดาร์เป็นการรังวัดโดยตรงจากอากาศยานที่มีความละเอียดถูกต้องสูง เนื่องจากเลเซอร์มีความละเอียดในช่วง 10 ถึง 30 ซม. และประกอบกับความถูกต้องเชิงตำแหน่งของอากาศยานที่สามารถตรวจจับด้วยระบบการวัดตำแหน่งและการวางตัวด้วยเทคโนโลยี Global Positioning System (GPS) และ Inertial Measurement Unit (IMU) จึงทำให้ระบบไลดาร์ มีความยืดหยุ่นสามารถติดตั้งบนอากาศยานได้หลากหลายชนิด (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555)

สำหรับการศึกษานี้จะใช้ข้อมูล Point Cloud บริเวณสวนหลวง ร.9 ถนน เฉลิมพระเกียรติ ร. 9 แขวงสวนหลวง เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250 สํารวจด้วยเทคโนโลยี Light Detection and Ranging : LiDAR ทางอากาศ พ.ศ. 2559 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ โดยมีจำนวน Point Cloud ทั้งหมด 5,411,091 จุด มีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.231 จุดต่อตารางเมตร มีค่า Box Dimensions ที่ X: 2391.19, Y: 2388.75, Z: 415.758 และระบุนความสูงของต้นไม้แต่ละต้นด้วยค่า First return

## 2.8 การตรวจสอบผลการจำแนก

จากการจำแนกข้อมูลด้วยวิธี Decision Tree ตามเงื่อนไขที่กำหนด นำผลที่ได้มาทำการตรวจสอบ และเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีจำนวนน้อย จึงเลือกข้อมูลทดสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) โดยทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องในการจำแนกตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ ซึ่งวิธีนี้จะทำการแบ่งข้อมูลตัวอย่างออกมาบางส่วน (Validation Data) โดยการสุ่มข้อมูลตามจำนวน  $k$  รอบ เพื่อให้มีการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งจะทำให้จำนวนตัวอย่างทั้งตัวอย่างกลุ่มมากและตัวอย่างกลุ่มน้อยเกิดการกระจายตัว และทำการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix เพื่อหาค่าความถูกต้องสูงสุด และค่าความถูกต้องต่ำสุด

การตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix โดยการสร้างตาราง Error Matrix แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงปริมาณของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนก และข้อมูลได้จากการสำรวจจริงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการตรวจสอบผลการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix

	1	2	$k$	$ni+$
1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
$k$	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{kk}$	$n_{k+}$
$n+j$	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+k}$	$n$

$j = \text{columns (reference)} \quad i = \text{rows (classification)}$

โดย  $n_{ij}$  คือจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้อง  
 $n_{i+}$  คือจำนวนจุดภาพที่จำแนกทั้งหมดของชั้นข้อมูลหนึ่งๆ จากการจำแนก  
 $n_{+j}$  คือจำนวนจุดภาพที่จำแนกทั้งหมดของชั้นข้อมูลหนึ่งๆ จากการสำรวจจากพื้นที่จริง  
 $k$  คือ จำนวนชั้นข้อมูลทั้งหมด  
 $n$  คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด

การประเมินค่าความถูกต้องแบ่งเป็น 3 วิธี คือ

2.7.1.1 ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) เป็นค่าที่แสดงความถูกต้องทั้งหมดคำนวณได้โดยนำจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องหารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดและคำนวณออกมาเป็น เปอร์เซนต์ ดังสมการที่ (3) (Congalton & Green, 1999)

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k n_{ii} \quad (3)$$

2.7.1.2 ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy หรือ Omission error) เป็นค่าที่แสดงความผิดพลาดของข้อมูลที่น่าสนใจที่ถูกจำแนกไปเป็นข้อมูลประเภทอื่นๆ คำนวณได้จากการนำจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องทั้งหมดของข้อมูลชนิดหนึ่งๆ หารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดของชั้นข้อมูลนั้น ซึ่งทำการสำรวจจากพื้นที่จริง และคำนวณออกมาเป็น เปอร์เซนต์ ดังสมการที่ (4) (Congalton & Green, 1999)

$$\text{Producer's Accuracy} = \frac{n_{1j}}{n_{+j}} \quad (4)$$

2.7.1.3 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy หรือ Commission error) เป็นค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดของข้อมูลประเภทอื่นที่ถูกจำแนกมาเป็นข้อมูลที่น่าสนใจ คำนวณได้จากการนำจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องทั้งหมดของชั้นข้อมูลชนิดหนึ่งๆ หารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดของชั้นข้อมูลนั้น ที่มาจากการจำแนกและคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซนต์ ดังสมการที่ (5) (Congalton & Green, 1999)

$$\text{User's Accuracy} = \frac{n_{ij}}{n_{i+}} \quad (5)$$

2.7.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์ (Kappa Statistic) เป็นค่าความถูกต้องโดยรวม ที่แสดงถึงความถูกต้องในการจำแนกหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำมาใช้อีกค่าหนึ่ง ซึ่ง Kappa ใช้เป็นตัวชี้วัดในการยอมรับผลระหว่างค่าที่ได้จากการทำนาย หรือผลที่ได้จากการจำแนก กับค่าจริงที่ได้จากข้อมูลจริง หรือเป็นการตรวจสอบว่าผลการจำแนกที่ใช้เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนนั้นเป็นตัวแทนที่มีนัยสำคัญหรือดีกว่าผลที่ได้จากการสุ่มมากน้อยเพียงใด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยค่า Kappa สามารถคำนวณได้ ดังสมการ (6) (Congalton & Green, 1999)

$$\text{Kappa} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+j}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+j}} \quad (6)$$

### บทที่ 3

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาซิฐู ลากพระแก้ว (2557) ศึกษาการจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวตามแนวคิดของ Zhang และ Hu เพื่อจำแนกต้นไม้ในพื้นที่เมืองเขตร้อนด้วยภาพถ่ายรายละเอียดสูงโดยใช้วิธีการเก็บค่าสะท้อนตามแนว Longitudinal Profile และทำการจำแนกด้วยวิธี Decision Tree กับพืช 3 ชนิด ได้แก่ หูกกระจิง จามจุรี และพีชวงศ์ปาล์ม พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ผลการจำแนกพบว่า เมื่อนำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Longitudinal Profile มาช่วงในการจำแนกทำให้ผลการจำแนกมีความถูกต้องโดยรวมสามารถจำแนกพืชเขตร้อนในพื้นที่เมืองได้ค่าความถูกต้องโดยรวมถึง 88.89%

Zhang and Hu (2012) ศึกษาการจำแนกต้นไม้ในเมืองระดับสายพันธุ์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) ของภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงหลายช่วงคลื่น มาใช้ในการจำแนกประเภทของต้นไม้ในเขตเมือง และทำการเก็บค่าการสะท้อนรูปตัดตามแนวลองจิจูดแล้วนำมาจำแนกต้นไม้ในลักษณะต้นเดี่ยวในระดับสายพันธุ์ โดยวิเคราะห์ทางเรขาคณิตร่วมกับการจำแนกด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) ในการจำแนกต้นไม้ 6 ชนิด ได้แก่ Maple, Ash, Birch, Oak, Spruce และ Pine ในมหาวิทยาลัยยอร์ก ประเทศแคนาดาซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอากาศหนาว พบว่ามีความถูกต้องโดยรวมสูงถึง 75%

Q. Wang et al. (2011) ศึกษาการจำแนกสายพันธุ์ต้นไม้ ชนิดต่าง ๆ แบบกึ่งอัตโนมัติด้วยวิธีสมการถดถอยพหุพจน์ โดยใช้ตัวแปรคือรูปทรงทางเรขาคณิตและสเปกตรัมที่ได้จากภาพถ่ายโดยใช้ภาพถ่ายความละเอียดสูง ADS40 สำหรับพื้นที่หนึ่ง และ RC30 สำหรับพื้นที่สอง ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน และข้อมูลแบบจำลองความสูงที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ทางอากาศ มีความละเอียด 25 เซนติเมตร ในพื้นที่แรก และ 50 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่สอง โดยพื้นที่ศึกษาอยู่ที่เทือกเขาแอลป์ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ผลการศึกษาให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกให้ค่าความถูกต้องโดยรวมที่ร้อยละ 76 ถึง ร้อยละ 86 ของทั้งสองพื้นที่

Nowak and F. Dwyer (2010) ศึกษาการพัฒนาโครงการต้นไม้ในเขตเมือง เพื่อกำหนดรูปแบบการจัดการและการบำรุงรักษาพืชพรรณเมืองซึ่งมีความหลากหลายทางสายพันธุ์ และ

คุณประโยชน์ที่มีผลต่อความเป็นเมืองนั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ รวมถึงเพื่อการออกแบบและการจัดการผังเมืองเพื่อสร้างความสมดุลของคนเมืองและสิ่งแวดล้อม

Fournier et al. (1995) ศึกษาการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยสเปกตรัมจากภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดต่ำ เปรียบเทียบกับการจำแนกด้วยภาพถ่ายทางอากาศที่มีรายละเอียดสูง ผลการศึกษาพบว่าภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดต่ำมีข้อจำกัด และมีคุณสมบัติไม่เพียงพอต่อการจำแนกพื้นที่ป่า หรือพันธุ์ไม้ และการจำแนกด้วยภาพถ่ายทางอากาศที่มีรายละเอียดสูงมุ่งเน้นการจำแนกโดยการระบุด้วยเรือนยอดของต้นไม้แต่ละต้นซึ่งมีความถูกต้องในการจำแนกโดยเฉลี่ยประมาณ 65%

Brandtberg (2002) ศึกษาการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดออกเป็นกลุ่มด้วยวิธี fuzzy set โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงอินฟราเรด โดยใช้เงื่อนไขการจำแนกจากดูที่เรือนยอดของต้นไม้ด้วยแบบจำลอง Grade of Membership (GoM) และ Linear Discriminant Analysis (LDA) ผลการศึกษาสามารถจำแนกพันธุ์ไม้ได้แม่นยำโดยรวมประมาณ 67% กับพืช Coniferous, Pine และ Birch

Holmgren et al. (2008) ศึกษาการจำแนกพรรณไม้ในพื้นที่เขตเมืองทั้งต้นไม้ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวและลักษณะกลุ่ม กับพืช 3 ชนิด ได้แก่ Norway spruce, Scots pine และไม้ผลัดใบ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงร่วมกับข้อมูลไลดาร์ทางอากาศ โดยให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 96%

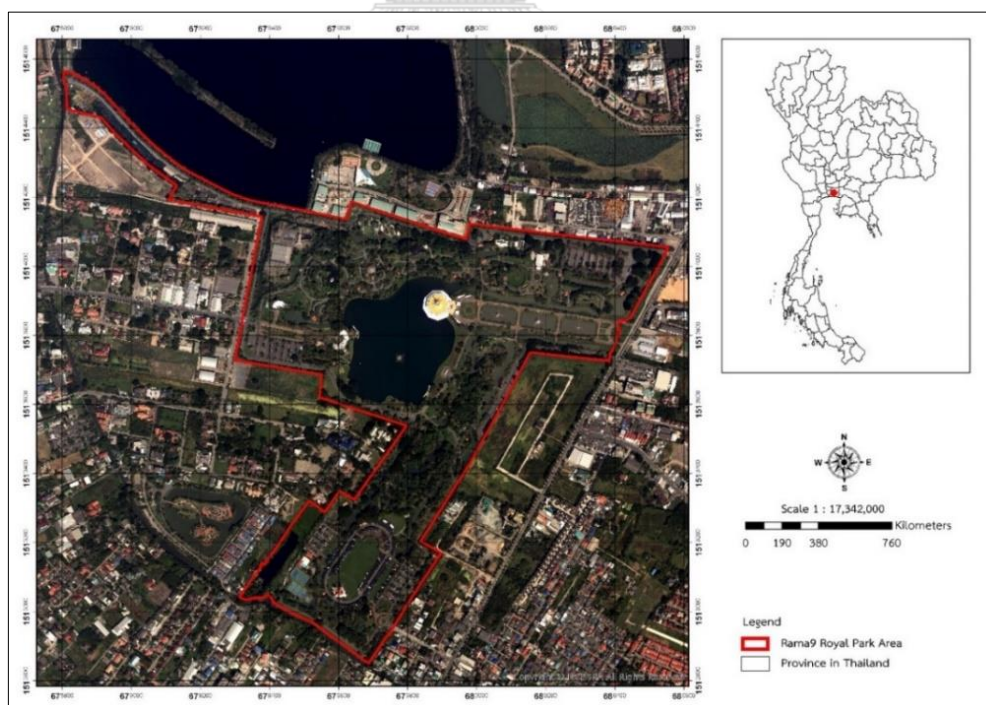
K. Wang et al. (2018) รวบรวมการศึกษาเปรียบเทียบการจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ในพื้นที่เขตเมือง โดยภาพถ่าย multispectral และhyperspectral รวมถึงการจำแนกร่วมกับข้อมูล LiDAR เพื่อยืนยันค่าความถูกต้องในการจำแนกในระดับสายพันธุ์ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ภาพถ่ายความละเอียดสูง หรือข้อมูลไลดาร์เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีมีงานวิจัยต่าง ๆ รองรับ โดยเฉพาะงานวิจัยของ Holmgren (2008) ได้ทำการจำแนกด้วยภาพถ่ายความละเอียดสูงร่วมกับข้อมูล LiDAR ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมที่ดีที่สุดถึง 96%

## บทที่ 4

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 4.1 พื้นที่ศึกษาและต้นไม้ที่สนใจ

พื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้คือ บริเวณสวนหลวง ร.9 ซึ่งเป็นสวนสาธารณะหรือสวนนานาชาติ สร้างขึ้นเพื่อน้อมเกล้าฯน้อมกระหม่อมถวาย เนื่องในศุภมงคลสมัย ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเจริญพระชนมพรรษาครบ 5 รอบ ในวันที่ 5 ธันวาคม พุทธศักราช 2530 ซึ่งเป็นสวนสาธารณะที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ประมาณ 500 ไร่ ตั้งอยู่ที่ ถนนเฉลิมพระเกียรติ ร. 9 แขวงสวนหลวง เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250 ภายในสวนหลวง ร.9 ประกอบด้วยสวนนานาชาติสอดแทรกอยู่ 7 ชนิด ได้แก่ สวนจีน สวนญี่ปุ่น เป็นสวนของโลกภาคตะวันออก สวนต่าง ๆ ของชาติในทวีปยุโรปคือสวนอังกฤษ สวนฝรั่งเศส สวนอิตาลี สวนสเปนเป็นสวนของโลกภาคตะวันตก สวนอเมริกัน มีลักษณะเป็นสวนชนิดใหม่ (สำนักงานมูลนิธิสวนหลวง ร.๙, 2561) ที่สำคัญคือมีการปลูกที่มีทั้งลักษณะต้นเดี่ยวและเป็นกลุ่ม และมีพรรณไม้เขตร้อนครอบคลุมทุกชนิดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนที่ขอบเขตพื้นที่ศึกษา บริเวณสวนหลวง ร.9

