

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้จากแบบจำลองความสูงเชิงเลข
ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร

**Estimation of the Average Height of Forest Stand Using Digital Elevation Model
in Khlong Lan National Park, Kamphaeng Phet Province**

วิไลลักษณ์ ศรีสุนทร*
กาญจน์เขจร ชูชีพ
ประสงค์ สวงวรรณ

Wilailak Srisoontorn*
Kankhajane Chuchip
Prasong Saguantam

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, E-mail: wilailak5785@gmail.com

รับต้นฉบับ 24 มิถุนายน 2559

รับลงพิมพ์ 29 กรกฎาคม 2559

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate commonly used digital elevation models (DEM) both in form of digital terrain model (DTM) and digital surface model (DSM) affected by forest canopy and to examine the possibility of using the difference in value between DTM and DSM for estimating the average tree height of forest stands in Khlong Lan National Park, Kamphaeng Phet Province. To do this, global GDEM and SRTM were adopted to test in the study as well as local DEMs, namely a DEM prepared by the Royal Thai Survey Department (RTSD DEM) and a DEM prepared by the Land Development Department (LDD DEM). The difference in value of each pairs of DEMs was determined. Selected vegetation indices, namely NDVI, SAVI, and RVI were analyzed using Landsat OLI image. Additionally, the correlation between the difference in value of DEMs and vegetation indices has been performed. Then, a vegetation index image that had highest correlation value was classified into different strata of forest stand. Forty 17.84m-circular-plots were randomly established in each forest stratum in order to measure tree heights. The difference in value between DTM and DSM that was highly correlated with vegetation index and the average height of forest stands were used to perform regression analysis. Derived regression model was then used to estimate the average tree height of forest stands for the whole area of the national park.

It was found that the difference in value of RTSD DEM and LDD DEM is correlated with vegetation indices higher than the global DEMs. The correlation coefficients are 0.57, 0.50

and 0.59 for NDVI, SAVI, and RVI, respectively. The derived model is $\bar{h}_c = 2.2826 + 0.81\bar{h}_{spc}$ (where \bar{h}_c is the average height of trees measured from model, \bar{h}_{spc} is the difference in value of local DEMs). The coefficient of determination is about 0.69. Using the model, the height of forest stand of the study area was mapped. The average tree height is estimatedly 16.86 meters, with root mean square error (RMSE) of 2.37, index of agreement (d) of 0.48 and mean absolute error (MAE) of -2.05.

Keywords: Estimation, Digital Elevation Models, Forest Stand Heights

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข (digital elevation model; DEM) ในรูปแบบ Digital Terrain Model (DTM) และ Digital Surface Model (DSM) ที่ได้รับอิทธิพลจากเรือนยอดของหมูไม้ และเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ค่าความต่างระดับความสูงระหว่าง DTM และ DSM ประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร โดยทดสอบกับแบบจำลองความสูงระดับโลก (Global DEMs) ได้แก่ ASTER GDEM และ SRTM รวมทั้งแบบจำลองความสูงที่ใช้ในประเทศ ได้แก่ ข้อมูล DEM ที่จัดทำขึ้นโดยกรมแผนที่ทหาร (RTSD DEM) และข้อมูล DEM ที่จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดิน (LDD DEM) ทำการหาค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงในแต่ละคู่แล้วหาค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI, SAVI, และ RVI ที่หาจากภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงกับดัชนีพืชพรรณแต่ละชนิด จากนั้นนำค่าดัชนีพืชพรรณที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดมาจำแนกความแตกต่างของชั้นหมูไม้ โดยในแต่ละชั้นของหมูไม้จะสุ่มวางแปลงตัวอย่างแบบวงกลมขนาด 17.84 เมตร จำนวน 40 แปลง เพื่อเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าความต่างระดับความสูงของ DTM และ DSM ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) นำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ มาใช้ในการประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูล DEM กรมแผนที่ทหาร (RTSD DEM) กับ DEM ของกรมพัฒนาที่ดิน (LDD DEM) มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณสูงกว่าแบบจำลองความสูงที่ใช้ในระดับโลก (Global DEMs) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ 0.57, 0.50 และ 0.59 สำหรับดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI, และ RVI ตามลำดับ สมการความสัมพันธ์ที่ได้มาคือ $\bar{h}_c = 2.2826 + 0.81\bar{h}_{spc}$ (โดย \bar{h}_c คือ ความสูงเฉลี่ยของหมูไม้จากการประมาณด้วยสมการ, \bar{h}_{spc} คือ ค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูง) มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.69 จากสมการที่ได้สามารถสร้างแผนที่ความสูงของหมูไม้ของทั้งพื้นที่ศึกษาได้ โดยความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ของทั้งพื้นที่ที่มีค่าประมาณ 16.86 เมตร มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) เท่ากับ 2.37 ดัชนีความสอดคล้อง (d) เท่ากับ 0.48 และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute error; MAE) เท่ากับ -2.05

