

Turakka, A., O. Luukkanen and
S. Bhumibhamon. 1982. Notes on
Pinus merkusii and *P. kesiya* and

their natural regeneration in water-
shed areas of northern Thailand.
Acta Forest. Finn. 178 : 1-33.

คำนิยาม

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนอุดหนุนการ
วิจัยส่วนหนึ่งจากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้
และอีกส่วนหนึ่งจาก Forest Development

Administration แห่ง VACRS ประเทศ
สาธารณรัฐจีน ผ่านทางโครงการหลวงและ
งานเกษตรที่สูงแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินค่าความแตกต่างของพิกัดของแนวขอบเขต พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติจากภาพถ่ายทางอากาศ และการเข้าวงรอบ

DETERMINATION OF COORDINATES DIFFERENCE OF NATIONAL RESERVED FOREST BOUNDARY FROM AERIAL PHOTOGRAPHS AND TRAVERSING

วันชัย อรุณประภารัตน์^๑/

Wanchai Arunpraparat

ABSTRACT

The determination of coordinate difference of boundary from aerial photographs and traversing was carried out at Rural Agriculture Education Project of Kasetsart University, Kok Samrong district, Lop Buri province. Area and boundary length are about 48,918 rai and 48 kilometers, respectively. The 1:15,000 scale aerial photographs and the 1:50,000 base map were utilized in measuring the coordinates and the boundary station parallax as well as the air base of stereo pairs. Heights of the air craft, as boundary station elevations and scale, were calculated for the adjustment of photo coordinates. The adjustment, as the origin reference, is in the same datum of boundary ground coordinates which was surveyed by the stadia traverse and compass rule method.

The photo coordinates were compared with the ground coordinates. The coordinate differences, X and Y, were analysed in multiple linear regression model by stepwise method. Coordinate differences were considered as the dependent variables while height of aircraft and the traverse station of elevation, parallax, scale, and relief displacement were determined as independent variables. The regression equations, for the determination of coordinate difference and the adjustment of photo coordinates, were constructed as follow:-

$$\Delta X = -1651.4657 - 0.5651H + 15.9294P - 0.5727E + 0.1061S$$

$$\Delta Y = -3282.7967 - 1.3756H + 27.0393P - 0.3221E + 0.2802S$$

When $\Delta X, \Delta Y = X, Y$ Coordinate Difference, respectively, m.

H = Height of air craft from MSL., m.

P = Parallax of traverse station, mm.

S = Scale of traverse station

The coefficient of determination (R^2) of both equations were 0.9303 and 0.9422, while the standard error of estimation were 31.8372, 44.3277 respectively.

The average of X and Y difference which was calculated by the substitution of the average independent variables, were used in the adjustment and converted the photo coordinates to true ground coordinates according to scale of smaller than 1:14,000, 1:14,000-1:13,500, 1:13,500-1:13,000, 1:13,000-1:12,500 and larger than 1:12,500. The coordinates difference of X (ΔX) are -172.530, -236.611, -216.123, -68.056, -108.789 m, respectively and the coordinates difference of Y (ΔY) are -180.233, -274.580, -274.229, -85.153, -168.385 m, respectively.

^๑/ ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กท. ๑๐๕๐๓

บทคัดย่อ

การประเมินค่าแตกต่างของพิกัดของแนวขอบเขตพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศ และแผนที่ที่ได้จากการเข้าวงรอบ ณ โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาชนบทเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกอสุไกร จังหวัดลพบุรี เนื้อที่ประมาณ ๔๘,๕๑๔ ไร่ ความยาวของแนวขอบเขตพื้นที่ประมาณ ๔๘ กิโลเมตร โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน ๑ : ๑๕,๐๐๐ และแผนที่ระวางมาตราส่วน ๑ : ๕๐,๐๐๐ ประกอบกันในการวัดค่าพิกัดของหมุดวงรอบ และวัดค่า parallax, ค่า relief displacement ของหมุดวงรอบ ค่า air base ของภาพคู่สามมิติ แล้วคำนวณค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของเครื่องบินถ่ายภาพ ค่ามาตราส่วนและค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ เพื่อคำนวณปรับแก้พิกัดที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศให้เป็นพิกัดที่อ้างอิงจากศูนย์กำเนิด และอยู่บนพื้นหลักฐานเดียวกันกับพิกัดของหมุดแนวเขตที่ได้จากการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดินโดยวิธีสเตเดีย (stadia traverse) และคำนวณปรับแก้พิกัดโดยวิธี compass rule

การเปรียบเทียบพิกัดของหมุด ที่วัดและคำนวณจากภาพถ่ายทางอากาศ กับพิกัดของหมุดเดียวกันที่วัดและคำนวณโดยการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดิน โดยถือว่าพิกัดที่ได้จากการเข้าวงรอบเป็นพิกัดที่ถูกต้อง แล้วนำค่าแตกต่างของพิกัด X, Y มาวิเคราะห์ทางสถิติในรูปสมการสหสัมพันธ์ โดยวิธี stepwise กำหนดค่าแตกต่างของพิกัดหมุดวงรอบเป็นตัวแปรตาม และกำหนดค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของเครื่องบินถ่ายภาพ ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ ค่า parallax และค่า relief displacement ของหมุดวงรอบ เป็นตัวแปรอิสระจำนวน ๑๐๕ หมุด ได้สมการสหสัมพันธ์สำหรับประเมินค่าความแตกต่างของพิกัดของหมุดวงรอบเพื่อปรับแก้พิกัดที่วัดและคำนวณจากภาพถ่ายทางอากาศให้เป็นพิกัดที่ถูกต้องดังนี้

$$\Delta X = -1651.4657 - 0.5651H + 15.9294P - 0.5727E + 0.1061S$$

$$\Delta Y = -3282.7967 - 1.3756H + 27.0393P - 0.3221E + 0.2802S$$

เมื่อ $\Delta X, \Delta Y$ = ค่าแตกต่างของพิกัด X, Y ตามลำดับ, ม.

H = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของเครื่องบินถ่ายภาพ, ม.

P = ค่า parallax ของหมุดวงรอบ, มม.

E = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ, ม.

S = มาตราส่วนหมุดวงรอบ

ผลการทั้งสองให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการประเมินค่า (R^2) เท่ากับ 0.9303 และ 0.9422 และให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณเท่ากับ 31.8372 และ 44.3277 ตามลำดับ

การนำสมการไปประเมินค่าแตกต่างเฉลี่ยพิกัด X, Y จำแนกตามมาตราส่วนหมุดวงรอบโดยการแทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางขวาของสมการลงในสมการ ได้ค่าแตกต่างเฉลี่ยของพิกัดสำหรับปรับแก้พิกัดที่วัดและคำนวณจากภาพถ่ายทางอากาศให้เป็นพิกัดที่ถูกต้อง จำแนกตามมาตราส่วนดังนี้ เล็กกว่า ๑ : ๑๕,๐๐๐ ๑ : ๑๕,๐๐๐-๑ : ๑๓,๕๐๐ ๑ : ๑๓,๕๐๐-๑ : ๑๓,๐๐๐ ๑ : ๑๓,๐๐๐-๑ : ๑๒,๕๐๐ ใหญ่กว่า ๑ : ๑๒,๕๐๐ ค่าแตกต่างเฉลี่ยของพิกัด X (ΔX) เท่ากับ -๑๗๒.๕๓๐, -๒๓๖.๖๑๑, -๖๘.๐๕๖, -๑๐๘.๗๘๘ ม. ตามลำดับ และค่าแตกต่างเฉลี่ยของพิกัด Y (ΔY) เท่ากับ -๑๘๐.๒๓๓, -๒๗๔.๕๕๐, -๒๗๔.๒๒๕, -๘๕.๑๕๓, -๑๖๘.๓๘๕ ม. ตามลำดับ

