การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดฉากยูทีเอ็ม

COMPARISON CONVERT GEOGRAPHIC COORDINATES WITH UTM COORDINATES

กนกศักดิ์ ชื่อธานุวงศ์[1] และ ก้องไกล สรโยธิน[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย
*Corresponding author address: kanoksak.s@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) กับ ค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) เป็นการคำนวณระบบพิกัดที่ยึดโยงกับพื้นหลักฐาน(Datum) ระบบพิกัด(Coordinates System) และการฉายแผนที่(Map Projection) โดยใช้สูตรสมการของ NGS(Nation Geodetic Survey) , Kruger , Snyder , Redfearn เป็นสูตรสมการในการคำนวณแปลงค่าระบบพิกัด การเปรียบเทียบระบบค่าพิกัดทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดภายในสูตรสมการไปกลับและเปรียบเทียบค่าระหว่างสูตรสมการ พื้นหลักฐานใช้พื้นหลักฐานอ้างอิง(WGS84 : World Geodetic System 1984) การฉายแผนที่ใช้รูปทรงกระบอกขวางรักษารูปร่าง(Transverse Mercator Projection Conformal) ข้อมูลค่าพิกัดภูมิศาสตร์จากโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย โดยเลือกข้อมูลค่าพิกัดให้เป็นตัวแทนของแต่ละจังหวัด การคำนวณแปลงค่าระบบพิกัดใช้โปรแกรมเอ็กซ์เซล โดยคำนวณบนตารางและเขียนโปรแกรมวีบีเอบนเอ็กซ์เซล ผลการคำนวณแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) ไปเป็นค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) และแปลงค่าพิกัดกลับจากค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) ไปเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) ในแต่ละสูตรสมการให้ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ามิลลิเมตร และน้อยกว่า 0.00001 พิลิปดา การเปรียบเทียบระหว่างสูตรสมการ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ต่างกัน 0.00001 พิลิปดา และค่าพิกัดฉากยูทีเอ็มต่างกันน้อยกว่ามิลลิเมตร

การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) กับ ค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) ทำให้รู้ เข้าใจ และสามารถนำสมการสูตรไปคำนวณได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแต่ละสมการมีการพิสูจน์สูตรที่มีความคล้ายคลึงกัน แตกต่างกัน และมีการปรับปรุงการคำนวณที่เรียบง่ายขึ้น ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับระยะทาง ซึ่งก็ยังมีอีกหลายสูตร และก็ให้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ในงานด้านวิศวกรรมสำรวจ

คำสำคัญ: *พื้นหลักฐานอ้างอิง,เส้นโครงแผนที่,การฉายแผนที่,พิกัดภูมิศาสตร์,พิกัดฉากยูทีเอ็ม*

Abstract

The comparison converts the geographic coordinates (ϕ,λ) to The Universal Transverse Mercator coordinates (N, E). Computational of the coordinate system that is concerned to Datum, Coordinates System, and Map Projection. Using the formula of equations of NGS (Nation Geodetic Survey), Kruger, Snyder, Redfearn as equations to calculate and convert coordinate system. Comparison of coordinate systems forward and Inverse formulas equations and compare values between formulas equations. Datum use ellipsoid (WGS84: World Geodetic System 1984). Map Projection use Transverse Mercator is Conformal. Geographic coordinate data from Thailand High-Resolution Geoid Model Development Project. By selecting the coordinate data to represent each province. Calculation and conversion of coordinate system using Excel program. By calculating on sheets and writing VBA programs on Excel. Calculation result converts the geographic coordinates (ϕ,λ) to The Universal Transverse Mercator coordinates (N, E) and converts them from The Universal Transverse Mercator coordinates (N, E) to geographic coordinates (ϕ,λ) In each formula di, the error is less than a millimeter and less than 0.00001 second. The difference between the geographic coordinates of 0.00001 second and the UTM coordinates is less than a millimeter.

The comparison converts the geographic coordinates (ϕ,λ) to The Universal Transverse Mercator coordinates (N, E) makes it possible to understand and apply formula equations to calculate correctly. Each equation has a different proof of the formula, and simplified calculations are improved. They all depend on the distance. Which there are still many formulas and it gave acceptable results in survey engineering.

Keywords: *Datum, Map Projection, Geographic Coordinate, UTM*

1. บทนำ

1.1. ความหมายและความสำคัญ

การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) กับ ค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) เป็นการคำนวณระบบพิกัดที่ยึดโยงกับ พื้นหลักฐาน(Datum) ระบบพิกัด(Coordinates System) และ การฉายแผนที่(Map Projection) โดยใช้สูตรสมการของ NGS(Nation Geodetic Survey) , Kruger , Snyder , Redfearn เป็นสูตรสมการในการคำนวณแปลงค่าระบบพิกัด และเปรียบเทียบค่าพิกัด การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดจะทำการคำนวณภายในของแต่ละสูตร จากค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) ไปเป็นค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) และแปลงค่าพิกัดกลับจากค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) ไปเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องการคำนวณของระบบพิกัด และทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงค่าพิกัดระหว่างสูตรสมการ

พื้นหลักฐาน(Datum) เป็นพื้นผิวอ้างอิงประกอบด้วย พื้นผิวภูมิประเทศ(Topographic Surface) พื้นผิวจีออยด์หรือระดับน้ำทะเลปานกลาง(Geoid or Mean Sea Levels) และพื้นผิวรูปทรงรี(Spheroid or Ellipsoid) ที่เป็นสัณฐานโลก การเปรียบเทียบแปลงระบบพิกัดใช้รูปทรงรี WGS84(World Geodetic System 1984) เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณ

ระบบพิกัด(Coordinates System) ประกอบด้วย พิกัดทางภูมิศาสตร์(ϕ,λ) ละติจูด(Latitude(ϕ)) ลองจิจูด(Longitude(λ)) ซึ่งบอกค่าเป็นทิศทางของ องศา ลิปดา พิลิปดา กับพิกัดฉากยูทีเอ็ม(N,E) (Universal Transverse Mercator : UTM) ซึ่งบอกค่าเป็นระยะกริด การคำนวณระบบพิกัดจะต้องมีความสอดคล้องกับพื้นผิวอ้างอิงที่ใช้

การฉายแผนที่(Map Projection) เป็นการถ่ายทอดเส้นโครงที่กำหนดขึ้น ประกอบด้วย เส้นเมริเดียน(Meridians) กับเส้นขนาน(Parallels) ลงบนแผ่นราบ โดยใช้หลักการสร้างรูปเรขาคณิต หรือการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อรักษาคุณสมบัติของภูมิประเทศให้ใกล้เคียงและเกิดการบิดเบี้ยวน้อยที่สุด เช่น การรักษาระยะทาง การรักษาพื้นที่ การรักษารูปร่าง หรือการรักษาทิศทาง ฉะนั้นการฉายแผนที่จะต้องกำหนดวัตถุประสงค์ไว้ในการรักษาคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งเสมอ ไม่สามารถรักษาคุณสมบัติการฉายได้ทั้งหมด ในการเปรียบเทียบแปลงค่าระบบพิกัดใช้การฉายแผนที่แบบ ทรานสเวิร์สเมอร์คาเตอร์(Transverse Mercator : TM) และการกำหนดขนาดโซนและระบบพิกัดแบบยูทีเอ็ม(Universal Transverse Mercator : UTM)

การเปรียบเทียบแปลงค่าระบบพิกัด เป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณด้านยีออเดติก(Geodetic) ซึ่งสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณระบบพิกัดจุดควบคุม หรือรายละเอียดที่มีขนาดพื้นที่กว้างใหญ่ หรือระยะทางยาวๆ ได้ นำไปสู่การออกแบบและการคำนวณในระดับสูงขึ้น