การวิจัยครั้งนี้ต้องการจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ทั้งที่เป็นต้นไม้เดี่ยวและกลุ่ม ในพื้นที่เขตเมืองร้อนชื้น ดังนั้นการเลือกต้นไม้ที่เป็นตัวแทนของพันธุ์ไม้ที่ปลูกในเขตเมืองร้อนภายในพื้นที่ศึกษา โดยทำการเลือกจากต้นไม้ที่สนใจและนิยมปลูกในเขตเมือง 7 ชนิด คือ จามจุรี ประดู่ พิกุล ต้นไม้วงศ์ปาล์ม ทางนกยูง หูกระจง และหูกวาง โดยเป็นเลือกต้นไม้ที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ดังตารางที่ 4.1 และมีลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 4.2 – 4.4 เนื่องจากเป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมสำหรับปลูกในเขตชุมชนเมือง ช่วยลดฝุ่นละออง และช่วยกักเก็บคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) (สำนักจัดการป่าชุมชน, 2018) โดยต้นไม้ที่สนใจสามารถกักเก็บคาร์บอน ดังตารางที่ 4.2 และการสุ่มสำรวจจากพื้นที่สวนสาธารณะอื่น ๆ สถานที่ราชการต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานครพบว่า มีการปลูกต้นไม้ 7 ชนิดดังกล่าวเป็นจำนวนมาก จึงให้ต้นไม้ 7 ชนิดนี้เป็นตัวแทนของพืชเขตร้อนชื้นในการศึกษา

ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดต้นไม้

ชนิดต้นไม้	ชื่อทางวิทยาศาสตร์
จามจุรี	Samaneasaman (Jacq.) Merr.
ประดู่	Pterocarpus Macrocarpus
พิกุล	Mimusops elengi
ไม้วงศ์ปาล์ม	Palmae หรือ Arecaceae
ทางนกยูง	Caesalpinia Pulcherrima
หูกระจง	Terminalia Ivorensis
หูกวาง	Terminalia catappa

ที่มา: (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)

ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดต้นไม้ และค่าการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้แต่ละชนิด

ชนิดต้นไม้	ค่าการกักเก็บคาร์บอน (ตัน/ปี/พื้นที่)
จามจุรี	77.03
ประดู่	91.28
พิกุล	29.58
ไม้วงศ์ปาล์ม	80.44
หางนกยูง	32.26
หูกระจง	19.01
ทูกวาง	21.21

ที่มา: (ปรัชญา แฉ้วพลสง และ เศรษฐ์ศิริณ นาคสุข, 2561)



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะต้นจามจุรี และต้นประดู่ ตามลำดับ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะต้นพิกุล ต้นไม้วงศ์ปาล์ม และต้นหางนกยูง ตามลำดับ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)





รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะหูกะจาง และต้นหูกวาง ตามลำดับ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)

## 4.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บตำแหน่งของต้นไม้ที่ต้องการศึกษาด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดพกพา (Handheld GPS) โดยทำการเก็บค่าพิกัดของต้นไม้แต่ละต้นตามชนิดที่กำหนดไว้และทำการถ่ายภาพรูปบอกชนิดต้นไม้แต่ละต้น โดยข้อมูลที่จะทำการเก็บมีดังนี้

4.2.1 ข้อมูลตำแหน่งของต้นไม้แต่ละชนิด

4.2.2 ชนิดของต้นไม้ และจำนวนต้นไม้ที่สนใจ ในพื้นที่ศึกษา

## 4.3 การจำแนกพรรณไม้

นำภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข DMC มาวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) แล้วกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยกำหนดเงื่อนไขในการจำแนกด้วย ข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ และวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ โดยกำหนดเงื่อนไขในการจำแนก 3 แบบ คือ

4.4.1 การจำแนกด้วยค่า อัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) และวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด

4.4.2 การจำแนกด้วยค่า Roughness ของรูปตัดตามแนวลองจิจูด

4.4.3 การจำแนกด้วยค่าความสูงของต้นไม้ (Tree Height) ที่ได้จากข้อมูล LiDAR

#### 4.4 การประเมินค่าความถูกต้อง

ประเมินค่าความถูกต้องด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ซึ่งทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลออกมา 20% ของข้อมูลทั้งหมดจำนวน 30 ชุด แล้วทำการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix แล้วทำการอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

#### 4.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.5.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดพกพา (Handheld GPS) จำนวน 3 เครื่อง

4.5.2 กล้องถ่ายรูป

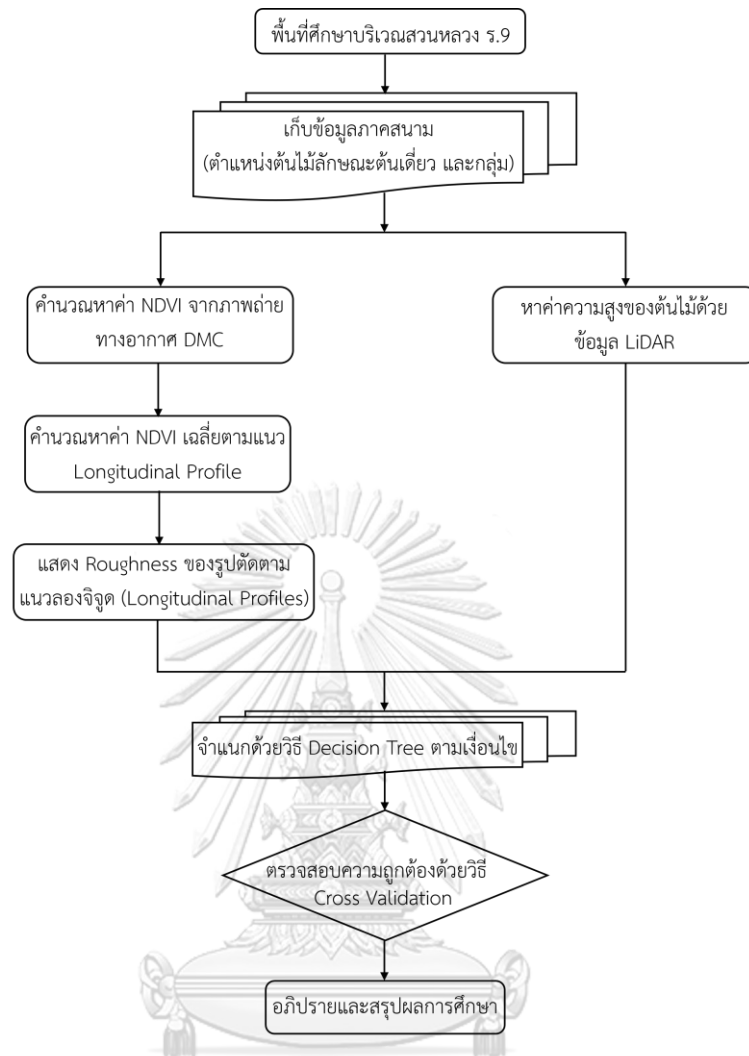
4.5.3 ป้ายสำหรับทำเครื่องหมายบนต้นไม้

4.5.4 สมุดบันทึกข้อมูลภาคสนามพร้อมปากกา

4.5.5 เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมชุดโปรแกรม ENVI 5.5, ArcGIS Desktop 10.8, Microsoft Excel

#### 4.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้รวบรวมและสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 4.5



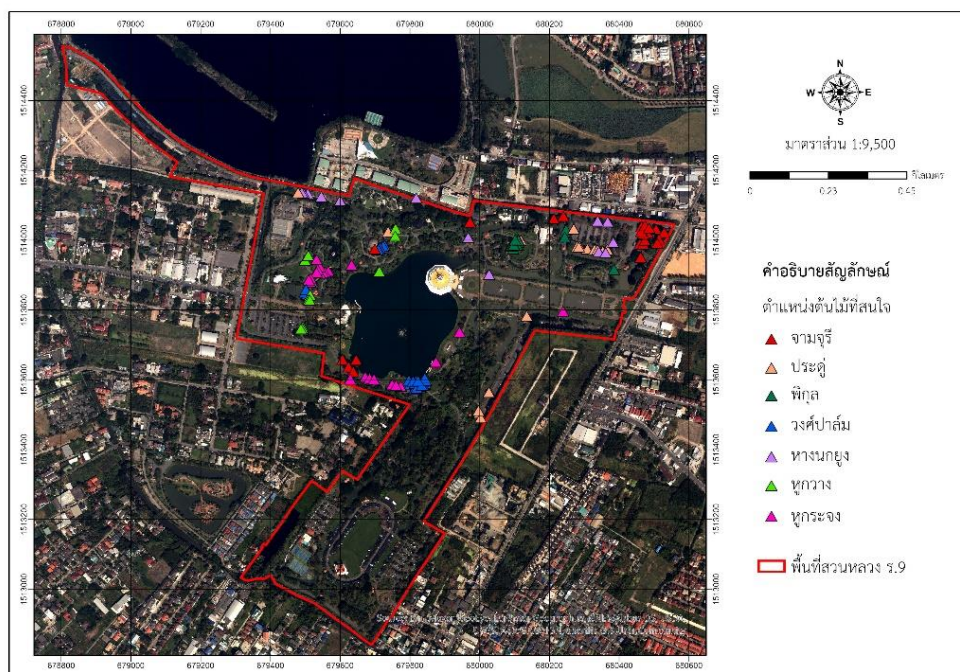
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

จากรูปที่ 4.5 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

4.5.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาคสนาม ทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งต้นไม้ที่สนใจสนใจมีทั้งลักษณะเดี่ยวและกลุ่มทั้งหมด 7 ชนิด ดังตารางที่ 4.2 ด้วยอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ GPS ของต้นไม้แต่ละต้น ติดป้ายเครื่องหมายบนต้นไม้ที่ทำการเก็บตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว และทำการจดบันทึกรายละเอียด บริเวณสวนหลวง ร.9 ดังรูปที่ 4.6

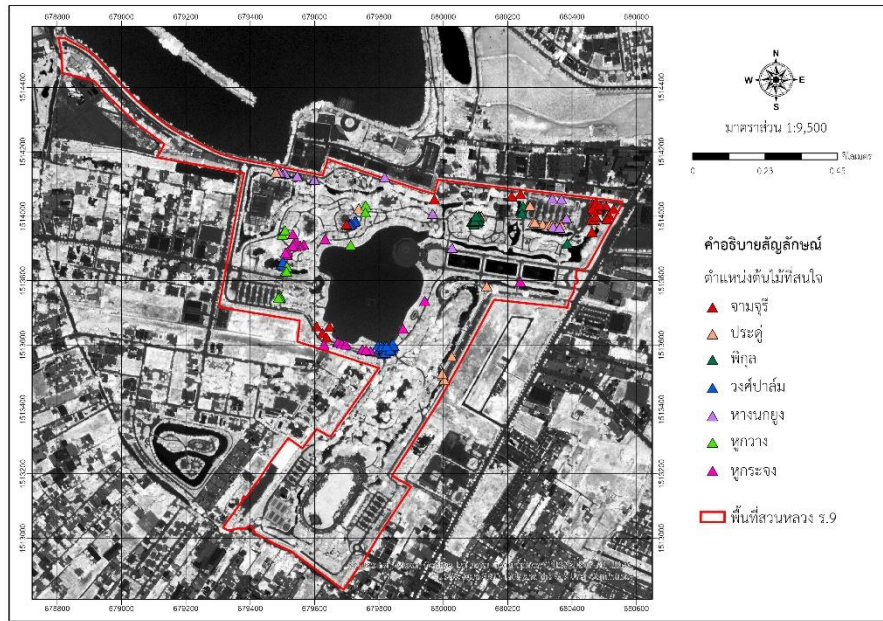
ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนข้อมูลต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษาแต่ละชนิด

ต้นไม้ตัวอย่าง	จำนวน (ต้น)
จามจุรี	15
ประดู่	16
พิภุล	12
ไม้วงศ์ปาล์ม	18
หางนกยูง	11
หูกระจง	21
หูกวาง	10



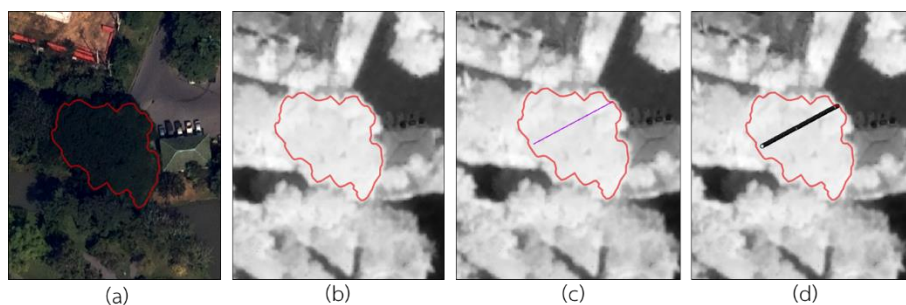
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงตำแหน่งต้นไม้ที่สนใจทั้งหมด 7 ชนิด ร่วมกับภาพ DMC

4.5.2 คำนวณค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) จากภาพถ่าย DMC ที่ได้ทำการปรับแก้ค่าการปรับแก้ภายนอก (Exterior Orientation Parameter: EOP) จากนั้นทำการคำนวณหาค่า NDVI ด้วยโปรแกรม ENVI ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงตำแหน่งต้นไม้ที่สนใจทั้งหมด 7 ชนิด ร่วมกับภาพ NDVI

4.5.2 คำนวณค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) เฉลี่ยตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) โดยทำการวาดขอบเขตเรือนยอดของต้นไม้ที่สนใจแต่ละต้น และทำการวาดเส้นตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) ภายในขอบเขตเรือนยอดของต้นไม้ และทำการเก็บค่าการสะท้อนตามแนวลองจิจูด โดยการสร้างตำแหน่งเพื่อเก็บค่า โดยกำหนดให้ระยะห่างของตำแหน่งบนเส้น 18 เซนติเมตร เท่ากับความกว้างของจุดภาพ DMC เพื่อหาค่า NDVI สูงสุด ต่ำสุด และ NDVI เฉลี่ย ด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop ดังรูป 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนการหาค่า NDVI เฉลี่ยตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละต้น โดย (a) วาดเรื่อนยอดบนภาพถ่าย DMC (b) นำขอบเขตเรื่อนยอดมาซ้อนทับกับภาพที่มีค่า NDVI (c) วาดเส้นรูปตัดตามแนวลองจิจูด (d) ดึงค่า NDVI ของแต่ละจุดภาพตามแนวแนวลองจิจูด

4.5.3 แสดงความราบเรียบของรูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) โดยการนำตำแหน่งเพื่อเก็บค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของเรื่อนยอดต้นไม้แต่ละต้นมา Plot ด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop

4.5.4 หาค่าความสูงของต้นไม้ที่สนใจด้วยข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ด้วยการนำค่า First Return ภายในขอบเขตเรื่อนยอดของต้นไม้แต่ละต้น โดยใช้โปรแกรม ArcGIS Desktop

4.5.5 จำแนกด้วยวิธี Decision Tree ตามเงื่อนไข โดยใช้ผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 4.5.1 – 4.5.4 มาจำแนกตามวิธี Decision Tree ด้วย Python Script บนโปรแกรม ArcGIS Desktop ดังนี้

4.5.5.1 การจำแนกด้วยค่า อัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) และวิธีรูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles)

4.5.5.2 การจำแนกด้วยความราบเรียบของรูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles)

4.4.5.3 การจำแนกด้วยค่าความสูงของต้นไม้ (Tree Height) ที่ได้จากข้อมูล LiDAR

4.5.6 ตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธี Classification Error Matrix และรายงานค่าความถูกต้องของการจำแนก เพื่อยืนยันผลการทดลอง

## บทที่ 5

### ผลการศึกษา

#### 5.1 ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูด

จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดด้วยภาพถ่ายความละเอียดสูง ของต้นไม้ในเมืองที่สนใจแต่ละชนิด จำนวน 7 ชนิด โดยให้ค่าการสะท้อนดังตารางที่ 5.1 – ตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของต้นจามจุรี จำนวน 15 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
58	จามจุรี	0.58	0.61	0.60
59	จามจุรี	0.63	0.65	0.64
62	จามจุรี	0.56	0.63	0.59
86	จามจุรี	0.55	0.65	0.63
132	จามจุรี	0.58	0.64	0.63
133	จามจุรี	0.56	0.61	0.59
134	จามจุรี	0.50	0.63	0.60
135	จามจุรี	0.56	0.62	0.60
187	จามจุรี	0.50	0.60	0.55
188	จามจุรี	0.56	0.62	0.59
191	จามจุรี	0.58	0.64	0.62
193	จามจุรี	0.60	0.63	0.62
194	จามจุรี	0.45	0.63	0.60
195	จามจุรี	0.58	0.64	0.62

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ  
ต้นจามจุรี จำนวน 15 ต้น (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
514	จามจุรี	0.54	0.60	0.59

จากตารางที่ 5.1 – 5.2 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นประดู่ พบว่ามีค่าดัชนี  
NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.55 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.64

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ  
ต้นประดู่ จำนวน 16 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
44	ประดู่	0.45	0.56	0.51
45	ประดู่	0.39	0.57	0.52
46	ประดู่	0.21	0.46	0.37
47	ประดู่	0.50	0.57	0.54
74	ประดู่	0.28	0.36	0.32
75	ประดู่	0.33	0.45	0.41
173	ประดู่	0.41	0.45	0.44
178	ประดู่	0.43	0.55	0.49
180	ประดู่	0.42	0.52	0.49
182	ประดู่	0.35	0.43	0.41
183	ประดู่	0.37	0.45	0.42
184	ประดู่	0.37	0.49	0.46
185	ประดู่	0.39	0.49	0.44
480	ประดู่	0.29	0.41	0.38



ตารางที่ 5.4 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นประดู่ จำนวน 16 ต้น (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
485	ประดู่	0.43	0.47	0.46
493	ประดู่	0.42	0.45	0.43

จากตารางที่ 5.3 - 5.4 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นประดู่ พบว่ามีค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.32 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.54

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นพิกุล จำนวน 12 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
161	พิกุล	0.46	0.51	0.50
162	พิกุล	0.46	0.53	0.51
163	พิกุล	0.30	0.37	0.32
164	พิกุล	0.45	0.47	0.46
165	พิกุล	0.35	0.40	0.37
166	พิกุล	0.33	0.43	0.39
167	พิกุล	0.46	0.47	0.47
168	พิกุล	0.52	0.55	0.53
170	พิกุล	0.54	0.56	0.55
171	พิกุล	0.55	0.57	0.56
479	พิกุล	0.40	0.50	0.45
481	พิกุล	0.43	0.50	0.47

จากตารางที่ 5.5 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นพิกุล พบว่ามีค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.32 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.56

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นไม้วงศ์ปาล์ม จำนวน 18 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
80	วงศ์ปาล์ม	0.46	0.48	0.47
81	วงศ์ปาล์ม	0.50	0.55	0.54
82	วงศ์ปาล์ม	0.52	0.58	0.56
83	วงศ์ปาล์ม	0.55	0.59	0.58
84	วงศ์ปาล์ม	0.58	0.60	0.59
85	วงศ์ปาล์ม	0.53	0.53	0.53
115	วงศ์ปาล์ม	0.56	0.64	0.61
117	วงศ์ปาล์ม	0.31	0.64	0.58
118	วงศ์ปาล์ม	0.29	0.62	0.56
119	วงศ์ปาล์ม	0.61	0.67	0.64
143	วงศ์ปาล์ม	0.48	0.61	0.53
144	วงศ์ปาล์ม	0.47	0.59	0.55
145	วงศ์ปาล์ม	0.51	0.61	0.58
146	วงศ์ปาล์ม	0.45	0.59	0.55
147	วงศ์ปาล์ม	0.42	0.57	0.52
148	วงศ์ปาล์ม	0.41	0.51	0.48
150	วงศ์ปาล์ม	0.47	0.59	0.55
151	วงศ์ปาล์ม	0.48	0.60	0.55
153	วงศ์ปาล์ม	0.54	0.61	0.57
154	วงศ์ปาล์ม	0.54	0.61	0.59

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นไม้วงศ์ปาล์ม จำนวน 21 ต้น (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
156	วงศ์ปาล์ม	0.53	0.59	0.57

จากตารางที่ 5.6 - 5.7 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นไม้วงศ์ปาล์ม พบว่ามีค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.47 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.64

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ ต้นทางนกยูง จำนวน 11 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
68	ทางนกยูง	0.47	0.59	0.53
69	ทางนกยูง	0.29	0.40	0.37
70	ทางนกยูง	0.19	0.25	0.23
71	ทางนกยูง	0.25	0.40	0.35
72	ทางนกยูง	0.16	0.23	0.20
73	ทางนกยูง	0.22	0.30	0.25
486	ทางนกยูง	0.36	0.52	0.45
487	ทางนกยูง	0.30	0.45	0.38
488	ทางนกยูง	0.29	0.47	0.38
491	ทางนกยูง	0.52	0.54	0.53
512	ทางนกยูง	0.29	0.42	0.37

จากตารางที่ 5.8 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นทางนกยูง พบว่ามีค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.20 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.53

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของ  
ต้นหูกระจง จำนวน 21 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
92	หูกระจง	0.53	0.55	0.54
93	หูกระจง	0.56	0.59	0.57
94	หูกระจง	0.51	0.58	0.53
95	หูกระจง	0.52	0.56	0.54
495	หูกระจง	0.46	0.58	0.53
496	หูกระจง	0.52	0.60	0.57
499	หูกระจง	0.54	0.57	0.55
500	หูกระจง	0.44	0.57	0.50
501	หูกระจง	0.48	0.52	0.50
505	หูกระจง	0.47	0.50	0.48
88	หูกระจง	0.60	0.63	0.62
89	หูกระจง	0.52	0.58	0.54
90	หูกระจง	0.49	0.57	0.53
91	หูกระจง	0.51	0.53	0.52
110	หูกระจง	0.58	0.66	0.64
111	หูกระจง	0.52	0.54	0.53
112	หูกระจง	0.53	0.55	0.54
113	หูกระจง	0.50	0.55	0.53
137	หูกระจง	0.63	0.68	0.66
138	หูกระจง	0.44	0.52	0.50
139	หูกระจง	0.44	0.47	0.45
140	หูกระจง	0.52	0.56	0.55

จากตารางที่ 5.9 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นหูกระจง พบว่ามีค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.45 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.66

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดของต้นหูกวาง จำนวน 9 ต้น

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด	ค่าดัชนี NDVI เฉลี่ย
76	หูกวาง	0.59	0.69	0.66
77	หูกวาง	0.57	0.62	0.60
87	หูกวาง	0.57	0.61	0.59
108	หูกวาง	0.57	0.62	0.61
109	หูกวาง	0.57	0.65	0.63
120	หูกวาง	0.49	0.59	0.55
121	หูกวาง	0.57	0.67	0.63
122	หูกวาง	0.49	0.57	0.55
123	หูกวาง	0.51	0.57	0.55
124	หูกวาง	0.56	0.57	0.56

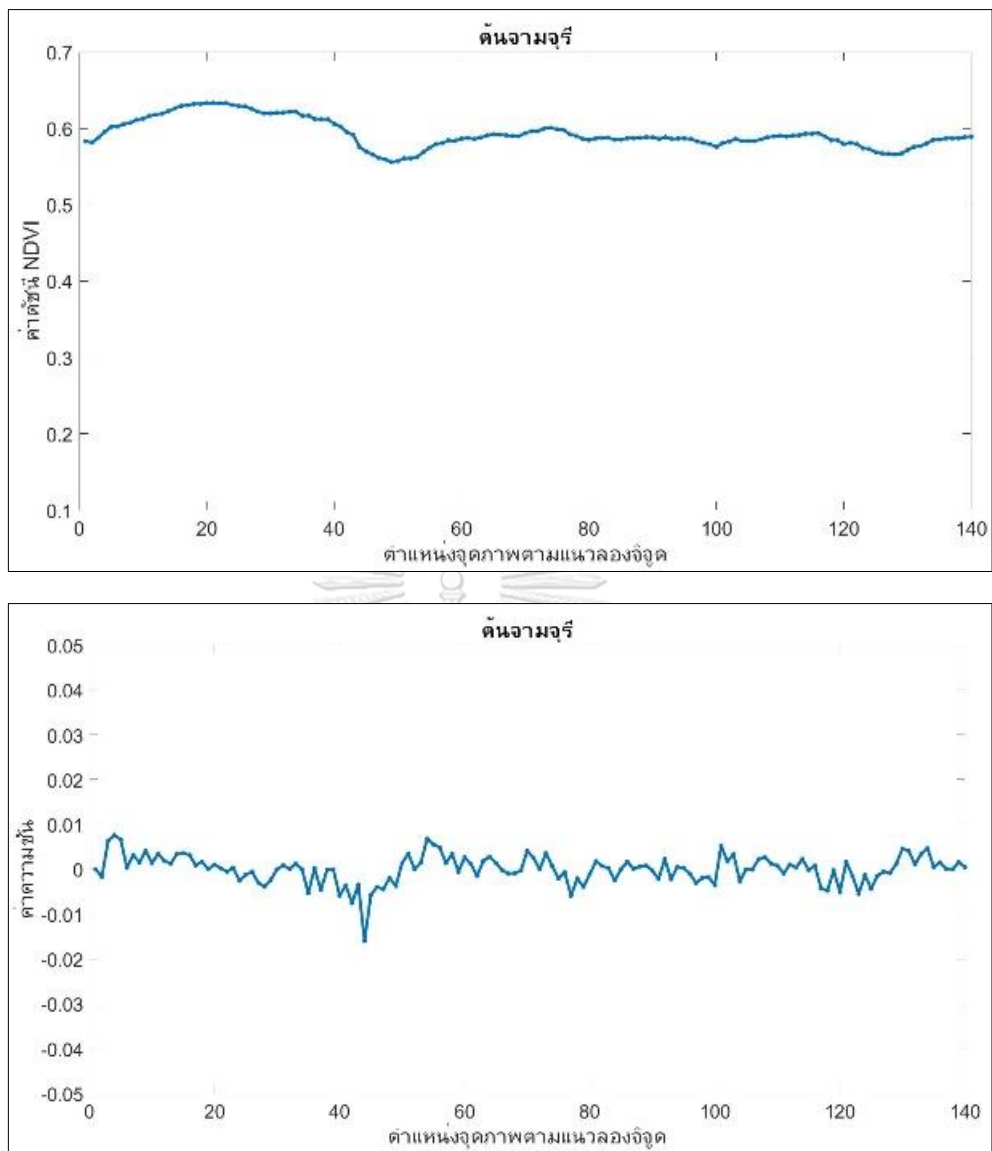
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 5.10 การจำแนกค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดของต้นหูกระจง พบว่ามีค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.55 และค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.66