คำนำ

ปัจจุบันนับได้ว่าภาพถ่าย ทางอากาศ เข้ามามีบทบาทอย่างมากในหน่วยงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงาน ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เช่น กรมป่าไม้ กรมชลประทาน กรมที่ดินหรือหน่วยงานทางการทหาร ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งรูปเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ในทางป่าไม้ถือว่าข้อมูลทั้งสองชนิดจากภาพถ่ายทางอากาศมีประโยชน์อย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ นั้นกว้างขวางเกินกว่าที่จะทำการสำรวจทางภาคพื้นดินให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ประหยัดค่าใช้จ่ายและรวดเร็วทันต่อความต้องการได้ดังนี้ จึงมีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อทำการสำรวจทรัพยากร โดยเฉพาะสิ่งจำเป็นพื้นฐาน ที่มีความสำคัญคือแผนที่แสดงอาณาบริเวณป่า ที่จะทำการสำรวจ โดยทั่วไปแล้วการทำแผนที่เพื่อการใช้ประโยชน์ในทางป่าไม้จะไม่ใช้วิธีการสำรวจรังวัดทางภาคพื้นดินโดยวิธีการเข้าวงรอบซึ่งให้ข้อมูลที่ถือว่าใกล้เคียงความเป็นจริง มากที่สุด แต่ต้องใช้เวลานาน ใช้กำลังคนมาก เสียค่าใช้จ่ายสูง และโอกาสที่ข้อมูลจะเกิดการผิดพลาดนั้นมีมากกว่าภาพถ่าย ทางอากาศ อีกทั้งใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่รังวัดได้

เฉพาะการทำแผนที่ และการคำนวณเนื้อที่เท่านั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ที่ให้ข้อมูลเกือบทุกอย่างอยู่ในภาพ จะประหยัดค่าใช้จ่ายและใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่าการสำรวจ ทางภาคพื้นดินมาก

แม้ว่าในปัจจุบัน ได้มีการทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศกันแล้ว ส่วนใหญ่มักเป็นการทำแผนที่ครอบคลุมพื้นที่ กว้างขวาง โดยอาศัยการสำรวจกำหนดจุดบังคับกับภาพถ่าย (photocontrol) ทางภาคพื้นดินด้วยวิธีโครงข่ายสามเหลี่ยม (triangulation) หรือการเข้าวงรอบ (traversing) เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดจากภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้นว่าการเอียง (tilt) มาตราส่วน (scale) ซึ่งต้องทำการสำรวจทางภาคพื้นดิน ต้องใช้กำลังคนมากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้น ในการทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ หากนำค่าพิกัดจากภาพถ่ายทางอากาศมาเปรียบเทียบพิกัด ของจุดเดียวกันที่ได้จากการสำรวจทางภาคพื้นดิน โดยวิธีการเข้าวงรอบ เพื่อประเมินค่าแตกต่าง แล้วนำค่าแตกต่างนั้นมาเป็นเกณฑ์ ในการปรับแก้ค่าพิกัดของแผนที่ที่ทำ จากภาพถ่ายทางอากาศโดยไม่ต้องทำการสำรวจ กำหนดจุดบังคับทางภาคพื้นดินอีก ในพื้นที่นั้นจึง

เป็นสิ่งที่น่าสนใจและควรศึกษา ทั้งนี้โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อ (๑) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ในงานสำรวจรังวัดพื้นที่ป่าไม้โดยวิธีการเข้ารอบ (๒) วิเคราะห์ คำนวณและปรับแก้ค่าพิกัด ในภาพถ่ายให้ถูกต้องตามสภาพความเป็นจริง ในภูมิประเทศ (๓) ใช้ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นพื้นฐานใน

สถานที่ทำการศึกษา

๑. ลักษณะภูมิศาสตร์

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาชนบทเกษตร ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ณ ตำบลหนองมะค่า - ยาง-ราก อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ วังเพลิง-ม่วงค่อม-ลำนาทรายณ์ เดิมเป็นป่าสัมปทานทำไม้ของบริษัทเหล็กสยาม จำกัด และบริษัทได้ขอยกเลิกสัมปทานไปแล้ว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยได้รับอนุญาตจากกรมป่าไม้ ตามหนังสืออนุญาตเล่มที่ ๙ เลขที่ ๑๘ ลงวันที่ ๑๒ กันยายน ๒๕๒๗ จึงเข้าดำเนินการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดังกล่าว มีกำหนดระยะเวลา ๓๐ ปี

โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาชนบทเกษตร ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง ที่ ๑๕ องศา ๑๖ ลิปดา ๔๙.๕๖ พิลิปดาเหนือ ถึง ๑๕

การรังวัดพื้นที่ป่าไม้ โดยไม่ต้องทำการสำรวจกำหนดจุดบังคับภาคพื้นดิน (๔) ลดค่าใช้จ่ายและเวลา รวมทั้งลดขั้นตอนในการทำแผนที่ป่าไม้จากภาพถ่ายทางอากาศ ให้น้อยลง ช่วยให้การนำแผนที่ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว ทันต่อความต้องการมากยิ่งขึ้น

องศา ๒๔ ลิปดา ๓๔.๖๒ พิลิปดาเหนือ และเส้นแวง ที่ ๑๐๐ องศา ๕๓ ลิปดา ๓๒.๐๔ พิลิปดาตะวันออกถึง ๑๐๐ องศา ๕๕ ลิปดา ๑๒.๔๘ พิลิปดาตะวันออก มีเนื้อที่ประมาณ ๔๘,๙๑๘ ไร่ ความยาวของแนวขอบเขตพื้นที่โครงการฯ ประมาณ ๔๘ กิโลเมตร โดยมีอาณาเขต ทิศเหนือจดบ้านเขารอบ บ้านหนองมะค่า และลำห้วยผักกาด ทิศใต้ จดบ้านคลองหลุม บ้านหมูนัน เขาตอขวัว และทางหลวง สาย อ. โคกสำโรง ถึง ทางหลวงสายเพชรบูรณ์-สระบุรี ทิศตะวันออก จดบ้านยางราก บ้านวังตาอินทร์ บ้านวังวัด บ้านวังมนรธา บ้านคลองหลุม และห้วยซับสวอง ทิศตะวันตก จดบ้านวังอ่าง บ้านโคกแสมสาร บ้านหมูนัน เขารวก เขาสามยอด และเทือกเขากลวยใจ

๒. ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศ บริเวณโครงการศึกษาเพื่อพัฒนาชนบทเกษตร สภาพพื้นที่มีทั้งที่ราบ ที่ค่อนข้างราบความลาดชันต่ำถึงปานกลางแบบที่ราบลูกฟูก จนถึงพื้นที่เป็นภูเขาสูงชันแบบ slope complex แนวขอบเขตพื้นที่โครงการฯ ด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออกซึ่งเป็นลำห้วยตลอดแนว และทิศตะวันตกตอนบน รวมความยาวประมาณ ๓๓ กิโลเมตร มีลักษณะเป็นที่ค่อนข้างราบความลาดชันต่ำ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ ๑๐๐ เมตร ถึง ๑๖๐ เมตร ส่วนแนวขอบเขตพื้นที่ด้านทิศตะวันตกตอนกลางถึงตอนใต้ ความยาวประมาณ ๑๕ กิโลเมตร มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชัน สลับซับซ้อนความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ตั้งแต่ ๑๖๐ เมตร ถึง ๕๕๙ เมตร

๓. ลักษณะพืชพรรณ

พื้นที่โครงการศึกษา เพื่อพัฒนาชนบทเกษตร เป็นพื้นที่ป่าสัมปทานเก่าของ

บริษัทเหล็กสยามที่ขอยกเลิกสัมปทานไปแล้ว มีราษฎรเข้าบุกรุกครอบครองพื้นที่โดยทั่วไป สภาพป่าถูกบุกรุกทำลายจนหมดสภาพป่า กลายเป็นป่าเสื่อมโทรม บริเวณที่ราบถูกราษฎรยึดครองปลูกพืชเกษตรจำพวกนาข้าว ข้าวโพด และไม้ผลอื่น ๆ จนหมดสิ้น ในส่วนพื้นที่ภูเขาสูงชันด้านทิศตะวันตกตอนกลางถึงตอนใต้ ซึ่งสภาพป่าทั่วไปเป็นป่าเต็งรังสลับป่าเบญจพรรณ มีต้นไม้ที่หลงเหลือจากการถูกทำลายอยู่ไม่มากนัก และมีขนาดเส้นรอบวงเพียงอก (G.B.H.) ไม่เกิน ๕๐ ซม.

