การหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม
The Finding Elevation with Geographic and UTM Coordinate

วรพันธ์ แก้วพิทยาภรณ์[1] กฤษณา ชูลิตะพันธ์พงศ์[2] และ กนกศักดิ์ ซื่อธานุวงศ์[3*]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จ.กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: kanoksak.s@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

การหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม เป็นการหาค่าระดับบนแบบจำลองหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด ซึ่งหมุดหลักฐานทางดิ่งใช้วิธีการเดินระดับและตำแหน่งทางราบใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งและตำแหน่งทางราบนำมาสร้างเป็นแบบจำลองค่าระดับความสูงแบบกริด ซึ่งมีจำนวนกริด 49 แถว คูณ 67 หลัก ขนาดของกริด 1000x1000 เมตร ขอบเขตของค่าพิกัดยูทีเอ็ม กรุงเทพมหานคร มุมซ้ายล่าง(N1495940.000,E643360.000) มุมขวาบน (N1543940.000,E709360.000) ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ กรุงเทพมหานคร มุมซ้ายล่าง($13^{o}31'34.93312''$,$100^{o}21'46.656996''$) และมุมขวาบน ($13^{o}57'36.778341''$,$100^{o}56'10.364321''$) สมการที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด ระหว่างค่าพิกัดภูมิศาสตร์ กับ ค่าพิกัดยูทีเอ็ม ใช้สมการของ NGS (Nation Geodetic Survey) หรือ Kruger หรือ Snyder หรือ Redfearn สมการที่ใช้ในการหาค่าระดับ ใช้สมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) โปรแกรมในการประมวลผลใช้ โปรแกรมออโต้แคดซีวิทีดี(AutoCAD Civil 3D) และไมโครซอฟต์เอกซ์เซล(Microsoft Excel) บนชีต และสร้างโปรแกรมฟังก์ชันด้วยวิชวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชันส์ จุดทดสอบในการหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็มใช้จุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละเขตในกรุงเทพมหานคร

การหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม สามารถหาค่าระดับได้ทุกตำแหน่งบนพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยการป้อนค่าพิกัดภูมิศาสตร์ หรือค่าพิกัดยูทีเอ็ม เข้าไปในแบบจำลองความสูงแบบกริดที่สร้างขึ้น ค่าระดับที่ได้จากค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม โดยใช้สมการเส้นตรง(Bi-Linear) ให้ความละเอียดถูกต้องเฉลี่ย 0.030±0.191 เมตร สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) ให้ความละเอียดถูกต้องเฉลี่ย 0.059±0.372 เมตร และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) ให้ความละเอียดถูกต้องเฉลี่ย 0.065±0.392 เมตร

คำสำคัญ: แบบจำลองความสูงระดับ, ค่าพิกัดภูมิศาสตร์, ค่าพิกัดยูทีเอ็ม, สมการเส้นตรง, สมการเส้นโค้ง

Abstract

The Finding Elevation with Geographic and UTM Coordinate was prepared by Public Works Department Bangkok, with an elevation total of 879 point, in which the elevation point used the leveling methods and horizontal coordinate methods used GPS. The elevation point and horizontal coordinate are used to model grid elevation values, which consist of 49 rows 67 columns of grids, grid size 1000x1000 meters. Scope of UTM Bangkok lower left corner (N1495940.000,E643360.000) and upper right corner (N1543940.000,E709360.000) and Geographic lower left corner ($13^{o}31'34.93312''$,$100^{o}21'46.656996''$) upper right corner ($13^{o}57'36.778341''$,$100^{o}56'10.364321''$). An equation used to convert values between geographic coordinates and UTM coordinates are used to the equations of The Nation Geodetic Survey or Kruger or Snyder or Redfearn, the equations used to determine the level values, Bi-Linear , Bi-Quadratic and Bi-Cubic . Programs to process use AutoCAD Civil 3D and Microsoft Excel on sheets and programming by visual basic for applications. The test point for determined the level with geocoordinate and UTM coordinates uses the centroid of each district in Bangkok.

The Finding Elevation with Geographic and UTM Coordinate. Level values can be found in all locations in Bangkok. By entering the Geographic coordinates or the UTM coordinates. Into the grid level model created. Level values derived from Geographic coordinates values and UTM coordinates values give average accuracy, Bi-Linear equation 0.030±0.191 meters, Bi-Quadratic equation 0.059±0.372 meters and Bi-Cubic equation 0.065±0.392 meters.

Keywords: Grids level model, Geographic coordinate, UTM coordinate, Bi-linear, Bi-Quadratic, Bi-Cubic

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การหาค่าระดับ เป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุด หรือหลายจุด ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือหาค่าระดับได้หลากหลายวิธี เช่น สายยางระดับน้ำ กล้องระดับ กล้องวัดมุมรังวัดแบบตรีโกณ กล้องประมวลผลรวม การใช้ภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียม การใช้ระบบดาวเทียมกำหนดตำแหน่ง ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้สามารถหาค่าระดับได้และให้ความถูกต้องขึ้นอยู่กับเครื่องมือนั้นและวิธีการประมวลผล เครื่องมือและวิธีการประมวลผลก็จะได้จุดค่าระดับที่ต้องการโดยการอ้างอิงจากหมุดที่ทราบค่าระดับ หรือค่าระดับที่สมมุติขึ้น ในความสัมพันธ์ของค่าระดับบางงานอาจไม่จำเป็นต้องใช้ค่าพิกัดทางราบในการอ้างอิงบริเวณขอบเขต แต่บางงานอาจจะต้องใช้ค่าพิกัดทางราบเป็นค่าพิกัดกำหนดบริเวณขอบเขต เพื่อนำมาสร้างเป็นเส้นชั้นความสูง หรือพื้นผิวความสูง เพื่อต้องทราบความสูงต่ำของภูมิประเทศ ไว้สำหรับการออกแบบ

การหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม เป็นการหาค่าระดับบนแบบจำลองหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด ซึ่งหมุดหลักฐานทางดิ่งใช้วิธีการเดินระดับและตำแหน่งทางราบใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งและตำแหน่งทางราบนำมาสร้างเป็นแบบจำลองค่าระดับความสูงแบบกริด ซึ่งมีจำนวนกริด 49 แถว คูณ 67 หลัก ขนาดของกริด 1000x1000 เมตร ขอบเขตของค่าพิกัดยูทีเอ็ม กรุงเทพมหานคร มุมซ้ายล่าง(N1495940.000,E643360.000) มุมขวาบน (N1543940.000,E709360.000) ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ กรุงเทพมหานคร มุมซ้ายล่าง($13^{\circ}31'34.93312''$,$100^{\circ}21'46.656996''$) มุมขวาบน ($13^{\circ}57'36.778341''$,$100^{\circ}56'10.364321''$) สมการที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด ระหว่างค่าพิกัดภูมิศาสตร์ กับ ค่าพิกัดยูทีเอ็ม ใช้สมการของ NGS (Nation Geodetic Survey) หรือ Kruger หรือ Snyder หรือ Redfearn สมการที่ใช้ในการหาค่าระดับ ใช้สมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) โปรแกรมในการประมวลผลใช้ โปรแกรมออโต้แคดซีวิทีดี(AutoCAD Civil 3D) และไมโครซอฟต์เอกซ์เซล(Microsoft Excel) บนซีต และสร้างโปรแกรมฟังก์ชันด้วยวิชวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชันส์ จุดทดสอบในการหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็มใช้จุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละเขตในกรุงเทพมหานคร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงค่าระดับจากข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550)

1.2.2 เพื่อหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าระดับที่หาได้จากสมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด

