บทที่ 4

ผลกระทบต่องานรังวัดในประเทศไทยเมื่อนำพื้นหลักฐาน-อินเดียน 2518 มาใช้แทนพื้นหลักฐานเดิม

4.1 ทั่วไป

การรังวัดและการแผนที่นั้นจำเป็นจะต้องมีพื้นผิวอ้างอิงที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งทางราบให้ถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐาน โครงการรังวัดขนาดเล็กสามารถใช้พื้นผิวระนาบราบเป็นพื้นผิวอ้างอิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับโครงการที่มีพื้นที่กว้างขวางเป็นร้อยตารางกิโลเมตรอาจใช้พื้นผิวทรงกลมที่เหมาะสมเป็นพื้นผิวอ้างอิงได้ และสำหรับโครง-การขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างมากจำเป็นต้องใช้พื้นผิวรูปทรงรีซึ่งเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับสัณฐานของโลกเป็นพื้นผิวอ้างอิง ไม่ว่าจะเป็นโครงการระดับใดก็ตาม งานรังวัดและการทำแผนที่เพื่อให้ได้คุณภาพดีสมำ่เสมอทั่วทั้งพื้นที่จะประกอบด้วยงานหลัก 2 อย่าง คือ

4.1.1 งานรังวัดควบคุมทางดิ่ง เพื่อวางข่ายหมุดควบคุมโดยค่าระดับความสูงของจุดต่าง ๆ มีพื้นระดับทะเลปานกลางหรือพื้นผิวยีออยด์ (Geoid) เป็นพื้นผิวอ้างอิง งานรังวัดควบ-คุมทางดิ่งนี้อาศัยหลักการวัดค่าต่างระดับระหว่างจุดสองจุดจากการส่องกล้องระดับอ่านตัวเลขบนไม้ระดับที่ตั้งอยู่ในแนวดิ่งจะสามารถทราบค่าต่างระดับระหว่างจุดที่ตั้งไม้ระดับทั้งสองจุดได้ สำหรับประเทศไทยใช้ค่าระดับทะเลปานกลางที่ เกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นค่าอ้างอิงในการกำหนดค่าระดับภายในโครงข่ายระดับ เนื่องจากการรังวัดควบคุมทางดิ่งใช้พื้นระดับทะเลปานกลางหรือพื้นผิวยีออยด์เป็นพื้นผิวอ้างอิง ดังนั้นในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานควบคุมทางราบจึงไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อค่าความสูงของจุดต่าง ๆ ในโครงข่ายควบคุมของประเทศ

4.1.2 งานรังวัดควบคุมทางราบ เพื่อหาพิกัดตำแหน่งทางราบ จะมีงานรังวัดควบคุมหลักเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ โดยมีพื้นผิวรูปทรงรีเป็นพื้นผิวอ้างอิง ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยใช้รูปทรงรีของเอเวอร์เรสท์ ซึ่งมีจุดกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย และค่าพิกัดทางราบที่ใช้อยู่ได้รับการปรับแก้ในปี พ.ศ. 2497 จากการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสม

ของพื้นหลักฐานที่ใช้อยู่พบว่ารูปทรงรีที่ใช้อยู่มีระยะห่างจากพื้นยีออยด์ระหว่าง 73-168 เมตร และค่าพิกัดในโครงข่ายสามเหลี่ยมควบคุมก็ขาดความคงเส้นคงวา สมควรเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน-อินเดียน 2518 ซึ่งก็ยังคงใช้รูปทรงรีที่มีรูปร่างและขนาดเท่าของเอเวอร์เรสท์เป็นพื้นผิวอ้างอิง แต่จุดกำเนิดของรูปทรงรีอยู่ในประเทศไทย (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 91 เขาสะแกกรัง จ. อุทัยธานี) และในการปรับแก้ครั้งนี้ใช้สถานีดอปเปลอร์เป็นตัวควบคุมทำให้ความคงเส้นคงวาของค่าพิกัดทางราบที่ได้จากการปรับแก้ดีกว่าเดิม การเปลี่ยนพื้นหลักฐานทางราบใหม่ย่อมหมายถึงการเปลี่ยนค่าพิกัดทางราบของจุดต่าง ๆ ในโครงข่ายใหม่ทั้งหมด ตามที่ได้ปรับแก้บนรูปทรงรีใหม่

ในปัจจุบันประเทศไทยมีงานรังวัดควบคุมหลักเป็นโครงข่ายครอบคลุมทั่วประเทศและในพื้นที่ช่องว่างของโครงข่ายหลักจะมีข่ายงานรังวัดควบคุมชั้นรอง ๆ ลงไปแทรกอยู่ตามลำดับอย่างเหมาะสมจนทำให้มีสถานีรังวัดควบคุมกระจายอยู่ทั่วไปอย่างหนาแน่นเพียงพอ งานรังวัดควบคุมดังกล่าวจะมีความละเอียดถูกต้องสูงต่ำลดหลั่นกันไปตามลำดับ งานที่มีความละเอียดสูงทำหน้าที่เป็นหลักอ้างอิงสำหรับงานที่มีความละเอียดต่ำกว่า เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาในหัวข้อต่อไปจะขอจำแนกงานรังวัดควบคุมทางราบของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งของรัฐบาลและเอกชนเป็น 3 ประเภท ด้วยกันดังนี้

ก. งานรังวัดควบคุมที่ใช้พื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐาน

ข. งานรังวัดที่ใช้พื้นราบเป็นพื้นหลักฐานโดยไม่ยึดโยงกับระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

ค. งานรังวัดทางดาราศาสตร์

4.2 งานรังวัดควบคุมที่ใช้พื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐาน

เป็นการรังวัดที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาผลของความโค้งผิวโลก ดังนั้นพื้นผิวอ้างอิงจำเป็นต้องใช้พื้นผิวรูปทรงรีที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับสัณฐานของโลก ซึ่งจะทำให้พิกัดตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ไม่คลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ งานรังวัดที่ใช้พื้นผิวรูปทรงรีเป็นพื้นผิวอ้างอิงยังสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ

4.2.1 งานรังวัดควบคุมยีออเดติก (Geodetic Survey) เป็นโครงข่ายควบคุมหลักสำหรับงานแผนที่ และโครงการวิศวกรรมอื่น ๆ อีกด้วย งานรังวัดควบคุมทางราบยีออเดติกนี้ผลที่ได้เป็นค่าพิกัดตำแหน่งของสถานีในโครงข่ายเป็นค่าละติจูดและลองจิจูด ข้อมูลการรังวัด

และสูตรในการคำนวณจะต้องถูกทอนและคำนวณบนพื้นผิวรูปทรงรี วิธีดั้งเดิมที่ปฏิบัติกันได้แก่ วิธีข่ายสามเหลี่ยมวัดมุม (Triangulation) และวิธีวงรอบ (Traverse) วิธีข่ายสามเหลี่ยมวัดมุมประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยมต่อเนื่องหรือซ้อนเหลื่อมกัน และมีการวัดความยาวของเส้นในส่วนต่าง ๆ ของข่ายสามเหลี่ยมเพียงไม่กี่เส้นซึ่งเรียกว่า "เส้นฐาน" ส่วนวิธีงานวงรอบเป็นระบบการวัดมุมและความยาวของด้านสลับกันไปตลอดแนวเส้นตรงต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อในระหว่างจุดในลักษณะอนุกรม

การรังวัดปริมาณต่าง ๆ ซึ่งกระทำเพื่องานรังวัดควบคุมทางราบอันได้แก่ ทิศทางมุมและระยะทาง ซึ่งกระทำบนผิวโลกจำเป็นต้องมีการทอนค่าการรังวัดเหล่านี้ลงบนพื้นผิวรูปทรงรีหลักฐาน เพราะสูตรการคำนวณและปรับแก้เป็นสูตรบนผิวรูปทรงรี ในปัจจุบันกรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบต่องานรังวัดควบคุมของชาติใช้วิธีการเช่นเดียวกับที่ระบุไว้ใน Rapp, 1974 ในการทอนค่าการรังวัดดังนี้

1. การคำนวณทอนค่าทิศทาง ใช้สูตร

$$D_c = D + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \qquad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ D_c = ค่าการรังวัดทิศทางที่ทอนแล้ว

D = ค่าการรังวัดทิศทาง

δ_1 = จำนวนแก้เพื่อทำรอยตัดนอร์มอลให้เป็นเส้นยีออเดสิก

$$= -\frac{e^2}{12}\left(\frac{s}{N}\right)^2 \cos^2\phi_m \sin 2A_{12} \qquad \text{.....(4.2)}$$

δ_2 = จำนวนแก้เนื่องจากความสูงของที่หมายเล็ง

$$= \frac{h}{2M_m} e^2 \cos^2\phi_m \sin 2A_{12} \qquad \text{.....(4.3)}$$

(h = ความสูงของที่หมายเล็ง)

δ_3 = จำนวนแก้เนื่องจากการเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง

$$= -(\xi \sin_{12} - \eta \cos A_{12}) \cot z \qquad \text{.....(4.4)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การทอนค่าของมุมใช้สูตร

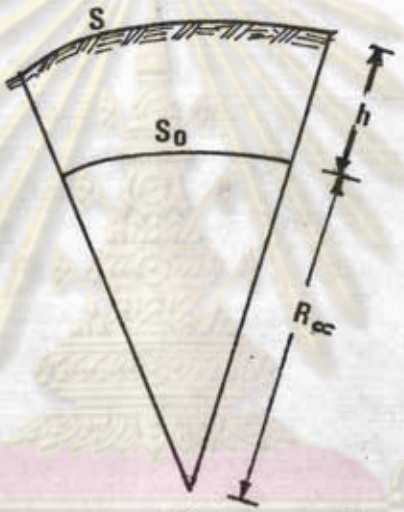
$$A_c = A + D_1 - D_2 \quad \text{..... 4.5}$$

เมื่อ A_c = มุมที่ทอนแล้ว

A = ค่าการวัดมุม

D_1, D_2 = ค่าการทอนทิศทางทั้งสองซึ่งเป็นแขนของมุม

3. การทอนค่าการวัดระยะ สำหรับการรังวัดระยะด้วยเทปอินวาร์ถือว่าระยะที่วัดนั้นเป็นเส้นโค้งตามผิวโลก การทอนระยะลงมาบนรูปทรงรีใช้สูตร