พรรณไม้ที่พบได้แก่ เต็ง (*Shorea obtusa*, Wall.) รัง (*Shorea siamensis*, Miq.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*, Kurz.) อ้อยช้าง (*Lannea coramandelica*, Merr.) ตะแบก (*Lagerstroemia calyculata*, Kurz.) รกฟ้า (*Terminalia alata*, Heyne ex. Roth) ตะคร้อ (*Schleichera oleosa*, Lour.) เป็นต้น และยังมีไม้ไผ่รวก ไผ่ช้างขึ้นสลับทั่วไปในป่าแถบภูเขาสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

๑. อุปกรณ์

๑.๑ อุปกรณ์ภาคสนาม

๑.๑.๑ กล้อง WILD T16 พร้อม

สามขา ๑ ชุด

๑.๑.๒ กล้อง WILD TO พร้อม

สามขา ๑ ชุด

๑.๑.๓. Subtense bar พร้อม

สามขา ๑ ชุด

- ๑.๑.๔ ไม้วัดระดับ (staff) ๔ ชุด
 ๑.๑.๕ ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน ๑:๑๕,๐๐๐
 ๑.๑.๖ แผนที่ระวางของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐
 ๑.๑.๗ เทปเหล็ก ๒ ม้วน
 ๑.๑.๘ ค้อนปอนด์
 ๑.๑.๙ วิทยุสนาม
 ๑.๑.๑๐ หมุดคอนกรีต
 ๑.๑.๑๑ กล้องส่องทางไกล
 ๑.๑.๑๒ สมุดสนามพร้อมเครื่องเขียน

๑.๒ อุปกรณ์สำนักงาน

- ๑.๒.๑ ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน ๑:๑๕,๐๐๐
 ๑.๒.๒ แผนที่ระวาง มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐
 ๑.๒.๓ ไมโครคอมพิวเตอร์ COM PAQ DESKPRO 286
 ๑.๒.๔ Mirror stereoscope
 ๑.๒.๕ กระดาษกราฟ
 ๑.๒.๖ กระดาษไขลอกลาย (tracing paper)

๒. วิธีการ

๒.๑ การดำเนินงานในสนาม

๒.๑.๑ การสำรวจเบื้องต้น ทำการสำรวจเบื้องต้น เพื่อศึกษาสภาพและลักษณะ

ภูมิประเทศจากภาพถ่ายทางอากาศและแผนที่สภาพภูมิประเทศ แล้วออกสำรวจแนวขอบเขตพื้นที่ทำการวิจัยโดยรอบด้วยเข็มทิศมือ (hand compass) พร้อมทั้งปักหมุดคอนกรีตตามแนวขอบเขตพื้นที่ที่เป็นจุดเด่นและเห็นได้ชัดทั้งในภูมิประเทศและภาพถ่ายทางอากาศ

๒.๑.๒ เนื่องจากแนวขอบเขตพื้นที่มีลักษณะเป็นวงรอบปิดแบบบรรจบตัวเอง (closed-loop traverse) จึงวางแผนทำแผนที่แนวขอบเขตพื้นที่โดยวิธีการเข้าวงรอบปิดแบบบรรจบตัวเอง โดยวัดทิศทางของแนววงรอบเป็นค่ามุมอาซิมุท (azimuth) ด้วยกล้อง WILD T0 และวัดระยะทางด้วยวิธีสเตเดีย (stadia) ในบางช่วงที่ป่ารกทึบและพื้นที่เป็นภูเขาสูง จำเป็นต้องปักหมุดระหว่างยอดเขากับหุบเขา หรือยอดเขากับยอดเขา ซึ่งกรณีนี้จะใช้กล้อง WILD T16 วัดค่ามุมภายใน และวัดระยะทางโดยใช้ Subtense bar การเข้าวงรอบเริ่มต้นจากหมุดวงรอบชั้นที่ ๑ ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งมีค่าพิกัดยูทีเอ็ม (UTM) เหนือ ๑,๖๙๑,๓๒๔. ๒๐๘, ตะวันออก ๗๐๗, ๗๓๔. ๑๙๔ แล้วกลับมาบรรจบที่หมุดเดิม

๒.๒ การดำเนินงานในสำนักงาน

๒.๒.๑ การคำนวณวงรอบ

การคำนวณปรับแก้ค่ามุมและทิศทาง วิธีการวัดมุมหรือทิศทางในการเข้าวงรอบปิดแบบบรรจบตัวเองนั้น นิยมวัดกัน ๒ วิธี คือ วัดทิศทางด้วยเข็มทิศเป็นค่ามุมอาซิมุท และวัดค่ามุมภายใน เนื่องจากวัดสะดวกและรวดเร็ว สามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางมุม (angular error) ได้ง่ายจากสูตร (Davis และคณะ, ๑๙๘๐)

$$\text{ผลรวมมุมภายในวงรอบ} = (n-2) 180^\circ \quad (1)$$

เมื่อ n = จำนวนมุมของวงรอบ

หากทำการวัดทิศทางด้วยเข็มทิศเป็นค่ามุมอาซิมุท ซึ่งทำมุมกับทิศเหนือแม่เหล็ก (magnetic north) จะต้องแปลงมุมอาซิมุทเป็นค่ามุมภายในวงรอบเสียก่อนจากสูตร

$$\text{อาซิมุทหน้าของแนวรังวัดถัดไป} = \text{อาซิมุทหลังของแนวรังวัดก่อน} \pm \text{มุมภายใน} \quad (2)$$

+ มุมภายในเมื่อคำนวณวงรอบทวนเข็มนาฬิกา

- มุมภายในเมื่อคำนวณวงรอบตามเข็มนาฬิกา

ค่าความคลาดเคลื่อนทางมุมที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ (allowable error of closure) คือ ผลบวกมุมภายในทั้งหมดต้องไม่ต่างจาก $(n-2) 180^\circ$ เกินกว่าเกณฑ์ที่สองของจำ-

นวนครั้งในการตั้งกล้อง คุณด้วยค่า least count ของกล้อง หากความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ จึงทำการปรับแก้มุมที่วัดมา โดยถือว่าความคลาดเคลื่อนทางมุมเกิดขึ้นเป็นจำนวนเท่ากันที่แต่ละหมุดวงรอบ การปรับแก้มุมภายในจึงเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนเท่า ๆ กัน นำไปบวกเข้ากับมุมภายในแต่ละมุมหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นลบ และลบจากค่ามุมภายในหาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นบวก จากนั้นจึงคำนวณค่ามุมอาซิมุทของแต่ละแนววงรอบด้วยค่ามุมภายในที่ปรับแก้แล้วโดยใช้สูตรที่ ๒

การคำนวณระยะทางจากการวัดโดยวิธีสเตเดีย (stadia) คำนวณด้วยสูตร

$$H = Ks \cos^2 \theta \quad (3)$$

เมื่อ H = ระยะทางราบ, ม.

S = stadia interval

θ = มุมตั้ง

K = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 100

แต่ละแนวรังวัดจะคำนวณระยะทางได้ ๒ ค่า จากการส่องหน้า (fore sight) และส่องหลัง (back sight) ทำการคำนวณระยะทางเฉลี่ยแต่ละแนวสำหรับแนววงรอบบางช่วงที่ใช้ Subtense bar และกล้อง WILD T16 วัดระยะทางนั้น หลังจากคำนวณค่ามุมเฉลี่ยจากการวัดมุมระหว่างปลาย

แขนทั้งสองของ Subtense bar แล้ว นำค่ามุมเฉลี่ยมาคำนวณระยะทาง จากสูตร

$$H = \cot \theta \quad (4)$$

เมื่อ H = ระยะทางราบ, ม.