1.3.2 แบบจำลองความสูงใช้โปรแกรมออโต้แคดซีวิวทีดี ในการสร้างพื้นผิวค่าระดับ และสร้างแบบจำลองความสูงกริด มีจำนวนกริด 49 แถว คูณ 67 หลัก ขนาดของกริด 1000x1000 เมตร

1.3.3 การแปลงค่าพิกัดยูทีเอ็มกับค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ใช้สูตรการแปลงค่าพิกัดของ NGS (Nation Geodetic Survey) หรือ Kruger หรือ Snyder หรือ Redfearn ก็ได้ซึ่งให้ค่าเท่ากัน แต่ในงานวิจัยนี้ใช้สมการของ NGS ในการแปลงค่าพิกัด

1.3.4 สมการที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าระดับ สมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) ใช้ไมโครซอฟต์เอกซ์เซลบนซีต และสร้างโปรแกรมฟังก์ชันด้วยวิชวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชันส์ ใช้โปรแกรมเอ็กเซล ที่หาได้จากจุดทดสอบการหาค่าระดับใช้จุดศูนย์กลางของแต่ละเขตของกรุงเทพมหานคร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถสร้างพื้นผิวและแบบจำลองความสูงค่าระดับกริดได้จากข้อมูลค่าระดับที่รังวัดได้อย่างถูกต้อง

1.4.2 สามารถแปลงระบบค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็มได้

1.4.3 สามารถคำนวณและเขียนโปรแกรมสำหรับการหาค่าระดับด้วยพิกัดภูมิศาสตร์และพิกัดยูทีเอ็มได้

1.4.4 เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการหาพื้นผิวบริเวณเขตกรุงเทพมหานครที่ค่าพิกัดทางราบใดๆ

1.5 นิยามศัพท์

เส้นดิ่ง(Vertical Line) เส้นตรงที่ลากในแนวแรงดึงดูดของโลก ตั้งฉากกับพื้นหลักฐานระดับ(Datum) หรือพื้นผิวจีออยด์(Geoid) หรือพื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง(Mean Sea Level)

หมุดหลักฐาน(Bench Mark: B.M.) เป็นหมุดอ้างอิงที่บอกค่าระดับและค่าพิกัดทางราบ

ความสูงหรือค่าระดับ(Elevation or Level) ระยะตามแนวเส้นดิ่งจากพื้นหลักฐานระดับถึงจุดที่พิจารณา มีค่าเป็นบวกเมื่อจุดที่พิจารณาอยู่สูงกว่าพื้นหลักฐานระดับ มีค่าเป็นลบเมื่อจุดที่พิจารณาอยู่ต่ำกว่าพื้นหลักฐานระดับ

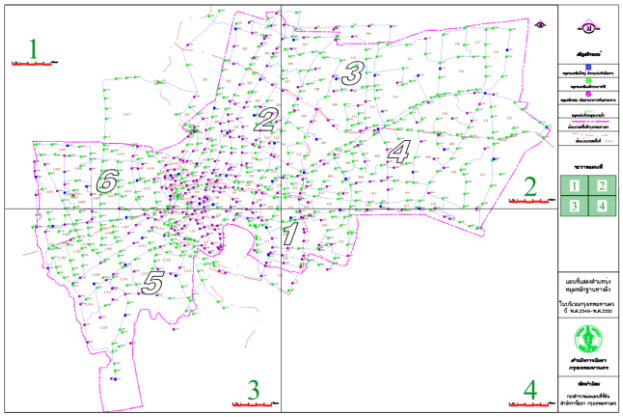
พิกัดภูมิศาสตร์(Geographic Coordinate) เป็นการบอกตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่บนโลกด้วยมุมองศา มีแนวคิดมาจากหนึ่งวงกลมเท่ากับ 360 degree หรือ 400 grad หรือ 2π หรือ 6400 mil

พิกัดยูทีเอ็ม(Universal Transverse Mercator : UTM) เป็นการฉายแผนที่โดยใช้ทรงกระบอกขวางตัดไปยังลูกโลก เมื่อคลี่ออกมาจะมีลักษณะเป็นกริด การบอกตำแหน่งจะมีหน่วยเป็นเมตร

2. เอกสารข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารข้อมูลแบบจำลองความสูง

จากข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด ซึ่งหมุดหลักฐานทางดิ่งใช้วิธีการเดินระดับและตำแหน่งทางราบใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสดังรูปที่ 1 แผนที่แสดงการจัดแบ่งวงรอบสายการเดินระดับ



รูปที่ 1 แผนที่แสดงการจัดแบ่งวงรอบสายการเดินระดับ
บริเวณกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2550

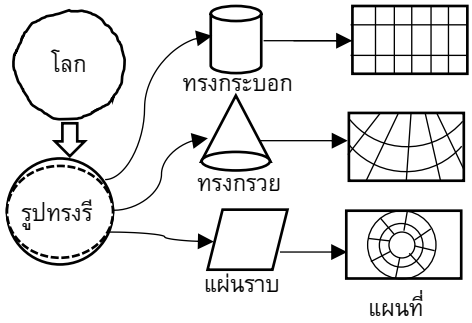
ตารางที่ 1 : จากเอกสารข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งกรุงเทพมหานคร(2550)

หมุด	ค่าพิกัด WGS 84		ค่าพิกัด Indian 1975		ค่าระดับ	ค่าระดับ
	ตะวันออก	เหนือ	ตะวันออก	เหนือ	ร.ท.ก.(ม.)	กทม.(ม.)
1001	662,578.000	1,522,759.250	662,910.313	1,522,456.191	2.830	37.860
1002	662,048.864	1,522,279.701	662,381.178	1,521,976.643	1.823	36.853
1003	661,773.063	1,522,137.000	662,105.377	1,521,833.942	3.797	38.827
1004	661,289.552	1,521,754.259	661,621.866	1,521,451.202	2.379	37.409
...	...	...	...	...	...	...
6133	645,501.813	1,516,411.750	645,834.140	1,516,108.710	1.391	36.421
6134	646,687.250	1,514,848.375	647,019.575	1,514,545.336	1.511	36.541
6135	648,141.125	1,514,860.000	648,473.448	1,514,556.960	2.557	37.587
6136	649,426.000	1,517,430.625	649,758.324	1,517,127.581	3.093	38.123

2.2 การแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดยูทีเอ็ม

การแปลงค่าพิกัดระหว่างพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดยูทีเอ็ม เป็นการฉายเส้นโครงแผนที่แบบหนึ่ง ซึ่งมีกระบวนการฉายจากเส้นพิกัดภูมิศาสตร์ (Latitude , Longitude) บนพื้นผิวทรงกลมของโลกลงสู่แผ่นแบบราบเป็นค่าพิกัดยูทีเอ็ม(North , East) กระบวนการฉายนี้เริ่มจากการใช้รูปทรงกระบอกตัดขวางไปยังลูกโลกที่ 84°เหนือ และ 80° ใต้ แบ่งออกเป็น 60 โซน โดยมีค่าพิกัดกริดเริ่มที่จุดศูนย์กลางของแต่ละโซน แบ่งออกเป็น ซีกโลกเหนือ(N0.0000m , E500,000m) และ ซีกโลกใต้(N10,000,000m , E500,000m) ดังรูปที่ 2 การฉายเส้นโครงแผนที่

การแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดกริดยูทีเอ็มใช้สมการของหน่วยงาน (National Geodetic Survey : NGS) ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งของ (National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA) ที่กำหนดและจัดการระบบพิกัดแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นรากฐานสำหรับการขนส่ง การสื่อสาร การทำแผนที่ การประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์และวิศวกรรม



รูปที่ 2 การฉายเส้นโครงแผนที่

2.2.1 *สมการแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดกริดยูทีเอ็ม*

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 $(a-b)/(a+b)$ $k_0 = 0.9996$