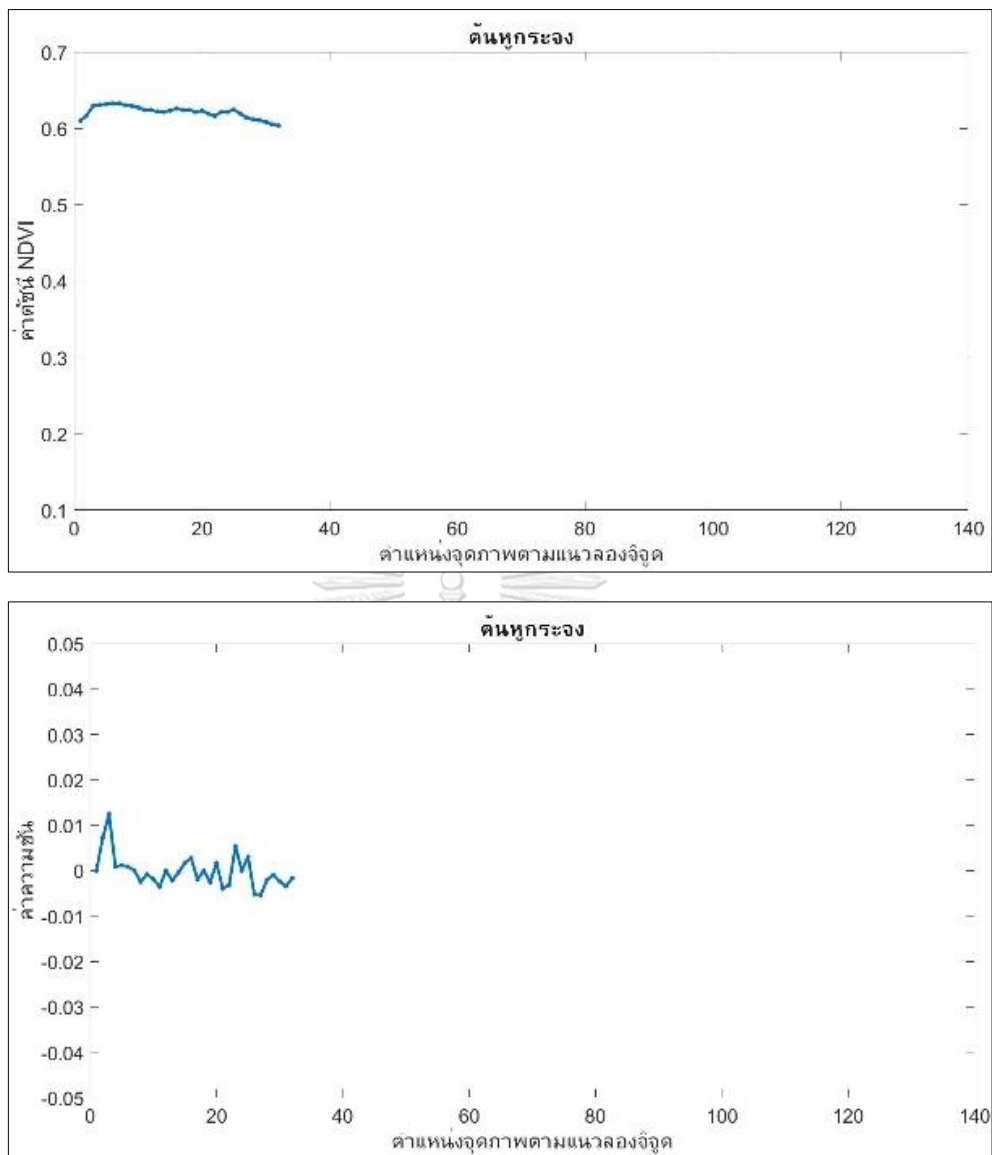
## 5.2 การหาค่า Roughness จากการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของรูปตัดตามแนว ลองจิจูด

จากข้อมูลรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) ทำการหาค่าดัชนี NDVI ของทุกจุดภาพ (Pixel) ที่ซ้อนทับกับเส้นรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด นำมาแสดงเป็นกราฟ และหาค่าความชันของรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละชนิดแต่ละต้น จากนั้นนำมาหาค่าสถิติ RMSE โดยแสดงข้อมูลในหน่วยองศา (มุม) จากการวิเคราะห์จะทำการแบ่งความราบเรียบ (Roughness) ของเส้นรูปตัดได้เป็น 2 รูปแบบ คือมีความราบเรียบต่ำ (High Roughness) คือมีค่า RMSE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.4 และมีความราบเรียบสูง (Low Roughness) คือมีค่า RMSE มากกว่า 0.4 ของต้นไม้ในเมืองแต่ละชนิด จำนวน 7 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็นเส้นรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูดที่มีความราบเรียบสูง 4 ชนิด ได้แก่ จามจุรี หูกวาง หูกระจง และพิกุล และเส้นรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูดที่มีความราบเรียบต่ำ 3 ชนิด ได้แก่ ต้นไม้วงศ์ปาล์ม ต้นประดู่ และต้นหางนกยูง ดังตารางที่ 5.11 และแสดงตัวอย่างรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละประเภท ดังรูปที่ 5.1 – รูป 5.7 ตารางที่ 5.11 แสดงค่าสถิติ RMSE ของค่าความชันของรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูดของต้นไม้แต่ละชนิด

ชนิดต้นไม้	ค่า RMSE ต่ำสุด (องศา (มุม))	ค่า RMSE สูงสุด (องศา (มุม))	ค่า RMSE เฉลี่ย (องศา (มุม))
จามจุรี	0.1	0.8	0.3
ประดู่	0.3	0.8	0.5
พิกุล	0.2	0.7	0.4
วงศ์ปาล์ม	0.1	2.2	0.8
หางนกยูง	0.1	1.1	0.6
หูกระจง	0.1	0.6	0.3
หูกวาง	0.2	0.8	0.4