θ = ค่ามุมราบระหว่างปลายแขนทั้งสองของ Subtense bar

การคำนวณพิกัดจาก หลังจากหาคำนวณและปรับแก้ค่ามุมอาซิมุท และคำนวณระยะทางเฉลี่ยของแต่ละแนววงรอบแล้ว นำค่ามุมอาซิมุทที่จัดเรียงเป็นวงรอบทวนเข็มนาฬิกาและระยะทางมาคำนวณค่าแลตติจูด (latitude) และดีพาร์ตเจอร์ (departure) จากสูตร

$$X_{ij} = d_{ij} \sin A_{ij} \quad (5)$$

$$Y_{ij} = d_{ij} \cos A_{ij} \quad (6)$$

เมื่อ X_{ij} = ค่าดีพาร์ตเจอร์ของแนว ij มีค่าเป็นบวกถ้ามีทิศทางไปทางตะวันออกและมีค่าเป็นลบถ้ามีทิศทางไปทางตะวันตก

Y_{ij} = ค่าแลตติจูดของแนว ij มีค่าเป็นบวกถ้ามีทิศทางไปทางเหนือและมีค่าเป็นลบถ้ามีทิศทางไปทางใต้

D_{ij} = ระยะทางราบของแนว ij

A_{ij} = มุมอาซิมุทของแนว ij

ค่าแลตติจูดและดีพาร์ตเจอร์ที่คำนวณได้จากสูตรที่ ๕ และ ๖ จะถูกนำไปใช้คำนวณค่าพิกัด X, Y ของหมุดวงรอบ เมื่อทราบพิกัดของหมุดเริ่มต้นจากนั้นจึงคำนวณค่าพิกัดของหมุดอื่น ๆ ได้อย่างต่อเนื่องตามลำดับดังนี้

$$X_j = X_i + x_{ij} \quad (7)$$

$$Y_j = Y_i + y_{ij} \quad (8)$$

๒.๒.๒ ความคลาดเคลื่อนในการ

เข้าวงรอบ การเข้าวงรอบปิดแบบบรรจบตัวเอง ผลรวมทางพีชคณิตของค่าดีพาร์ตเจอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ และผลรวมทางพีชคณิตของค่าแลตติจูดมีค่าเท่ากับศูนย์เช่นกัน ในทางปฏิบัติมักมีความคลาดเคลื่อนที่เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบ (error of closure) เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งคำนวณค่าปรับแก้สำหรับความคลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบ (closure corrections) dX และ dY ซึ่งมีเครื่องหมายตรงข้ามกับค่าความคลาดเคลื่อนได้ โดยใช้สูตร

$$dX = \text{ผลรวมค่า departure} \quad (9)$$

$$dY = \text{ผลรวมค่า latitude} \quad (10)$$

ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบ (d_c) คำนวณได้โดยสูตร

$$d_c = \sqrt{dX^2 + dY^2} \quad (11)$$

อัตราส่วนระหว่างความคลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบต่อระยะทางทั้งหมดของ

งานวงรอบ เรียกว่า อัตราส่วนความถูกต้องสัมพัทธ์ (relative accuracy ratio) ของงานวงรอบ แสดงถึงความละเอียดของงานที่ทำ

$$\text{relative accuracy ratio} = d_c/L \quad (12)$$

๒.๒.๓ การคำนวณปรับแก้งานวงรอบโดยวิธี Compass Rule สำหรับแนวรังวัด ij ที่กำหนดให้

dX_t = ค่าความคลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบของพิกัด X

dY_t = ค่าความคลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบของพิกัด Y

d_{ij} = ระยะทางของแนว ij

L = ระยะทางทั้งหมดของวงรอบ

จะได้

$$\text{ค่าปรับแก้แลตติจูด} = d_{ij} \cdot dY_t / L \quad (13)$$

$$\text{ค่าปรับแก้ดีพาร์ตเจอร์} = d_{ij} \cdot dX_t / L \quad (14)$$

นำค่าปรับแก้แลตติจูดและดีพาร์ตเจอร์ไปบวกกับค่าแลตติจูดและดีพาร์ตเจอร์ที่ยังไม่ได้ปรับแก้ถ้าความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นลบ และนำไปลบถ้าความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวก เมื่อได้ค่าแลตติจูดและดีพาร์ตเจอร์ที่ปรับแก้แล้ว นำไปคำนวณค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้วโดยใช้สูตรที่ 7 และ 8 อ้างอิงจากพิกัดยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator ; UTM) ของหมุดวงรอบชั้นที่ ๑ ของกรมแผนที่ทหาร

๒.๒.๔ การวัดค่าพิกัดของหมุด

วงรอบจากภาพถ่ายทางอากาศ

๒.๒.๔.๑ กำหนดตำแหน่งหมุด

วงรอบลงบนภาพถ่ายทางอากาศให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งหมุดในภูมิประเทศมากที่สุด

๒.๒.๔.๒ กำหนดตำแหน่งจุด

ศูนย์กลางภาพ (principal point) และกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางภาพร่วม (conjugate principal point) ลงบนภาพคู่สามมิติ (stereo pairs) แล้ววัดค่า air base ของภาพแต่ละคู่ วัดค่า parallax (p) และพิกัดหมุดวงรอบทุกหมุดโดยอ้างอิงจากศูนย์กลางภาพ บันทึกค่าความยาวโฟกัส (focal length ; f) ของกล้องถ่ายภาพจากภาพถ่ายทางอากาศ คำนวณความสูงของการบินถ่ายภาพ (flying height) ของภาพถ่ายวงรอบบริเวณหมุดวงรอบชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารที่ทราบค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) โดยใช้สูตร

$$H = h + \frac{Bf}{p}$$

เมื่อ H = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของการบินถ่ายภาพ, ม.

h = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดหลักฐาน, ม.

B = Air base, ม.

p = parallax, ม.

f = ความยาวโฟกัส, มม.

๒.๒.๔.๔ กำหนดความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบโดยใช้สูตร

$$h = H - \frac{Bf}{p}$$

เมื่อ h = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ, ม.

H = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของการบินถ่ายภาพ, ม.

B = Air base, ม.

f = ความยาวโฟกัส, ม.

p = parallax, ม.

๒.๒.๔.๕ กำหนดมาตราส่วน (scale) ของหมุดวงรอบ โดยใช้สูตร

$$S = \frac{f}{H-h}$$

เมื่อ S = มาตราส่วน

f = ความยาวโฟกัส, มม.

H = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของการบินถ่ายภาพ, ม.

h = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ, ม.

๒.๒.๔.๖ กำหนดค่า relief displacement ของหมุดวงรอบบนภาพถ่ายทางอากาศ แยกตามแกน x, y โดยใช้สูตร

$$dx = \frac{xh}{H}$$

$$dy = \frac{yh}{H}$$

เมื่อ dx, dy = relief displacement ตามแกน x, y

x, y = พิกัดบนภาพที่อ้างอิงจากศูนย์กลางภาพ

h = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ, ม.

H = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของการบินถ่ายภาพ, ม.

๒.๒.๔.๗ กำหนดการปรับค่าพิกัด (x, y) ให้เป็นพิกัดบนพื้นหลักฐานเดียวกัน โดยนำค่า relief displacement ของแต่ละหมุดวงรอบ ไปหักออกจากค่าพิกัดภาพที่วัดในข้อ ๒.๒.๔.๒

$$x' = x - dx$$

$$y' = y - dy$$

เมื่อ x', y' = พิกัดภาพบนพื้นหลักฐานเดียวกัน

dx, dy = relief displacement บนแกน x, y ตามลำดับ

๒.๒.๔.๘ กำหนดพิกัดภาคพื้นดินจากค่าพิกัดภาพที่ปรับแก้ relief displacement แล้วจากข้อ ๒.๒.๔.๗ โดยใช้สูตร

$$X = \frac{x'}{S}$$

$$Y = \frac{y'}{S}$$

เมื่อ X, Y = พิกัดบนพื้นดิน, ม.

x', y' = พิกัดบนภาพ, ม.