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1. การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม กับแปลงค่าพิกัดฉากยูทีเอ็มเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ภายในสูตร และระหว่างสูตร

1.3. ขอบเขตการศึกษา

การเปรียบเทียบการแปลงค่าระบบพิกัด ใช้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จังหวัดในประเทศไทย โดยการกำหนดข้อมูลจุดศูนย์กลางของแต่ละจังหวัดเป็นข้อมูลเริ่มต้น

1.3.1. ใช้โปรแกรมออโต้แคดซีวิลทีดี ในส่วนของ แมพในการสร้างและอ่านค่าพิกัดสารสนเทศภูมิศาสตร์ จุดศูนย์กลางของแต่ละจังหวัดในประเทศไทย

1.3.2. ใช้โปรแกรมเอ็กเซล ในการคำนวณแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และแปลงค่าพิกัดฉากยูทีเอ็มเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ของแต่ละสูตรสมการ และทำการเขียนฟังก์ชันในการแปลงค่าพิกัด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละสูตรสมการ

1.3.3. สมการที่ใช้ในการแปลงค่าระบบพิกัดเป็นสมการของการฉายแผนที่แบบ TM

1. NGS(Nation Geodetic Survey)
2. Kruger
3. Snyder
4. Redfearn

1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1. รู้เข้าใจ และสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของพื้นหลักฐาน(DATUM) ที่ใช้ในประเทศไทยได้อย่างถูกต้อง

1.4.2. รู้เข้าใจ และสามารถกำหนดวิธีการฉายแผนที่(MAP PROJECTION) ได้อย่างถูกต้อง

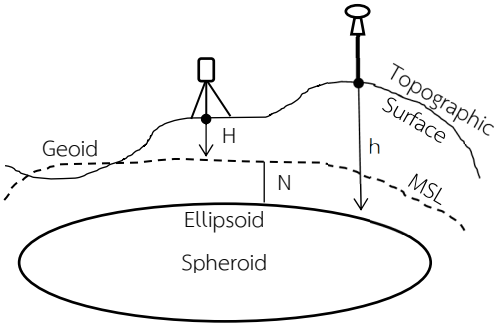
1.4.3. รู้เข้าใจ และสามารถคำนวณแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และค่าพิกัดฉากยูทีเอ็มเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง

1.4.4. รู้เข้าใจ และสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์เช่นสเกลแฟคเตอร์(SCALE FACTOR) และค่าคอนเวอร์เจนท์(CONVERGENT) ของการแปลงค่าระบบพิกัดได้อย่างถูกต้อง

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. พื้นหลักฐาน(DATUM)

พื้นหลักฐาน(Datum) โลกประกอบด้วยพื้นอ้างอิงอยู่ 3 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งคือพื้นผิวอ้างอิงภูมิศาสตร์(Topographic) หรือพื้นผิวโลก (Surface) ส่วนที่สองคือ พื้นผิวอ้างอิงแรงดูดพิภพ(Geoid) หรือระดับน้ำทะเลปานกลาง(MSL:Mean Sea Level) ส่วนที่สามคือ พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี(Ellipsoid or Spheroid)



รูปที่ 1 พื้นหลักฐานอ้างอิง

การเปรียบเทียบแปลงค่าระบบพิกัดใช้พื้นผิวอ้างรูปทรงรี WGS84(World Geodetic System 1984) เป็นรูปทรงรีสากล ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 พารามิเตอร์รูปทรงรีสำหรับการคำนวณส่วนค่าพารามิเตอร์ Everest 1830 เป็นรูปทรงรีท้องถิ่น ซึ่งประเทศไทยก็ยังใช้อยู่บ้าง ซึ่งชอบเรียกกันว่า Indian 1975

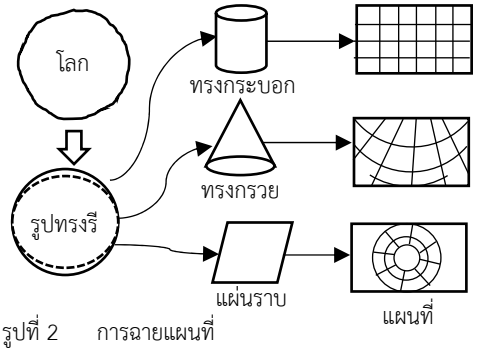
ตารางที่ 1 : พารามิเตอร์รูปทรงรีสำหรับการคำนวณ

Parameter	WGS84	Everest 1830
a	6378137.0 m	6377276.345 m
1/f	298.257223563	300.8017

2.2. การฉายแผนที่(MAP PROJECTION)

2.2.1. การฉายแผนที่(MAP PROJECTION)

การฉายแผนที่หรือเส้นโครงแผนที่(Map Projection) เป็นสาขาวิชาหนึ่งของวิชาการทำแผนที่ หรือการเขียนแผนที่ (Cartography) เป็นการทำให้พื้นหลักฐาน(Datum) ที่ใช้อ้างอิง ฉายขึ้นเป็นระนาบเพื่อสร้างแผนที่แผ่นราบ

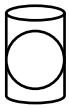
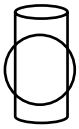
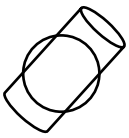
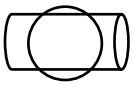


รูปที่ 2 การฉายแผนที่

2.2.2. ทรานสเวิร์สเมอร์คาเตอร์(TRANSVERSE MERCATOR : TM)

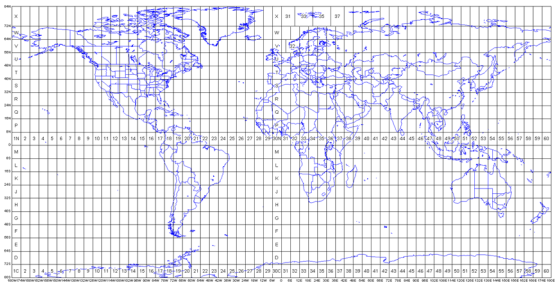
ทรานสเวิร์สเมอร์คาเตอร์(TRANSVERSE MERCATOR : TM) เป็นการฉายแผนที่โดยใช้รูปทรงกระบอกตัดขวาง มีคุณสมบัติการรักษารูปร่าง(Conformal) พัฒนาการฉายแผนที่จากเมอร์คาเตอร์(Mercator Projection)

ตารางที่ 2 : การฉายภาพแบบเมอร์คาเตอร์

	Tangent	Secant	
Standard Mercator			
Oblique Mercator			
Transverse Mercator			

2.2.3. ยูนิเวอร์เซอร์ทรานสเวิร์สเมอร์คาเตอร์ (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR : UTM)

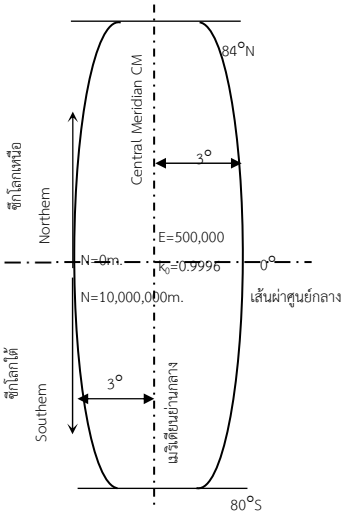
ยูนิเวอร์เซอร์ทรานสเวิร์สเมอร์คาเตอร์(UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR : UTM) เป็นการฉายแผนที่แบบ Transverse Mercator Secant โดยมีการข้อกำหนดโซนและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