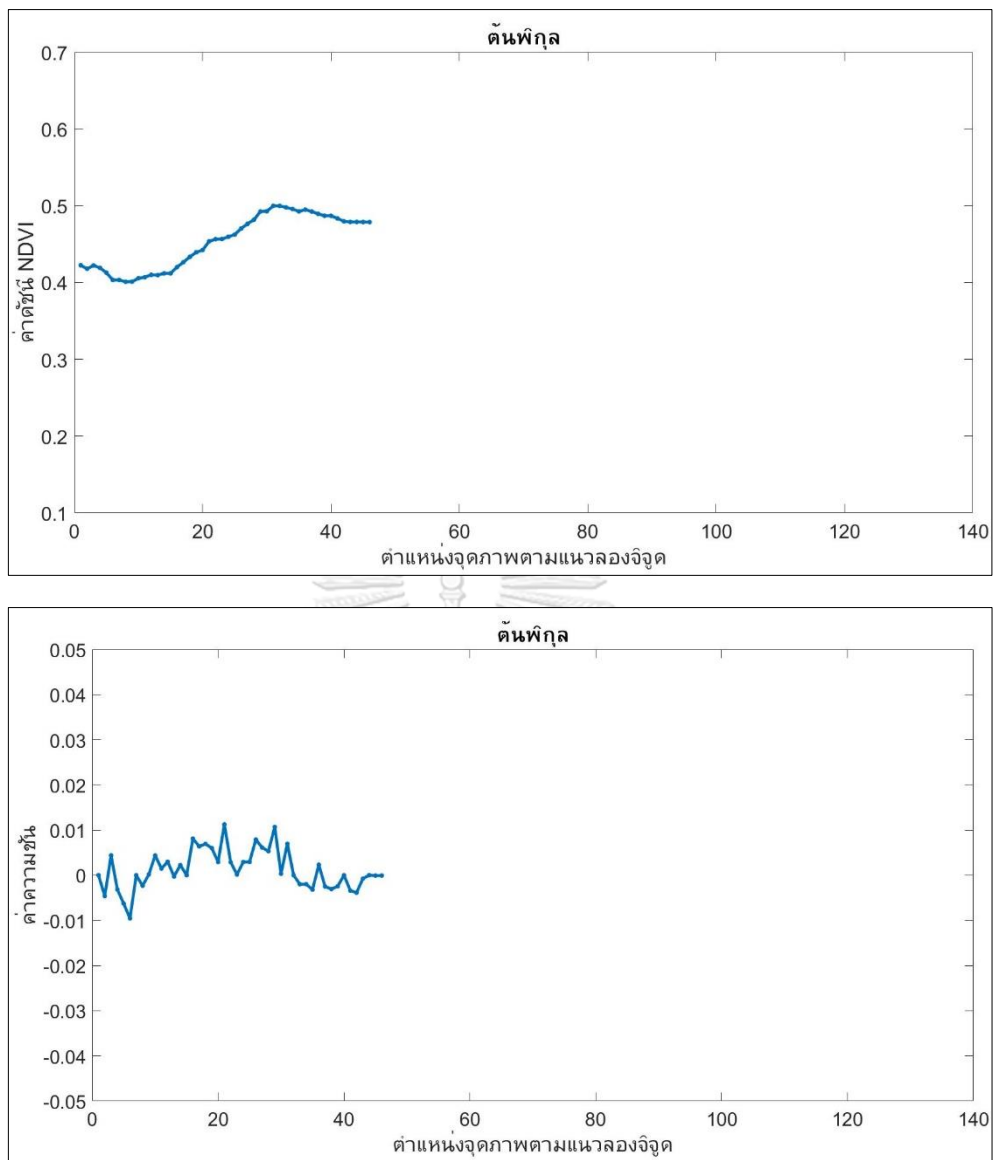


รูปที่ 5.1 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นจามจุรี

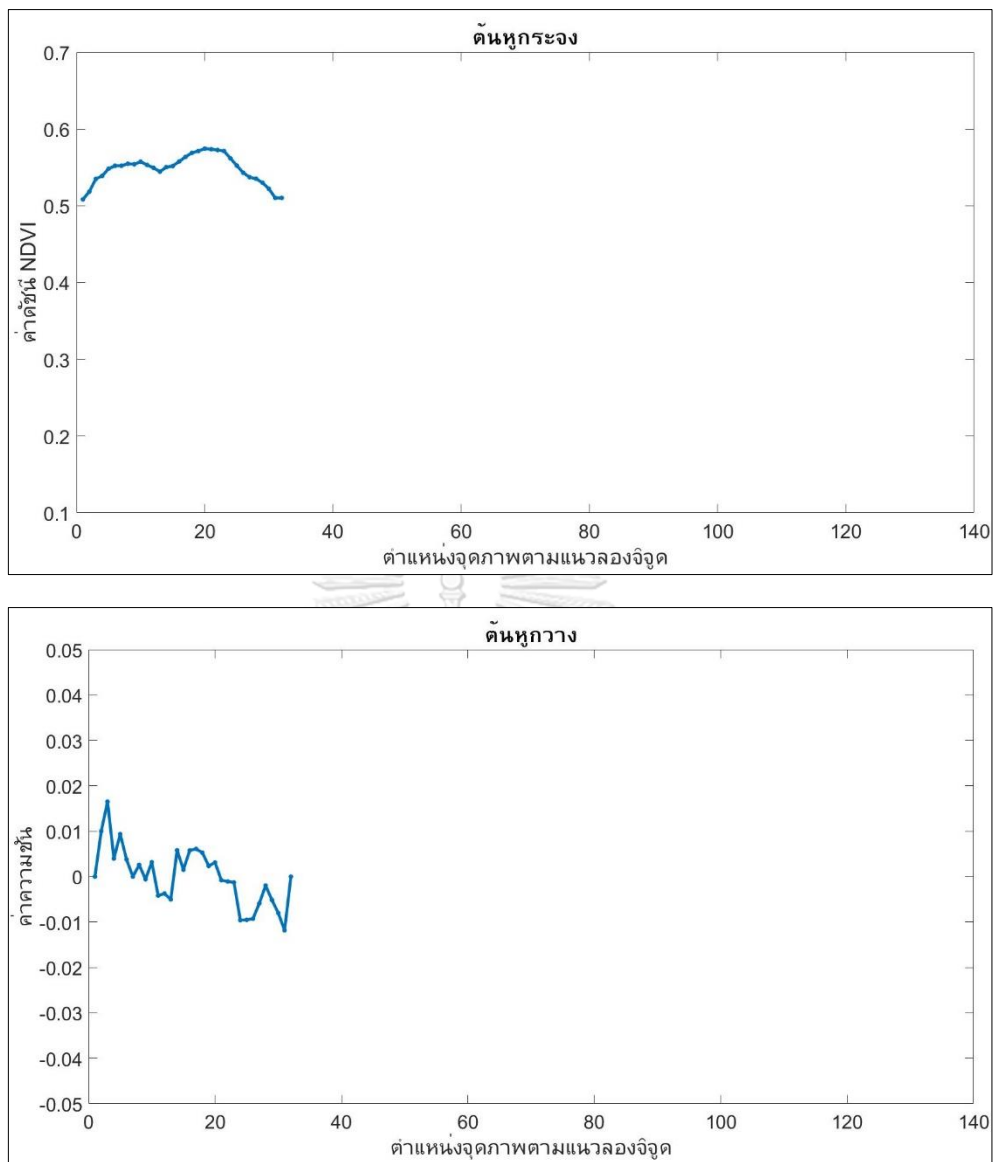


รูปที่ 5.2 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นहुกระจง

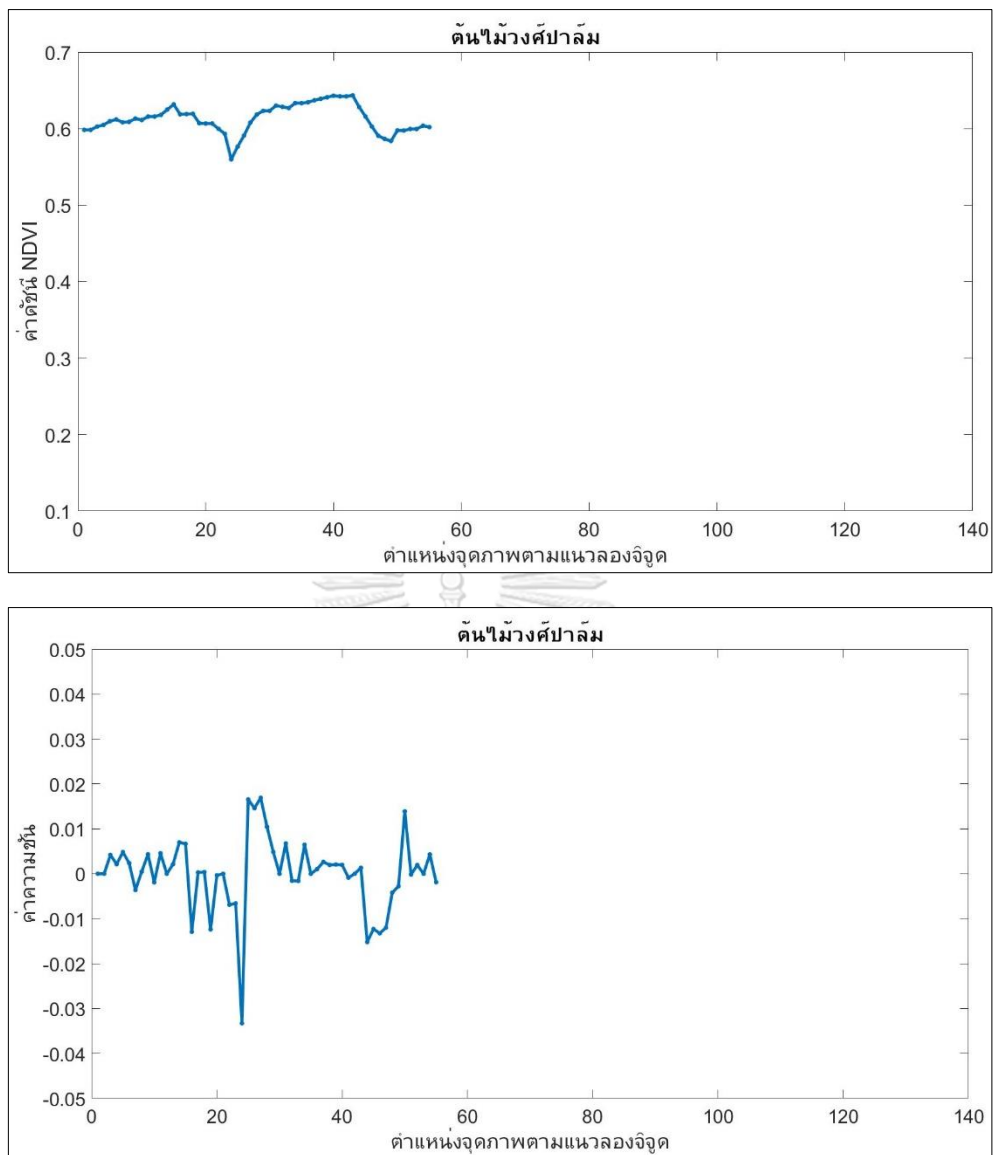




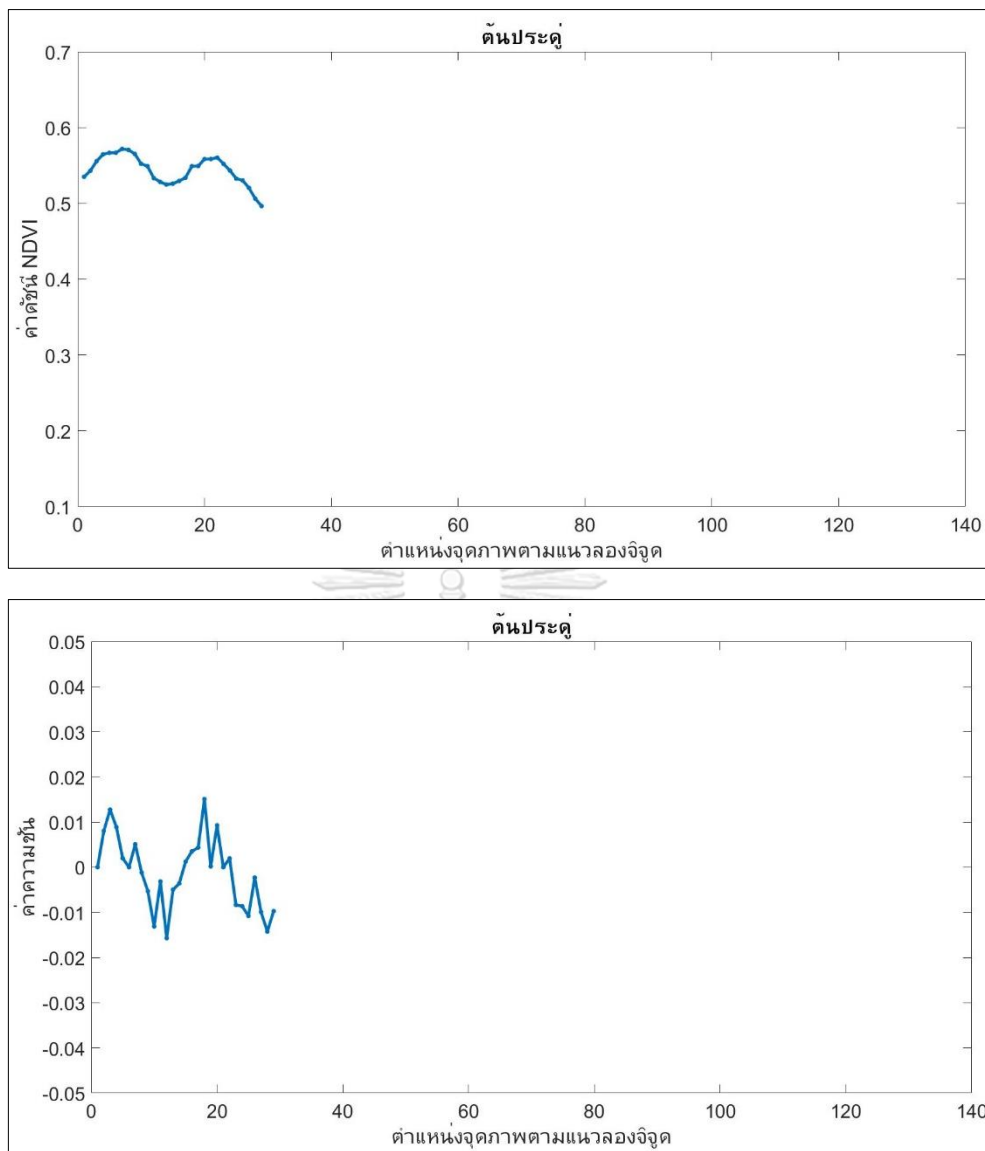
รูปที่ 5.3 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นพิบูล



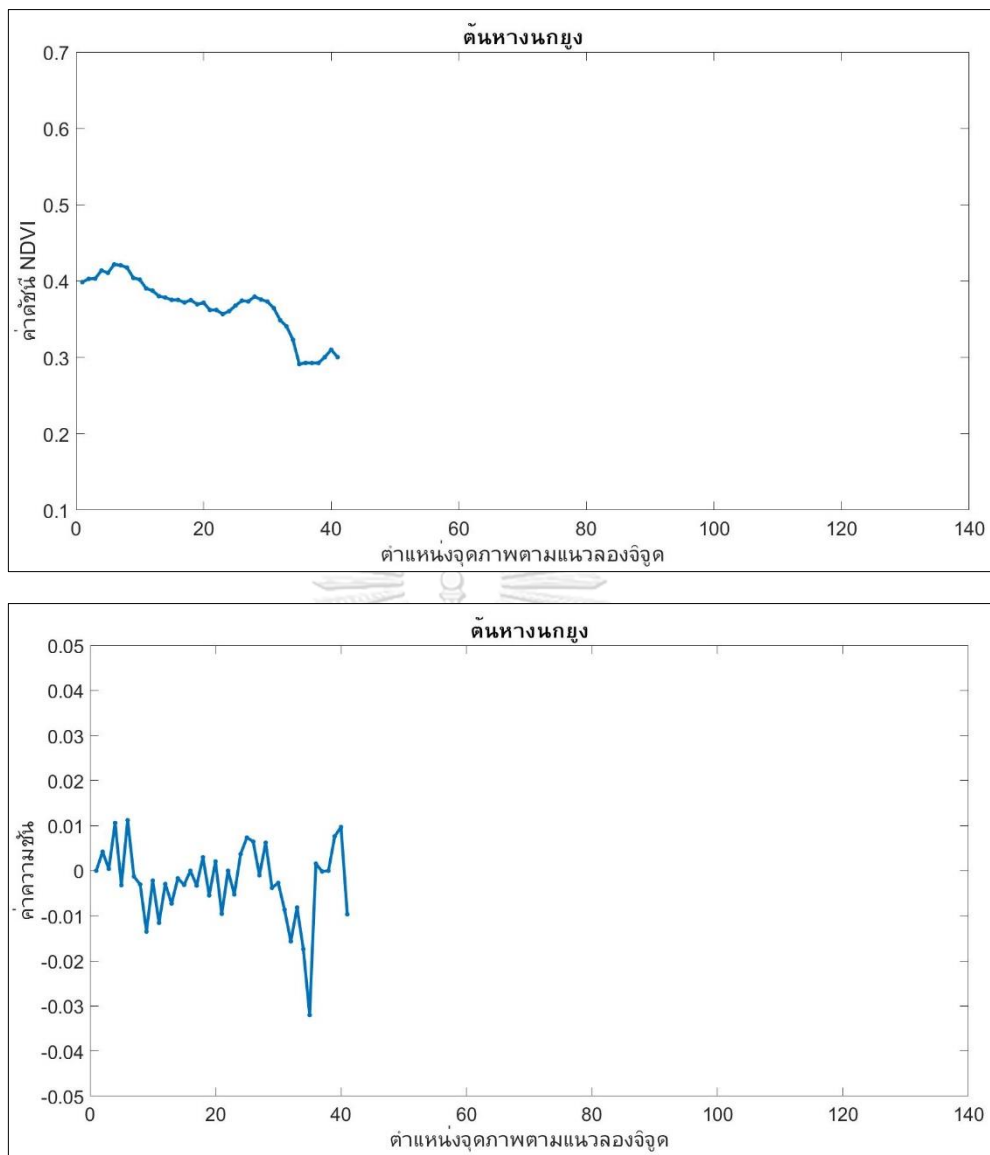
รูปที่ 5.4 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นหู  
กวาง



รูปที่ 5.5 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นไม้วงศ์ปาล์ม



รูปที่ 5.6 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นประดู่



รูปที่ 5.7 แสดงรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด และความชันรูปตัดขวางตามแนวลองจิจูด ของต้นทางนกงูง

### 5.3 การหาค่าความสูงของต้นไม้ (Tree Height) ที่ได้จากข้อมูล LiDAR

การจำแนกต้นไม้ที่สนใจด้วยค่าความสูงของต้นไม้ จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ โดยให้ค่าความสูงของต้นไม้ที่สนใจแต่ละต้น ดังตารางที่ 5.12 – ตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นจามจุรี

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
58	จามจุรี	10.771
59	จามจุรี	12.246
62	จามจุรี	15.087
86	จามจุรี	7.753
132	จามจุรี	11.509
133	จามจุรี	13.293
134	จามจุรี	12.372
135	จามจุรี	12.401
187	จามจุรี	13.475
188	จามจุรี	15.775
191	จามจุรี	13.232
193	จามจุรี	12.479
194	จามจุรี	14.125
195	จามจุรี	14.639
514	จามจุรี	10.038

จากตารางที่ 5.12 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นจามจุรี พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 7.753 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 15.775 เมตร

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้ประดู่

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
44	ประดู่	10.473
45	ประดู่	10.01
46	ประดู่	10.603
47	ประดู่	5.816
74	ประดู่	6.891
75	ประดู่	10.616
173	ประดู่	6.735
178	ประดู่	4.591
180	ประดู่	8.254
182	ประดู่	7.794
183	ประดู่	8.233
184	ประดู่	9.511
185	ประดู่	9.604
480	ประดู่	5.939
485	ประดู่	7.439
493	ประดู่	6.862

จากตารางที่ 5.13 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้ประดู่ พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 4.591 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 10.616 เมตร

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นพิกุล

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
161	พิกุล	5.927
162	พิกุล	4.899
163	พิกุล	4.618
164	พิกุล	4.948
165	พิกุล	5.747
166	พิกุล	4.051
167	พิกุล	6.479
168	พิกุล	4.062
170	พิกุล	11.074
171	พิกุล	8.667
481	พิกุล	5.421

จากตารางที่ 5.14 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นพิกุล พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 4.051 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 11.074 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.15 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้วงศ์ปาล์ม

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
82	วงศ์ปาล์ม	2.498
85	วงศ์ปาล์ม	0.946
115	วงศ์ปาล์ม	6.517
117	วงศ์ปาล์ม	6.83
118	วงศ์ปาล์ม	6.51
119	วงศ์ปาล์ม	7.352



ตารางที่ 5.16 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้วงศ์ปาล์ม (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
143	วงศ์ปาล์ม	7.724
144	วงศ์ปาล์ม	10.408
145	วงศ์ปาล์ม	8.711
146	วงศ์ปาล์ม	5.591
147	วงศ์ปาล์ม	11.688
148	วงศ์ปาล์ม	9.018
150	วงศ์ปาล์ม	9.796
151	วงศ์ปาล์ม	6.43
153	วงศ์ปาล์ม	6.707
154	วงศ์ปาล์ม	4.664
156	วงศ์ปาล์ม	3.972

จากตารางที่ 5.15 – 5.16 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นไม้วงศ์ปาล์ม พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 0.946 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 11.688 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.17 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหางนกยูง

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
68	หางนกยูง	3.482
69	หางนกยูง	8.905
70	หางนกยูง	9.41
71	หางนกยูง	9.32
72	หางนกยูง	13.105
73	หางนกยูง	11.99

ตารางที่ 5.18 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นहनง (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
486	हनง	9.746
487	हनง	7.108
488	हनง	10.198
491	हनง	6.615
512	हनง	8.972

จากตารางที่ 5.17 – 5.18 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นहनง พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 3.482 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 13.105 เมตร

ตารางที่ 5.19 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหุกระจง

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
88	หุกระจง	12.949
89	หุกระจง	5.382
90	หุกระจง	5.137
91	หุกระจง	3.805
92	หุกระจง	2.797
93	หุกระจง	4.827
94	หุกระจง	6.084
95	หุกระจง	3.419
110	หุกระจง	17.096
111	หุกระจง	1.67

ตารางที่ 5.20 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกระจง (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
112	หูกระจง	2.331
113	หูกระจง	4.133
137	หูกระจง	8.92
138	หูกระจง	4.276
139	หูกระจง	5.374
140	หูกระจง	4.838
495	หูกระจง	6.435
496	หูกระจง	8.793
499	หูกระจง	3.595
500	หูกระจง	5.335
501	หูกระจง	4.364

จากตารางที่ 5.19 – 5.20 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกระจง พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 1.67 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 17.096 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.21 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกวาง

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
76	หูกวาง	13.507
77	หูกวาง	12.957
87	หูกวาง	9.98
108	หูกวาง	8.234
109	หูกวาง	11.055
120	หูกวาง	8.288

ตารางที่ 5.22 แสดงค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกวาง (ต่อ)

รหัสต้นไม้	ชนิดต้นไม้	ความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (เมตร)
121	หูกวาง	6.33
122	หูกวาง	4.061
123	หูกวาง	3.367
124	หูกวาง	3.604

จากตารางที่ 5.21 - 5.22 ค่าความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ของต้นหูกวาง พบว่ามีค่าความสูงต่ำสุดเท่ากับ 3.367 เมตร และมีค่าความสูงสูงสุดเท่ากับ 13.507 เมตร

#### 5.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree)

จากข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกด้วยค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) การแสดงค่าความราบเรียบของรูปตัดขวางตามแนว Longitudinal Profiles และการจำแนกค่าความสูงของต้นไม้ (Tree Height) ที่ได้จากข้อมูล LiDAR ทางอากาศ ได้นำมาเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจ ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์เพื่อจำแนก ดังนี้ 1) ทำการจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะของความราบเรียบของเส้นรูปตัดตามแนว Longitudinal Profiles 2) ทำการจำแนกด้วยค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนว Longitudinal Profiles 3) ทำการจำแนกด้วยค่าความสูง จากข้อมูล LiDAR ดังรูป 5.8

โดย ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบสูง  $RMES \leq 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 0.55 และมีค่าความสูงมากกว่า 10 เมตร จะจำแนกเป็นต้นจามจุรี

ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบสูง  $RMES \leq 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 0.55 และมีค่าความสูงน้อยกว่า 10 เมตร จะจำแนกเป็นต้นหูกวาง

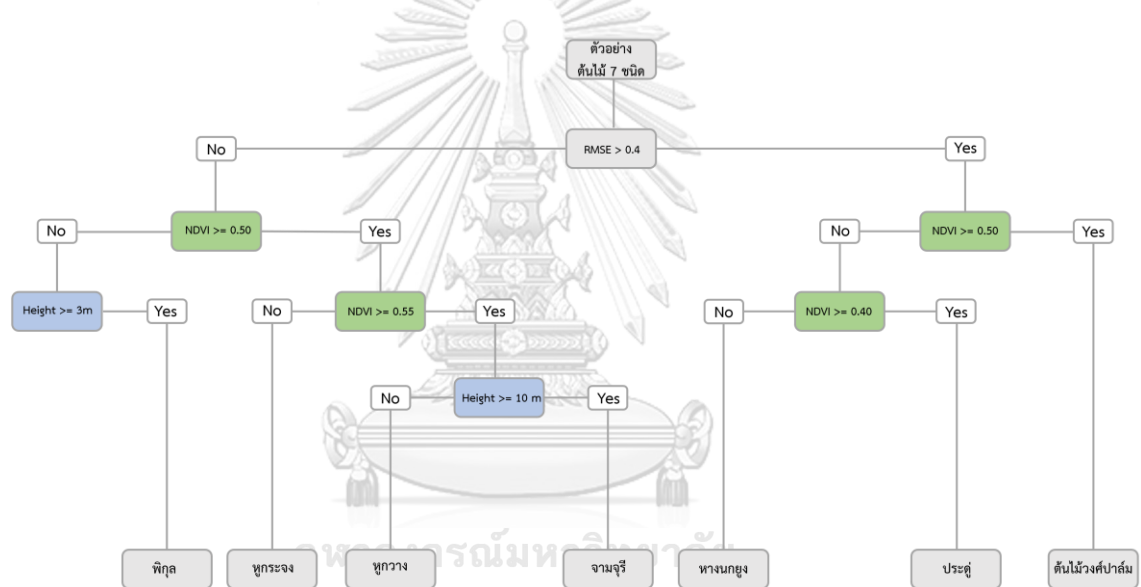
ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบสูง  $RMES \leq 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 แต่น้อยกว่า 0.55 จะจำแนกเป็นต้นหูกระจง

ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบสูง  $RMES \leq 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยน้อยกว่า 0.50 และมีค่าความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 3 เมตร จะจำแนกเป็นต้นพิทูล

ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบต่ำ  $RMES > 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 จะจำแนกเป็นต้นไม้วงศ์ปาล์ม

ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบต่ำ  $RMES > 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยน้อยกว่า 0.50 และมากกว่าหรือเท่ากับ 0.40 จะจำแนกเป็นต้นประดู่

ถ้าต้นไม้ใดๆ มีความราบเรียบต่ำ  $RMES > 0.4$  มีค่า NDVI ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยน้อยกว่า 0.50 และน้อยกว่า 0.40 จะจำแนกเป็นต้นหางนกยูง



รูปที่ 5.8 ผลการจำแนกต้นไม้ด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree)

## 5.5 ผลการตรวจสอบการจำแนก

จากการจำแนกต้นไม้ด้วยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) ตามเงื่อนไขที่กำหนด ทำการตรวจสอบการจำแนก โดยทำการเลือกข้อมูลสำหรับทดสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ซึ่งทำการสุ่มเพื่อแบ่งเป็นข้อมูลทวนสอบ (Validation data) ออกมา 20% ของข้อมูลทั้งหมด จำนวน 30 ชุด แล้วทำการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix เพื่อหาความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy) ค่าสัมประสิทธิ์ (Kappa Statistic) ของข้อมูลแต่ละชุด ดังตารางที่ 5.23 – 5.25 (สามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ ภาคผนวก ก.) และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูลทั้ง 30 ชุด จากผลการตรวจสอบให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 78.7% จากนั้นเลือกชุดข้อมูลที่มีความถูกต้องโดยรวมสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งชุดข้อมูลที่มีความถูกต้องโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 100% ดังตารางที่ 5.26 ค่าความถูกต้องโดยรวมต่ำสุดเท่ากับ 63.2% ดังตารางที่ 5.27 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.20

ตารางที่ 5.23 แสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ชุดข้อมูลที่ 1-10

Iterator	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Overall accuracy (%)	68.4	78.9	73.7	84.2	68.4	78.9	84.2	78.9	84.2	73.7
Kappa Statistic	0.68	0.79	0.73	0.84	0.68	0.79	0.84	0.79	0.84	0.74

ตารางที่ 5.24 แสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ชุดข้อมูลที่ 11-20

Iterator	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Overall accuracy (%)	89.5	68.4	84.2	84.2	68.4	89.5	73.7	84.2	63.2	68.4
Kappa Statistic	0.89	0.68	0.84	0.84	0.68	0.89	0.74	0.84	0.63	0.68

ตารางที่ 5.25 แสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีการทวนสอบแบบไขว้ (Cross Validation) ชุดข้อมูลที่ 21-30

Iterator	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Overall accuracy (%)	94.7	73.7	78.9	73.7	73.7	73.7	100.0	73.7	68.4	94.7
Kappa Statistic	0.95	0.74	0.79	0.74	0.73	0.74	1.00	0.74	0.68	0.95

ตารางที่ 5.26 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 27 ที่ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยสูงสุด (ชุดข้อมูลที่ 27)

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3						3
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					2			2
หูกระจง						4		4
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	100.0							
Kappa Statistic	1.00							

ตารางที่ 5.27 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 19 ที่ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยต่ำสุด (ชุดข้อมูลที่ 19)

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1	1	5
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หูกระจง			1			1		2
หูกวาง						2	1	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.7	50.0	25.0	50.0	
User's Accuracy (%)	60.0	60.0	100.0	100.0	100.0	50.0	33.3	
Overall accuracy (%)	63.2							
Kappa Statistic	0.63							



## บทที่ 6

### อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษา ทำให้สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการของอาซิฐู (2557) เพื่อปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมือง บริเวณบริเวณสวนหลวง ร.9 กรุงเทพมหานคร ด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง DMC ด้วยการใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ และทำการจำแนกด้วยวิธี Decision Tree ตามเงื่อนไขดังนี้ จำแนกตามความราบเรียบของรูปตัดตามแนวลองจิจูด จำแนกด้วยค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูด และจำแนกด้วยค่าความสูงของต้นไม้ (Tree Height) ที่ได้จากข้อมูลไลดาร์ทางอากาศ และเนื่องจากจำนวนตัวอย่างของต้นไม้ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำนวนน้อยจึงใช้วิธีการตรวจสอบโดยการเลือกข้อมูลมาทดสอบด้วยวิธี Cross validation โดยทำการสุ่มข้อมูลสำหรับทดสอบออกมา 20 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด จำนวน 30 ชุด เพื่อยืนยันว่าจำนวนตัวอย่างนี้สามารถใช้ร่วมกับการจำแนกตามเงื่อนไขได้อย่างถูกต้อง และทำการตรวจสอบการจำแนกด้วยวิธี Classification Error Matrix ซึ่งผลที่ได้จากวิธีทดสอบให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 100% (ดังตารางที่ 5.26) ค่าความถูกต้องโดยรวมต่ำสุดเท่ากับ 63.2% (ดังตารางที่ 5.27) ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 78.7% และได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เท่ากับ 9.2 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการจำแนกต้นไม้ลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่มในระดับสายพันธุ์ โดยอ้างอิงระดับความถูกต้องที่ระดับที่ 3 (Classification level 3) ตามมาตรฐานของ (United States Geological Survey : USGS) ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) (Anderson et al., 1976)

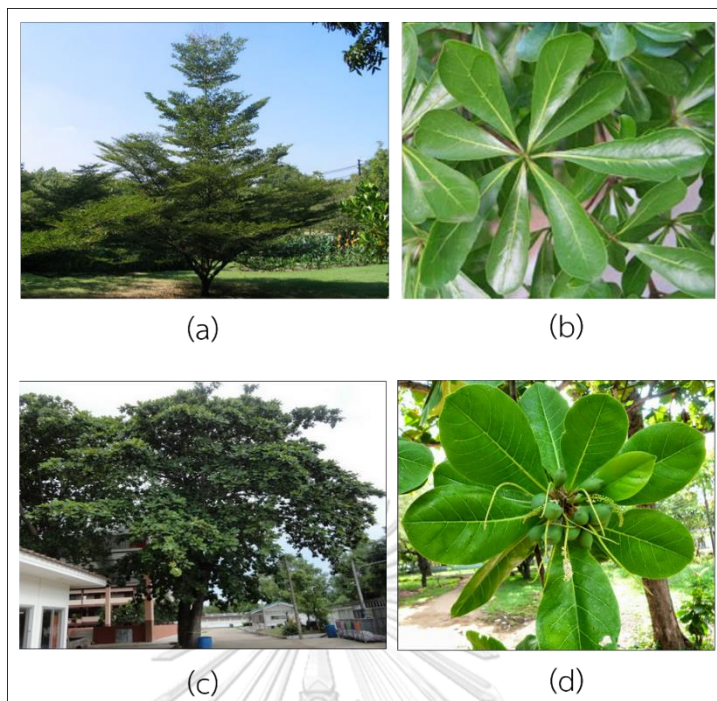
จากผลการตรวจสอบการจำแนกที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมต่ำสุดเท่ากับ 63.2% (ดังตารางที่ 5.27) จากผลการจำแนกตามตารางจะเห็นได้ว่าการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบความถูกต้องของการจำแนก พบว่ามีการจำแนกได้ถูกต้องเพียง 2 ชนิด คือ จามจุรี และประตู่ และจำแนกผิดไปเป็นต้นไม้ชนิดอื่น ๆ จำนวน 5 ชนิด คือ พิกุล วงศ์ปาล์ม หางนกยูง หูกระจง และหูกวาง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดความผิดพลาดที่ หูกระจง และหูกวาง เมื่อสังเกตที่ผลการจำแนก Classification Error Matrix ทั้ง 30 ครั้ง

(ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก) พบว่าความผิดพลาดเกิดที่ต้นไม้อีก 2 ชนิดนี้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้ว ต้นไม้อีกสองชนิดนี้มีลักษณะขนาด รูปร่าง ทรงพุ่ม และความสูงของลำต้นที่คล้ายคลึงกัน มีผลให้ค่า NDVI ที่ได้ใกล้เคียงกัน โดยเปรียบเทียบได้จากการหาค่าเฉลี่ยของค่า NDVI ของหูกะจาง และหูกวาง เท่ากับ 0.54 และ 0.59 ตามลำดับ และให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.05 และ 0.04 ตามลำดับ จึงทำให้การจำแนกออกจากกันได้ยาก โดยสามารถดูได้จากตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนวลองจิจูดเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด ดังตารางที่ 6.1 จึงมีผลทำให้ค่า Derivative ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ดังตาราง ตารางที่ 5.11 และค่าความสูงมีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 5.19 และตารางที่ 5.20) จึงมีผลทำให้ค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามหากมีการปรับปรุงการจำแนกในอนาคต เพื่อให้สามารถจำแนกต้นไม้อีก 2 ชนิดนี้ได้ถูกต้อง โดยเพิ่มลักษณะและขนาดของใบมาเป็นเงื่อนไข ในการจำแนก เนื่องจากมีขนาดใบที่ต่างกันด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (ณกร วัฒนกิจ, 2558)

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดของต้นไม้อีกสองชนิด

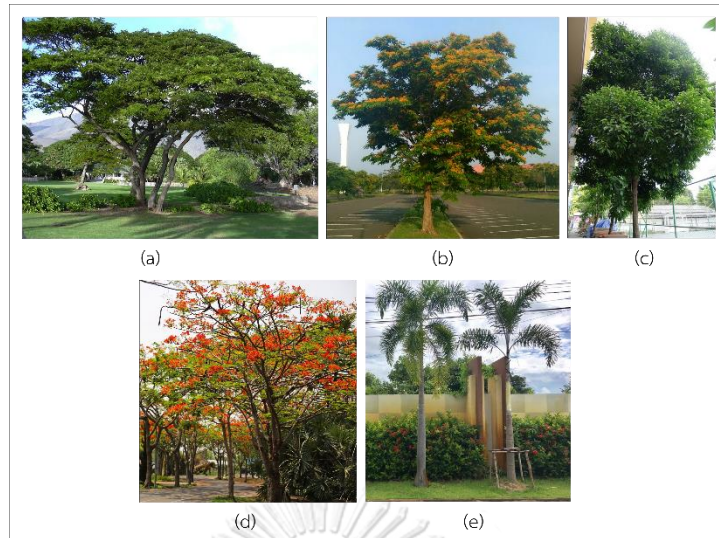
ชนิดต้นไม้อีกสองชนิด	ค่าดัชนี NDVI ต่ำสุด	ค่าดัชนี NDVI สูงสุด
จามจุรี	0.55	0.64
ประดู่	0.32	0.54
พิกุล	0.32	0.56
วงศ์ปาล์ม	0.47	0.64
หางนกยูง	0.20	0.53
หูกะจาง	0.45	0.66
หูกวาง	0.55	0.66

จากงานวิจัยของอาซิฐ (2557) ทำการจำแนกพรรณไม้ในพื้นที่เมืองเขตร้อนด้วยวิธี Longitudinal profile โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง และทำการจำแนกด้วยวิธี Decision Tree ตามเงื่อนไข คือ จำแนกด้วยค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นของดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ตามแนว Longitudinal profile โดยจำแนกด้วยจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะต้นเดี่ยว จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ต้นจามจุรี ต้นหูกระจง และต้นไม้วงศ์ปาล์ม ซึ่งผลของการจำแนกได้ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 88.9% และงานวิจัยครั้งนี้ได้ปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง DMC โดยใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ ในการจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่ม จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ จามจุรี ประดู่ พิกุล ต้นไม้วงศ์ปาล์ม หางนกยูง หูกระจง และหูกวาง ซึ่งผลของการจำแนกได้ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 78.7% เมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวมที่ได้จากผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของอาซิฐ พบว่ามีความถูกต้องโดยรวมลดลง 10.2% จากการพิจารณาจะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องโดยรวมที่ลดลงนั้นมีผลมาจากการเพิ่มจำนวนต้นไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น หูกระจง และหูกวาง ดังรูปที่ 6.1 และความหลากหลายของต้นไม้ที่มีลักษณะเป็นต้นเดี่ยวและกลุ่ม ซึ่งมีผลทำให้การจำแนกชนิดของต้นไม้มีความซับซ้อนมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของอาซิฐ (2557) ที่จำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