รูปที่ 4.1 การทอนระยะด้วยเทปอินวาร์ลงบนรูปทรงรี

$$S_o = \frac{R_\alpha}{R_\alpha + h} \cdot S \quad \text{..... 4.6}$$

หรือ

$$S_o = S\left[1 - \frac{h}{R} + \text{.....}\right] \quad \text{..... 4.7}$$

เมื่อ

S = ระยะที่วัดด้วยเทปอินวาร์

S_o = ระยะที่ทอนลงบนรูปทรงรีอ้างอิง

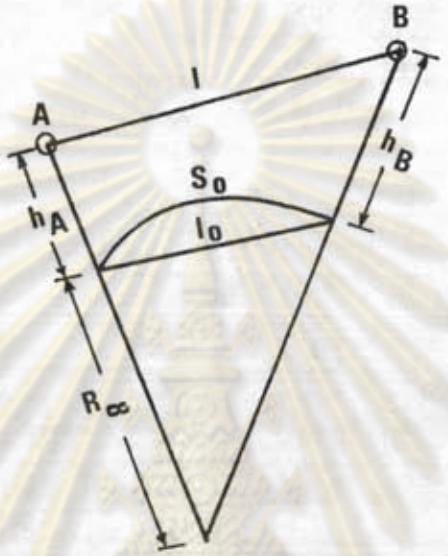
$R = \sqrt{MN}$

$M = a(1 - e^2)/(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}$, $N = a/(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}}$

h = ความสูงของแนวการวัดจากพื้นรูปทรงรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่อมาเครื่องวัดระยะอีเล็คโทรนิคได้ถูกนำมาใช้ในการรังวัดแทนเทปอินวาร์ ฉะนั้น ระยะที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องวัดอีเล็คโทรนิคถือเป็นระยะตรง การทอนระยะลงบนรูปทรงรีใช้สูตร



รูป 4.2 การทอนระยะด้วยเครื่องมือวัดระยะอีเล็คโทรนิคลงบนรูปทรงรี

$$\ell_o = \sqrt{\frac{\ell^2 - \Delta h^2}{(1 + \frac{h_A}{R\alpha}) \cdot (1 + \frac{h_B}{R\alpha})}} \qquad \text{..... 4.8}$$

$$S_o = 2R \sin^{-1} \frac{\ell_o}{2R\alpha} \qquad \text{..... 4.9}$$

เมื่อ ℓ = ระยะที่วัดด้วยเครื่องวัดระยะอีเล็คโทรนิคบนภูมิประเทศ

$R\alpha = \frac{1}{2} (R_{A(\alpha)} + R_{B(\alpha)})$

ℓ_o = ระยะเป็นเส้นตรงระหว่างจุดสองจุดบนพื้นผิวรูปทรงรีที่สมนัยกับจุดบนภูมิประเทศ (Chord distance)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 งานรังวัดระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ เป็นระบบที่มีความเกี่ยวข้องกับพื้นหลักฐานรูปทรงรี เพราะระบบพิกัดระนาบแผนที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระบบพิกัดยีออเดติก ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X = f_1(\phi, \lambda) \qquad \phi = g_1(x, y) \qquad \text{..... 4.10}$$

หรือ

$$Y = f_2(\phi, \lambda) \qquad \lambda = g_2(x, y) \qquad \text{..... 4.11}$$

สมการทั้งสองชุดนี้มีชื่อว่า "สมการการฉายแผนที่" (Mapping Equation) ระบบพิกัดระนาบแผนที่เป็นระบบพิกัดบนพื้นราบซึ่งแตกต่างจากระบบพิกัดยีออเดติกซึ่งเป็นระบบพิกัดบนพื้นผิวโค้งของรูปทรงรี โดยอาศัยระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ซึ่งได้จากการฉายแผนที่ที่เหมาะสม จะสามารถคำนวณงานรังวัดยีออเดติกโดยใช้วิธีเรขาคณิตบนระนาบได้ ผลที่ได้จะมีความละเอียดถูกต้องสูงใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับผลที่ได้จากการคำนวณบนพื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิง การใช้ระบบพิกัดบนระนาบแผนที่เป็นระบบอ้างอิงในลักษณะนี้จะเป็นการยึดโครงการรังวัดเข้ากับโครงการควบคุมแห่งชาติโดยอัตโนมัติ ปัจจุบันระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยคือ ระบบ UTM.(UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR) ข้อมูลการรังวัดที่กระทำบนภูมิประเทศจะต้องถูกทอนผ่านลงบนรูปทรงรีและโดยสมการการฉายแผนที่ ข้อมูลบนรูปทรงรีจะถูกทอนลงบนระนาบแผนที่อีกทอดหนึ่ง อนึ่งระบบ Soldner ซึ่งกรมที่ดินใช้อยู่ก็จัดเป็นระบบพิกัดบนระนาบแผนที่แต่เป็นระบบที่ขาดคุณสมบัติคงรูป

4.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 มาใช้พื้นหลักฐานอินเดียน 2518 ต่องานรังวัดที่ใช้พื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐาน และการแก้ไข

เนื่องจากความไม่เหมาะสมของพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ตามข้อ 3.3 สมควรมีการเปลี่ยนพื้นหลักฐานที่ใช้อยู่มาเป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 การเปลี่ยนพื้นหลักฐานนี้หมายความว่า ค่าพิกัดทางราบของประเทศที่ใช้อยู่จะต้องถูกเปลี่ยนไปเป็นค่าพิกัดใหม่บนพื้นหลักฐานใหม่ ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่องานสำรวจดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลกระทบและการแก้ไขต่องานรังวัดยีออเดติก

ก) หน่วยงานต่าง ๆ ที่มีภาระกิจเกี่ยวกับงานรังวัด จะต้องทำการเปลี่ยนค่าพิกัดหลักฐานทางราบทั้งหมด สำหรับพิกัดทางราบที่ได้รับการปรับแก้ใน พ.ศ. 2518 อันหมายถึงข้อมูลในโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ทำการรังวัดไว้ก่อนปี พ.ศ. 2518 ได้รับการปรับแก้เป็นค่าพิกัด

ทางราบบนพื้นหลักฐานใหม่และขณะนี้กรมแผนที่ทหารซึ่งรับผิดชอบต่องานรังวัดควบคุมยีออเดติก ได้รวบรวมบัญชีค่าพิกัดหมุดหลักฐานทางราบ ซึ่งมีทั้งค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานเดิมและบนพื้นหลักฐานใหม่ไว้ควบคู่กันเพื่อสะดวกในการค้นหาและเปรียบเทียบแล้ว