รูปที่ 3 การกำหนดโซนระบบยูทีเอ็ม

ข้อกำหนดระบบของยูทีเอ็ม(UTM)

1. การฉายเส้นโครงแผนที่เป็นชนิด Transverse Mercator ที่มีความกว้างโซนละ 6 องศา
2. พื้นผิวอ้างอิงเป็นรูปทรงรีในบทความใช้ WGS84
3. ค่าลองจิจูด(Longitude) เริ่มจากเมืองกรีนิช(Greenwich) ประเทศอังกฤษ ไปทางตะวันตกและตะวันออก ฉะนั้นโซนที่ 1 (180°W - 174°W)
4. ค่า ละติจูด(Latitude) เริ่มจากเส้นศูนย์สูตร แบ่งออกเป็นซีกโลกเหนือ (0°N - 84°N) และซีกโลกใต้ (0°S - 80°S)
5. ค่าพิกัดฉากในแต่ละโซนเริ่มที่ เส้นเมริเดียนย่านกลางตัดกับเส้นศูนย์สูตร พิกัดทางตะวันออกตะวันตก (False Easting : FE = 500,000m.) พิกัดทางเหนือ (False Northing : FN = 0m.) พิกัดทางใต้ (False Southing : FS = 10,000,000m.)
6. ค่าสเกลแฟคเตอร์(Scale Factor) ที่เส้นเมริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) = 0.9996
7. ประเทศไทยจะอยู่ที่โซน 47,48 ทางตะวันออก และโซน N, P, Q ทางเหนือ ลองจิจูดที่ (96°E - 102°E) - (102°E - 108°E) ตะวันออก และละติจูดที่ (0°N - 8°N) – (8°N - 16°N) - (16°N - 24°N)
8. ส่วนระบบพิกัดขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เป็นระบบพิกัดแบบ UPS (Universal Polar Stereographic)



รูปที่ 4 ระบบค่าพิกัดของโซน(UTM)

2.3. สมการแปลงค่าระบบพิกัด

สมการแปลงค่าทุกสูตรเริ่มจาก พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี (Ellipsoid Datum) ค่าคงที่ในสูตร(Parameter Equation) สูตรการแปลงค่าระบบพิกัด(ϕ,λ to N,E ; N,E to ϕ,λ) ค่าสเกลแฟคเตอร์(Scale Factor) ค่ามุมเยื้องกริด(Convergence)

2.3.1. สูตร NGS(NATION GEODETIC SURVEY)

พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี(WGS84)

$a = 6378137$ $1/f = 298.257223563$

$e^2 = f*(2-f)$ $e'^2 = e^2/(1-f)^2$ or $e^2/(1-e^2)$

$n = f/(2-f)$ or $(a-b)/(a+b)$ $k_0 = 0.9996$

$r = a*(1-n)*(1-n^2)*(1+9*n^2/4+225*n^4/64)$

ค่าคงที่ของสูตร

$U1 = -3*n/2+9*n^3/16$ $U3 = 15*n^2/16-15*n^4/32$

$U5 = -35*n^3/48$ $U7 = 315*n^4/512$

$U0 = 2*(U1-2*U3+3*U5-4*U7)$ $U2 = 8*(U3-4*U5+10*U7)$

$U4 = 32*(U5-6*U7)$ $U6 = 128*U7$

$V1 = 3*n/2-27*n^3/32$ $V3 = 21*n^2/16-55*n^4/32$

$V5 = 151*n^3/96$ $V7 = 1097*n^4/512$

$V0 = 2*(V1-2*V3+3*V5-4*V7)$ $V2 = 8*(V3-4*V5+10*V7)$

$V4 = 32*(V5-6*V7)$ $V6 = 128*V7$

การแปลงค่าระบบพิกัด(ϕ,λ to N,E)

$\omega = \phi+\sin(\phi)*\cos(\phi)*(U0+U2*\cos^2(\phi)+U4*\cos^4(\phi)+U6*\cos^6(\phi))$

$L = (\lambda-\lambda0)*\mathrm{Cos}(\phi)$ $\eta^2 = e'^2*\cos^2(\phi)$

$t = \tan(\phi)$ $S = k_0*\omega*r$ $R = k_0*a/(1-e^{2*}\sin^2(\phi))^{1/2}$

$A2 = 0.5*R*t$ $A4 = (1/12)*(5-t^2+\eta^{2*}(9+4*\eta^2))$

$A6 = (1/360)*(61-58*t^2+t^4+\eta^{2*}(270+330*t^2))$

$N = S-S_0+N_0+A2*L^{2*}(1+L^{2*}(A4+A6*L^2))$ (1)

(ซีกโลกเหนือ S,S_0 มีค่าเท่ากัน $N_0=0$)

$A1 = -R$ $A3 = (1/6)*(1-t^2+\eta^2)$

$A5 = (1/120)*(5-18*t^2+t^4+\eta^{2*}(140+58*t^2))$

$A7 = (1/5040)*(61-479*t^2+179*t^4-t^6)$

$E = E_0+A1*L*(1+L^{2*}(A3+L^{2*}(A5+A7*L^2)))$ (2)

(E_0=500,000)

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(ϕ,λ)

$F2 = (1/2)*(1+\eta^2)$ $F4 = (1/12)*(5-4*t^2+\eta^{2*}(9-24*t^2))$

$k = k_0*(1+F2*L^{2*}(1+F4*L^2))$; $k_0 = 0.9996$ (3)

ค่ามุมเยื้องกริดจาก(ϕ,λ)

$C1 = -t$ $C3 = (1/3)*(1+3*h2+2*h2)$

$C5 = (1/15)*(2-t2)$

$\gamma = C1*L*(1+L^{2*}(C3+C5*L^2))$ (4)

การแปลงค่าระบบพิกัด(N,E to ϕ,λ)

$\phi 1 = \omega+\sin(\omega)*\cos(\omega)*(V0+V2*\cos^2(\omega)+V4*\cos^4(\omega)+V6*\cos^6(\omega))$

$\omega = (N-N_0+S_0)/(k_0*r)$ $R1 = k_0*a/(1-e^{2*}\sin^2(\phi 1))^{1/2}$

$E' = E-E_0$; $E_0 = 500000$

$Q = E'/R1$ $\eta 1^2 = e'^{2*}\cos^2(\phi 1)$

$t1 = \tan(\phi 1)$

$B2 = -1/2*(t1*(1+\eta 1^2)$

$B4 = -1/12*(5-3*t1^2+\eta 1^{2*}(1-9*t1^2)-4*\eta 1^4))$

$B6 = 1/360*(61+90*t1^2+45*t1^4+\eta 1^2(46-252*t1^2-90*t1^4))$

$\phi = \phi 1+B2*Q^{2*}(1+Q^{2*}(B4+B6*Q^2))$ (5)

$B3 = -1/6*(1+2*t1^2+\eta 1^2)$

$B5 = 1/120*(5+28*t1^2+24*t1^4+\eta 1^{2*}(6+8*t1^2))$

$B7 = -1/5040*(61+662*t1^2+1320*t1^4+720*t1^6)$

$L = Q*(1+Q^{2*}(B3+Q^{2*}(B5+B7*Q^2))$

$\lambda = \lambda 0+L/\cos(\phi 1)$ (6)

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(N,E)

$G2 = (1/2)*(1+\eta 1^2)$

$G4 = (1/12)*(1+5*\eta 1^2)$

$k = k_0*(1+G2*Q^{2*}(1+G4*Q^2))$; $k_0 = 0.9996$ (7)

ค่ามุมเยื้องกริดจาก(N,E)