S = มาตราส่วนหมุดวงรอบ

๒.๒.๔.๙ ปรับค่าพิกัดภาคพื้นดินที่คำนวณจากข้อ ๒.๒.๔.๘ ซึ่งเป็นพิกัดที่อ้างอิงจากศูนย์กลางของแต่ละภาพ เป็นพิกัดที่อ้างอิงจากจุดศูนย์กลางกำเนิด (origin) เดียวกัน โดยใช้หมุดวงรอบชั้นที่ ๑ ของกรรมแผนที่ทหารเป็นหมุดอ้างอิง แล้วคำนวณค่าแสดงจุดและพิกัดของแนววงรอบจากค่าพิกัดดังกล่าว โดยใช้สูตรที่ ๗ และ ๘

๒.๒.๕ การประเมินค่าความแตกต่างของพิกัดหมุดวงรอบที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศกับพิกัดหมุดเดียวกันที่ได้จากการเข้าวงรอบ ใช้ค่าพิกัดพิกัดและแสดงจุดซึ่งเป็นระยะทางในแนวแกน X, Y ของพิกัดจาก X, Y ของหมุดวงรอบตามลำดับ เป็นหลักในการประเมินเพื่อให้ได้ค่าแตกต่างของหมุดวงรอบอย่างแท้จริง เพราะการคำนวณค่าพิกัด X, Y ของหมุดวงรอบได้จากการนำค่าพิกัดพิกัดพิกัดกับพิกัด X และนำค่าแสดงจุดพิกัดพิกัดกับพิกัด Y ของหมุดวงรอบก่อน หากค่าพิกัดพิกัดพิกัดและแสดงจุด

พิกัดมีความคลาดเคลื่อน จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนแบบสะสมที่ค่าพิกัด X, Y ดังนั้นจึงใช้ค่าพิกัดพิกัดพิกัดและแสดงจุดของแนววงรอบที่คำนวณจากค่าพิกัดที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศ เปรียบเทียบเพื่อหาค่าแตกต่างกับพิกัดพิกัดพิกัดและแสดงจุดที่คำนวณจากการเข้าวงรอบตามลำดับ

๒.๒.๕.๑ นำค่าพิกัดพิกัดพิกัดและแสดงจุดของแนววงรอบที่คำนวณจากพิกัดที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศไปลบค่าพิกัดพิกัดพิกัดและแสดงจุดของหมุดวงรอบเดียวกันที่ได้จากการเข้าวงรอบภาคพื้นดินได้ค่าแตกต่างของพิกัด X, Y ของหมุดวงรอบ

๒.๒.๕.๒ จำแนกค่าแตกต่างของพิกัด X, Y จากข้อ ๒.๒.๕.๑ ตามมาตราส่วนของหมุดวงรอบ

๒.๒.๕.๓ สร้างสมการรีเกรชัน (regression equation) เพื่อใช้ประเมินค่าความแตกต่างของพิกัด X, Y โดยใช้โมเดลรีเกรชันดังนี้

$$\Delta X = a + b_1H + b_2A + b_3P + b_4E + b_5S + b_6R$$

$$\Delta Y = a + b_1H + b_2A + b_3P + b_4E + b_5S + b_6R$$

เมื่อ $\triangle X, \triangle Y$ = ค่าความแตกต่างของ
พิกัด X, Y ตามลำดับ,
ม.

H = ความสูงจากระดับน้ำ
ทะเลปานกลางของ
เครื่องบินถ่ายภาพ, ม.

A = ค่า air base ของภาพ
คู่ตามมิติ, ม.

P = ค่า parallax ของภาพ
คู่ตามมิติ, มม.

E = ความสูงจากระดับน้ำ
ทะเลปานกลางของ

หมุดวงรอบ, ม.

S = มาตรการส่วนหมุดวงรอบ

R = ค่า relief displace-
ment ของหมุดวงรอบ

๒.๒.๕.๔ ประเมินค่าความแตกต่าง
เฉลี่ยของพิกัด โดยเฉลี่ยค่าของปัจจัยที่มี
ผลทำให้เกิดความแตกต่างของพิกัดแล้วแทน
ค่าลงในสมการที่วิเคราะห์ได้จากข้อ ๒.๒.๕.๓
จำแนกค่าแตกต่างเฉลี่ยตามมาตรการส่วน ดังนี้
 $< 0.000000 \quad 0.000000 - 0.000000$
 $0.000000 - 0.000000 \quad 0.000000 -$
 $0.000000 > 0.000000$

ผลและวิจารณ์

๑. การคำนวณค่าพิกัดของหมุดวงรอบ จากการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดิน

จากการเข้าวงรอบปิดแบบบรรจบตัว
เองจำนวน ๑๗๘ หมุด หลังจากจัดเรียงมุม
อาซิมุทของแนววงรอบแต่ละแนวให้วนทวน
เข็มนาฬิกาและคำนวณระยะทางเฉลี่ยของ
แต่ละแนววงรอบแล้ว จึงคำนวณเปลี่ยนค่า
ระยะทางและมุมอาซิมุท ซึ่งเป็นพิกัดชั่ว

(polar coordinates) ให้เป็นพิกัดฉาก
(rectangular coordinates) ได้ผลแต่ละ
ขั้นตอนดังนี้

๑.๑ การคำนวณและปรับแก้มุม
อาซิมุทของแนววงรอบ เมื่อนำค่ามุม
อาซิมุทมาคำนวณค่ามุมภายในที่แต่ละหมุด
วงรอบโดยใช้สูตรที่ ๒ แล้วตรวจสอบผล
รวมมุมภายในวงรอบ ได้ผลดังนี้

$$\text{ผลรวมมุมภายในวงรอบที่คำนวณได้} = 360^\circ 45' 45''$$

$$\text{ผลรวมมุมภายในรูปเหลี่ยม, (n-2) ๑๘๐^\circ} = 360^\circ$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนทางมุมของวงรอบ} = 360^\circ 45' 45'' - 360^\circ - 0.45'$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้} = \pm 1 \sqrt{178} = \pm 0.000000$$

จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนทางมุม
ของวงรอบ (angular error of closure) มี
ค่าเพียง $-0.45'$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความคลาด
เคลื่อนที่ยอมให้ได้ (allowable error) ซึ่ง
มีค่าเท่ากับ ± 0.000000 จึงถือว่าค่ามุมอาซิมุท
ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นำค่าความ
คลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ไปปรับแก้โดยเลือก
ปรับแก้มุมภายในของหมุดที่คาดว่าน่าจะเกิด
ความคลาดเคลื่อนมากกว่าหมุดอื่น ๆ มุมละ
 $0.45'$ ทั้งนี้เพราะค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น
มีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวน
มุมภายในทั้งหมด ๑๗๘ มุม

ผลรวมดีพาร์ทเจอร์

$$= 25.485$$

ผลรวมแลตติจูด

$$= 0.0000$$

$$\text{ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนรวมของวงรอบ (d_c) = } \sqrt{(25.485)^2 + (0.0000)^2}$$

$$= 0.0000$$

อัตราส่วนความถูกต้องสัมพัทธ์

$$= d_c/L$$

$$= \frac{0.0000}{48075.456} = \frac{1}{255}$$

จากการตรวจสอบ ความคลาดเคลื่อน
ในการเข้าวงรอบ เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วน
ความถูกต้องสัมพัทธ์ (relative accuracy
ratio) ของงานวงรอบครั้งนี้ อยู่ในเกณฑ์
ที่ยอมรับได้สำหรับงานวงรอบ ที่วัดทิศทาง
ด้วยเข็มทิศและวัดระยะทาง โดยวิธีสเตเดีย
จากนั้นจึงปรับแก้ค่าดีพาร์ทเจอร์ และแลตติ

เมื่อทำการปรับแก้มุม ภายในวงรอบ
แล้ว จึงคำนวณค่ามุมอาซิมุทจากค่ามุมภายใน
ในที่ปรับแก้แล้วโดยใช้สูตรที่ ๒