ข) สำหรับข้อมูลในโครงข่ายสามเหลี่ยมควบคุมชั้น 1 ซึ่งทำการรังวัดหลังปี 2518 ต้องได้รับการคำนวณและปรับแก้ใหม่ เพื่อให้ค่าพิกัดทางราบที่ได้เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 ซึ่งขณะนี้กรมแผนที่ทหารกำลังดำเนินการอยู่

ค) การเปลี่ยนพื้นหลักฐานมาใช้พื้นหลักฐานอินเดียน 2518 มีผลกระทบในด้านดีคือ จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ซึ่งได้รับการปรับแก้ไม่สมบูรณ์ประกอบกับพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับค่าความสูงยีออยด์และค่ามุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง จึงทำให้ไม่สามารถทอนค่าการรังวัดลงบนรูปทรงรีได้อย่างถูกต้อง งานรังวัดควบคุมทางยีออเดติกเป็นงานที่ต้องปฏิบัติด้วยความละเอียดถูกต้องอย่างสูงตามมาตรฐานความถูกต้องและเกณฑ์กำหนด กรมแผนที่ทหารได้ยึดถือมาตรฐานความถูกต้องตามการประชุมปี 2476 โดยคณะกรรมการสำรวจและทำแผนที่แห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (The Board of Surveys and Map of the Federal Government) ตามภาคผนวก ก เป็นหลักปฏิบัติ ถึงแม้กรมแผนที่ทหารจะดำเนินวิธีการรังวัดตามกฎเกณฑ์ที่ยึดเป็นมาตรฐานดังกล่าว โดยใช้เครื่องมือสำรวจที่มีประสิทธิภาพสูงแล้วก็ยังไม่เพียงพอ จำเป็นต้องมีการทอนค่าตรวจแก้และคำนวณปรับแก้โดยวิธีที่เหมาะสมด้วยจึงจะได้ผลงานที่ได้มาตรฐาน ในประเด็นของการพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการทอนค่าต่าง ๆ เมื่อใช้พื้นหลักฐานอินเดียน 2497 เปรียบเทียบกับพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 มีรายละเอียดดังนี้

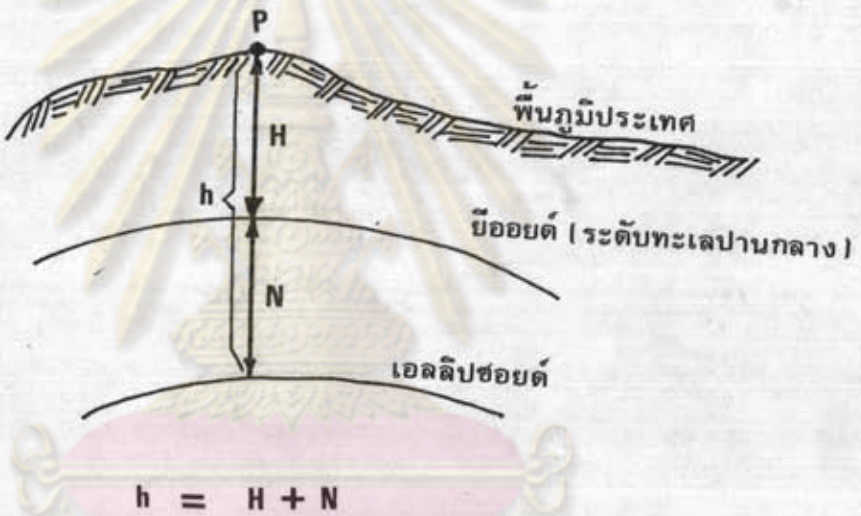
1. ในการทอนข้อมูลการรังวัดทิศทาง ไม่สามารถคำนวณหาจำนวนแก้เนื่องจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งได้ ทั้งนี้เพราะไม่ทราบค่าความสูงยีออยด์และมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งที่แน่นอนบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ค่าตรวจแก้เนื่องจากการเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งของทิศทางอาจมีค่าถึง 0.6" (ร.อ. ธวัชชัย, 2525) ดังนั้นถ้านำพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 มาใช้แทนพื้นหลักฐานเดิมจะทำให้สามารถคำนวณค่าตรวจแก้เนื่องจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งได้ เพราะพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 มีข้อมูลความสูงยีออยด์ ณ สถานีในโครงข่ายทุก ๆ สถานี ดังนั้นจึงสามารถคำนวณมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (ξ, η) ได้โดยใช้สูตร (Heiskanen and Moritz, 1967)