$D1 = t1$

$D3 = -(1/3)*(1+t1^2-\eta 1^2-2*\eta 1^4)$

$D5 = (1/15)*(2+5*t1^2+3*t1^4)$

$\gamma = D1*Q*(1+Q^{2*}(D3+D5*Q^2))$ (8)

2.3.2. สูตร KRUGER

พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี(WGS84)

$a = 6378137$ $1/f = 298.257223563$

$e^2 = f*(2-f)$ $e'^2 = e^2/(1-f)^2$ or $e^2/(1-e^2)$

$n = f/(2-f)$ or $(a-b)/(a+b)$ $k_0 = 0.9996$

ค่าคงที่ของสูตร

$\alpha 2 = n/2-2*n^2/3+5*n^3/16+41*n^4/180-127*n^5/288+7891*n^6/37800+72161*n^7/387072$

$\alpha 4 = 13*n^2/48-3*n^3/5+557*n^4/1440+281*n^5/630-1983433*n^6/1935360+13769*n^7/28800+148003883*n^8/174182400$

$\alpha 6 = 61*n^3/240-103*n^4/140+15061*n^5/26880+167603*n^6/181440-67102379*n^7/29030400+79682431*n^8/79833600$

$\alpha 8 = 49561*n^4/161280-179*n^5/168+6601661*n^6/7257600+97445*n^7/49896-40176129013*n^8/7664025600$

$\alpha 10 = 34729*n^5/80640-3418889*n^6/1995840+14644087*n^7/9123840+2605413599*n^8/622702080$

$\alpha 12 = 212378941*n^6/319334400-30705481*n^7/10378368+175214326799*n^8/58118860800$

$\alpha 14 = 1522256789*n^7/1383782400-16759934899*n^8/3113510400$

$\alpha 16 = 1424729850961*n^8/743921418240$

$\beta 2 = -n/2+2*n^2/3-37*n^3/96+n^4/360+81*n^5/512-96199*n^6/604800+5406467*n^7/38707200-7944359*n^8/67737600$

$\beta 4 = -n^2/48-n^3/15+437*n^4/1440-46*n^5/105+1118711*n^6/3870720-51841*n^7/1209600-24749483*n^8/348364800$

$\beta 6 = -17*n^3/480+37*n^4/840+209*n^5/4480-5569*n^6/90720-9261899*n^7/58060800+6457463*n^8/17740800$

$\beta 8 = -4397*n^4/161280+11*n^5/504+830251*n^6/7257600-466511*n^7/2494800-324154477*n^8/7664025600$

$\beta 10 = -4583*n^5/161280+108847*n^6/3991680+$

8005831*n^7/63866880-22894433*n^8/124540416

β12 = -20648693*n^6/638668800+
16363163*n^7/518918400+
2204645983*n^8/12915302400

β14 = -219941297*n^7/5535129600+
497323811*n^8/12454041600

β16 = -191773887257*n^8/3719607091200

การแปลงค่าระบบพิกัด(ϕ,λ to N,E)

A = a/(1+n)*(1+n^2/4+n^4/64+n^6/256+25*n^8/16384)

σ = sinh{e*tanh^-1(e*tan(ϕ)/(1+tan^2(ϕ)^1/2}

tan(ϕ') = tan(ϕ)*(1+σ^2)^1/2-σ*(1+tan^2(ϕ))^1/2

ω = λ-λ0

u = a*tan^-1(tan(ϕ')/cos(ω))

v = a*sinh^-1{sin(ω)/(tan^2(ϕ')+cos^2(ω))^1/2}

$X = A * \{\frac{v}{a} + \sum_{r=1}^{\infty} \alpha 2r * \cos(2r(\frac{u}{a})) * \sinh(2r(\frac{v}{a})\}$

E = (k0*X)+E0 ; E0=500,000 m. (9)

$Y = A * \{\frac{u}{a} + \sum_{r=1}^{\infty} \alpha 2r * sin(2r(\frac{u}{a})) * \cosh(2r(\frac{v}{a})\}$

N = (k0*Y)+N0 ; N0=0 m. (10)

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(ϕ,λ)

$q = -\sum_{r=1}^{\infty} 2r * \alpha 2r * sin\left(2r\left(\frac{u}{a}\right)\right) * \sinh(2r\left(\frac{v}{a}\right)$

$p = 1 + \sum_{r=1}^{\infty} 2r * \alpha 2r * cos(2r\left(\frac{u}{a}\right)) * \cosh(2r\left(\frac{v}{a}\right)\}$

k = k0*(A/a)*(q^2+p^2)^1/2*{(1+tan^2(ϕ))^1/2*(1-e^2*sin^2(ϕ))^1/2/
(tan^2(ϕ')+cos^2(ω))^1/2} (11)

ค่ามุมเยื้องกริดจาก(ϕ,λ)

γ = tan^-1*(q/p)+tan^-1*(tan(ϕ')*tan(ω)/(1+tan^2(ϕ'))^1/2) (12)

การแปลงค่าระบบพิกัด(N,E to ϕ,λ)

X = (E-E0)/k0 ; E0 = 500,000 m. ; k0 = 0.9996

Y = (N-N0)/k0 ; N0 = 0 m. ; k0 = 0.9996

$u/a = Y/A + \sum_{r=1}^{\infty} \beta\, 2r * sin(2r\left(\frac{Y}{A}\right)) * \cosh(2r\left(\frac{X}{A}\right)\}$

$v/a = X/A + \sum_{r=1}^{\infty} \beta\, 2r * cos(2r\left(\frac{Y}{A}\right)) * \sinh(2r\left(\frac{X}{A}\right)\}$

t' = tan(ϕ') = sin(u/a)/(sinh^2(v/a)+cos^2(u/a))^1/2

iterate f(t)=0

t = tan(ϕ) σ = sinh{e*tanh^-1*(e*t/(1+t^2)^1/2)}

f(t) = t*(1+σ^2)^1/2-σ*(1+t^2)^1/2-t'

f'(t) = ((1+σ^2)^1/2*(1+t^2)^1/2-σ*t)*(1-e^2)*(1+t^2)^1/2/(1+(1-e^2)*t^2

$t_{n+1} = t_n - f(t_n)/f'(t_n)$

iterate f(t)=0

ϕ = tan^-1(t) (13)

ω = tan-1*(sinh(v/a)/cos(u/a))

λ=λ0+ω ; λ0=Central meridian (14)

ค่าสเกลแฟคเตอร์ และค่ามุมเยื้องกริดจาก(N,E)

ใช้สมการเดียวกับ (11) และ(12) หลังจากคำนวณได้ค่า ϕ,λ

2.3.3. สูตร SYNDER

พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี(WGS84)

a = 6378137 1/f = 298.257223563

e^2 = f*(2-f) e'^2 = e^2/(1-f)^2 or e^2/(1-e^2)

n = f/(2-f) or (a-b)/(a+b) k0 = 0.9996

ค่าคงที่ของสูตร

T = tan^2(ϕ)

C = e'^2*cos^2(ϕ)

A = (λ-λ0)*cos(ϕ)

N = a/(1-e^2*sin^2(ϕ))^1/2

M = a*[(1-e^2/4-3*e^4/64-5*e^6/256)*ϕ-
(3*e^2/8+3*e^4/32+45*e^6/1024)*sin(2ϕ)+
(15*e^4/256+45*e^6/1024)*sin(4ϕ)-
(35*e^6/3072)*sin(6ϕ)]

การแปลงค่าระบบพิกัด(ϕ,λ to N,E)

X = k0*N*[A+(1-T+C)*A^3/6+
(5-18*T+T^2+72*C-58*e'^2)*A^5/120

E = E0+X ; E0=500,000 m. (15)