คำสำคัญ: การประมาณค่า แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความสูงเฉลี่ยของหมูไม้

คำนำ

แบบจำลองความสูงเชิงเลข (digital elevation model; DEM) เป็นข้อมูลแสดงคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์

ของพื้นผิว และชั้นความสูงภูมิประเทศในรูปแบบดิจิทัล ถูกสร้างและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ (สุเพชร,

2555) โดยความหมายแล้วแบบจำลองความสูงเชิงเลขมี 2 รูปแบบ คือ 1) Digital Surface Model (DSM) ที่จะแสดงพื้นผิวของโลกโดยรวมเอาความสูงของพืชพรรณและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเอาไว้ด้วย และ 2) Digital Terrain Model (DTM) ที่แสดงพื้นผิวของโลก โดยมีการขจัดความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพออกให้เหลือเฉพาะพื้นผิวของโลกจริงๆ (GISTDA, 2012)

ประเทศไทยมีแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีการใช้แพร่หลายอยู่สองแหล่ง คือ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่จัดทำขึ้น โดยกรมแผนที่ทหาร (RTSD DEM) และข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดิน (LDD DEM) นอกจากนี้ยังมีข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ใช้ในระดับโลกที่สำรวจด้วยความเทียมอีก คือ Global Digital Elevation Model (GDEM) ที่สำรวจด้วยความเทียม Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) และ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ที่สำรวจด้วยเรดาร์จากกระสวยอวกาศ ซึ่งข้อมูลชุดหลังนี้ เป็นการใช้ช่วงคลื่นไมโครเวฟช่วงคลื่น C-band (5.6 cm, 5.3 GHz) และ X-band (3.1 cm, 9.6 GHz) ช่วงคลื่น C กระจายกลับสัญญาณที่บริเวณพื้นดิน ในขณะที่ช่วงคลื่น X กระจายสัญญาณในระดับเรือนยอดของต้นไม้ในพื้นที่ที่ปกคลุมไปด้วยต้นไม้ที่มีความสูง เช่น พื้นที่ป่า จึงทำให้ข้อมูลความสูงของข้อมูล SRTM ได้รับอิทธิพลจากสิ่งปกคลุมดินประเภทต้นไม้

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภทต่างๆ ที่ได้รับอิทธิพลจากลักษณะการปกคลุมทางเรือนยอดของต้นไม้ที่สามารถใช้ประมาณความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน โดยอาศัยค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) ซึ่งจะทำให้ได้ตัวแปรสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อการประเมินผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ในป่า อันเป็นข้อมูลที่สำคัญต่องานทางด้านป่าไม้

อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การจัดเตรียมข้อมูล

1.1 เตรียมข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) จาก 4 แหล่งที่มา คือ ข้อมูล DEM จากกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูล DEM จากกรมแผนที่ทหาร ASTER GDEM และ SRTM โดยทำการปรับแก้ความละเอียดทางราบ ให้มีความละเอียดเท่ากัน คือ 30 เมตร ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (resampling)

1.2 เตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 เพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

1) ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสีอันเกิดจากสภาพผันแปรของชั้นบรรยากาศ และปรับแก้ค่าการสะท้อนแสงที่เกิดจากมุมและองศาดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบวัตถุบนพื้นโลก (United States Geological Survey, 2015)

2) นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ที่ผ่านการปรับแก้แล้วมาตัด โดยใช้พิกัดในการตัด คือ ด้านบน 1808600N ด้านล่าง 1771030 N ด้านซ้าย 507500E และด้านขวา 537290E ครอบคลุมพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน

2. คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการปรับแก้แล้วมาคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ เพื่อนำมาใช้ในการประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข และการวางแผนการเก็บข้อมูลภาคสนาม ด้วยวิธีการ ดังนี้

2.1 ดัชนีพืชพรรณ RVI (ratio vegetation index) (Jordan, 1969) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$RVI = NIR / R \quad (1)$$