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

ความหมายตัวแปร

a (semimajor axis) เป็นระยะครึ่งหนึ่งของระยะแกนยาวของรูปทรงรี

f (flattening) เป็นอัตราการยุบตัวได้จาก f=(a-b)/a

e^2 (First Eccentricity) ค่าเยื้องศูนย์ลำดับที่หนึ่ง

e'^2 (Second Eccentricity) ค่าเยื้องศูนย์ลำดับที่สอง

k_0 (Scale Factor) ค่าตัวคูณมาตราส่วนของโซน

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)

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

$L = (\lambda-\lambda 0)*\cos(\phi)$, $\eta^2 = e'^2*\cos^2(\phi)$, $t = \tan(\phi)$,

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

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

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

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

ซีกโลกเหนือ S,S_0 มีค่าเท่ากัน N_0=0

A1 = -R A3 = (1/6)*(1-t^2+η^2)

A5 = (1/120)*(5-18*t^2+t^4+η^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)

ค่าสเกลแฟคเตอร์จาก(ϕ,λ)

F2 = (1/2)*(1+η^2) F4 = (1/12)*(5-4*t^2+η^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*η^2+2*η^2)

C5 = (1/15)*(2-t^2)

γ = C1*L*(1+L^2*(C3+C5*L^2)) (4)

2.2.2 สมการแปลงค่าพิกัดกริดยูทีเอ็มเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์

การแปลงค่าระบบพิกัด(N,E to ϕ,λ)

ϕ1 = ω+sin(ω)*cos(ω)*(V0+V2*$\cos^2$(ω)+V4*$\cos^4$(ω)+ V6*$\cos^6$(ω))

ω = (N-N_0+S_0)/(k_0*r) , R1 = k_0*a/(1-e^2*$\sin^2$(ϕ1))$^{1/2}$

E' = E-E_0 ; E_0 = 500,000 , Q = E'/R1

$\eta 1^2$ = e'^2*$\cos^2$(ϕ1) , t1 = tan(ϕ1)

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*$t1^4$))

ϕ = ϕ1+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))

λ = λ0+L/cos(ϕ1) (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*$t1^4$)

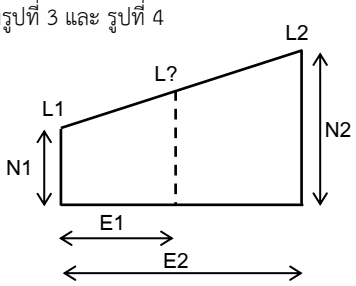
γ = D1*Q*(1+Q^2*(D3+D5*Q^2)) (8)

2.3 การหาค่าระดับ

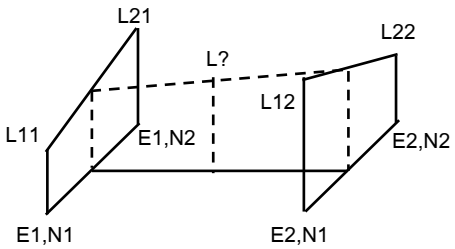
การหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม เป็นการประมาณค่าช่วงระดับของแบบจำลองความสูงที่สร้างขึ้นจากข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธากรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งและตำแหน่งทางราบนำมาสร้างเป็นแบบจำลองค่าระดับความสูงแบบกริด ซึ่งมีจำนวนกริด 49 แถว คูณ 67 หลัก ขนาดของกริด 1000x1000 เมตร ค่าพิกัดยูทีเอ็ม มุมซ้ายล่าง(N1495940.000,E643360.000) มุมขวาบน (N1543940.000,E709360.000) ขนาดกริด 32.538442° x 33.285909° ค่าพิกัดภูมิศาสตร์มุมซ้ายล่าง(13°31′34.93312″,100°21′46.656996″) มุมขวาบน(13°57′36.778341″,100°56′10.364321″)

2.3.1 สมการประมาณค่าเส้นตรง

การประมาณค่าโดยสมการเส้นตรง(Linear Interpolation) เป็นการหาค่าประมาณในทิศทางเดียวหรือหนึ่งมิติ ส่วนการหาประมาณค่าช่วงโดยสมการเส้นตรงในสองทิศทางหรือสองมิติ เรียกว่า ไบรีเนียร์(Bilinear Interpolation) ดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4



รูปที่ 3 สมการเส้นตรงหนึ่งมิติ(Linear Interpolation)



รูปที่ 4 สมการเส้นตรงสองมิติ(Bi-Linear Interpolation)

ตารางที่ 2 ข้อมูลและค่าที่ต้องการประมาณค่าช่วงระดับจากพิกัดยูทีเอ็ม

	พิกัด E1	พิกัด E?	พิกัด E2
พิกัด N1	L11		L12
พิกัด N?		L?	
พิกัด N2	L21		L22

*ถ้าเป็นพิกัดภูมิศาสตร์ ค่าพิกัด E แทนด้วยค่า Longitude และค่าพิกัด N แทนด้วยค่า Latitude

จากตารางที่ 2 ข้อมูลและค่าที่ต้องการประมาณค่าช่วงระดับจากพิกัดยูทีเอ็มเป็นการค่าระดับจากค่าพิกัดยูทีเอ็มบนแบบจำลองความสูงที่สร้างขึ้น สมการเส้นตรง(Bi-Linear Interpolation) หาได้จากสมการที่ (9) และสมการที่ (10)

$$L? = \frac{(E2-E!)(N2-N!)}{(E2-E1)(N2-N1)}L11 + \frac{(E!-E1)(N2-N!)}{(E2-E1)(N2-N1)}L12 + \frac{(E2-E!)(N!-N1)}{(E2-E1)(N2-N1)}L21 + \frac{(E!-E1)(N!-N1)}{(E2-E1)(N2-N1)}L22 \quad (9)$$

ความหมายตัวแปร

N (North) หรือ Latitude

E (East) หรือ Longitude

L (Elevation or Level) ค่าระดับ

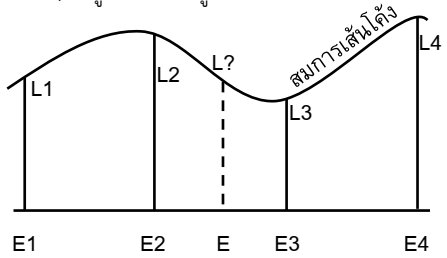
$$f(N) = a0 + a1*E + a2*N + a3*E*N \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & E1 & N1 & E1*N1 \\ 1 & E1 & N2 & E1*N2 \\ 1 & E2 & N1 & E2*N1 \\ 1 & E2 & N2 & E2*N2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a0 \\ a1 \\ a2 \\ a3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(L11) \\ f(L12) \\ f(L21) \\ f(L22) \end{bmatrix}$$

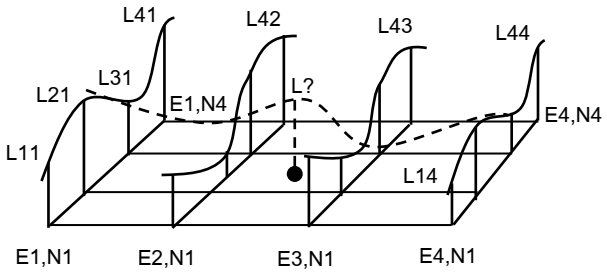
หาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร a0,a1,a2,a3 ด้วยวิธีการคำนวณค่าโดยเมทริกซ์ จากนั้นแทนค่าสัมประสิทธิ์เข้าในสมการที่(10) และค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ที่ต้องการ เพื่อหาค่าระดับ

2.3.2 *สมการประมาณค่าเส้นโค้งกำลังสอง*

การประมาณค่าโดยสมการเส้นโค้งกำลังสอง(Quadratic Interpolation or Polynomial Degree 2) เป็นการหาค่าประมาณในทิศทางเดียวหรือหนึ่งมิติ ส่วนการหาประมาณค่าช่วงโดยสมการเส้นโค้งกำลังสองในสองทิศทางหรือสองมิติ เรียกว่า ไบควอดราติก(Bi-Quadratic Interpolation) ดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6