๑.๒ การคำนวณและปรับแก้พิกัดฉาก
นำค่ามุมอาซิมุทและระยะทางที่
ปรับแก้แล้วมาคำนวณค่าดีพาร์เจอร์ และ
แลตติจูดของแต่ละแนววงรอบ โดยใช้สูตรที่
๕ และ ๖ ตามลำดับ ตรวจสอบความคลาด
เคลื่อนในการเข้าวงรอบ (error of closure)
ซึ่งผลรวมทางพีชคณิต ของค่าดีพาร์เจอร์
และผลรวมทางพีชคณิตของค่าแลตติจูด
สำหรับวงรอบปิดแบบบรรจบตัวเอง ต้อง
เท่ากับศูนย์ จากการตรวจสอบได้ผลดังนี้

$$= 25.485$$

$$= 0.0000$$

$$= \sqrt{(25.485)^2 + (0.0000)^2}$$

$$= 0.0000$$

$$= d_c/L$$

$$= \frac{0.0000}{48075.456} = \frac{1}{255}$$

จุดโดยใช้สูตรที่ ๑๓ และ ๑๔ แล้วคำนวณ
ค่าพิกัดของหมุดวงรอบโดยอ้างอิง จากหมุด
วงรอบชั้นที่ ๑ ของกรมแผนที่ทหาร พิกัด
เหนือ ๑๖๕๑,๓๒๔.๒๐๘, ตะวันออก
๗๐๗,๗๓๔.๑๕๔ ค่าพิกัดหมุดวงรอบที่คำนวณ
ได้จะถือเป็นพิกัดที่ถูกต้อง เพื่อนำไป

เปรียบเทียบกับพิกัดของหมุดวงรอบภาพถ่ายทางอากาศต่อไป

๒. การประเมินค่าแตกต่างของพิกัดที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศกับพิกัดที่ได้จากการเข้าวงรอบ

๒.๑ การคำนวณค่าความแตกต่างของพิกัด ในการกำหนดตำแหน่งหมุดวงรอบลงบนภาพถ่ายทางอากาศให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งหมุดในภูมิประเทศนั้น เนื่องจากภาพถ่ายทางอากาศครอบคลุม พื้นที่วงรอบไม่ครบถ้วนประกอบด้วยหมุดวงรอบบางช่วงในป่าที่บดบังไม่ห่างกันมากนัก จึงปรากฏชัดกันบนภาพถ่ายทางอากาศได้เพียง ๑๐๕ สำหรับนำมาประเมินค่าแตกต่าง ของพิกัด โดยคำนวณค่าดีพาร์ทเจอร์และแลตติจูดจากค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว ของหมุดวงรอบที่สามารถกำหนดตำแหน่ง ลงบนภาพถ่ายทางอากาศได้โดยใช้สูตรที่ ๗ และ ๘ และเมื่อวัดค่าพิกัดจากภาพถ่ายทางอากาศ ทำการปรับแก้ค่า relief displacement จำนวนเป็นพิกัดบนพื้นฐานเดียวกัน ที่อ้างอิงจากหมุดวงรอบชั้นที่ ๑ ของกรมแผนที่ทหาร แล้วคำนวณค่าดีพาร์ทเจอร์และแลตติจูดโดยใช้หลักสูตรที่ ๗ และ ๘ นำค่าดีพาร์ทเจอร์และแลตติจูดที่ได้จากการเข้าวงรอบ และภาพถ่ายทางอากาศมาเปรียบเทียบกัน โดย

ถือว่าค่าดีพาร์ทเจอร์และแลตติจูดที่คำนวณจากการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดิน เป็นค่าที่ถูกต้อง

๒.๒ การสร้างสมการสหสัมพันธ์ เพื่อใช้ประเมินค่าแตกต่าง ของพิกัดจากการใช้สมการสหสัมพันธ์วิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของพิกัด ที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศกับพิกัดของหมุดเดียวกันที่ได้จากการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดิน โดยวิธี stepwise กำหนดค่าความแตกต่างของพิกัดหมุดรอบเป็นตัวแปรตาม (dependent variable) และกำหนดค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ของเครื่องบินถ่ายภาพ (height, H) ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ (E), Air base (B), มาตรการส่วนหมุดวงรอบ (scale, S) Parallax (P) และค่า relief displacement (R) เป็นตัวแปรอิสระ (independent variable) จำนวน ๑๐๕ case ได้ผลดังตารางที่ ๑ และ ๒

ผลการวิเคราะห์ไครชันในตารางที่ ๑ และ ๒ ได้สมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ประมาณค่าความแตกต่างของพิกัด X,Y ของหมุดวงรอบที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศ กับพิกัดของหมุดเดียวกันที่ได้จากการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดินดังนี้

$$\Delta X = -0.00014657H + 0.00014657P - 0.00014657E + 0.00014657S \quad \text{เมื่อ } \Delta X, \Delta Y = \text{ค่าแตกต่างของพิกัด X,Y ตามลำดับ, ม.}$$

$$\Delta Y = -0.00014657H + 0.00014657P - 0.00014657E + 0.00014657S \quad H = \text{ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของเครื่องบิน, ม.}$$

Table 1. Result of regression analysis on variables cause the difference of X coordinate by stepwise method

Variables	Regression coefficient	F-test
H	-.6651	33.843**
P	15.9294	967.016**
E	-.5727	39.377**
S	.1062	42.653**
constant	-1651.4657	
coefficient of determination, R^2	= .9303	
standard error of estimate	= 31.8372	

Table 2. Result of regression analysis on variables cause the Difference of Y coordinate by stepwise method

Variables	Regression coefficient	F-test
H	-1.3756	103.424**
P	27.0393	1437.292**
E	-.3221	6.426**
S	.2802	153.024**
constant	-3282.7967	
coefficient of determination, R^2	= .9422	
standard error of estimate	= 44.3277	

P = ค่า parallax ของหมุด
วงรอบ, มม.

E = ความสูงจากระดับน้ำ
ทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ, ม.

S = มาตรการส่วนหมุดวงรอบ
จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าความ
สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของเครื่องบิน
(H) ค่า parallax(P), ค่าความสูงจากระ-
ดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ (E),
มาตรการส่วนหมุดวงรอบ (S) มีความแตก
ต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งจากค่าแตกต่าง ของ
พิกัด X,Y ของหมุดวงรอบ ให้ค่าสัมประ-
สิทธิ์ของการประเมิน (R^2) เท่ากับ ๐.๙๓๐๓
และ ๐.๙๔๒๒ สำหรับสมการสหสัมพันธ์ที่
ใช้ประมาณค่าแตกต่างของพิกัด X และพิกัด
Y ตามลำดับ แสดงว่าปัจจัยทั้งสองดังกล่าวมี
อิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่าง ของพิกัด
X และพิกัด Y เท่ากับ ๙๓.๐๓ เปอร์เซนต์
และ ๙๔.๒๒ เปอร์เซนต์ตามลำดับค่าความ
คลาดเคลื่อนของการประมาณ (standard
error of estimate) ของสมการทั้งสองมีค่า
เท่ากับ ๓๑.๗๓๗๒ และ ๔๔.๓๒๗๗ ตาม
ลำดับ หมายความว่า เมื่อนำค่าแตกต่างของ
พิกัด X,Y ($\Delta X, \Delta Y$) ที่ประเมินได้จาก
สมการทั้งสองไปเปรียบเทียบกับค่าแตกต่าง
ของพิกัดของหมุดเดียวกันที่ใช้ ในการสร้าง
สมการแล้ว มีความแตกต่างกัน ๓๑.๗๓๗๒

และ ๔๔.๔๒๗๗ เมตร ตามลำดับ ซึ่งยอม
รับได้สำหรับงานด้านป่าไม้ แม้ว่าค่าความ
คลาดเคลื่อนของการประมาณค่าค่อนข้างมาก
ทั้งนี้เนื่องจากค่าความแตกต่างของพิกัด X,Y
($\Delta X, \Delta Y$) ที่ได้จากการเปรียบเทียบพิกัด
จากภาพถ่ายกับพิกัดจากการเข้าวงรอบ มีค่า
แตกต่างกันมาก เพราะพื้นที่มีความสูงและ
ความลาดชันต่าง ๆ กัน สมการทั้งสองที่
สร้างขึ้นจึงให้ค่าความคลาดเคลื่อน ของการ
ประมาณอยู่ค่อนข้างมาก ประกอบกับยังมี
ความไม่สมบูรณ์ของการถ่ายภาพทางอากาศ
ที่ไม่รักษาระดับเฟดามบินถ่ายภาพ ให้คงที่
และไม่สามารถควบคุม ไม่ให้เกิดการเอียง
(tilt) ของเครื่องบินได้ ทำให้มาตรการส่วน
ของภาพคลาดเคลื่อน อันส่งผลกระทบทำให้
เกิดความคลาดเคลื่อนในการกำหนดตำแหน่ง
หมุดวงรอบลงบนภาพถ่ายทางอากาศ จึงทำ
ให้ค่าพิกัดที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศ มี
ความคลาดเคลื่อน เมื่อนำมาวิเคราะห์-
เกรซชันเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพล ทำให้เกิด
ความแตกต่างของพิกัด แล้วสร้างสมการ
สหสัมพันธ์สำหรับ ใช้ประเมินค่าความแตก
ต่างของพิกัดดังกล่าว จึงทำให้ได้สมการที่
มีความคลาดเคลื่อนอยู่ค่อนข้างมาก