โดยที่ NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

R = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

2.2 ดัชนีพืชพรรณ NDVI (normalized difference vegetation index) (Rouse *et al.*, 1973) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

โดยที่ NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
R = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

2.3 ดัชนีพืชพรรณ SAVI (soil adjusted vegetation index) (Huete, 1988) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + L) \quad (3)$$

โดยที่ NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
R = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง
L = Soil Adjustment Factor
(โดยทั่วไป L = 0.5)

3. การประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข

3.1 ทำการสุ่มจุดสำหรับการประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข ลงบนข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ให้กระจายครอบคลุมพื้นที่วิจัยได้จำนวน 150 จุด โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling)

3.2 หากค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภทต่างๆ ในจุดสุ่มสำหรับการประเมิน ด้วยวิธีการนำมาซ้อนทับ โดยหากค่าความต่างระดับความสูง 2 กลุ่ม คือ

1) ค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) ที่ใช้ในระดับโลก (Global DEMs) ได้แก่ SRTM กับ ASTER GDEM

2) ค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) ที่ใช้ในประเทศ ได้แก่ ข้อมูล DEM กรมแผนที่ทหาร (RTSD DEM) กับ DEM ของกรมพัฒนาที่ดิน (LDD DEM)

3.3 นำค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จาก ข้อ 3.2 มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI SAVI และ RVI ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่ทำการวิจัย ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (correlation analysis) เพื่อหาแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้

4. การประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน

เป็นการประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้ โดยอาศัยค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) ที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้จากการประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลขในข้างต้น มาวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) กับความสูงของหมู่ไม้ที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม และสร้างเป็นสมการเชิงเส้น เพื่อนำมาใช้สร้างเป็นแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้และประเมินความถูกต้องด้วยข้อมูลเก็บวัดจากภาคสนามโดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

4.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1) จำแนกพื้นที่ทำการวิจัยออกเป็น พื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่นสูง ปานกลาง และเบาบาง ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI (normalized difference vegetation index) ซึ่งเป็นค่าดัชนีพืชพรรณที่เหมาะสมกับพื้นที่ทำการวิจัย จากการประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข

2) สุ่มวางแปลงตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified random sampling) จากจำนวนแปลงตัวอย่าง 40 แปลง ให้ครอบคลุมทุกลักษณะพื้นที่ที่จำแนกไว้ซึ่งจำนวนแปลงตัวอย่างในแต่ละลักษณะพื้นที่แบ่งตามสัดส่วนของขนาดพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่นสูง จำนวน 23 แปลง พื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมปานกลาง จำนวน 14 แปลง และพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมเบาบาง จำนวน 3 แปลง โดยวางแปลงวงกลม (circular

plot) รัศมี 17.84 เมตร เป็นแปลงตัวอย่างชั่วคราว เพื่อให้สะดวกและรวดเร็วในการวางจุดและกำหนดขอบเขตแปลง เก็บข้อมูลความโต ความสูง เปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด

4.2 หาค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลแบบจำลองความสูงประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) ที่เป็นแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้ ณ ตำแหน่งแปลงตัวอย่าง จำนวน 30 แปลง

4.3 นำค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลแบบจำลองความสูงที่ได้ มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) และสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น เพื่อใช้ในการประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{h}_c = f(\bar{h}_{spc}) \quad (4)$$

สันนิษฐานว่าอยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น สามารถเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$\bar{h}_c = \beta_0 + \beta_1 \bar{h}_{spc} \quad (5)$$

โดยหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

$$\bar{h}_{spc} = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} (h_{DSM_i} - h_{DTM_i}) + \delta_v \quad (6)$$

$$\delta_v(x,y) = h_{DSM,b(x,y)} - h_{DTM(x,y)} \quad (7)$$

โดยที่ \bar{h}_c = ความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้
 \bar{h}_{spc} = ค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลข
 N_p = จำนวนจุดภาพในบริเวณหมู่ไม้ที่พิจารณาอยู่ ($N_p = 9$)
 δ_v = ค่าความสูงขดเซย (vertical offset)
 h_{DSM_i} = ค่าความสูงข้อมูลประเภท Digital Surface Model (DSM) บริเวณหมู่ไม้ที่พิจารณาอยู่

h_{DTM_i} = ค่าความสูงข้อมูลประเภท Digital Terrain Model (DTM) บริเวณหมู่ไม้ที่พิจารณาอยู่