รูปที่ 5 สมการเส้นโค้งกำลังสองหนึ่งมิติ(Quadratic Interpolation)



รูปที่ 6 สมการเส้นโค้งกำลังสองสองมิติ(Bi-Quadratic Interpolation)

จากรูปที่ 6 สมการเส้นโค้งกำลังสองสองมิติ(Bi-Quadratic Interpolation) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (11)

$$L = a0 + a1*E + a2*N + a3*E^2 + a4*N^2 + a5*E*N + a6*E^2*N + a7*E*N^2 + a8*E^2*N^2 \quad (11)$$

จากสมการที่ (11) สมการอยู่ในรูปค่าพิกัดยูทีเอ็ม ถ้าเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ก็ให้แทนค่า E=Longitude , N=Latitude การหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร a0,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8 ด้วยวิธีการคำนวณกำลังสองน้อยที่สุด(Least square) โดยวิธีการคำนวณด้วยเมทริกซ์ จากนั้นแทนค่าสัมประสิทธิ์เข้าในสมการที่(11) และค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ที่ต้องการ เพื่อหาค่าระดับ

2.3.3 *สมการประมาณค่าเส้นโค้งกำลังสาม*

การประมาณค่าโดยสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Cubic Interpolation or Polynomial Degree 3) เป็นการหาค่าประมาณในทิศทางเดียวหรือหนึ่งมิติ ส่วนการหาประมาณค่าช่วงโดยสมการเส้นโค้งกำลังสามในสองทิศทางหรือสองมิติ เรียกว่า ไบคิวบิก(Bi-Cubic Interpolation) รูปการจำลองจะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แต่จะมีลักษณะสมการที่มีกำลังสามมาเกี่ยวข้องกับสมการ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (12)

$$L = a0 + a1*E + a2*N + a3*E^2 + a4*E*N + a5*N^2 + a6*E^3 + a7*E^2*N + a8*E*N^2 + a9*N^3 \quad (12)$$

จากสมการที่ (12) สมการอยู่ในรูปค่าพิกัดยูทีเอ็ม ถ้าเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ก็ให้แทนค่า E=Longitude , N=Latitude การหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร a0,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8,a9 ด้วยวิธีการคำนวณกำลังสองน้อยที่สุด (Least square)

2.4 การปรับแก้กำลังสองน้อยที่สุด

การปรับแก้กำลังสองน้อยที่สุดเป็นแบบจำลองสำหรับการแก้ปัญหาของระบบสมการที่มีข้อมูลมากกว่าตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ที่ต้องการคำนวณหาคำตอบ

$$V = A.X - L \quad (13)$$

$$X = (A^T.A)^{-1}*(A^T.L) \quad (14)$$

ความหมายตัวแปร

A = ค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์แทนค่าใน
สมการที่ (10) Bi-Linear หรือ
สมการที่ (11) Bi-Quadratic หรือ
สมการที่ (12) Bi-Cubic เป็นเมทริกซ์

X = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ต้องการหา

L = ค่าระดับที่อ่านได้จากแบบจำลองความสูงกริดแบบค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์

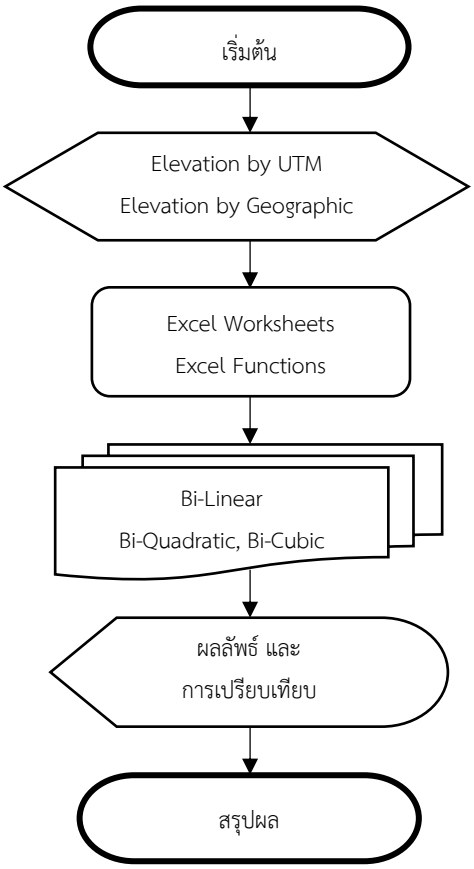
V = เศษเหลือในการปรับแก้

VTV ≈0 (เข้าใกล้ศูนย์)

3. วิธีการดำเนินงาน

จากข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด นำมาสร้างเป็นพื้นผิวระดับ และกำหนดให้เป็นตารางกริด ด้วยค่าพิกัดยูทีเอ็ม และค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

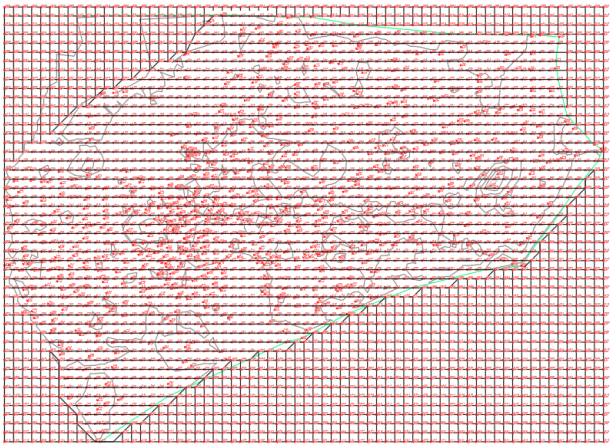
3.1 ภาพรวมของการดำเนินงาน



รูปที่ 7 ผังรูปภาพรวมขั้นตอนการดำเนินงาน

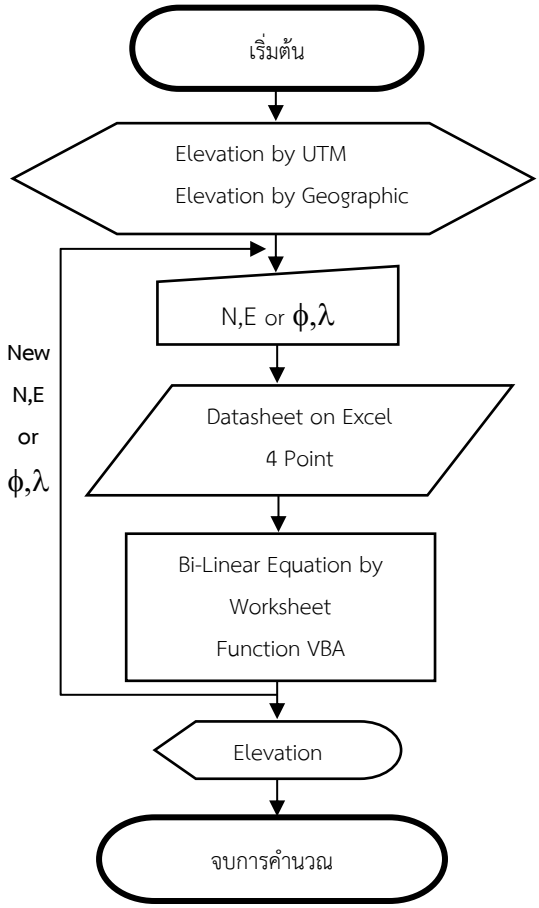
3.2 การสร้างแบบจำลองความสูงกริด

การสร้างแบบจำลองความสูงกริด จากข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) นำค่าพิกัดทางราบและค่ารดับ เข้าโปรแกรมออโต้แคดซีวิลทีดี และทำการสร้างพื้นผิวจากค่าพิกัดทางราบและค่าระดับ การกำหนดขอบเขตกรุงเทพมหานครใช้ข้อมูลของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร (BMA GIS Center) บนเว็บไซต์ จัดทำเส้นกริดบนพื้นผิวบนโปรแกรมออโต้แคดซีวิลทีดี และนำค่าระดับบนเส้นกริดเข้ายังโปรแกรมเอ็กซ์เซล ฐานข้อมูลแบบจำลองความสูงกริดจะมีอยู่สองไฟล์ โดยประกอบด้วยค่าพิกัดทางราบพิกัดยูทีเอ็มและค่าระดับ และค่าพิกัดทางราบภูมิศาสตร์และค่าระดับ เพื่อใช้ในการดำเนินงานการคำนวณต่อไป ดังรูปที่ 8 การสร้างแบบจำลองความสูงกริดบนโปรแกรมออโต้แคดซีวิลทีดี