Y = k0[M-M0+N*tan(ϕ)*(A^2/2+(5-T+9*C+4*C^2)*A^4/24+
(61-58*T+T^2+600*C-330*e'^2)*A^6/720]

N = N0+Y ; N0=0 m. (16)

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(ϕ,λ)

k = k0*[1+(1+C)*A^2/2+(5-4*T+42*C+13*C^2-28*e'^2)*A^4/24+
(61-148*T+16*T^2)*A^6/720] (17)

ค่ามุมเยื้องกริดจาก(ϕ,λ)

L = λ−λ0

η = (e'^2*cos^2(ϕ))^1/2

γ = L*sin(ϕ)*[1+L^2*cos^2(ϕ)/3*(1+3*η^2+2*η^4) +
L^4*cos^4(ϕ)/15*(2-tan^2(ϕ))] (18)

การแปลงค่าระบบพิกัด(N,E to ϕ,λ)

M = M0+N/k0

e1 = [1-(1-e2)1/2]/[1+(1-e2)1/2

m = M/[a*(1-e^2/4-3*e^4/64-5*e^6/256)]

ϕ1 = m+(3*e1/2-27*e1^3/32)*sin(2m)+
(21*e1^2/16-55*e1^4/32)*sin(4m)+
(151*e1^3/96)*sin(6m)+(1097*e1^4/512)*sin(8m)

$C1 = e'^2*\cos^2(\phi 1)$ $T1 = \tan^2(\phi 1)$

$R1 = a(1-e2)/(1-e2*\sin2(f1))^{3/2}$

$N1 = a/(1-e^2*\sin^2(\phi 1))^{1/2}$ $D = X/(N1*k_0)$

$$\phi = \phi 1-(N1*\tan(\phi 1)/R1)*[D^2/2-(5+3*T1+10*C1-4*C1^2-9*e'^2)*D^4/24+(61+90*T1+298*C1+45*T1^2-252*e'^2-3*C1^2)*D^6/720] \quad (19)$$

$$\lambda = \lambda 0+[D-(1+2*T1+C1)*D^3/6+(5-2*C1+28*T1-3*C1^2+8*e'^2+24*T1^2)*D^5/120]/\cos(\phi 1) \quad (20)$$

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(N,E)

$$\eta 1^2 = e'^2*\cos^2(\phi 1)$$

$$k = 1+1/2*(X'/k_0/N1)^2*(1+\eta 1^2)+1/24*(X'/k_0/N1)^4*(1+6*\eta 1^2) \quad (21)$$

และค่ามุมเยื้องกริดจาก(N,E)

$t1 = \tan(\phi 1)$

$$\gamma = t1*[(X'/k0/N1)-1/3*(X'/k0/N1)^3*(1+t1^2-\eta 1^2)+1/15*(X'/k0/N1)^5*(2+5*t1^2+3*t1^4)] \quad (22)$$

2.3.4. สูตร REDFERN

พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี(WGS84)

$a = 6378137$ $1/f = 298.257223563$

$e^2 = f*(2-f)$ $e'^2 = e^2/(1-f)^2$ or $e^2/(1-e^2)$

$n = f/(2-f)$ or $(a-b)/(a+b)$ $k_0 = 0.9996$

ค่าคงที่ของสูตร

$t = \tan(\phi)$ $\omega = \lambda-\lambda_0$

$\rho = a*(1-e^2)/(1-e^{2}*\sin^2(\phi))^{3/2}$

$\nu = a*/(1-e^{2}*\sin^2(\phi))^{1/2}$

$\psi = \nu/\rho$

การแปลงค่าระบบพิกัด(ϕ,λ to N,E)

$Term1 = \omega^2/6*\cos^2(\phi)*(\psi-t^2)$

$Term2 = \omega^4/120*\cos^4(\phi)*[4*\psi^3*(1-6*t^2)+\psi^2*(1+8*t^2)-\psi*2*t^2+t^4]$

$Term3 = \omega^6/5040*\cos^6(\phi)*(61-479*t^2+179*t^4-t^6)$

$E' = k_0*\nu*\omega*\cos(\phi)*(1+Term1+Term2+Term3)$

$$E = E'+E_0 \quad (23)$$

$Term1 = \omega^2/2*\nu*\sin(\phi)*\cos(\phi)$

$Term2 = \omega^4/24*\nu*\sin(\phi)*\cos^3(\phi)*(4*\psi^2+\psi-t^2)$

$Term3 = \omega^6/720*\nu*\sin(\phi)*\cos^5(\phi)*[8*\psi^4*(11-24*t^2)-28*\psi^3*(1-6*t^2)+\psi^2*(1-32*t^2)-\psi*(2*t^2)+t^4]$

$Term4 = \omega^8/40320*\nu*\sin(\phi)*\cos^7(\phi)*(1385-311*t^2+543*t^4-t^6)$

$N' = k_0*(m-m_0+Term1+Term2+Term3+Term4)$

$$N = N'+N_0 \quad (24)$$

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(ϕ,λ)

$Term1 = \omega^2/2*\psi*\cos^2(\phi)$

$Term2 = \omega^4/24*\cos^4(\phi)*[4*\psi^3*(1-6*t^2)+\psi^2*(1+24*t^2)-4*\psi*t^2]$

$Term3 = \omega^6/720*\cos^6(\phi)*(61-148*t^2+16*t^4)$

$$k = k_0*(1+Term1+Term2+Term3) \quad (25)$$

ค่ามุมเยื้องกริดจาก(ϕ,λ)

$Term1 = -\omega*\sin(\phi)$

$Term2 = -\omega 3/3*\sin(\phi)*\cos^2(\phi)*(2*\psi^2-\psi)$

$Term3 = -\omega^5/15*\sin(\phi)*\cos^4(\phi)*[\psi^4*(11-24*t^2)-\psi^3*(11-36*t^2)+2*\psi^2*(1-7*t^2)+\psi*t^2]$

$Term4 = -\omega^7/315*\sin(\phi)*\cos^6(\phi)*(17-26*t^2+2*t^4)$

$$\gamma = Term1+Term2+Term3+Term4 \quad (26)$$

การแปลงค่าระบบพิกัด(N,E to ϕ,λ)

$G = a*(1-n)*(1-n^2)*(1+9*n^2/4+225*n^4/64)*(\pi/180)$

$\sigma = m'*\pi/(180*G)$ $n = (a-b)/(a+b)$

$m' = m_0+N'/k_0$ $N' = N-N_0$

$t = \tan(\phi')$ $x = E'/(k_0*\nu)$

$\phi' = \sigma+(3*n/2-27*n^3/32)*\sin(2\sigma)+(21*n^2/16-55*n^4/32)*\sin(4\sigma)+(151*n^3/96)*\sin(6\sigma)+(1097*n^4/512)*\sin(8\sigma)$

$Term1 = t/(k0*\rho)*(E'*x)/2$

$Term2 = t/(k0*\rho)*(E'*x^3)/24*[-4*\psi^2+9*\psi*(1-t^2)+12*t^2]$

$Term3 = t/(k0*\rho)*(E'*x^5)/720*[8*\psi^4*(11-24*t^2)-12*\psi^3*(21-71*t^2)+15*\psi^2*(15-98*t^2+15*t^4)+180*\psi*(5*t^2-3*t^4)+360*t^4]$

$Term4 = t/(k0*\rho)*(E'*x)/40320*[1385+3633*t^2+409*t^4+1575*t^6]$

$$\phi = \phi'-Term1+Term2-Term3+Term4 \quad (27)$$

$Term1 = x*\sec(\phi')$

$Term2 = x^3*\sec(\phi')/6*(\psi+2*t^2)$

$Term3 = x^5*\sec(\phi')/120*[-4*\psi^3*(1-6*t^2)+\psi^2*(9-68*t^2)+72*\psi*t^2+24*t^4]$