$h_{DSM,b}$ = ค่าความสูงข้อมูลประเภท Digital Surface Model (DSM) ณ จุดใดๆ ในพื้นที่ที่ปราศจากสิ่งปกคลุมพื้นที่ (bare soil)

h_{DTM} = ค่าความสูงอ้างอิง (reference DEM)
 (x,y) = ณ ตำแหน่งพิกัดใดๆ

4.4 นำสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นที่ได้ มาประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้ ณ ตำแหน่งแปลงตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้จากการประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์กับความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยใช้สถิติ t-test ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เพื่อให้ทราบว่าความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้จากการประมาณด้วยสมการกับความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามมีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่ ก่อนนำไปใช้ประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้

4.5 ทำการสร้างแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้ ทั้งพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลานด้วยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จาก ข้อ 4.3 ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม

4.6 ประเมินความถูกต้องของแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้ โดยเปรียบเทียบค่าความสูงของหมู่ไม้ที่ได้จากการประมาณด้วยแบบจำลองกับค่าความสูงที่วัดได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม จากแปลงตัวอย่างจำนวน 10 แปลง โดยใช้ตัวชี้วัดดังต่อไปนี้

1) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (8)$$

โดยที่ Y_i = ค่าความสูงของหมูไม้จากแบบจำลอง
 X_i = ค่าความสูงของหมูไม้ที่วัดได้จากการ
 เก็บข้อมูลภาคสนาม
 n = จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมิน
 แบบจำลอง

2) ค่าดัชนีความสอดคล้อง (index of agreement; d) (Willmott, 1982) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$d = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - h_i)^2}{\sum_{i=1}^n (H_i' + |h_i'|)^2} \right], 0 \leq d \leq 1 \quad (9)$$

โดยที่ H_i = ค่าความสูงของหมูไม้จากแบบจำลอง
 h_i = ค่าความสูงของหมูไม้ที่วัดได้จากการ
 เก็บข้อมูลภาคสนาม
 \bar{h} = ค่าความสูงเฉลี่ยของของหมูไม้ที่วัด
 ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม
 $H_i' = H_i - \bar{h}$ และ $h_i' = h_i - \bar{h}$
 n = จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมิน
 แบบจำลอง

3) ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute error; MAE) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$MAE (\%) = \frac{\bar{Y} - \bar{X}}{\bar{X}} \times 100 \quad (10)$$

โดยที่ \bar{Y} = ค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ที่ประมาณ
 ได้จากแบบจำลอง
 \bar{X} = ค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ที่วัดได้จาก
 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

ผลและวิจารณ์

การประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข

การประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลขเป็น การประเมินเพื่อหาแบบจำลองความสูงที่เหมาะสม สำหรับการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู ไม้ โดยสุ่มจุดสำหรับการประเมิน ลงบนข้อมูลแบบ จำลองความสูงเชิงเลข จำนวน 150 จุด และหาค่าความ

ต่างระดับความสูงของข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง นำมา วิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI SAVI และ RVI ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชพรรณที่ปกคลุม พื้นที่ทำการวิจัย ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (pearson correlation analysis) โดยบริเวณที่มีพืชพรรณ ปกคลุมหนาแน่นมาก ความต่างระดับความสูงของ ข้อมูลก็จะมากขึ้นตาม ไปด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับ ความสูงของข้อมูลแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ ทหารและพัฒนาที่ดิน กับค่าดัชนีพืชพรรณ จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับความสูง ของข้อมูลแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและ กรมพัฒนาที่ดิน กับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ RVI พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.57, 0.50 และ 0.59 ตามลำดับ แสดงถึงทิศทางของความ สัมพันธ์เชิงบวก และมีความสัมพันธ์กันในระดับ ปานกลางกล่าวคือ เมื่อค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าเพิ่มขึ้น ความต่างระดับความสูงของข้อมูลของกรมแผนที่ทหาร และกรมพัฒนาที่ดิน ในจุดสุ่มเพื่อการประเมินจะมี ค่าเพิ่มขึ้นตาม ไปด้วย แสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่าง ค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลกับการมีพืชพรรณ ปกคลุมในบริเวณพื้นที่วิจัย เนื่องจากข้อมูลแบบจำลอง ความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดินเป็น แบบจำลองความสูงที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในประเทศ จึง ทำให้ข้อมูลความสูงของภูมิประเทศจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าความสูงของภูมิประเทศจริงๆ และมีความคลาด เคลื่อนน้อยกว่า ข้อมูล SRTM และ ASTER GDEM ซึ่งเป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ผลิตเพื่อใช้ใน ระดับโลกที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำกว่า