$$\xi = -\frac{1}{R}\frac{\partial N}{\partial \phi} \qquad \text{..... 4.12}$$

และ

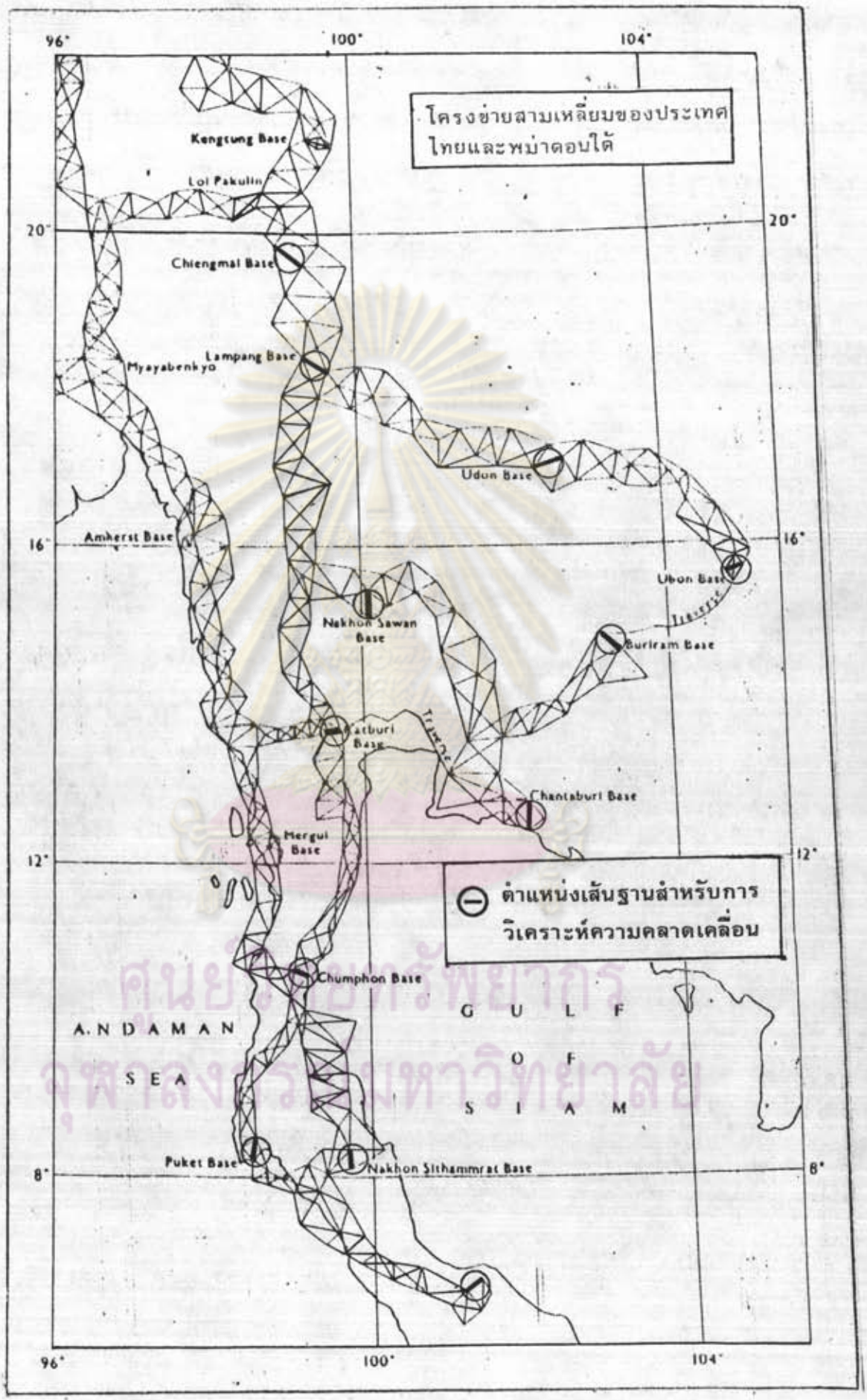
$$\eta = \frac{-1}{R\cos\phi}\frac{\partial N}{\partial \lambda} \qquad \text{..... 4.13}$$

2. ในการทอนค่าระยะที่วัดบนภูมิประเทศลงสู่พื้นผิวรูปทรงรีในสมการ 4.7 และ 4.8 นั้น ค่า h เป็นระยะสูงของจุดในภูมิประเทศโดยวิธีวัดจากพื้นผิวรูปทรงรี



รูป 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะสูงของจุดต่อพื้นยีออยด์และรูปทรงรี

การทอนค่าระยะในปัจจุบันใช้ระยะ H ซึ่งเป็นเพียงความสูงจากพื้นดินถึง ระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) ระยะที่ได้จึงเป็นระยะบนยีออยด์ไม่เป็นระยะบนรูปทรงรีตามต้องการ ดังนั้นถึงแม้อุปกรณ์และวิธีการรังวัดจะสมบูรณ์และถูกต้องก็ยังมีความผิดอันเนื่องมาจากการทอนค่าระยะเสมอ สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการละเลยค่าตรวจแก้ระยะลงบนพื้นรูปทรงรีอ้างอิงนั้นได้เลือกระยะเส้นฐานที่วัดได้โดยเครื่องมือเล็คโทรนิค โดยทำการสุ่มเส้นฐานทั้งหมด 11 เส้น ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศไทย ตามรูป 4.4 และได้ผลสรุปดังแสดงในตาราง 4.1



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของเส้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางระยะ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางระยะ

No.	Sta.	ระยะบน Geoid	ค่าตรวจแก้ระยะบน Ellipsoid 18	ค่าตรวจแก้ระยะบน Ellipsoid 97	Error จากระยะบนพื้นหลักฐานอินเดียน 18	Error จากระยะบนพื้นหลักฐานอินเดียน 97
1	26-27	26,952.624	0.021	0.507	1/1,283,428	1/53,138
2	59.62	29,174.256	0.071	0.631	1/411,485	1/46,205
3	43-44	17,317.072	0.010	0.348	1/1,579,222	1/40,888
4	131-113	14,212.032	0.027	0.301	1/530,335	1/47,234
5	126-127	34,694.191	0.060	0.735	1/597,190	1/47,234
6	197-196	18,243.354	0.073	0.426	1/250,246	1/42,793
7	221-219	12,533.772	0.007	0.234	1/1,843,088	1/53,582
8	187-192	16,653.940	0.101	0.418	1/165,546	1/39,851
9	90-92	12,959.561	0.038	0.209	1/335,725	1/61,886
10	159-157	30,482.245	0.210	0.402	1/151,878	1/75,901
11	149-144	21,404.775	0.121	0.295	1/177,185	1/72,457