$Term4 = x^7*\sec(\phi')/5040*(61+662*t^2+1320*t^4+720*t^6)$

$$\lambda = \lambda_0+Term1-Term2+Term3-Term4 \quad (28)$$

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(N,E)

Term1 = y/2

Term2 = y2/24*[4*ψ*(1-6*t^2)-3*(1-16*t^2)-24*t^2/ψ]

Term3 = y3/720

k = k_0*(1+Term1+Term2+Term3) (29)

และค่ามุมเยื้องกริตจาก(N,E)

Term1 = -t*x

Term2 = t*x^3/3*(-2*ψ^2+3ψ+t^2)

Term3 = -t*x^5/15*[ψ^4*(11-24*t^2)-3*ψ^3*(8-23*t^2)+
5*ψ^2*(3-14*t^2)+30*ψ*t^2+3*t^4]

Term4 = -t*x^7/315*(17+77*t^2+105*t^4+45*t^6)

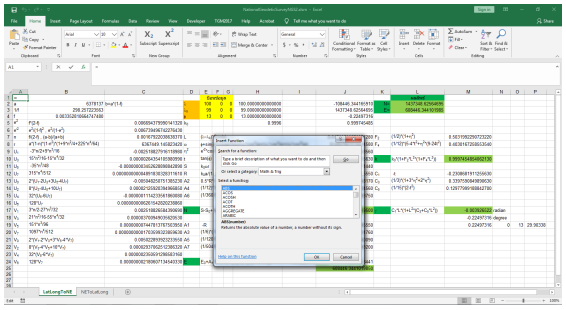
γ = Temr1+Term2+Term3+Term4 (30)

2.4. การเขียนการคำนวณและโปรแกรมเอ็กซ์เซล

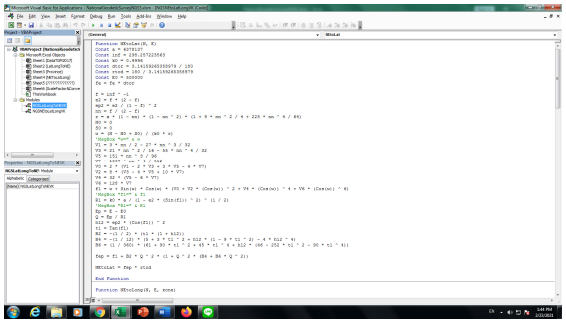
ไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล (Microsoft Excel) เป็นโปรแกรมประเภทตารางการคำนวณ (Spreadsheet) พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ และเป็นโปรแกรมหนึ่งในชุดของไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ สำหรับจัดการและคำนวณข้อมูลในรูปแบบตาราง การสร้างกราฟ การสร้างฐานข้อมูล และสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อสนับสนุนในการทำงานนอกเหนือจากในคำสั่งที่ใช้งานในโปรแกรมเอ็กซ์เซล

ภาษาที่ใช้ในโปรแกรมเอ็กซ์เซล ประกอบด้วย ฟังก์ชัน (Function) วีบีเอ(VBA:Visual Basic for Applications) เอ็มโค้ด (M Code) เป็นภาษาที่ใช้ใน Power Query ดีเอเอ็กซ์(DAX:Data Analysis Expression) เป็นภาษาที่ใช้ใน Power Pivot และ เอ็มดีเอ็กซ์(MDX:Multidimentional Expression)

การคำนวณแปลงค่าระบบพิกัดจะใช้วิธีการคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซล ดังรูปที่ 5 และการเขียนโปรแกรมวีบีเอ ดังรูที่ 6 ซึ่งนำไปเป็นฟังก์ชันและสร้างเป็นเมนูแปลงค่าระบบพิกัด



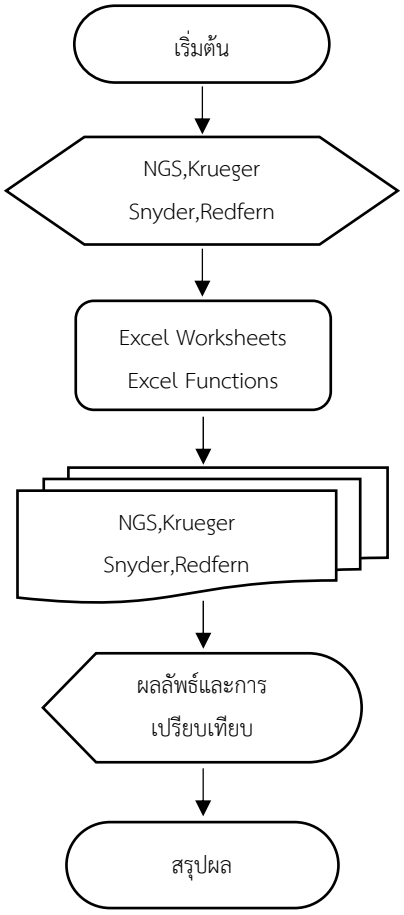
รูปที่ 5 การคำนวณบนตารางและคำสั่งฟังก์ชัน



รูปที่ 6 การเขียนโปรแกรมการคำนวณ

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ภาพรวมในการดำเนินงานหลักๆ ประกอบด้วยขั้นตอนตามโฟชาร์ต ดังนี้

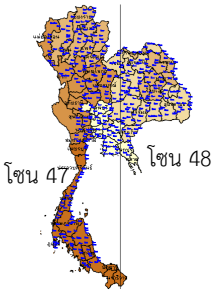


รูปที่ 7 แผนผังภาพรวมการดำเนินงาน

3.1. การกำหนดข้อมูลระบบค่าพิกัด

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสามารถกำหนดขึ้นจากค่าพิกัดจุดศูนย์กลางของแต่ละจังหวัดในประเทศไทย เพื่อเป็นตัวอย่างในการคำนวณแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และคำนวณแปลงค่ากลับจากค่าพิกัดฉากยูทีเอ็มเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ และเป็นข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบ ตรวจสอบสูตรสมการของแต่ละสูตร

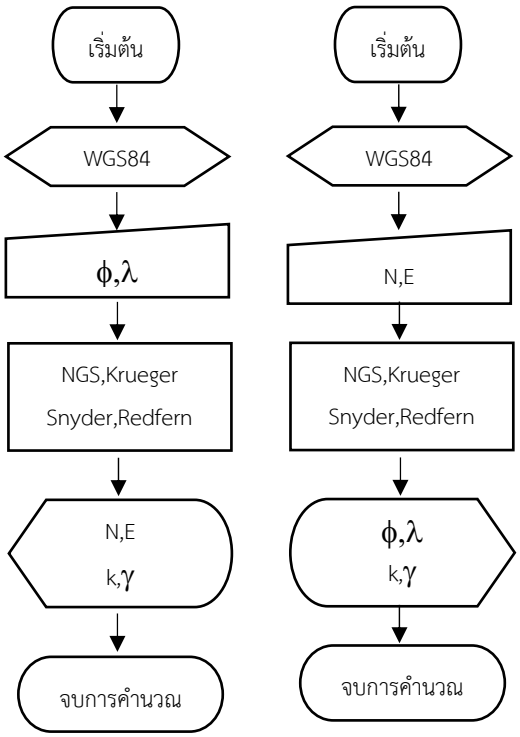
ในการแปลงค่าระบบพิกัด



จังหวัด		Latitude	Longitude	N
แม่ฮ่องสอน	202	18.73828722	97.92287056	40.06529
เชียงใหม่	209	18.80568972	98.95322556	38.46906
เชียงราย	232	20.03296806	99.87369917	37.39285
ลำปาง	206	18.50828389	99.55581361	37.23149
นครปฐม	79	13.93242944	100.0043614	32.15198
ราชบุรี	77	13.45778667	99.37313111	32.83842
สมุทรปราการ	89	13.59840333	100.5963656	29.98952
กรุงเทพมหานคร	87	13.71013389	100.4869517	30.51353
ชลบุรี	91	13.26503139	101.2504178	27.27329
ระยอง	97	12.91397417	101.5327764	25.75507
อุดรธานี	314	17.39287306	102.8242703	29.91954
หนองคาย	317	17.96667694	102.894475	31.02429
อุบลราชธานี	402	15.23955722	105.1551736	19.95426
ศรีสะเกษ	330	14.90138167	104.19462	22.52003
ประจวบคีรีขันธ์	128	11.89714528	99.79260417	28.84557
ชุมพร	136	10.3194325	99.09295139	27.59593
นครศรีธรรมราช	164	8.300881111	99.91530917	19.70649
สงขลา	180	6.996435	100.4303414	14.79012