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับ ความสูงของข้อมูล SRTM และ ASTER GDEM กับ ค่าดัชนีพืชพรรณ จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูล SRTM และ ASTER GDEM กับ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ RVI

พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.11, -0.03 และ -0.10 ตามลำดับ แสดงถึงทิศทางการสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรเป็นความสัมพันธ์เชิงลบ และมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าเพิ่มขึ้นความต่างระดับความสูงของข้อมูล SRTM และ ASTER GDEM ในจุดสุ่มเพื่อการประเมินจะมีค่าลดลง หรือไม่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแสดงถึงความไม่สอดคล้องกันระหว่างค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลกับการมีพืชพรรณปกคลุมในบริเวณพื้นที่วิจัย เนื่องมาจาก ข้อมูล SRTM และ ASTER GDEM เป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ผลิตเพื่อใช้ในระดับโลกที่มีความละเอียดคุณภาพค่อนข้างต่ำ และเมื่อถูกประมวลผลเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีโอกาสคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูงกว่าแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดินที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในประเทศ

จากผลการวิจัย พบว่า แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำ คือ แบบจำลองความสูงจากกรมพัฒนาที่ดินและกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นแบบจำลองความสูงที่ผลิตเพื่อใช้ในประเทศเนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลกับค่าดัชนีพืชพรรณ ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่อยู่ในระดับสูงกว่าข้อมูล ASTER GDEM และ SRTM

การประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน

การประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน เป็นการประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำ โดยอาศัยค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) กับความสูงของหมู่น้ำจากข้อมูลภาคสนาม มาสร้างเป็นสมการเชิงเส้นด้วยการวิเคราะห์

การถดถอย (regression analysis) เพื่อนำมาใช้ในการประมาณค่าความสูงของหมู่น้ำ และประเมินความถูกต้องด้วยข้อมูลเก็บวัดจากภาคสนามแบบจำลองความสูงที่ใช้ประกอบด้วยแบบจำลองความสูงจากกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งเป็นแบบจำลองความสูงที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงของหมู่น้ำ ผลการวิจัย พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับความสูงกับความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง นำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์มีสมการคือ $\bar{h}_c = 2.2826 + 0.81\bar{h}_{spc}$ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.69 นำสมการความสัมพันธ์มาประมาณค่าความสูงของหมู่น้ำ ณ ตำแหน่งแปลงตัวอย่าง และนำค่าความสูงของหมู่น้ำจากการประมาณด้วยสมการมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สถิติ t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 กับความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำจากการประมาณด้วยสมการกับความสูงเฉลี่ยของหมู่น้ำจากการเก็บข้อมูลภาคสนามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.554 ($t = 0.603$) และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์มาสร้างเป็นแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมู่น้ำในพื้นที่วิจัย (Figure 1) สามารถประมาณค่าความสูงของหมู่น้ำได้ดีที่สุด เท่ากับ 11.10 เมตร สูงสุด เท่ากับ 51.69 เมตร และความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 16.86 เมตร ซึ่งมีความสูงน้อยกว่าความสูงเฉลี่ยที่วัดได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามที่มีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 17.21 เมตร ทำการประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง จากเกณฑ์การประเมินเชิงประสิทธิภาพ (efficiency criteria) ที่นิยมใช้ในการประเมินสมรรถนะของแบบจำลอง (Krause *et al.*, 2005) โดยเปรียบเทียบค่าความสูงของหมู่น้ำที่ได้จากแบบจำลองกับความสูงที่วัดได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม พบว่า มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean

square error; RMSE) เท่ากับ 2.37 ซึ่งมีค่า RMSE ต่ำกว่า การศึกษาของ Walker *et al.* (2004) ที่ประเมินความสูงของเรือนยอดที่ได้มาจากข้อมูล SRTM และ TOPSAR ในแคลิฟอร์เนีย ค่าดัชนีความสอดคล้อง (d) ที่แสดงความแตกต่างของค่าความสูงจากแบบจำลองและที่วัดได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม เท่ากับ 0.48 โดยค่า d

จะมีค่าระหว่าง 0 (ไม่มีความสอดคล้อง) ถึง 1 (มีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์) (Willmott, 1982) ซึ่งความสูงของหมูไม้ที่ได้จากแบบจำลองกับความสูงที่วัดได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม มีความสอดคล้องกันในระดับปานกลาง และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute error; MAE) เท่ากับ -2.05 ตามลำดับ