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าตรวจแก้ระยะจากพื้นยีออยด์ลงบนพื้นทรงรีอ้างอิงสามารถแทนค่าด้วยอัตราส่วนระหว่างระยะความสูงยีออยด์ต่อรัศมีเฉลี่ยของรูปทรงรีอ้างอิงนั่นคือ

$$\text{ค่าตรวจแก้ระยะจากพื้นยีออยด์ลงบนพื้นทรงรีอ้างอิง} \simeq \frac{N}{R} \qquad \ldots\ldots\ldots 4.14$$

จากค่าต่าง ๆ ในตาราง 4.1 ความผิดพลาดทางระยะอันเนื่องจากการละเลยค่าตรวจระยะลงบนพื้นทรงรีอ้างอิงสำหรับพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ที่มีขนาดโตที่สุดคือระยะเส้นฐานที่ปัตตานี (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 187-192) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าความสูงยีออยด์ประมาณ 168 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะประมาณ 1/39,000 ขนาดเล็กที่สุดคือระยะเส้นฐานที่เชียงใหม่ (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 159-157) ค่าความสูงยีออยด์ประมาณ 85 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะประมาณ 1/75,000 ดังนั้นสำหรับงานรังวัดยีออเดติกชั้นที่ 1 และ 2 บนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 จำเป็นต้องทำการทอนระยะที่วัดบนภูมิประเทศลงบนพื้นทรงรีอ้างอิงอย่างแท้จริงโดยอาศัยข้อมูลค่าความสูงยีออยด์ สำหรับบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 ระยะเส้นฐานที่ปัตตานี (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 187-192) ค่าความสูงยีออยด์ประมาณ 38 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะประมาณ 1/160,000 ระยะเส้นฐานที่เชียงใหม่ (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 159-157) ค่าความสูงยีออยด์ประมาณ - 40 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะประมาณ 1/150,000 และระยะเส้นฐานชุมพรซึ่งมีค่าความสูงยีออยด์ประมาณ 5 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะประมาณ 1/1,200,000 เมื่อพิจารณาจากสมการ 4.14 ในบริเวณที่มีค่าความสูงยีออยด์ประมาณ 20 ถึง - 20 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะประมาณ 1/300,000 ดังนั้นสำหรับงานรังวัดยีออเดติกบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 ในพื้นที่ที่มีค่าความสูงยีออยด์ระหว่าง 20 ถึง - 20 เมตร ค่าตรวจแก้ระยะลงบนพื้นผิวทรงรีอ้างอิงสามารถละเลยได้โดยไม่มีผลกระทบต่องานคำนวณบนพื้นทรงรีอ้างอิง

4.3.2 ผลกระทบและการแก้ไขต่องานรังวัดระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

ก) สำหรับหน่วยงานที่ทำงานรังวัดระบบพิกัดระนาบแผนที่ ซึ่งในประเทศไทยใช้ระบบ UTM เมื่อพิจารณาจากสมการ 4.10 จะเห็นได้ว่าจะต้องทำการเปลี่ยนค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ (N, E) ทั้งนี้เพราะค่าพิกัดบนรูปทรงรีอ้างอิง (ϕ, λ) เปลี่ยนไปจากเดิมอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐานพิกัด N, E ในระบบ UTM ก็จะต้องเปลี่ยนไปด้วย ถ้าใช้สมการการฉายแผนที่คำนวณค่าพิกัดระบบ UTM ขึ้นมาใช้ใหม่ก็ย่อมกระทำได้แต่จะเกิดความยุ่ง-

ยากลำบากเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายไปโดยใช่เหตุ และเนื่องจากค่าพิกัดในโครงข่ายสามเหลี่ยมบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ขาดความน่าเชื่อถือมีความคลาดเคลื่อนสะสมอยู่ในโครงข่ายมากน้อยไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นองค์การแผนที่กลาโหมสหรัฐฯ ได้ทำการคำนวณหาค่าคงที่สำหรับสูตรการแปลงค่าพิกัดกริด UTM อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 มาเป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 โดยแบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 150 พื้นที่ โดยใช้เส้นละติจูดและลองจิจูดเป็นตัวกำหนด ดังแสดงในรูป 4.5 ในแต่ละพื้นที่จะมีหมุดสามเหลี่ยมกระจายอยู่อย่างเหมาะสมเพื่อทำการคำนวณหาค่าคงที่ สูตรการแปลงพิกัดนี้เรียกว่า "Linear Non-conformal Least Squares Solution" สูตรการแปลงนี้มีใน Geodetic Memorandum No. 1694 ชื่อ "Thailand Conversion of Lower Order Control from Indian 1916* Datum to Indian 1975 Datum" สูตรการแปลงพิกัดมีดังนี้