รูปที่ 8 ข้อมูลค่าพิกัด

3.2. ผังการคำนวณแปลงค่าระบบพิกัดของสมการ



รูปที่ 9 แผนผังการแปลงค่าระบบพิกัด

3.3. ขั้นตอนการคำนวณแปลงค่าระบบพิกัดของสูตรสมการ

ขั้นตอนในการแปลงค่าระบบพิกัดของสูตรสมการแต่ละสูตรมีขั้นตอนคล้ายกันโดยจะคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซลก่อน แล้วนำไปสร้างเป็นโปรแกรมวีบีเอ เพื่อทำการเปรียบเทียบ ดังนี้

1. กำหนดค่าพื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี ในบทความใช้พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี WGS84
2. ป้องข้อมูลค่าพิกัด(ϕ,λ) จากข้อมูลที่ได้กำหนดขึ้นในแต่ละจังหวัดของประเทศไทย
3. กำหนดค่าคงที่ของสูตรสมการในแต่ละสูตรสมการ
4. คำนวณหาค่าพิกัด(N,E) ค่าสเกลแฟคเตอร์(k) และค่ามุมเยื้องกริด(γ)
1. กำหนดค่าพื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี ในบทความใช้พื้นผิวอ้างอิงรูปทรงรี WGS84
2. ป้องข้อมูลค่าพิกัด(N,E) จากข้อมูลที่ได้ทำการแปลงค่าพิกัดมาแล้ว
3. กำหนดค่าคงที่ของสูตรสมการในแต่ละสูตรสมการ
4. คำนวณหาค่าพิกัด(ϕ,λ) ค่าสเกลแฟคเตอร์(k) และค่ามุมเยื้องกริด(γ)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล ผลลัพธ์และสรุปผล

4.1. การวิเคราะห์ข้อมูลภายในสมการไป-กลับ

ผลลัพธ์จากการคำนวณระบบค่าพิกัดไป-กลับ ของข้อมูลที่ได้เลือกจากโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยของแต่ละจังหวัด โดยแต่ละสูตรสมการ

4.1.1. สมการสูตร NGS

ตารางที่ 3: ความคลาดเคลื่อนแปลงไปกลับ(NGS)

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Latitude		ความคลาดเคลื่อน Longitude	
	องศา	พิลิปดา	องศา	พิลิปดา
ต่ำสุด	6.56238E-10	2.36246E-06	4.14815E-11	1.49335E-07
สูงสุด	8.17124E-14	2.94875E-10	0.00000E+00	2.75691E-12
เฉลี่ย	9.80157E-11	3.52857E-07	3.92508E-12	1.41305E-08

4.1.2. สมการสูตร KRUEGER

ตารางที่ 4 : ความคลาดเคลื่อนแปลงไปกลับ(Krueger)

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Latitude		ความคลาดเคลื่อน Longitude	
	องศา	พิลิปดา	องศา	พิลิปดา
ต่ำสุด	0.00000E+00	2.10321E-11	0.00000E+00	7.38019E-11
สูงสุด	0.00000E+00	-2.57003E-11	0.00000E+00	-9.66267E-11
เฉลี่ย	0.00000E+00	-1.45609E-12	0.00000E+00	3.95661E-13

4.1.3. สมการสูตร SNYDER

ตารางที่ 5 : ความคลาดเคลื่อนแปลงไปกลับ(Snyder)

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Latitude		ความคลาดเคลื่อน Longitude	
	องศา	พิลิปดา	องศา	พิลิปดา
ต่ำสุด	4.10388E-10	-5.34842E-07	6.48214E-10	2.60304E-06
สูงสุด	1.48567E-10	-1.47741E-06	-7.23062E-10	-2.33357E-06
เฉลี่ย	3.12482E-10	-1.12494E-06	7.22372E-12	-2.60098E-08

4.1.4. สมการสูตร REDFERN

ตารางที่ 6 : ความคลาดเคลื่อนแปลงไปกลับ(Redfern)

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Latitude		ความคลาดเคลื่อน Longitude	
	องศา	พิลิปดา	องศา	พิลิปดา
ต่ำสุด	0.00000E+00	2.10321E-11	0.00000E+00	7.38019E-11
สูงสุด	0.00000E+00	-2.57003E-11	0.00000E+00	-9.66267E-11
เฉลี่ย	0.00000E+00	-1.45609E-12	0.00000E+00	3.95661E-13

4.2. การเปรียบเทียบข้อมูลค่าพิกัดของแต่ละสูตรสมการ

ผลลัพธ์จากการคำนวณระบบค่าพิกัดฉากเปรียบเทียบของแต่ละสูตรสมการ

ตารางที่ 7 : ความคลาดเคลื่อนค่าพิกัดฉากแต่ละสูตรสมการ

ค่าสถิติ	NGS-Krueger		NGS-Snyder	
	N	E	N	E
ต่ำสุด	4.6566E-10	-4.7082E-06	-2.1118E-06	-3.1259E-05
สูงสุด	9.2410E-06	6.8837E-06	1.0705E-05	1.8604E-05
เฉลี่ย	9.0779E-07	5.6631E-08	6.6632E-07	-4.2019E-07

ค่าสถิติ	NGS-Redfearn		Krueger-Snyder	
	N	E	N	E
ต่ำสุด	-2.1141E-06	-4.3405E-06	-2.0857E-06	-3.8143E-05
สูงสุด	8.6091E-06	5.9473E-06	1.8436E-06	2.3312E-05
เฉลี่ย	4.5859E-07	4.4424E-08	-2.3454E-07	-4.7680E-07

ค่าสถิติ	Krueger-Redfearn		Snyder-Redfearn	
	N	E	N	E
ต่ำสุด	-2.0880E-06	-9.3639E-07	-2.0962E-06	-2.2944E-05
สูงสุด	-2.0955E-09	3.7102E-07	0.0000E+00	3.7207E-05
เฉลี่ย	-4.4229E-07	-1.2234E-08	-2.0760E-07	4.6461E-07

4.3. การเปรียบเทียบสเกลแฟคเตอร์ และมุมเยื้อง กริด คำนวณไปกลับ

ตารางที่ 8 : ความคลาดเคลื่อนสเกลแฟคเตอร์และมุมเยื้องกริดภายในสูตรสมการ

ค่าสถิติ	NGS		Krueger	
	Scale Factor	Convergence	Scale Factor	Convergence
	m	degree	m	degree
ต่ำสุด	0.00000E+00	-2.55889E-08	0.00000E+00	-4.94049E-15
สูงสุด	1.01249E-09	2.56821E-08	0.00000E+00	4.44089E-15
เฉลี่ย	1.10417E-10	-6.78475E-10	0.00000E+00	6.42504E-16