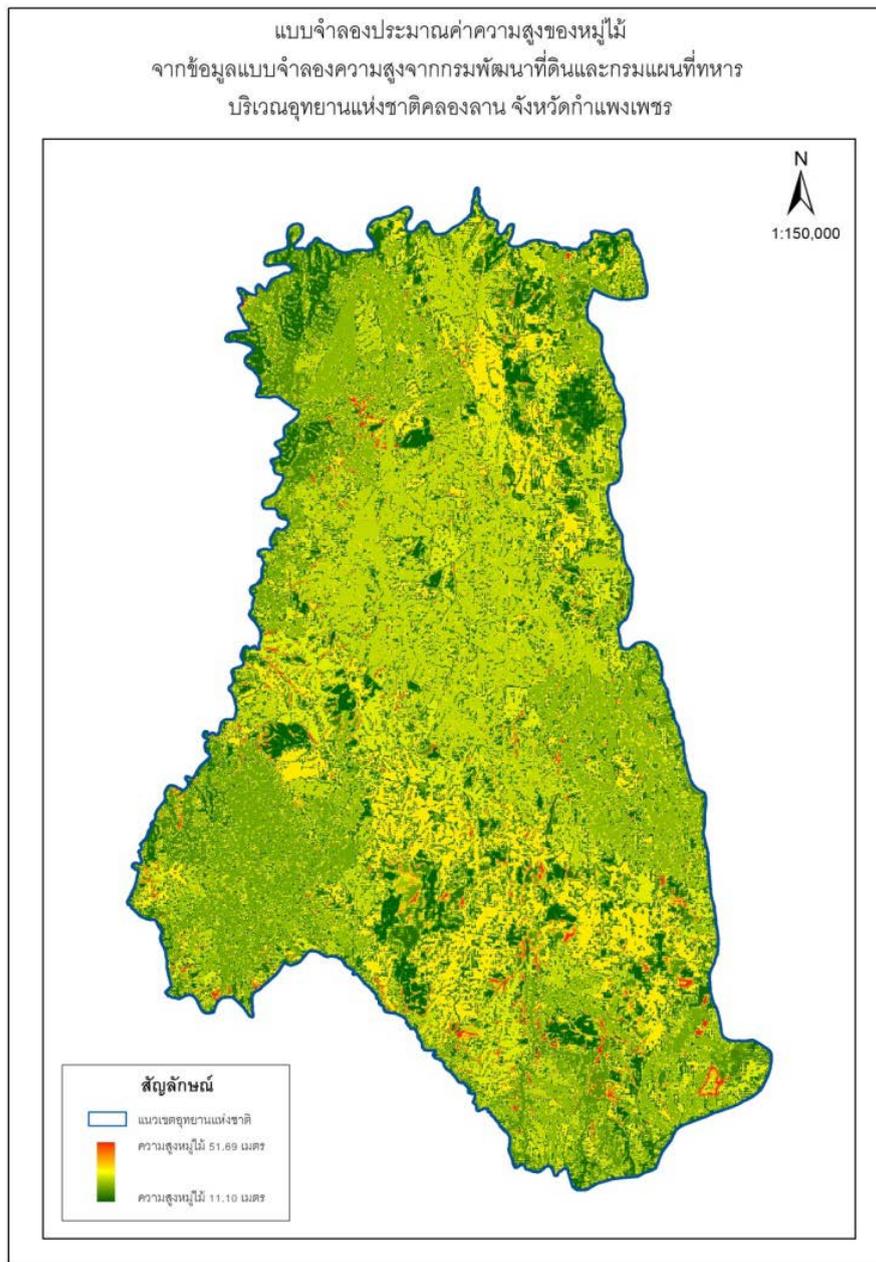


Figure 1 The model estimate the forest stand heights from RTSD and MOAC.

นำแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้ที่ได้จากการวิจัยมาซ้อนทับกับสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำสาขาน้ำตกคลองลาน ดำเนินการศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล จากโครงการเตรียมรับมือและป้องกันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจมีต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมแหล่งธรรมชาติอันควรอนุรักษ์ประเภทน้ำตก (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558) เพื่อจำแนกความสูงของป่าแต่ละชนิด (Figure 2) พบว่า ป่ากำลังฟื้นตัวตามผลการจำแนกสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำสาขาน้ำตกคลองลาน มีความสูงของหมู่ไม้เฉลี่ยจากแบบจำลองประมาณความสูงของหมู่ไม้เท่ากับ 16.58 เมตร ป่าเต็งรัง มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 17.82 เมตร ป่าเบญจพรรณ มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 17.90 เมตรและป่าดิบแล้ง

มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 18.97 เมตร

สอดคล้องกับความสูงของต้นไม้ในป่าแต่ละชนิดของกลุ่มสำรวจทรัพยากรป่าไม้ (2555) ที่ได้ทำการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ เพื่อติดตั้งระบบติดตามความเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรป่าไม้ในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ที่อยู่ในความรับผิดชอบ พบว่า ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน ป่าเต็งรังต้นไม้มีความสูงประมาณ 8-21.5 เมตร ป่าเบญจพรรณต้นไม้มีความสูงประมาณ 9-28.5 เมตร และป่าดิบแล้ง ต้นไม้มีความสูงประมาณ 13.5-29.5 เมตร สามารถที่นำไปใช้พัฒนาในเรื่องของการประเมินผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ได้ เพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่มีความสะดวกและรวดเร็ว ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่องานทางด้านการป่าไม้

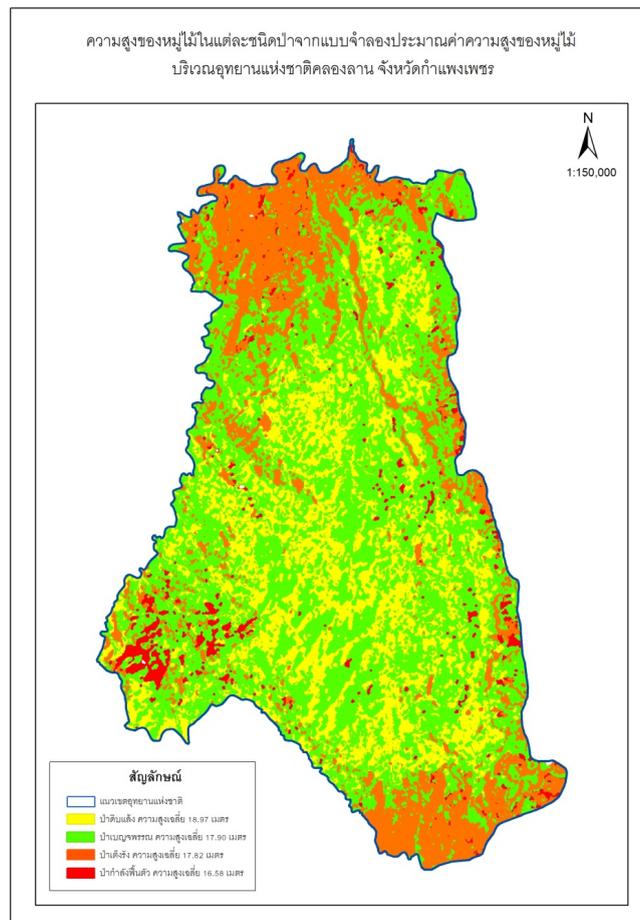


Figure 2 forest stand heights ineach type of forestfrom the model estimate the forest stand heights.

สรุป

การประเมินแบบจำลองความสูงเชิงเลข เป็นการประเมินเพื่อหาแบบจำลองความสูงที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ โดยสุ่มจุดสำหรับการประเมินลงบนข้อมูลแบบจำลองความสูงประเภทต่างๆ หากค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง นำมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (pearson correlation analysis) กับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ RVI ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่ทำการวิจัย พบว่า ค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดิน กับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ RVI มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.57, 0.50 และ 0.59 ตามลำดับ แสดงถึงความสัมพันธ์กันระหว่างค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลกับการมีพืชพรรณปกคลุมในพื้นที่วิจัย เนื่องจากข้อมูลแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดินเป็นแบบจำลองความสูงที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในประเทศ จึงทำให้ข้อมูลความสูงของภูมิประเทศจากแบบจำลองใกล้เคียงกับความสูงของภูมิประเทศจริงๆ และค่าความต่างระดับความสูงของ SRTM และ ASTER GDEM กับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ RVI มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.11, -0.03 และ -0.10 ตามลำดับ แสดงถึงความไม่สัมพันธ์กันระหว่างค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลกับการมีพืชพรรณปกคลุมในพื้นที่วิจัย เนื่องจาก ข้อมูล SRTM และ ASTER GDEM เป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ผลิต เพื่อใช้ในระดับโลก ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ข้อมูลความสูงของพื้นผิวโลกจากแบบจำลองความสูงจึงมีความคลาดเคลื่อนจากความสูงของพื้นผิวโลกจริงๆ มากกว่าแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดินจึงเป็นแบบ