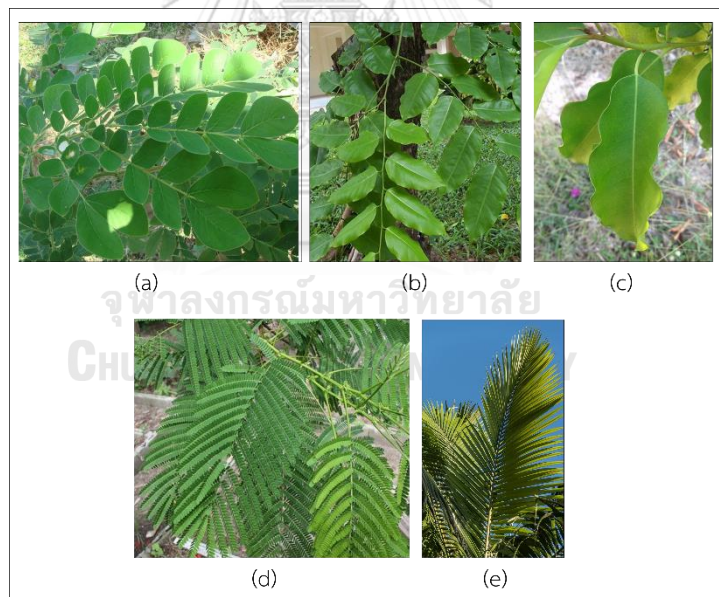


รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของต้นหูกระจง และต้นหูกวาง (a) ลักษณะทรงพุ่มของต้นหูกระจง (b) ลักษณะใบของต้นหูกระจง (c) ลักษณะทรงพุ่มของต้นหูกระจง (d) ลักษณะใบของต้นหูกระจง (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)

จากผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix จำนวน 30 ชุดข้อมูลทดสอบ จะเห็นว่านอกจากต้นหูกวาง และหูกระจง ที่มีการจำแนกได้ยากแล้ว เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลทั้งหมดจะพบว่าต้นไม้ที่สามารถจำแนกได้อย่างถูกต้องคือ จามจรี และประดู่ เป็นผลมาจากมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น ทรงพุ่ม ขนาดใบ และความสูง พบว่ามีต้นไม้ที่มีจำแนกผิดไปเป็นต้นอื่น ๆ ได้แก่ พิกุลจำแนกผิดไปเป็นหูกระจง วงศ์ปาล์มจำแนกผิดไปเป็นหางนกยูงและประดู่ หางนกยูงจำแนกผิดไปเป็นประดู่ หูกระจงจำแนกผิดไปเป็นพิกุลและจามจรี โดยสามารถดูลักษณะทางกายภาพได้ดังรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 ซึ่งจากการพิจารณาพบว่าความผิดพลาดดังกล่าวเกิดขึ้นที่ขั้นตอนแรกของ Decision Tree คือการจำแนกด้วยค่า RMSE หรือความราบเรียบ (Roughness) ของเส้นลองจิจูดของต้นไม้แต่ละต้น แต่ละชนิดที่ใกล้เคียงกัน และลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ที่ใกล้เคียงกัน และตัวอย่างต้นไม้ที่อาจจะเป็นตัวอย่างข้อมูลที่ไม่ดีพอ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนก



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะทรงพุ่มของ (a) ต้นจามจุรี (b) ต้นประดู่ (c) ต้นพิกุล (d) ต้นहुกวาง (e) ต้นไม้วงศ์ปาล์ม (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)



รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะใบของ (a) ต้นจามจุรี (b) ต้นประดู่ (c) ต้นพิกุล (d) ต้นहुกวาง (e) ต้นไม้วงศ์ปาล์ม (ไทยเกษตรศาสตร์, 2555)

หากในอนาคตมีการต่อยอดงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะต้องทำการปรับปรุงวิธีการจำแนก โดยนำเอาวิธีการข้อมูลแบบวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) เข้ามาช่วยในการจำแนก ได้แก่ ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence (AI)) ซึ่งเป็นการสอนให้ระบบคอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองโดยการใช้ตัวอย่างข้อมูลที่ป้อนให้ (Machine Learning) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งช่วยให้การตรวจจับหรือจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ได้อย่างแม่นยำและละเอียดมากขึ้น โดยสามารถยืนยันได้จากงานวิจัยของ Li (2017) และคณะ ใช้เทคนิคการจำแนกด้วย Deep Learning ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายรายละเอียดสูงในการตรวจจับ และจำแนกต้นไม้เพื่อทำนายผลผลิตของต้นไม้ ติดตามสถานการณ์การเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตสูงสุดของต้นไม้ ซึ่งผลลัพธ์สามารถตรวจจับต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาได้มากกว่า 96% เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคพื้นดิน (Li et al., 2017) และงานวิจัยของ Hsieh (2019) และคณะ ซึ่งทำการจำแนกต้นไม้ในเมืองในระดับสายพันธุ์ โดยใช้เทคนิค Deep Learning กับข้อมูลภาพถ่ายที่มีความละเอียดสูงร่วมกับข้อมูล LiDAR โดยทำการตรวจสอบศักยภาพของวิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบใหม่คือ Dense Convolutional Network (DenseNet) เพื่อระบุพรรณไม้ในเมือง 8 ชนิด ด้วยภาพถ่ายรายละเอียดสูง WorldView-2 VNIR, Worldview-3 SWIR และ ชุดข้อมูล LiDAR โดยให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 82.6% ซึ่ง DenseNet มีประสิทธิภาพมากกว่าสำหรับการจำแนกชนิดต้นไม้ในเมือง ซึ่งนิยมทำงานกับภาพที่มีความซับซ้อนสูง โดยไม่คำนึงถึงขนาดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Hartling et al., 2019) และงานวิจัยของ Lobo Torres (2020) ทำการจำแนกต้นไม้ในเมืองระดับสายพันธุ์ ด้วยเทคนิคการจำแนก Deep Learning โดยการวิเคราะห์เชิงลึกด้วย Fully Convolutional Networks (FCNs) เพื่อทดสอบความแม่นยำในการจำแนก ซึ่งวิเคราะห์ร่วมกับชุดข้อมูลภาพถ่ายรายละเอียดสูงจาก UAV ซึ่งผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 88.9% ถึง 96.7% (Lobo Torres et al., 2020) รวมถึงการใช้ระบบ Artificial Intelligence เพื่อช่วยหามุมในการวาดเส้นแนวลองจิจูด (Sun Azimuth Angle) ที่ดีที่สุดด้วย

จากผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ทราบได้ว่าวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง DMC ด้วยการใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ สามารถจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ได้จริง โดยสามารถจำแนกได้ดี เมื่อต้นไม้ที่ใช้ในการจำแนกมีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่ม ซึ่งการจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้อย่างถูกต้องนั้นเป็นไปได้ยากด้วยวิธีในงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจจะมีผลมาจากหลายกรณีด้วยกัน เช่น วิธีการจำแนกข้อมูล การสุ่มตัวอย่าง

ที่น้อยเกินไป และสถานที่เก็บตัวอย่างต้นไม้ที่มีเพียงสวนหลวง ร.9 เพียงสถานที่เดียว ซึ่งตัวอย่างต้นไม้ที่ได้อาจจะไม่ใช่ตัวแทนที่ดีของต้นไม้ในเมืองทั่วประเทศ และวิธีการจำแนกหรือเงื่อนไขอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

## 6.2 สรุปผล

จากการปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงด้วยวิธีการจำแนกแบบต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) โดยใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด (Longitudinal Profiles) และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ (LiDAR) ทางอากาศ ในการจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์ 7 ชนิด ที่มีการกักเก็บคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูง (Carbon Footprint) และช่วยเพิ่มคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ในพื้นที่ ได้แก่ จามจุรี ประดู่ พิกุล หางนกยูง ไม้วงศ์ปาล์ม หูกระจง และหูกวาง ที่มีลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่ม ในพื้นที่ศึกษาสวนหลวง ร.9 กรุงเทพมหานคร โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิงที่ศึกษาต้นไม้ 3 ชนิด ที่มีลักษณะต้นเดี่ยว ในพื้นที่ศึกษาเดียวกัน พบว่าการปรับปรุงวิธีการดังกล่าวสามารถจำแนกต้นไม้ทั้ง 7 ชนิดได้อย่างถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากข้อสังเกตพบว่าค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกมีค่าน้อยกว่างานวิจัยอ้างอิง เนื่องจากต้นไม้ทั้ง 7 ชนิด มีลักษณะต้นเดี่ยวและกลุ่ม และต้นไม้บางชนิดมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน จึงทำให้การจำแนกยากกว่างานวิจัยอ้างอิงที่ทำการจำแนกเพียง 3 ชนิด ที่แตกต่างกันและมีลักษณะต้นเดี่ยวเพียงอย่างเดียว หากงานวิจัยนี้มีการต่อยอดในอนาคตเพื่อปรับปรุงวิธีการจำแนกโดยการลดอิทธิพลจากผู้ทดลองด้วยการใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence (AI)) คาดว่าจะสามารถช่วยหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด (Optimal Criteria) ในการจำแนกต้นไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ถือว่าให้ค่าความถูกต้องที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถนำวิธีการดังกล่าวในการศึกษาการกระจายตัวของต้นไม้ในเมือง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามและบริหารจัดการต้นไม้ในพื้นที่อื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น

### 6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 เงื่อนไขในการจำแนกวิธีต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้อาจไม่เพียงพอทำให้ผลการจำแนกมีความถูกต้องลดลง และเพื่อให้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ในการวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มเงื่อนไข เช่น การจำแนกด้วยคุณลักษณะ (Texture) ของต้นไม้ที่สนใจ

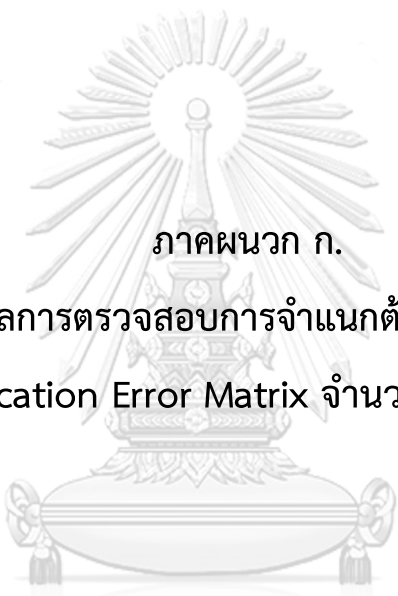
6.3.2 การเพิ่มจำนวนประเภทของต้นไม้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมีผลต่อเงื่อนไขที่ใช้ในการจำแนก ซึ่งอาจจะทำให้การจำแนกไม่ครอบคลุม และให้ค่าความถูกต้องลดลง

6.3.3 ปรับปรุงวิธีการจำแนก โดยใช้เทคนิคการจำแนกด้วย Deep Learning เพื่อลดความผิดพลาดในการจำแนกต้นไม้ในระดับสายพันธุ์









ภาคผนวก ก.

ข้อมูลผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิด

ด้วยวิธี Classification Error Matrix จำนวน 30 ชุดข้อมูลทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 1

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1		4
ประดู่		3		2				5
พิกุล			1			1		2
วงศ์ปาล์ม				1				1
หางนกยูง					2			2
หูกระจง			1			1		2
หูกวาง						1	2	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.00	100.00	50.00	33.33	100.00	25.00	100.00	
User's Accuracy (%)	75.00	60.00	50.00	100.00	100.00	50.00	66.67	
Overall accuracy (%)	68.4							
Kappa Statistic	0.68							

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 2

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3			1			4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					1			1
หูกระจง						3	1	4
หูกวาง						1	0	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	50.00	75.00	0.00	
User's Accuracy (%)	75.00	75.00	100.00	100.00	100.00	75.00	0.00	
Overall accuracy (%)	79							
Kappa Statistic	0.79							

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 3

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1		4
ประดู่		3			1			4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					1			1
หูกระจง						1	1	2
หูกวาง						2	1	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	50.00	25.00	50.00	
User's Accuracy (%)	75.00	75.00	100.00	100.00	100.00	50.00	33.33	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.73							

ตารางภาคผนวกที่ ก.4 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 4

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หูกระจง						3	1	4
หูกวาง						1	1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.67	100.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	100.0	75.0	100.0	100.0	100.0	75.0	50.0	
Overall accuracy (%)	84.2							
Kappa Statistic	0.84							

ตารางภาคผนวกที่ ก.5 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 5

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3		2	1			6
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				1				1
หางนกยูง					1			1
หูกระจง						2		2
หูกวาง						2	1	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	33.3	50.0	50.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	33.3	
Overall accuracy (%)	68.4							
Kappa Statistic	0.68							

ตารางภาคผนวกที่ ก.6 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 6

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1				4
พิกุล			1			1		2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หูกระจง			1			3	1	5
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.7	100.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	100.0	75.0	50.0	100.0	100.0	60.0	100.0	
Overall accuracy (%)	78.9							
Kappa Statistic	0.79							

ตารางภาคผนวกที่ ก.7 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 7

	จามจุรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจุรี	2					1		3
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หูกระจง						3		3
หูกวาง	1						2	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	66.7	100.0	100.0	66.7	100.0	75.0	100.0	
User's Accuracy (%)	66.7	75.0	100.0	100.0	100.0	100.0	66.7	
Overall accuracy (%)	84.2							
Kappa Statistic	0.84							

ตารางภาคผนวกที่ ก.8 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 8

	จามจุรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจุรี	3					1	1	5
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2			1		3
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หูกระจง						2		2
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	100.0	50.0	50.0	
User's Accuracy (%)	60.0	75.0	66.7	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	78.9							
Kappa Statistic	0.79							

ตารางภาคผนวกที่ ก.9 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 9

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	2					1	1	4
ประดู่		3						3
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					2			2
หุกระจง						3		3
หูกวาง	1						1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	66.7	100.0	100.0	100.0	100.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0	
Overall accuracy (%)	84.2							
Kappa Statistic	0.84							

ตารางภาคผนวกที่ ก.10 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 10

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หุกระจง						2		2
หูกวาง						2	1	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	50.0	50.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	60.0	100.0	100.0	100.0	100.0	33.3	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.74							

ตารางภาคผนวกที่ ก.11 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 11

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หุกระจง						4	1	5
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	100.0	100.0	50.0	
User's Accuracy (%)	100.0	75.0	100.0	100.0	100.0	80.0	100.0	
Overall accuracy (%)	89.5							
Kappa Statistic	0.89							