ค่าสถิติ	Snyder		Redfearn	
	Scale Factor	Convergence	Scale Factor	Convergence
	m	degree	m	degree
ต่ำสุด	-8.82838E-05	-2.57325E-08	0.00000E+00	-4.14737E-11
สูงสุด	-2.15217E-08	2.56598E-08	2.62574E-11	4.07593E-11
เฉลี่ย	-2.43492E-05	6.79114E-10	2.52030E-12	5.13390E-13

ตารางที่ 9 : ความคลาดเคลื่อนสเกลแฟคเตอร์แต่ละสูตรสมการ โดยพิกัดภูมิศาสตร์

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Scale Factor by Lat,Long					
	NGS-Krueger	NGS-Snyder	NGS-Redfearn	Krueger-Snyder	Krueger-Redfearn	Synder-Redfearn
	m	m	m	m	m	m
ต่ำสุด	-1.06413E-09	-1.05602E-09	-1.03285E-09	-1.83935E-11	0.00000E+00	0.00000E+00
สูงสุด	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.11085E-12	3.12792E-11	3.51903E-11
เฉลี่ย	-1.16602E-10	-1.18592E-10	-1.13533E-10	-1.98985E-12	3.06948E-12	5.05935E-12

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Convergence by Lat,Long					
	NGS-Krueger	NGS-Snyder	NGS-Redfearn	Krueger-Snyder	Krueger-Redfearn	Synder-Redfearn
	Degree	Degree	Degree	Degree	Degree	Degree
ต่ำสุด	1.31139E-11	0.00000E+00	-2.61882E-08	-5.41367E-06	-5.43571E-06	-2.61882E-08
สูงสุด	5.41367E-06	0.00000E+00	-2.77556E-17	-1.31139E-11	-1.31154E-11	-2.77556E-17
เฉลี่ย	6.92494E-07	0.00000E+00	-3.35822E-09	-6.92494E-07	-6.95853E-07	-3.35822E-09

ตารางที่ 10 : ความคลาดเคลื่อนมุมเยื้องกริดแต่ละสูตรสมการ โดยพิกัดฉากยูทีเอ็ม

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Scale Factor by N,E					
	NGS-Krueger	NGS-Snyder	NGS-Redfearn	Krueger-Snyder	Krueger-Redfearn	Synder-Redfearn
	m	m	m	m	m	m
ต่ำสุด	-5.16429E-11	-8.82838E-05	-4.66212E-11	-8.82838E-05	0.00000E+00	2.15217E-08
สูงสุด	0.00000E+00	-2.15217E-08	0.00000E+00	-2.15217E-08	5.02176E-12	8.82838E-05
เฉลี่ย	-6.18556E-12	-2.43492E-05	-5.63637E-12	-2.43492E-05	5.49157E-13	2.43492E-05

ค่าสถิติ	ความคลาดเคลื่อน Convergence by N,E					
	NGS-Krueger	NGS-Snyder	NGS-Redfearn	Krueger-Snyder	Krueger-Redfearn	Synder-Redfearn
	Degree	Degree	Degree	Degree	Degree	Degree
ต่ำสุด	1.07520E-11	3.38549E-13	-5.18186E-08	-5.38793E-06	-5.43575E-06	-5.18895E-08
สูงสุด	5.38798E-06	7.92367E-11	-2.29915E-13	-1.03363E-11	-1.31147E-11	-5.68464E-13
เฉลี่ย	6.86095E-07	1.35013E-11	-9.76222E-09	-6.86081E-07	-6.95857E-07	-9.77572E-09

4.4. สรุปผล

การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดฉากยูทีเอ็ม เป็นการคำนวณแปลงค่าระบบพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดฉากยูทีเอ็ม บนพื้นหลักฐานเดียวกันใช้พื้นหลักฐานดับเบิลยูจีเอสแปดสี่ โดยมีการฉายแผนที่แบบทรานสเวิร์สเมอร์คาเตอร์ ซึ่งใช้สูตรสมการของ NGS, Krueger, Snyder, Redfearn ทำการเขียนสูตรบนตารางเอ็กซ์เซล และเขียนโปรแกรมวีบีเอรันบนโปรแกรมเอ็กซ์เซล

การคำนวณแปลงค่าระบบพิกัด ไป-กลับ เปรียบเทียบค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ได้ความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 3,4,5,6

การคำนวณแปลงค่าระบบพิกัด เปรียบเทียบค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม ได้ความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 7 : ความคลาดเคลื่อนค่าพิกัดฉากแต่ละสูตรสมการ

การคำนวณแปลงค่าระบบพิกัด เปรียบเทียบสเกลแฟคเตอร์และมุมเยื้องกริดไป-กลับ ได้ความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 8 เปรียบเทียบสเกลแฟคเตอร์และมุมเยื้องกริดโดยพิกัดภูมิศาสตร์ดังตารางที่ 9 และเปรียบเทียบสเกลแฟคเตอร์และมุมเยื้องกริดโดย

พิกัดฉากยูทีเอ็มดังตารางที่ 10

การคำนวณแปลงค่าระบบพิกัด สูตรสมการแต่ละสูตรมีเอกลักษณ์ภายในสูตร ซึ่งสามารถนำไปเขียนเป็นโปรแกรมในการแปลงค่าระบบพิกัดได้ทุกสูตรสมการ

4.4.1. อภิปลายผล

การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดฉากยูทีเอ็มจากการคำนวณด้วยสูตรสมการสี่สูตร เปรียบเทียบค่าพิกัดภูมิศาสตร์จากตาราง มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในตำแหน่งที่สิบของหน่วยองศา และมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในตำแหน่งที่หกของหน่วยพิลิปดา เมื่อเปรียบเทียบเป็นระยะทางจากรัศมีของโลกเฉลี่ย 6371005.5808 เมตร จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ 3.08875E-05 เมตร และเปรียบเทียบระหว่างสูตรสมการด้วยค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม มีความคลาดเคลื่อนอยู่ 3.8143E-05 เมตร

การเปรียบเทียบค่าสเกลแฟคเตอร์ภายในสูตร มีความคลาดเคลื่อนอยู่ -8.82838E-05 เมตร ในแต่ละสูตรสมการโดยค่าพิกัดภูมิศาสตร์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ -1.06413E-09 เมตร ในแต่ละสูตรสมการโดยพิกัดฉากยูทีเอ็มมีความคลาดเคลื่อนอยู่ -8.82838E-05 เมตร

การเปรียบเทียบค่ามุมเยื้องกริดภายในสูตร มีความคลาดเคลื่อนอยู่ -2.57325E-08 องศา ในแต่ละสูตรสมการโดยค่าพิกัดภูมิศาสตร์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ -5.43571E-06 องศา ในแต่ละสูตรสมการโดยพิกัดฉากยูทีเอ็มมีความคลาดเคลื่อนอยู่ -5.43575E-06 องศา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมสำรวจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้สถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือ และห้องสมุดในการค้นคว้า

ขอขอบพระคุณผู้ที่แต่งหนังสือ และผู้ที่นำข้อมูลเผยแพร่บนเว็บไซต์

6. การอ้างอิง

[1] ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย. การสำรวจชั้นสูง(ADVANCED SURVEYING). วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2542

[2] ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย. เส้นโครงแผนที่(MAP PROJECTION). วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2534

[3] สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร. เส้นโครงแผนที่. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535

[4] ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. ยีออเดซี(Geodesy). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537