รูปที่ 8 การสร้างแบบจำลองความสูงกริด

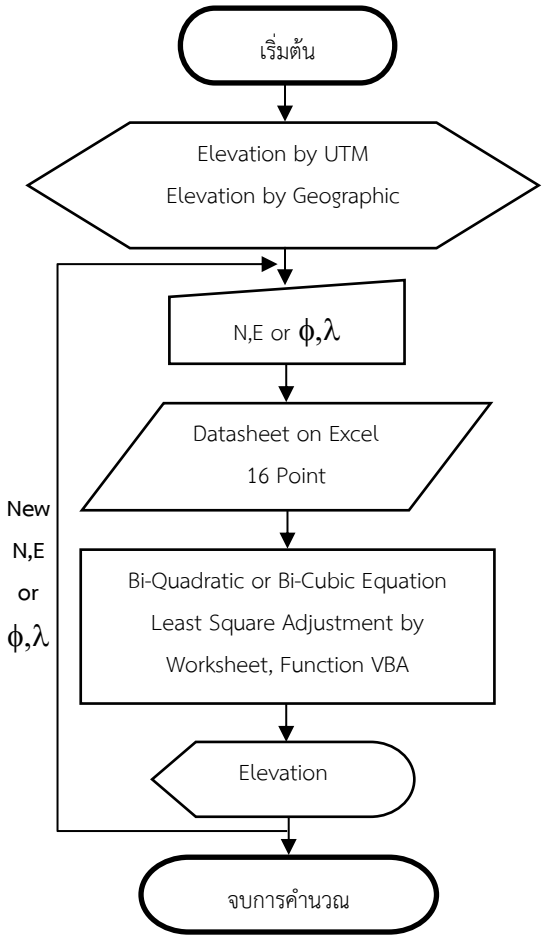
3.3 ขั้นตอนการคำนวณโดยสมการเส้นตรง



รูปที่ 9 ผังรูปภาพการคำนวณหาค่าระดับด้วยสมการเส้นตรง

ขั้นตอนการคำนวณโดยสมการเส้นตรง(Bi-Linear Equation) เพื่อหาค่าระดับ ณ. จุดใดๆ บนขอบเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้ค่าพิกัดทางราบพิกัดยูทีเอ็ม หรือ พิกัดภูมิศาสตร์ ป้อนข้อมูลเข้าไปในตารางการคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซล หรือใช้ฟังก์ชันที่เขียนขึ้นเป็นโปรแกรม ข้อมูลค่าระดับที่ได้สามารถตรวจสอบได้โดยจุดระดับทั้งสี่จุดที่นำเข้ามาคำนวณค่าระดับ

3.4 ขั้นตอนการคำนวณโดยสมการเส้นโค้งกำลังสอง และสมการเส้นโค้งกำลังสาม



รูปที่ 10 ผังรูปภาพการคำนวณหาค่าระดับด้วยสมการเส้นโค้ง

การคำนวณประมาณค่าระดับ จากค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ โดยใช้สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic Interpolation) และสมการโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic Interpolation) จากแบบจำลองข้อมูลความสูงค่าระดับบนตารางเอ็กซ์เซล โดยการคำนวณอยู่บนชีสเอ็กซ์เซล และเขียนโปรแกรมฟังก์ชัน ให้อ่านค่าจากฐานข้อมูลแบบจำลองความสูงระดับทั้งหมดสิบหกจุดรอบค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ต้องการประมาณค่าระดับ ให้หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ โดยใช้เทคนิคการปรับแก้กำลังสองน้อยที่สุด(Least Square Adjustment) หาค่าเศษเหลือ และแทนค่าสัมประสิทธิ์เข้าสมการเพื่อคำนวณหาค่าระดับ ตรวจสอบความถูกต้องจากค่าระดับที่อ่านได้ และเขียนเป็นฟังก์ชั่นในการคำนวณหาบนตารางเอ็กซ์เซล การประมาณค่าระดับจุดค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ใดๆ จะต้องทำการอ่านค่าพิกัดทางราบและค่าระดับจากฐานข้อมูลความสูงระดับรอบจุด แล้วทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ใหม่ทุกครั้ง เพื่อประมาณในการหาค่าระดับของจุดค่าพิกัดยูทีเอ็ม หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ต้องการ

4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลตารางฐานข้อมูลแบบจำลองความสูงระดับ

จากการสร้างแบบจำลองความสูงกริด จะได้ฐานข้อมูลค่าพิกัดทางราบและค่าระดับ ดังรูปที่ 11 และดังรูปที่ 12

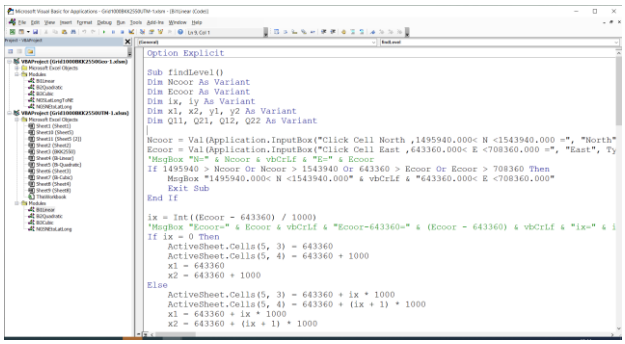
	A	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		651360	652360	653360	654360	655360	656360	657360	658360
14	1531940	4.195	5.339	4.811	4.596	3.947	3.472	3.043	2.614
15	1530940	5.098	5.170	4.633	4.154	3.725	3.295	2.866	2.585
16	1529940	4.447	4.348	4.407	3.977	3.548	3.119	2.689	2.654
17	1528940	3.633	3.689	3.815	3.800	3.371	2.942	2.512	2.678
18	1527940	3.506	4.964	4.383	3.400	3.194	2.765	2.679	2.701
19	1526940	4.772	6.277	5.464	4.002	2.984	2.588	2.768	2.721
20	1525940	4.750	7.993	4.491	3.806	3.122	2.562	2.781	2.708
21	1524940	3.518	3.897	3.242	2.791	2.322	2.080	2.964	2.730
22	1523940	3.319	3.300	3.293	3.209	2.607	2.588	2.522	2.512
23	1522940	3.237	3.113	3.232	3.251	2.925	2.824	2.037	2.990
24	1521940	3.158	3.513	3.454	3.291	2.922	2.004	2.922	2.613
25	1520940	2.495	3.263	3.285	3.328	2.945	2.511	4.266	3.327