สำหรับค่า air base (B) และค่า
relief displacement (R) ซึ่งจากการวิ-
เคราะห์รีเกรซชันพบว่า มีความแตกต่าง

อย่างไม่มีนัยสำคัญจากค่าแตกต่าง ของพิกัด
X,Y ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะค่า air base
ซึ่งเป็นระยะห่าง ของการถ่ายภาพแต่ละภาพ
แต่ละภาพนั้น ไม่เกี่ยวข้องและไม่มีผลต่อ
ค่าพิกัดของหมุดรอบโดยตรง ถูกใช้ในการ
วัดค่า parallax และใช้ในการคำนวณค่า
ความสูงของเครื่องบินและความสูงของหมุด
วงรอบเท่านั้น ส่วนค่า relief displacement
แม้จะไม่อยู่ในสมการแต่ก็ถูกใช้ในการปรับ
แก้พิกัดหมุดวงรอบที่วัดจากภาพถ่ายให้เป็น
พิกัดบนพื้นหลักฐานเดียวกัน ก่อนที่จะนำ
มาเปรียบเทียบค่าแตกต่าง กับพิกัดที่ได้
จากการเข้าวงรอบทางภาคพื้นดิน ดังนั้น
เมื่อนำมาวิเคราะห์รีเกรซชันจึงแตกต่างอย่าง

ไม่มีนัยสำคัญจากค่าแตกต่างของพิกัด X,Y
ดังกล่าว

๒.๓ การประเมินค่าความ แตก
ต่างของพิกัด ผลการประเมินค่าความแตก
ต่างของพิกัด X,Y ($\Delta X, \Delta Y$) โดยการ
แทนค่าเฉลี่ยจำแนกตามมาตรการส่วนของ
ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของพิกัด
คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
ของเครื่องบินถ่ายภาพ (H) ความสูงจากระ-
ดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ(E) ค่า
parallax (P) มาตรการส่วนหมุดวงรอบ (S)
ลงในสมการสหสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ ได้จาก
ข้อ ๒.๒ แสดงในตารางที่ ๓

Table 3. Average value of coordinate difference predicted from regreesion
Equations and average value of variables cause the differencce

Variables	smaller than 1 : 14,000					larger than 1 : 12,500				
	1 : 14,000	-1 : 13,500	-1 : 13,000	-1 : 12,500	1 : 12,500	1 : 14,000	-1 : 13,500	-1 : 13,000	-1 : 12,500	1 : 12,500
Height (H)	2506.137	2525.792	2382.247	2118.160	2006.278					
Elevation (E)	261.013	420.490	390.863	195.722	174.641					
Parallax (P)	83.589	101.390	101.505	97.435	93.742					
Scale (S)	14644.855	13835.193	13086.578	12633.324	12413.658					
ΔX	-172.530	-236.611	-216.123	-68.056	-108.789					
ΔY	-180.223	-274.580	-274.229	-85.153	-168.385					

จะเห็นว่าค่าแตกต่างเฉลี่ยของพิกัด X,Y ที่ประเมินได้ในตารางที่ ๓ มีค่าแตกต่างกัน และไม่เรียงลำดับปริมาณในแต่ละช่วง มาตราส่วน ทั้งนี้เพราะในการถ่ายภาพทางอากาศนั้น แม้เครื่องบินจะบินถ่ายภาพที่มีความสูงระดับหนึ่งคงที่ แต่สภาพภูมิประเทศที่สูงต่ำไม่เท่ากัน ทำให้มาตราส่วนในแต่ละมุมของรอบบนภาพถ่ายทางอากาศมีค่าแตกต่างกัน มุมที่มีความสูงมากกว่าจะมีมาตรา

ส่วนใหญ่กว่ามุมที่ต่ำกว่า และเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของภาพถ่ายทางอากาศอันมีผลมาจากการที่ไม่สามารถควบคุม ไม่ให้เกิดมุม titt และมุม dip ขณะบินถ่ายภาพได้ จึงทำให้มาตราส่วนมุมของรอบมีความคลาดเคลื่อน บางมุมของรอบที่มีความสูงมากกว่า อาจมีมาตราส่วนเล็กกว่ามุมที่อยู่ต่ำกว่า ดังนั้น ค่าแตกต่างเฉลี่ยของพิกัดที่ประเมินได้จึงมีปริมาณไม่เท่ากัน และไม่เรียงลำดับตามขนาดมาตราส่วนของมุมของรอบดังกล่าว

สรุปผล

การศึกษาเพื่อประเมินค่าความแตกต่างของพิกัดของหมุดแนวขอบเขตพื้นที่ โดยการเปรียบเทียบค่าแตกต่างของพิกัดของหมุดแนวขอบเขตพื้นที่ที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศ กับพิกัดของหมุดเดียวกันที่วัดโดยวิธีเข้าวงรอบทางภาคพื้นดิน โดยถือว่าพิกัดที่ได้จากการเข้าวงรอบนั้นเป็นค่าพิกัดที่ถูกต้อง นำค่าแตกต่างของพิกัดไปวิเคราะห์ทางสถิติในรูปของสมการสหสัมพันธ์ เพื่อหาปัจจัยที่สามารถวัดและคำนวณได้จากภาพถ่ายทางอากาศ และมีผลทำให้เกิดความแตกต่างของพิกัดของหมุดแนวขอบเขตพื้นที่ เป็นต้นว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ ความสูงจากระดับน้ำทะเล

ปานกลางของเครื่องบินถ่ายภาพ ค่า parallax ของหมุดวงรอบ มาตราส่วนหมุดวงรอบ โดยกำหนดค่าความแตกต่างของพิกัดเป็นตัวแปรตาม และปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่างของพิกัดเป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติในรูปสมการสหสัมพันธ์โดยวิธี stepwise สรุปผลได้ดังนี้

๑. ได้สมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ประเมินค่าแตกต่างของพิกัด สำหรับนำไปปรับแก้ค่าพิกัดที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศให้เป็นพิกัดที่ถูกต้อง ดังนี้

$$\begin{aligned}\Delta X = & -๑๖๕๑.๔๖๕๗ - ๐.๕๖๕๑H \\ & + ๑๕.๙๒๔๔P - ๐.๕๗๒๗E \\ & + ๐.๑๐๖๑S\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta Y = & -๓๒๘๒.๗๙๖๗ - ๑.๓๗๕๖H \\ & + ๒๗.๐๓๙๓P - ๐.๓๒๒๑E \\ & + ๐.๒๘๐๒S\end{aligned}$$

เมื่อ $\Delta X, \Delta Y$ = ค่าแตกต่างของพิกัด X,Y ตามลำดับ, ม.

E = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดวงรอบ, ม.

H = ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของเครื่องบิน, ม.

P = ค่า parallax ของหมุดวงรอบ, มม.