$$E = A_1X + B_1Y + C \qquad \text{..... 4.15}$$

$$N = A_2Y + B_2X + D \qquad \text{..... 4.16}$$

โดยที่

X, Y เป็นค่าพิกัดกริดจากพื้นหลักฐานอินเดียน 2497

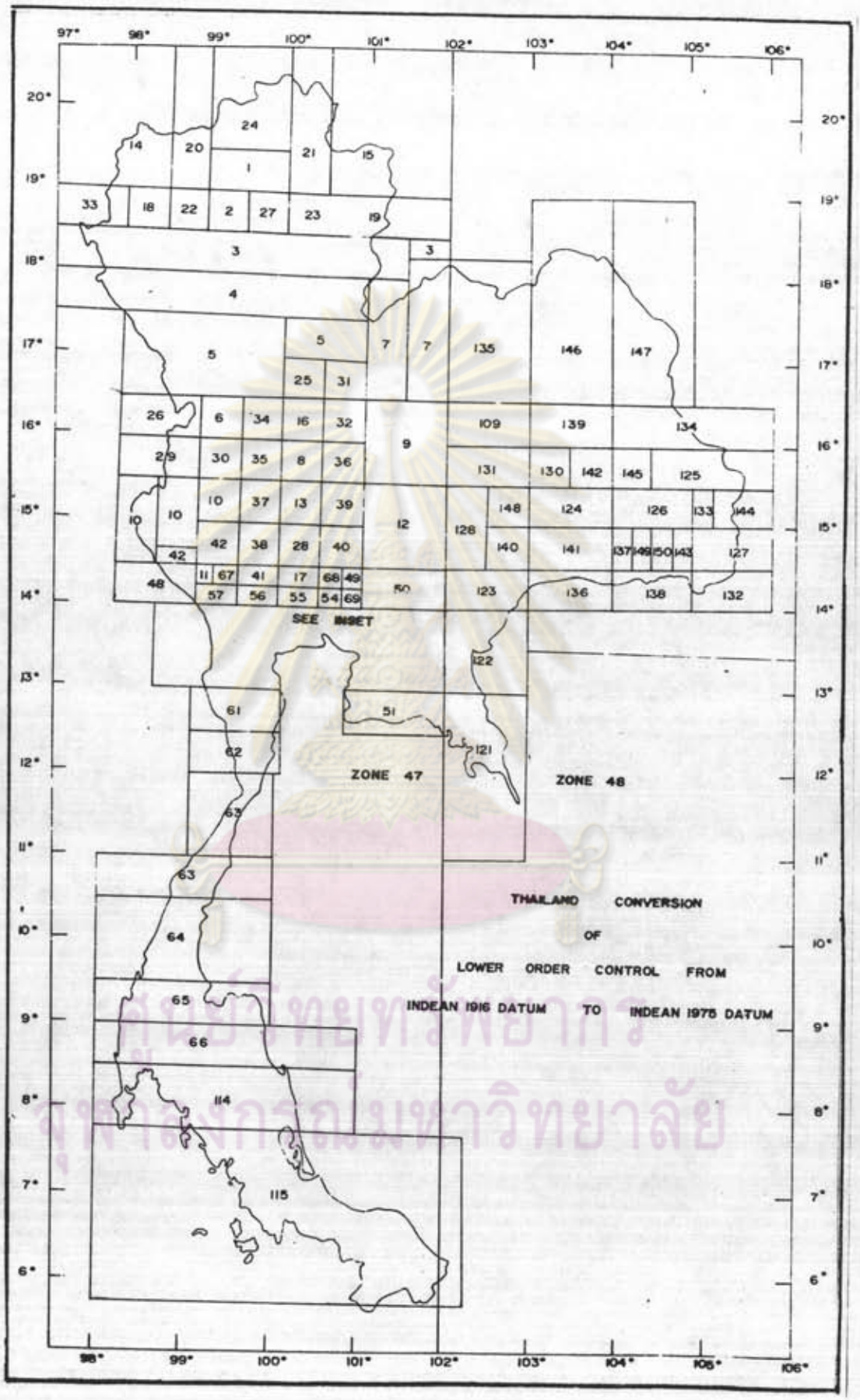
E, N เป็นค่าพิกัดกริดจากพื้นหลักฐานอินเดียน 2518

A_1, A_2, B_1, B_2, C, D ค่าสัมประสิทธิ์และคงที่ของสูตร ซึ่งคำนวณได้จากหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่อยู่ในบริเวณนั้น ในแต่ละพื้นที่ได้จัดทำค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ของพื้นที่นั้น ๆ

จึงเป็นการสะดวกสำหรับหน่วยงานรังวัดและสำรวจในประเทศไทยเมื่อต้องการแปลงค่าพิกัดก็สามารถกระทำได้โดยเพียงการตรวจสอบว่าโครงการงานสำรวจนั้นอยู่ในพื้นที่ใด ก็ใช้สูตรการแปลงค่าพิกัดในพื้นที่นั้นก็จะได้ค่าพิกัด UTM บนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 และปัจจุบัน

---

*การปรับแก้ค่าพิกัดในโครงข่ายสามเหลี่ยมบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 (Indian 1954) ใช้ค่าพิกัดในโครงข่ายสามเหลี่ยมซึ่งได้รับการปรับแก้ในปี พ.ศ. 2459 (Indian 1916) เป็นค่าตายตัวในการปรับแก้ ดังนั้นจึงสามารถถือว่าค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานทั้งสองเป็นค่าเดียวกันได้



รูปที่ 4.5 พื้นที่ประเทศไทยที่ถูกแบ่งออกเป็น 150 พื้นที่ (Geodetic Memorandum No. 1694)

กองยีออเดซีและยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร ได้ดำเนินการแปลงค่าพิกัดของหมุดหลักฐานชั้นที่ต่ำกว่างานรังวัดควบคุมชั้นที่ 1 เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารได้จัดทำไว้แล้วนั้นจะแสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าเก่ากับค่าใหม่ไว้ให้เห็นด้วยเพื่อที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบในโอกาสต่อไป