รูปที่ 11 แบบจำลองความสูงระดับกริดค่าพิกัดยูทีเอ็ม

	A	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1		100.49242	100.50167	100.51091	100.52016	100.52941	100.53865	100.5479	100.55715
15	13.842718	2.504	2.580	2.650	3.036	2.461	2.069	2.283	2.839
16	13.833679	2.525	2.619	2.880	3.426	2.585	2.166	2.154	1.860
17	13.824641	2.550	2.906	3.261	2.862	1.913	2.220	1.951	1.074
18	13.815603	2.749	3.106	6.784	1.997	1.932	1.899	1.946	1.248
19	13.806564	2.948	2.920	3.062	3.002	2.295	1.383	1.942	1.375
20	13.797526	2.769	2.829	2.679	4.569	3.075	2.696	2.082	1.934
21	13.788487	2.674	2.704	2.192	2.021	2.432	2.471	1.625	1.336
22	13.779449	2.397	2.356	1.900	1.690	2.196	2.409	1.789	1.125
23	13.770411	2.546	2.722	1.871	2.190	2.416	1.284	1.190	0.960
24	13.761372	2.647	2.947	3.256	1.938	2.112	1.900	1.638	1.057
25	13.752334	2.478	2.029	2.070	3.087	1.944	2.277	2.449	1.753
26	13.743295	2.065	2.566	2.079	2.223	1.404	1.345	1.164	1.168

รูปที่ 12 แบบจำลองความสูงระดับกริดค่าพิกัดภูมิศาสตร์

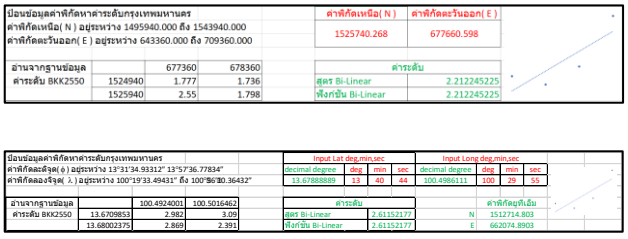
การอ่านค่าพิกัดทางราบและค่าระดับจากฐานข้อมูล โดยการเขียนเป็นโปรแกรมฟังก์ชั่น ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบจำลองความสูงระดับกริดค่าพิกัดภูมิศาสตร์

4.2 ผลการประมาณค่าระดับโดยสมการเส้นตรง(Bi-Linear Interpolate)

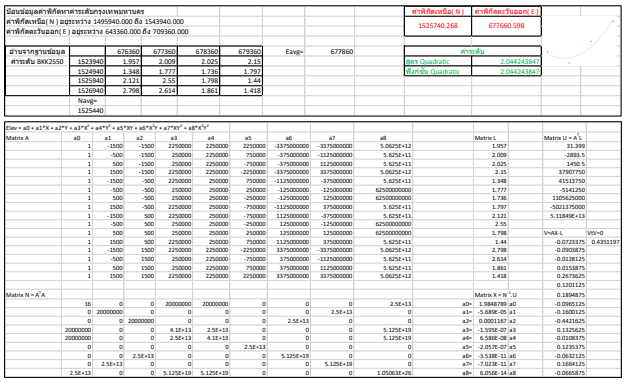
จากการคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซล และการเขียนโปรแกรมฟังก์ชั่นแบบค่าพิกัดยูทีเอ็ม และค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ได้ค่าระดับ ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 การคำนวณหาค่าระดับด้วยสมการเส้นตรง
ค่าพิกัดยูทีเอ็ม(รูปบน) และ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์(รูปล่าง)

4.3 ผลการประมาณค่าระดับโดยสมการเส้นโค้งกำลังสอง (Bi-Quadratic Interpolate)

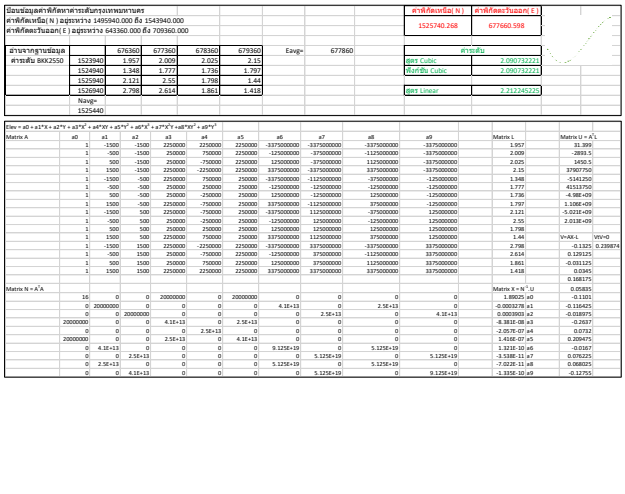
จากการคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซล และการเขียนโปรแกรมฟังก์ชั่นแบบค่าพิกัดยูทีเอ็ม และค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ได้ค่าระดับ ดังรูปที่ 15

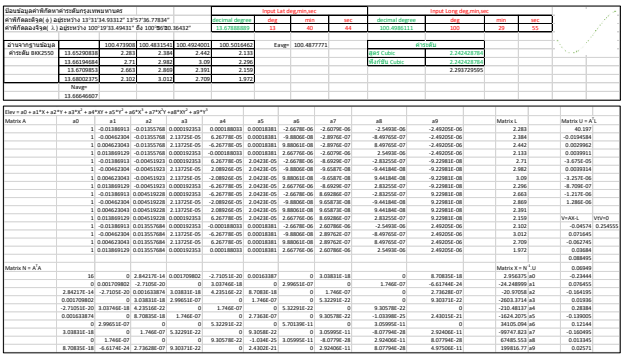


รูปที่ 15 การคำนวณหาค่าระดับด้วยสมการเส้นโค้งกำลังสอง ค่าพิกัดยูทีเอ็ม(รูปบน) และ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์(รูปล่าง)

4.4 ผลการประมาณค่าระดับโดยสมการเส้นโค้งกำลังสาม (Bi-Cubic Interpolate)

จากการคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซล และการเขียนโปรแกรมฟังก์ชั่นแบบค่าพิกัดยูทีเอ็ม และค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ได้ค่าระดับ ดังรูปที่ 16





รูปที่ 16 การคำนวณหาค่าระดับด้วยสมการเส้นโค้งกำลังสาม ค่าพิกัดยูทีเอ็ม(รูปบน) และ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์(รูปล่าง)

4.5 แบบจำลองการทดสอบการหาค่าระดับ

จากการคำนวณบนตารางเอ็กซ์เซล และการเขียนโปรแกรมเป็นฟังก์ชันในการหาค่าระดับด้วยการกำหนดค่าพิกัดทางราบ พิกัดยูทีเอ็มและพิกัดภูมิศาสตร์ โดยใช้พื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครเป็นจุดทดลองในการหาค่าระดับ จุดทดสอบที่ใช้เป็นจุดศูนย์กลางของแต่ละเขตในพื้นที่กรุงเทพมหานคร สมการที่ใช้เป็นสมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 17