ตารางภาคผนวกที่ ก.12 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 12

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	2							2
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หุกระจง			1			3	1	5
หูกวาง	1					1	1	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	66.7	100.0	50.0	66.7	50.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	100.0	60.0	100.0	100.0	100.0	60.0	33.3	
Overall accuracy (%)	68.4							
Kappa Statistic	0.68							



ตารางภาคผนวกที่ ก.13 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 13

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกะจิง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หูกะจิง			1			4		5
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.7	50.0	100.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	60.0	100.0	100.0	100.0	80.0	100.0	
Overall accuracy (%)	84.2							
Kappa Statistic	0.84							

ตารางภาคผนวกที่ ก.14 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 14

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกะจิง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2			1		3
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หูกะจิง						3		3
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	100.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	75.0	66.7	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	84.2							
Kappa Statistic	0.84							

ตารางภาคผนวกที่ ก.15 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 15

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1		4
ประดู่		3		2	1			6
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				1				1
หางนกยูง					1			1
หุกระจง						2	1	3
หูกวาง						1	1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	33.3	50.0	50.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	50.0	100.0	100.0	100.0	66.7	50.0	
Overall accuracy (%)	68.4							
Kappa Statistic	0.68							

ตารางภาคผนวกที่ ก.16 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 16

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3			1			4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					1			1
หุกระจง						4		4
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0	100.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	75.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	89.5							
Kappa Statistic	0.89							

ตารางภาคผนวกที่ ก.17 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 17

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3		2				5
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				1				1
หางนกยูง					2			2
หุกระจง			1			3		4
หูกวาง						1	1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	33.3	100.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	60.0	100.0	100.0	100.0	75.0	50.0	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.74							

ตารางภาคผนวกที่ ก.18 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 18

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1		4
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2			1		3
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หุกระจง						2		2
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	100.0	50.0	100.0	
User's Accuracy (%)	75.0	75.0	66.7	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	84.2							
Kappa Statistic	0.84							

ตารางภาคผนวกที่ ก.19 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 19

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1	1	5
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หุกระจง			1			1		2
หูกวาง						2	1	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.6	50.0	25.0	50.0	
User's Accuracy (%)	60.0	60.0	100.0	100.0	100.0	50.0	33.3	
Overall accuracy (%)	63.2							
Kappa Statistic	0.63							

ตารางภาคผนวกที่ ก.20 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 20

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	1.00	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1		4
ประดู่		3		1	2			6
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					0			0
หุกระจง			1			3	1	5
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.7	0.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	50.0	100.0	100.0	0.0	60.0	100.0	
Overall accuracy (%)	68.4							
Kappa Statistic	0.68							

ตารางภาคผนวกที่ ก.21 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 21

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3						3
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					2			2
หุกระจง			1			4		5
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	80.0	100.0	
Overall accuracy (%)	94.7							
Kappa Statistic	0.95							

ตารางภาคผนวกที่ ก.22 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 22

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		2	2			7
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				1				1
หางนกยูง					0			0
หุกระจง			1			4		5
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	33.3	0.0	100.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	42.8	100.0	100.0	0.0	80.0	100.0	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.74							

ตารางภาคผนวกที่ ก.23 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 23

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หุกระจง			1			4	1	6
หูกวาง							1	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.7	50.0	100.0	50.0	
User's Accuracy (%)	100.0	60.0	100.0	100.0	100.0	66.7	100.0	
Overall accuracy (%)	78.9							
Kappa Statistic	0.79							

ตารางภาคผนวกที่ ก.24 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 24

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		2	1			6
พิกุล			1					1
วงศ์ปาล์ม				1				1
หางนกยูง					1			1
หุกระจง			1			3		4
หูกวาง						1	2	3
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	33.3	50.0	75.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	50.0	100.0	100.0	100.0	75.0	66.7	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.74							

ตารางภาคผนวกที่ ก.25 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 25

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3						1	4
ประดู่		3			1			4
พิกุล			0					0
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					1			1
หูกระจง			2			3		5
หูกวาง						1	1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	0.0	100.0	50.0	75.0	50.0	
User's Accuracy (%)	75.0	75.0	0.0	100.0	100.0	60.0	50.0	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.73							

ตารางภาคผนวกที่ ก.26 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 26

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1	1	5
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หูกระจง						2		2
หูกวาง						1	1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	50.0	50.0	50.0	
User's Accuracy (%)	60.0	60.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.74							

ตารางภาคผนวกที่ ก.27 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 27

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3						3
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					2			2
หูกระจง						4		4
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	100.0							
Kappa Statistic	1.00							

ตารางภาคผนวกที่ ก.28 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 28

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หูกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3					1	2	6
ประดู่		3			1			4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				3				3
หางนกยูง					1			1
หูกระจง						2		2
หูกวาง						1	0	1
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0	50.0	0.0	
User's Accuracy (%)	50.0	75.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	
Overall accuracy (%)	73.7							
Kappa Statistic	0.74							



ตารางภาคผนวกที่ ก.29 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 29

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1	1			5
พิกุล			1			1		2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					1			1
หุกระจง			1			2	1	4
หูกวาง						1	1	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	50.0	66.7	50.0	50.0	50.0	
User's Accuracy (%)	100.0	60.0	50.0	100.0	100.0	50.0	50.0	
Overall accuracy (%)	68.42							
Kappa Statistic	0.68							

ตารางภาคผนวกที่ ก.30 แสดงผลการตรวจสอบการจำแนกต้นไม้แต่ละชนิดด้วยวิธี Classification Error Matrix ชุดข้อมูลที่ 30

	จามจรี	ประดู่	พิกุล	วงศ์ปาล์ม	หางนกยูง	หุกระจง	หูกวาง	รวม
จามจรี	3							3
ประดู่		3		1				4
พิกุล			2					2
วงศ์ปาล์ม				2				2
หางนกยูง					2			2
หุกระจง						4		4
หูกวาง							2	2
รวม	3	3	2	3	2	4	2	19
Producer's Accuracy (%)	100.0	100.0	100.0	66.7	100.0	100.0	100.0	
User's Accuracy (%)	100.0	75.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Overall accuracy (%)	94.7							
Kappa Statistic	0.95							

## บรรณานุกรม

- Akamphon, S., & Akamphon, K. (2014). Cost and benefit tradeoffs in using a shade tree for residential building energy saving. *EnvironmentAsia*, 7(1), 19-24. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2-0-84892973907&partnerID=40&md5=0a76de1bb0d246a3d364f64257a70cc5>
- Alonzo, M., Bookhagen, B., & Roberts, D. A. (2014). Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. *Remote Sensing of Environment*, 148, 70-83. doi:10.1016/j.rse.2014.03.018
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). LAND USE AND LAND COVER CLASSIFICATION SYSTEM FOR USE WITH REMOTE SENSOR DATA. *U S Geol Surv, Prof Pap*(964). Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2-0-0016883384&partnerID=40&md5=18ab6d5d3c8a31c1f0d0293157793736>
- Bao, J., Chi, M., & Benediktsson, J. A. (2013). Spectral derivative features for classification of hyperspectral remote sensing images: Experimental evaluation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(2), 594-601. doi:10.1109/JSTARS.2013.2237758
- Belgiu, M., & Drăgu, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011
- Brandtberg, T. (2002). Individual tree-based species classification in high spatial resolution aerial images of forests using fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 132(3), 371-387. doi:10.1016/S0165-0114(02)00049-0
- Congalton, R., & Green, K. (1999). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Lewis Publications (Boca Raton).
- Conine, A., Xiang, W. N., Young, J., & Whitley, D. (2004). Planning for multi-purpose greenways in Concord, North Carolina. *Landscape and Urban Planning*, 68(2-3), 271-287. doi:10.1016/S0169-2046(03)00159-2
- Fournier, R. A., Edwards, G., & Eldridge, N. R. (1995). A catalogue of potential spatial

- discriminators for high spatial resolution digital images of individual crowns. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21(3), 286-298. doi:10.1080/07038992.1995.10874623
- Gobster, P. H., & Westphal, L. M. (2004). The human dimensions of urban greenways: Planning for recreation and related experiences. *Landscape and Urban Planning*, 68(2-3), 147-165. doi:10.1016/S0169-2046(03)00162-2
- Greenwalt, C. R., & Schultz, M. E. (1968). Principles and Error Theory and Cartographic Applications. *ACIC Technical Report No. 96*, 89.
- Hartling, S., Sagan, V., Sidike, P., Maimaitijiang, M., & Carron, J. (2019). Urban tree species classification using a worldview-2/3 and LiDAR data fusion approach and deep learning. *Sensors (Switzerland)*, 19(6). doi:10.3390/s19061284
- Holmgren, J., Persson, Å., & Söderman, U. (2008). Species identification of individual trees by combining high resolution LiDAR data with multi-spectral images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(5), 1537-1552. doi:10.1080/01431160701736471
- Huang, C., Shao, Y., Chen, J., Liu, J., Chen, J., & Li, J. (2007). *A strategy for analyzing urban forest using Landsat ETM+ imagery*. Paper presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).
- Korpela, I., Ole Ørka, H., Maltamo, M., Tokola, T., & Hyypä, J. (2010). Tree species classification using airborne LiDAR - effects of stand and tree parameters, downsizing of training set, intensity normalization, and sensor type. *Silva Fennica*, 44(2), 319-339. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2-0-77953963207&partnerID=40&md5=df2756a7cedd5a9268ef054682206ab6>
- Li, W., Fu, H., Yu, L., & Cracknell, A. (2017). Deep learning based oil palm tree detection and counting for high-resolution remote sensing images. *Remote Sensing*, 9(1). doi:10.3390/rs9010022
- Lobo Torres, D., Queiroz Feitosa, R., Nigri Happ, P., Elena Cué La Rosa, L., Marcato Junior, J., Martins, J., Olã Bressan, P., Gonçalves, W. N., & Liesenberg, V. (2020). Applying Fully Convolutional Architectures for Semantic Segmentation of a Single Tree Species in Urban Environment on High Resolution UAV Optical

- Imagery. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(2). doi:10.3390/s20020563
- Ma, J., & Ju, W. (2011). *Mapping leaf area index for the urban area of Nanjing city, China using IKONOS remote sensing data*. Paper presented at the Proceedings - 2011 19th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2011.
- Moran, D. (2019). Global Gridded Model of Carbon Footprints (GGMCF). Retrieved from <http://citycarbonfootprints.info/>
- Nowak, D., & F. Dwyer, J. (2010). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. In (pp. 25-46).
- Philpot, W. D. (1991). The derivative ratio algorithm: Avoiding atmospheric effects in remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29(3), 350-357. doi:10.1109/36.79425
- Riaño, D., Chuvieco, E., Condés, S., González-Matesanz, J., & Ustin, S. L. (2004). Generation of crown bulk density for *Pinus sylvestris* L. from lidar. *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 345-352. doi:10.1016/j.rse.2003.12.014
- Shahidan, M. F., Shariff, M. K. M., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. M. (2010). A comparison of *Mesua ferrea* L. and *Hura crepitans* L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 168-181. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.008
- Suratno, A., Seielstad, C., & Queen, L. (2009). Tree species identification in mixed coniferous forest using airborne laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 683-693. doi:10.1016/j.isprsjprs.2009.07.001
- Tsai, F., & Philpot, W. (1997). *Derivative analysis of hyperspectral data for detecting spectral features*. Paper presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).
- Wang, K., Wang, T., & Liu, X. (2018). A review: Individual tree species classification using integrated airborne LiDAR and optical imagery with a focus on the urban environment. *Forests*, 10(1). doi:10.3390/f10010001
- Wang, Q., Zhang, J., Chen, J., & Zhang, Y. (2011). *An improved spectral reflectance and derivative feature fusion for hyperspectral image classification*. Paper presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).

- Waser, L. T., Ginzler, C., Kuechler, M., Baltasvias, E., & Hurni, L. (2011). Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. *Remote Sensing of Environment*, 115(1), 76-85. doi:10.1016/j.rse.2010.08.006
- Xiao, Q., & McPherson, E. G. (2005). Tree health mapping with multispectral remote sensing data at UC Davis, California. *Urban Ecosystems*, 8(3-4), 349-361. doi:10.1007/s11252-005-4867-7
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017. doi:10.1155/2017/1353691
- Zhang, K., & Hu, B. (2012). Individual urban tree species classification using very high spatial resolution airborne multi-spectral imagery using longitudinal profiles. *Remote Sensing*, 4(6), 1741-1757. doi:10.3390/rs4061741
- ณกร วัฒนกิจ. (2558). การปรับปรุงความถูกต้องในการจำแนกพรรณไม้ป่าชายเลนโดยใช้การวิเคราะห์เชิงวัตถุและการวิเคราะห์เนื้อภาพ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- ไทยเกษตรศาสตร์. (2555). ไทยเกษตรศาสตร์. Retrieved from <http://www.thaikasetsart.com>
- ปรัชญา แผ้วพลสง และ เศรษฐ์หิรัญ นาคสุข. (2561). การกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์., กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไพศาล สันติธรรมนนท์. (2555). การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล *Digital Photogrammetry*: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักข่าวสิ่งแวดล้อม. (2561). พื้นที่สีเขียว: ความหนาแน่นประชากรต้นไม้ (ไม่เพียงพอ) ต่อจำนวนหัวคนในเมือง. Retrieved from <https://greennews.agency/?p=17542>
- สำนักงานมูลนิธิสวนหลวง ร.๙. (2561). ประวัติความเป็นมาของสวนหลวง ร.๙. Retrieved from <http://www.suanluangrama9.or.th/aboutus.php>
- อาชิวุ ลากพระแก้ว. (2557). การจำแนกพรรณไม้ในพื้นที่เมืองเขตร้อนด้วยวิธี *Longitudinal profile*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย., กรุงเทพมหานคร.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุภาภรณ์ รักษาล้ำ
วัน เดือน ปี เกิด	14 กันยายน 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดพิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2556 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ (Bachelor of Science Program in Geography) ภาควิชา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
ที่อยู่ปัจจุบัน	25/1 หมู่ 12 ตำบลพันชาลี อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก 65130
ผลงานตีพิมพ์	สุภาภรณ์ รักษาล้ำ และชัยโชค ไวภาษา (2563) "การปรับปรุงวิธีการจำแนกพรรณไม้ในเมืองด้วยภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงด้วยการใช้รูปตัดตามแนวลองจิจูด และข้อมูลเสริมจากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ" , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 (The 25th National Convention on Civil Engineering (NCCE 25))