S = มาตราส่วนหมุดวงรอบ

สมการทั้งสองให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการประเมิน (R^2) เท่ากับ ๐.๙๓๐๓ และ ๐.๙๔๒๒ ตามลำดับ และให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณ เท่ากับ ๓๑.๘๓๗๒ เมตร และ ๔๔.๓๒๗๗ เมตร ตามลำดับ

๒. ค่าแตกต่างเฉลี่ยของพิกัด X,Y ($\Delta X, \Delta Y$) จำแนกตามมาตราส่วนหมุดวงรอบที่ประเมินได้โดยการแทนค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของพิกัดลงในสมการรีเกรชันในข้อ ๑ สำหรับนำไปปรับแก้พิกัดจากภาพถ่ายทางอากาศให้เป็นพิกัดภาคพื้นดินที่ถูกต้องมีดังนี้

ค่าแตกต่าง ของพิกัด	เล็กกว่า 1 : 14,000	1 : 14,000	1 : 13,500	1 : 13,000	1 : 12,500	ใหญ่กว่า 1 : 12,500
ΔX	-172.530	-236.611	-216.113	-68.056	-108.789	
ΔY	-180.233	-274.580	-274.229	-85.153	-168.385	

๓. การนำสมการรีเกรชันในข้อ ๑ ไปใช้ประเมินค่าแตกต่างของพิกัด X,Y ของหมุดแนวขอบเขตพื้นที่ที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศกับพิกัดของหมุดเดียวกันที่ได้จากการเข้าวงรอบ ทำได้โดยการนำค่าปัจจัยทั้งสี่ของแต่ละหมุดวงรอบที่วัดและคำนวณได้จากภาพถ่ายทางอากาศไปแทนค่าลงในสมการ

จะได้ค่าแตกต่างของพิกัด X, Y ของหมุดวงรอบนั้น ๆ สำหรับนำไปปรับแก้พิกัดของหมุดวงรอบที่วัดจากภาพถ่ายทางอากาศซึ่งผ่านการปรับแก้ค่า relief displacement มาก่อนหน้านี้ จะได้ค่าพิกัดของหมุดวงรอบที่ถูกต้อง โดยไม่จำเป็นต้องทำการสำรวจกำหนดจุดบังคับทางภาคพื้นดิน เป็นการ

ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย รวมทั้งลดชั้น
ก่อนในการทำแผนที่ป่าไม้ให้น้อยลง ช่วย
รวดเร็ว ทันต่อความต้องการมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

๑. ควรสำรวจกำหนดจุดบังคับ
(control point) โดยวิธีโครงข่ายสามเหลี่ยม
(triangulation) ให้มีหมุดบังคับตามแนว
วงรอบเป็นระยะ แล้วจึงทำการเข้าวงรอบ
ปิดแบบไม่บรรจบตัว เพื่อลดความ
คลาดเคลื่อนในการเข้าวงรอบซึ่งสะสมตาม
จำนวนหมุดวงรอบที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ได้ค่า
พิกัดที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

๒. ควรวัดระยะทางของแนววงรอบ
ด้วย subtense bar และกล้องรีโอดีไลต์
หรือวัดระยะทางด้วยเครื่องวัดระยะทางอิเล็ก-
ทรอนิกส์ (Electronic Distance Measure-
ment ; EDM)

๓. การกำหนดตำแหน่งหมุดวงรอบ
ลงบนภาพถ่ายทางอากาศควรกระทำในสนาม

พร้อมกับการสำรวจทางภาคพื้นดิน และ
เลือกตำแหน่งหมุดที่เห็นได้ชัดเจนในภาพ
ถ่ายทางอากาศ

๔. ควรใช้เครื่อง stereoplotter วัด
พิกัดจากภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านการปรับ
แก้ค่าความคลาดเคลื่อนจากมุม tilt และมุม
dip ชนิด diapositive ซึ่งจะทำให้ค่าพิกัด
ที่มีความละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

๕. ควรทดสอบความถูกต้องของ
ผลการโดยนำไปประเมินค่าความแตกต่าง
ของพิกัดในพื้นที่อื่น เนื่องจากผลการถูก
สร้างขึ้นจากข้อมูลบนพื้นที่ที่มีความสูง ๑๐๐-
๕๕๕ เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง จึง
ใช้ประเมินค่าแตกต่างของพิกัดได้กับพื้นที่
ที่มีช่วงระดับความสูงดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

พูนพล อาสนจินดา. ๒๕๒๓. การสำรวจ
เพื่อการพัฒนาประเทศ. น. ๑-๙. ใน
รายงานการประชุมทางวิชาการเรื่อง
การสำรวจและการแผนที่ วันที่ ๓-๕
กันยายน ๒๕๒๓ ณ โรงแรมอินทรา.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (โรเนียว)
พงษ์เทพ บันยารชุน. ๒๕๒๓. การทำ
แผนที่เพื่อการออกโฉนดที่ดินและออก
น.ส. ๓ ของกรมที่ดิน โดยวิธีการทำ
แผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ. น. ๓๕-

๔๒. ใน รายงานการประชุมทางวิชา
การเรื่องการสำรวจและการแผนที่ วันที่
๓-๕ กันยายน ๒๕๒๓ ณ โรงแรม
อินทรา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
(โรเนียว)

ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย. ๒๕๒๕. การ
รังวัด. ไทยแลนด์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
๑๖๒ น.

สถิตย์ วัชรกิตติ. ๒๕๑๔. คู่มือปฏิบัติการ
ภาพคณิตและการแปลภาพถ่ายทาง
อากาศ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. ๑๙๗ น.

_____. ๒๕๒๕. การสำรวจทรัพยากร
ป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. ๑๗๒ น.

สถิตย์ วัชรกิตติ, เกียน เอียดแก้ว และ
สงคราม ธรรมมัญญ. ๒๕๑๕. Ste-
reogram ของป่าเบญจพรรณไม้สัก.
รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่มที่ ๒๑.
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร-
ศาสตร์, กรุงเทพฯ. ๔๒ น.

สุเทพ เลหาะเดช. ๒๕๒๐. การประเมิน
ผลการใช้ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงและ
ผลกระทบต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุทธิพงษ์ วิทยุประดิษฐ์. ๒๕๒๓. การ
ผนวกเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าไปใน
เครื่องร่างแผนที่. น. ๑๐๕-๑๐๘.
ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ
เรื่อง การสำรวจและการแผนที่ วันที่
๓-๕ กันยายน ๒๕๒๓ ณ โรงแรม
อินทรา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
(โรเนียว)

Avery, E. 1968. Interpretation of
Aerial Photographs. Burgess Pu-
blishing Co., Minneapolis, Burgess.
324 p.

Avery, G. 1959. Photographic Forest
from Helicopters. J. For. 57 : 339-
342.

Bertil, H. 1960. Photogrammetry. Basic
Principles and General Survey.
McGraw-Hill Book Co., New York.
340 p.

Bawden, M.G. 1968. Methods Uses to
Assess The Land Resource of
Eastern Bechuanaland. UNESCO
Proc. Con. 6 : 409-410.

Creswick, W.J. and W.H. Rockwell.
1959. Aerial Photographic Inter-
pretation. McGraw-Hill Book Co.,
New York. 512 p.

วารสารวนศาสตร์ ๓ : ๑๘๕-๒๑๐ (๒๕๓๑)

- R.E., F.S. Foote, J.M. Ander-
and E.M. Mikail. 1980. Sur-
ing : Theory and Practice. Graw-Hill Book Co., New York.
p.
- do, A.D.N. 1968. Mosaics, Thier
cision and Use in The Produc-
of Aerial Surveys Map. UNES-
Proc. Con. 6 : 439-443.
- R.A. 1970. Aerial Photographic
erpretation for Land-use and
atural Resources Inventory. Pho-
rammetria. 26 : 101-111.
- P.R. and H.W. Dill 1970. Re-
te Sensing with Special Reference
Agriculture and Forestry. Na-
al Academy of science, Washin-
n D.C. 242 p.
- F.H. and H. Bouchard. 1982.
Surveying. 7th ed., Kai Fa Book
Co., Taipei, taiwan. 834 p.
- Narong, S. 1980. Analytical Stereo-
Plotter in R.I.D. Survey Division,
Royal Irrigation Dept., Bangkok.
7 p.
- Quinn, A.O. 1968. Aerial Surveys
Provide Natural-resouce Inventory
in Chile. UNESCO Proc. Con. 6 :
345-349.
- Spurr, S.H. 1960. Photogrammetry and
Photointerpretation. The Ronald
Press Co., New York. 472 p.
- Stellingwerf, D.A. 1968. Forestry Re-
quirements in Integrated Surveys.
UNESCO Proc. Con. 6 : 517-520.
- Tomar, M.S. and A.R. Maslekar. 1974.
Aerial Photographs in Land Use &
Forest Surveys. Jugal Kisshorc &
Co., Dehra Dun. 210 p.