เขตในกรุงเทพมหานคร	N	E	Latitude	Longitude	ค่าระดับ
เขตบางพลัด Bang Phlat	1524710.161	661550.481	13.78734542582440	100.4944501618930	2.536
เขตห้วยขวาง Huai Khwang	1522577.516	671149.371	13.76751363854940	100.5830931681490	1.646
เขตวังทองหลาง Wang Thong Lang	1523819.036	674008.016	13.77856384886670	100.6096044654830	1.665
เขตทวีวัฒนา Thawi Watthana	1523271.327	647770.482	13.77508043379550	100.3669271988000	3.106
เขตลาดกระบัง Lat Krabang	1520134.628	693895.895	13.74399349226690	100.7932565123050	3.304
เขตดินแดง Din Daeng	1523399.581	668999.971	13.77507108293140	100.5632663638390	1.223
เขตตลิ่งชัน Taling Chan	1522939.151	655149.841	13.77168932532470	100.4351556438710	2.993
เขตดุสิต Dusit	1523923.738	664125.980	13.78009107984230	100.5182234442300	1.679
เขตสะพานสูง Saphan Sung	1522117.351	682878.234	13.76263343742850	100.6915201924590	2.345
เขตพญาไท Phaya Thai	1524140.761	667015.448	13.78188638146790	100.5449581164830	2.077
เขตบางกอกน้อย Bangkok Noi	1521980.678	659106.860	13.76280948126510	100.4716959274060	3.309
เขตราชเทวี Ratchathewi	1521412.248	666340.091	13.75726280264310	100.5385510825360	1.582
เขตพระนคร Phra Nakhon	1521176.977	661957.685	13.75538586115570	100.4980127411130	2.588
เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย Pom Prap Sattru Phai	1520683.872	663392.813	13.75084765682200	100.5112549694860	2.021
เขตปทุมวัน Parthum Wan	1519449.159	666032.488	13.73953634949090	100.5355910014570	1.468
เขตบางแค Bang Khae	1516783.287	650839.788	13.71627259330180	100.3949662237330	2.593
เขตสวนหลวง Suanluang	1518034.467	676044.744	13.72615605465220	100.6280777500590	1.313
เขตวัฒนา Vadhana	1518620.564	671291.805	13.73173944676850	100.5841697702660	1.368
เขตบางกอกใหญ่ Bangkok Yai	1518922.352	659614.201	13.73513669938680	100.4762143708390	2.115
เขตภาษีเจริญ Phasi Charoen	1517603.906	655858.876	13.72342410907650	100.4414177921650	2.445
เขตสัมพันธวงศ์ Samphanthawong	1519324.215	663125.138	13.73857283444320	100.5087011174300	2.093
เขตคลองเตย Khlong Toei	1516912.778	669991.539	13.71638001376390	100.5720448388720	1.451
เขตธนบุรี Thon buri	1516732.843	660565.279	13.71529265040490	100.4848839474950	2.743
เขตคลองสาน Khlong San	1517574.215	662452.570	13.72279241301180	100.5023814977050	1.926
เขตประเวศ Pra Wet	1515063.800	681347.017	13.69897815763460	100.6769083927370	1.912
เขตบางรัก Bang Rak	1518057.279	664814.475	13.72702502228140	100.5242474506330	1.475
เขตหนองแขม Nong Khaem	1514479.251	646550.028	13.69566559405070	100.3551830887260	1.715
เขตสาทร Sathon	1516628.643	665550.954	13.71406951599510	100.5309731472330	1.497
เขตยานนาวา Yan na wa	1514034.052	666464.429	13.69056471726280	100.5392658875800	2.296
เขตจอมทอง Chom Thong	1513516.083	658206.770	13.68634561077730	100.4628979799800	2.736
เขตบางคอแหลม Bang Kho laen	1514699.503	663216.013	13.69676469671840	100.5092742067650	2.151
เขตพระโขนง Phra Khanong	1514301.290	674521.245	13.69250581846100	100.6137618142280	1.303
เขตราษฎร์บูรณะ Rat Burana	1512121.200	662178.522	13.67351744434010	100.4995351368040	3.006
เขตบางบอน Bang Bon	1510086.043	650336.160	13.65575875676450	100.3899541486310	2.481
เขตบางนา Bang Na	1511560.462	675045.967	13.66770088448350	100.6184431343630	1.964
เขตบางขุนเทียน Bang Khun thain	1503134.986	654468.068	13.59270813573960	100.4277707712090	2.362
เขตดอนเมือง Don Mueang	1540034.170	672171.899	13.92523629354480	100.5936235382620	2.479
เขตหนองจอก Nong Chok	1532383.178	700754.619	13.85421891660830	100.8575425441960	2.488
เขตสายไหม Sai Mai	1537969.901	678602.611	13.90618244417870	100.6529964042510	3.451
เขตคลองสามวา Khlong Sam Wa	1534797.996	687942.507	13.87691435747050	100.7391971927450	2.196
เขตลัดลี่ Lak Si	1534993.160	669447.207	13.87983589146820	100.5681037106140	2.274
เขตบางเขน Bang Khen	1533595.828	676206.016	13.86679706028620	100.6305454444230	1.845
เขตจตุจักร Chatu Chak	1529092.691	669165.548	13.82651995929070	100.5651407219300	1.256
เขตคันนายาว Khan Na Yao	1528573.023	681312.584	13.82108042953540	100.6774599845740	2.453
เขตมีนบุรี Min Buri	1527322.615	689689.952	13.80923746791310	100.7548555568870	2.827
เขตลาดพร้าว Lat Phrao	1528894.378	673851.169	13.82444711808330	100.6084684182420	1.750
เขตบางมื่อ Bang Sue	1528347.412	665203.985	13.82001454886760	100.5284532522670	1.984
เขตบึงกุ่ม Bueng Kum	1527184.316	678488.523	13.80870598361000	100.6512517932030	1.860
เขตบางกะปิ Bang Kapi	1522819.364	677313.126	13.76932654605000	100.6401054947750	2.291
เขตทุ่งครุ Thung khru	1507127.365	661835.746	13.62839656169360	100.4960819825670	2.377

รูปที่ 17 การคำนวณหาค่าระดับด้วยสมการเส้นโค้งกำลังสาม ค่าพิกัดยูทีเอ็ม(รูปบน) และ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์(รูปล่าง)

4.6 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

จากข้อมูลการหาค่าระดับ โดยใช้จุดศูนย์กลางของแต่ละเขตในกรุงเทพมหานคร เป็นจุดทดสอบการหาค่าระดับ โดยการป้อนข้อมูลค่าพิกัดทางราบ พิกัดยูทีเอ็มหรือพิกัดภูมิศาสตร์ ลงบนตารางเอ็กซ์เซล ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหาค่าระดับด้วยพิกัดยูทีเอ็ม

UTM				
Bi-Linear	Mean	0.032		
	SD	0.185	1.734	RSS
	Max	0.750	15.118	SST
	Min	-0.443	0.885	R^2
	RMSEz	0.186	88.531	%
	1.96*RMSEz	0.365		
Bi-Quadratic	Mean	0.047		
	SD	0.294	4.336	RSS
	Max	0.757	16.466	SST
	Min	-0.812	0.737	R^2
	RMSEz	0.294	73.669	%
	1.96*RMSEz	0.577		
Bi-Cubic	Mean	0.031		
	SD	0.272	3.677	RSS
	Max	1.153	15.722	SST
	Min	-0.520	0.766	R^2
	RMSEz	0.271	76.612	%
	1.96*RMSEz	0.532		

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหาค่าระดับด้วยพิกัดภูมิศาสตร์

GEO				
Bi-Linear	Mean	0.028		
	SD	0.196	1.919	RSS
	Max	0.795	18.384	SST
	Min	-0.490	0.896	R^2
	RMSEz	0.196	89.562	%
	1.96*RMSEz	0.384		
Bi-Quadratic	Mean	0.070		
	SD	0.449	10.111	RSS
	Max	1.104	19.106	SST
	Min	-0.684	0.471	R^2
	RMSEz	0.450	47.081	%
	1.96*RMSEz	0.881		
Bi-Cubic	Mean	0.099		
	SD	0.505	12.975	RSS
	Max	1.387	22.769	SST
	Min	-0.990	0.430	R^2
	RMSEz	0.509	43.016	%
	1.96*RMSEz	0.998		

4.7 การอภิปลายผล

จากตารางการวิเคราห์ข้อมูลผลลัพธ์จากการทดสอบหาค่าระดับ ด้วยค่าพิกัดทางราบพิกัดยูทีเอ็ม หรือพิกัดภูมิศาสตร์ ได้ดังตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดยูทีเอ็ม และตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหาค่าระดับด้วยพิกัดภูมิศาสตร์ โดยใช้สมการประมาณค่าสามวิธีคือ สมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสามการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) ได้ค่า