จำลองความสูงที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประมาณค่าความสูงของหมูไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน การประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคลองลาน เป็นการประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ โดยอาศัยค่าความต่างระดับความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขประเภท Digital Surface Model (DSM) และ Digital Terrain Model (DTM) กับความสูงของหมูไม้จากข้อมูลภาคสนาม มาสร้างเป็นสมการเชิงเส้นด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อนำมาใช้ในการประมาณค่าความสูงของหมูไม้และประเมินความถูกต้องด้วยข้อมูลจากภาคสนาม แบบจำลองความสูงที่ใช้ ประกอบด้วยแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดิน ผลการวิจัย ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างระดับความสูงของข้อมูลแบบจำลองความสูงของกรมแผนที่ทหารและกรมพัฒนาที่ดินกับความสูงเฉลี่ยของหมูไม้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.83 นำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น มีสมการความสัมพันธ์คือ $\bar{h}_c = 2.2826 + 0.81\bar{h}_{spc}$ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด เท่ากับ 0.69 นำสมการที่ได้มาประมาณค่าความสูงของหมูไม้ในแปลงตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติกับความสูงเฉลี่ยของหมูไม้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยใช้สถิติ t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า ความสูงเฉลี่ยของหมูไม้จากการประมาณด้วยสมการกับความสูงเฉลี่ยของหมูไม้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.554 ($t=0.603$) และเมื่อนำสมการมาประมาณค่าความสูงของหมูไม้ทั้งพื้นที่ทำการวิจัย โดยการสร้างเป็นแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมูไม้สามารถประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของหมูไม้ได้ประมาณ 16.86 เมตร ประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่า มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) เท่ากับ 2.37 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (d)

เท่ากับ 0.48 และค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute error; MAE) เท่ากับ -2.05 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการประเมินอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ เมื่อนำแบบจำลองประมาณค่าความสูงของหมู่ไม้มาซ้อนทับกับสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำสาขาน้ำตกคลองลาน เพื่อจำแนกความสูงของป่าแต่ละชนิดพบว่า ป่ากำลังฟื้นตัว มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 16.58 เมตร ป่าเต็งรัง มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 17.82 เมตร ป่าเบญจพรรณ มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 17.90 เมตร และป่าดิบแล้ง มีความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้เท่ากับ 18.97 เมตร สอดคล้องกับความสูงของต้นไม้ในป่าแต่ละชนิดจากการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ของกลุ่มสำรวจทรัพยากรป่าไม้ (2555) สามารถที่นำไปใช้พัฒนาในเรื่องของการประเมินผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ได้ เพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่มีความสะดวกและรวดเร็ว ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลุ่มสำรวจทรัพยากรป่าไม้. 2555. การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ของประเทศไทย. ส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สุเพชร จิระจกรกุล. 2555. เรียนรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1 for Desktop. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปทุมธานี.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2558. โครงการเตรียมรับมือและป้องกันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจมีต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมแหล่งธรรมชาติอันควรรอนุรักษ์ประเภทน้ำตก. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) - GISTDA. 2012. **The Meaning of the Height Information Terrain.** Available source: <https://sites.google.com/site/lidardemservice/khwam-hmay-khxng-khxmml-khwam-sung-phumiprathes-thi-hi-brikar>, October 8, 2015.

Huete, A. 1988. A Soil-adjusted vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment** 25: 295-309.

Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. **Ecology** 50: 663-666.

Krause, P., D.P. Boyle and F. Base. 2005. Comparison of Different Efficiency Criteria for Hydrological Model Assessment. **Advances in Geosciences** 5: 89-97.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA SP-3511** 309-317.

United States Geological Survey. 2015. **Landsat Missions Timeline.** Available source: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php, October 8, 2015.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society** 63 (11): 1309-1369.

Walker, W.S., L.E. Pierce, J.M. Kellendorfer, M.C. Dobson, C.T. Hunsaker and J.A. Fites. 2004. A comparison of forest canopy height estimates derived from SRTM and TOPSAR in the Sierra Nevada of California. **Geoscience and Remote Sensing Symposium** 4: 2336- 2339