ข) ในงานรังวัดโดยใช้ระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ ปริมาณการรังวัดต่าง ๆ ซึ่งกระทำบนพื้นภูมิประเทศจำต้องถูกทอนค่าลงบนพื้นผิวทรงรีอ้างอิงก่อนแล้วทอนอีกครั้งลงบนระนาบแผนที่เพื่อการคำนวณและการปรับแก้ ความคลาดเคลื่อนจากการทอนค่าการรังวัดทั้งทางระยะและทางทิศทางตามข้อ 4.3.1 จะติดมาถึงงานรังวัดในระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ด้วย อีกทั้งความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดยีออเดติกในโครงข่ายสามเหลี่ยมบนพื้นหลักฐาน 2497 ซึ่งเป็นผลให้ค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ด้วย การเปลี่ยนพื้นหลักฐานมาใช้พื้นหลักฐานอินเดียน 2518 จะเป็นการขจัดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากความไม่เหมาะสมของพื้นหลักฐานและค่าพิกัดสำหรับงานรังวัดระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ด้วย

4.4 งานรังวัดที่ใช้พื้นราบเป็นพื้นหลักฐานโดยไม่ยึดโยงกับระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

ในงานรังวัดในโครงการพัฒนาต่าง ๆ ซึ่งกินเนื้อที่ไม่กว้างขวางนัก เช่น งานชลประทาน งานพัฒนาที่ดิน ฯลฯ ซึ่งสามารถใช้งานรังวัดบนพื้นระนาบ ซึ่งมีสมมุติฐานว่าระยะทางและทิศทางต่าง ๆ ที่วัดได้นั้นเป็นค่าบนระนาบราบที่สัมผัสกับผิวโลก ณ จุด ๆ หนึ่งบริเวณใจกลางพื้นที่ของงาน ดังนั้นการรังวัดวิธีนี้จึงง่ายเพราะปัญหาการคำนวณเป็นเรื่องของเรขาคณิตบนพื้นระนาบอีกทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของงานรังวัดที่ได้จากวิธีการนี้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับของงานโครงการนั้น ๆ จึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำการรังวัดในลักษณะนี้มาแทนการรังวัดยีออเดติกซึ่งทั้งวิธีการรังวัดและการคำนวณตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือมีความยุ่งยากสลับซับซ้อนซึ่งอาจเป็นการสิ้นเปลืองจนเกินเหตุ การรังวัดบนพื้นราบนี้มิได้ทอนค่าการรังวัดลงบนพื้นทรงรีอ้างอิง แกนอ้างอิงของระบบพิกัดสามารถกำหนดขึ้นได้ตามใจชอบ ฉะนั้นระบบพิกัดฉากที่ใช้อ้างอิงจึงเป็นระบบลอยตัวค่าพิกัดทางราบของระบบนี้ไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบหรือใช้ร่วมกับระบบอื่น ๆ ได้ เพราะเป็นระบบเอกเทศขาดความสัมพันธ์กับระบบอื่น จากสมมุติฐานของงานรังวัดชนิดนี้พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับพื้นหลักฐานอ้างอิงแต่อย่างใด ดังนั้นในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงจึงไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่องานรังวัดที่ใช้พื้นราบเป็นพื้นหลักฐาน โดยไม่ยึดโยงกับระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

4.5 งานรังวัดระบบดาราศาสตร์

งานรังวัดควบคุมยีออเดติกจำเป็นต้องมีงานรังวัดทางดาราศาสตร์เป็นส่วนควบคุม ทั้งนี้เพราะโครงข่ายงานควบคุมยีออเดติกแผ่ขยายออกไปเป็นระยะทางไกลจากศูนย์กำเนิดมาก ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่สะสมอยู่จะทำให้การวางตัวของโครงข่ายไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง ดังนั้นเพื่อเป็นการบังคับทิศทางและตำแหน่งของโครงข่ายจึงจำเป็นต้องทำการรังวัดทางดาราศาสตร์เป็นส่วนประกอบในโครงข่าย ความสัมพันธ์ของระบบพิกัดดาราศาสตร์และระบบพิกัดยีออเดติกเป็นดังนี้ (Heiskanen and Moritz, 1967)

$$\phi = \Phi - \xi \qquad \text{.....(4.17)}$$

$$\lambda = \Lambda - \eta \sec \phi \qquad \text{.....(4.18)}$$

$$\alpha = A - \eta \tan \phi \qquad \text{.....(4.19)}$$

สมการ 4.19 นี้เรียกว่า "สมการลาพลาส (Laplace's Equation)" เป็นสมการที่ใช้บังคับทิศทางของโครงข่ายควบคุมยีออเดติก

เนื่องจากระบบดาราศาสตร์นั้นใช้ทรงกลมฟ้าเป็นพื้นอ้างอิงไม่เกี่ยวข้องกับรูปทรงรีที่เป็นพื้นหลักฐานจึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนรูปทรงรีพื้นหลักฐานไม่มีผลกระทบต่อระบบดาราศาสตร์ ถ้าพิจารณาถึงผลกระทบต่องานคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ของระบบดาราศาสตร์กับระบบยีออเดติก จากสมการ 4.17, 4.18, 4.19 จะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่าพิกัดทั้งสองระบบนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (ξ, η) ถ้ามุมดังกล่าวมีขนาดเล็กมากหรือเป็นศูนย์ค่าพิกัดทั้งสองระบบจะมีค่าเท่ากัน สำหรับขนาดของมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งของพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 พบว่ามีขนาดใกล้เคียงกันคงมีเฉพาะค่าความสูงยีออยด์เท่านั้นที่ลดลงตามข้อ 3.3 ดังนั้นสำหรับการเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐานอินเดียน 2518 จึงไม่ส่งผลกระทบต่องานระบบพิกัดดาราศาสตร์แต่อย่างใด