ค่าเฉลี่ย(Mean) เป็นค่าเฉลี่ยจากการหาค่าระดับด้วยพิกัดยูทีเอ็มหรือพิกัดภูมิศาสตร์

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) เป็นค่าต่างจากค่าเฉลี่ย

ค่าสูงสุด(Max) เป็นค่าต่างสูงสุดที่คำนวณได้

ค่าต่ำสุด(Min) เป็นค่าต่างต่ำสุดที่คำนวณได้

ค่า(Root Mean Square Error Elevation : RMSEz) เป็นค่าที่คลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยจากค่าจริงไปเท่าไหร่และควรมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อยที่สุด

ค่า(1.96*RMSEz) เป็นค่าการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนที่ 95 เปอร์เซนต์

ค่า(Regression sum of squares : RSS) เป็นค่าผลรวมของระยะห่างยกกำลังสองระหว่างค่าระดับที่คาดการณ์กับค่าเฉลี่ยของค่าระดับ

$$RSS = \sum_{i=1}^{n} (\hat{Li} - \bar{L})^2$$

ค่า(Total sum of squares : SST) เป็นค่าผลรวมของความแตกต่างยกกำลังสองระหว่างค่าระดับจริงกับค่าเฉลี่ยของค่าระดับ

$$SST = \sum_{i=1}^{n} (Li - \bar{L})^2$$

ค่า(The coefficient of determination : R^2) เป็นค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

$$R^2 = \frac{RSS}{SST}$$

จากตารางการวิเคราห์ข้อมูลผลลัพธ์จากการทดสอบหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดทางราบ พิกัดยูทีเอ็ม หรือพิกัดภูมิศาสตร์ อภิปรายผลได้

4.7.1 ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการใช้ค่าพิกัดยูทีเอ็มและค่าพิกัดภูมิศาสตร์ในการหาค่าระดับ การใช้ค่าพิกัดยูทีเอ็ม(UTM) ให้ค่าระดับได้ถูกต้องมากกว่าการใช้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์(GEO)

4.7.2 ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสมการในการหาค่าระดับ การใช้สมการเส้นตรง(Bi-Linear) ให้ความละเอียดถูกต้องได้มากกว่าสมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic)

4.7.3 ถ้าเปรียบเทียบการใช้สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) ให้ค่าความละเอียดถูกต้อง ใกล้เคียงกับ การใช้สมการสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) ในการหาค่าระดับ โดยใช้ค่าพิกัดยูทีเอ็มและค่าพิกัดภูมิศาสตร์

5. สรุปผล

5.1 สรุปผล

การหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็ม เป็นการหาค่าระดับบนแบบจำลองหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรุงเทพมหานคร(2550) จัดทำโดยสำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมด 879 หมุด ซึ่งหมุดหลักฐานทางดิ่งใช้วิธีการเดินระดับและตำแหน่งทางราบใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งและตำแหน่งทางราบนำมาสร้างเป็นแบบจำลองค่าระดับความสูงแบบกริด ซึ่งมีจำนวนกริด 49 แถว คูณ 67 หลัก ขนาดของกริด 1000x1000 เมตร ขอบเขตของค่าพิกัดยูทีเอ็ม กรุงเทพมหานคร มุมซ้ายล่าง(N1495940.000,E643360.000) มุมขวาบน (N1543940.000,E709360.000) ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ กรุงเทพมหานคร มุมซ้ายล่าง($13^{\circ}31'34.93312''$,$100^{\circ}21'46.656996''$) และมุมขวาบน ($13^{\circ}57'36.778341''$,$100^{\circ}56'10.364321''$) สมการที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด ระหว่างค่าพิกัดภูมิศาสตร์ กับ ค่าพิกัดยูทีเอ็ม ใช้สมการของ NGS (Nation Geodetic Survey) หรือ Kruger หรือ Snyder หรือ Redfearn สมการที่ใช้ในการหาค่าระดับ ใช้สมการเส้นตรง(Bi-Linear) สมการเส้นโค้งกำลังสอง(Bi-Quadratic) และสมการเส้นโค้งกำลังสาม(Bi-Cubic) โปรแกรมในการประมวลผลใช้ โปรแกรมออโต้แคดซีวิทีดี(AutoCAD Civil 3D) และไมโครซอฟต์เอกซ์เซล(Microsoft Excel) บนชีต และสร้างโปรแกรมฟังก์ชันด้วยวิชวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชันส์ จุดทดสอบในการหาค่าระดับด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดยูทีเอ็มใช้จุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละเขตในกรุงเทพมหานคร เมื่อใช้ค่าค่าพิกัดยูทีเอ็มหรือใช้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์หาค่าระดับ สมการเส้นตรง(Bi-Linear) ได้ความละเอียดถูกต้องเฉลี่ย 0.030±0.191 ม. สมการเส้นตรง(Bi-Quadratic) ได้ความละเอียดถูกต้องเฉลี่ย 0.059±0.372 ม. สมการเส้นตรง(Bi-Cubic) ได้ความละเอียดถูกต้องเฉลี่ย 0.065±0.392 ม.

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การสร้างแบบจำลองความสูงระดับ ที่มีความละเอียดกริดมากขึ้น อาจทำให้การหาค่าระดับอาจมีความถูกต้องมากขึ้น เช่น สร้างแบบจำลองความสูงระดับที่มีกริดขนาด 500x500 เมตร หรือ 100x100 เมตร หรือ 50x50 เมตร และทำการคำนวณหาค่าระดับและเปรียบเทียบความละเอียดถูกต้องในแต่ละขนาดกริด

5.2.2 การสร้างแบบจำลองความสูงระดับ ที่มีความละเอียดกริดมากขึ้น อาจต้องใช้วิธีการเขียนโปรแกรมให้ช่วยในการกำหนดค่าพิกัดทางราบและค่าระดับ เนื่องจากพื้นที่มีขนาดใหญ่ และช่วยลดความผิดพลาดจากการกำหนดข้อมูล ทั้งพิกัดทางราบและค่าระดับ

5.2.3 การเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงระดับ ด้วยการใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก(GNSS)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงาน สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร ที่เผยแพร่ข้อมูลระดับความสูง ทั้งที่เป็นเอกสาร ไฟล์ข้อมูล และบนเว็บไซต์

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาวิศวกรรมสำรวจ เอื้อเฟื้อเครื่องมือ และสถานที่ในการทำงาน

ขอขอบคุณ เว็บไซต์สำหรับสืบค้น ค้นหาข้อมูล ทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ที่ได้อ้างอิงและไม่ได้อ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร (2550). หมุดหลักฐานทางดิ่งในบริเวณกรุงเทพมหานคร (พ.ศ.2550). กรุงเทพฯ : สำนักการโยธา.

[2] กนกศักดิ์ ซื่อธานุวงศ์ และ ก้องไกล สรโยธิน (2564). การเปรียบเทียบแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์กับพิกัดฉากยูทีเอ็ม. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26, รูปแบบออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, SGI-16.

[3] กนกศักดิ์ ซื่อธานุวงศ์ (2564). การประมาณค่าช่วงยีออยด์อันดูเรชั่น. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26, รูปแบบออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, SGI-17.

[4] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร. (2562). ShapeFile ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (แผนที่มาตราส่วน 1:20,000). สืบค้น 4 กุมภาพันธ์ 2566.

[5] Oduyebo O. F., M. N. Ono, Eteje S. O. (2020). Comparison of Three Gravimetric-Geometric Geoid Models for Best Local Geoid Model of Benin City, HAL Id: hal-02431529, Nigeria.

[6] Ulku KIRICI, Yasemin Sisman. (2016). The Geoid Determination using Polynomial and Multiquadratic Interpolation,https://www.researchgate.net/publication/344630536, Yasemin Sisman uploade