



การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง

ไพศาล สันติธรรมนนท์ ประจวบ เรียบร้อย
 ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์ ติณณภาพ มัชฌิมาภิโร

เสนอต่อ

คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมสำรวจ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

มิถุนายน 2567

1. ความเป็นมา

ปัจจุบันมีความต้องการนำเทคโนโลยีการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS มาประยุกต์ใช้ในงานสำรวจ ออกแบบ และกำหนดตำแหน่งในงานก่อสร้าง อย่างกว้างขวางและให้มีศักยภาพสามารถใช้งานได้อย่างเต็ม ประสิทธิภาพ เช่น การรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ได้มากกว่า 900 ช่องสัญญาณ, การรับวัดในโหมด RTK ที่มีความ สะดวกรวดเร็วในการปฏิบัติงานสนับสนุนงานก่อสร้าง, การรับวัดขณะที่เอียงโพลออกจากแนวตั้งได้มากถึง 30 องศา และความละเอียดถูกต้องการรับวัดโหมด RTK ละเอียดยกต้องดีกว่า 1 เซนติเมตร หากสถานีฐานและโรเวอร์ตั้งห่าง กันไม่เกิน 5 กิโลเมตร



Positioning Specifications

| | |
|--------------------------|--|
| Static and Fast Static | 2.5 mm + 0.5 ppm Horizontal 5 mm + 0.5 ppm Vertical |
| Long Observations Static | 3 mm + 0.1 ppm Horizontal 3.5 mm + 0.4 ppm Vertical |
| Real Time Kinematic | 8 mm + 1 ppm Horizontal 15 mm + 1 ppm Vertical |

แต่อย่างไรก็ตามผลการรับวัด GNSS สำหรับการใช้งานข้อมูลที่รับวัดได้มักจะอยู่ในรูปแบบพิกัดยูนิเวอร์แซลทรานส์เวอร์สเมอเรเตอร์ (Universal Transverse Mercator : UTM) ระบบพิกัดยูนิเวอร์แซลเป็นระบบพิกัดที่ใช้ งานสะดวกแต่พิกัดตำแหน่ง ระยะทางและพื้นที่จะแปลงค่าแก่สเกลแฟกเตอร์ด้วย ที่อาจมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9990 จนถึง 1.0010 ในการนำค่าพิกัดยูนิเวอร์แซลไปใช้ในการออกแบบและช่วยรับวัดหน้างานก่อสร้างจำเป็นต้องมีการหา ความสัมพันธ์กัน เช่น ระยะทางบนยูนิเวอร์แซลจะเท่ากับระยะทางจริงบนผิวโลกคูณด้วยค่าแก่สเกลแฟกเตอร์ ดังนั้นการ ใช้วิธีแก่สเกลแฟกเตอร์มีข้อจำกัดและอาจนำไปสู่การทำผิดได้ง่าย

การหาความสัมพันธ์ของระยะทางและพื้นที่จากระบบพิกัดกริดยูนิเวอร์แซลไปสู่ระยะทางและพื้นที่จริง ปรากฏ ในระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. 2547 ดังนี้ (สามารถอ่านระเบียบกรมที่ดินฉบับ สมบูรณ์ได้จากลิงก์ <https://www.dol.go.th/km2/Documents/9.pdf>)

“ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนระยะลงสู่ระดับน้ำทะเลปานกลาง” (Coefficient for Reduction to Mean Sea Level, C) หมายถึง ตัวคูณสำหรับทอนระยะที่วัดได้บนพื้นดิน เป็นระยะที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (พื้นที่ย่อย)

“ค่าตัวคูณมาตราส่วน” (Scale Factor, K) หมายถึง ตัวคูณสำหรับทอนระยะ ที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นระยะบนแผนที่

๒.๑.๑ ทอนระยะที่วัดได้บนพื้นดินเป็นระยะที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ การลดทอนระยะลงสู่ระดับน้ำทะเลปานกลาง

$$C = \frac{R}{(R + H)}$$

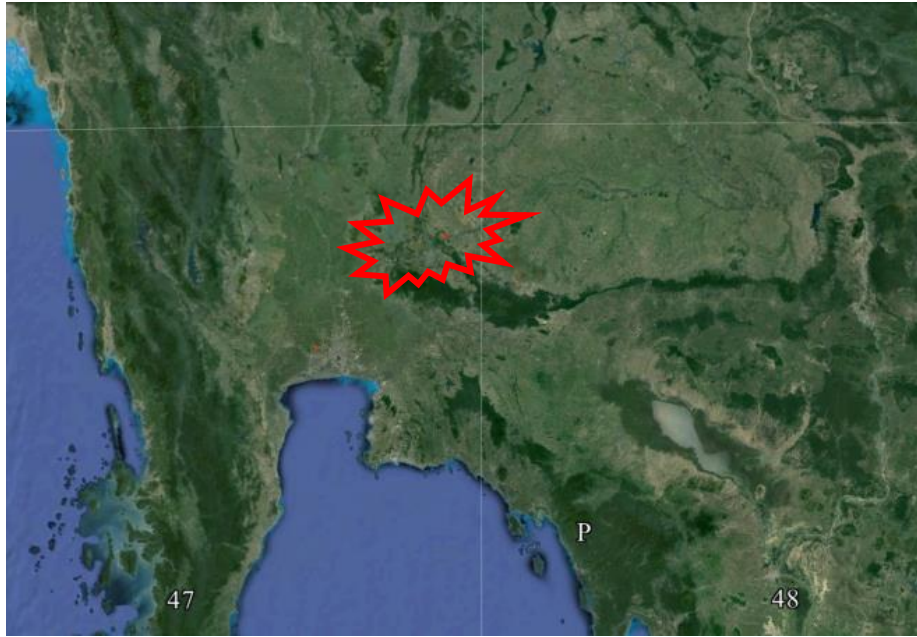
๒.๑.๒ ทอนระยะที่ระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นระยะบนแผนที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะที่ระดับน้ำทะเลปานกลางคูณด้วยค่าตัวคูณมาตราส่วน (Scale Factor)

๒.๖ การแปลงพื้นที่ในระบบพิกัดฉาก ยู ที เอ็ม ให้เป็นพื้นที่จริง คำนวณดังนี้
ค่าพื้นที่จริงเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่าพื้นที่ในระบบพิกัดฉาก ยู ที เอ็ม ต่อ
ค่ากำลังสองของผลคูณของค่าตัวคูณมาตราส่วน (K) และสัมประสิทธิ์การลดทอนระยะลงสู่ระดับ
น้ำทะเลปานกลาง (C)

$$\text{พื้นที่จริง} = \frac{\text{พื้นที่ในระบบพิกัดฉาก ยู ที เอ็ม}}{(K \times C)^2}$$

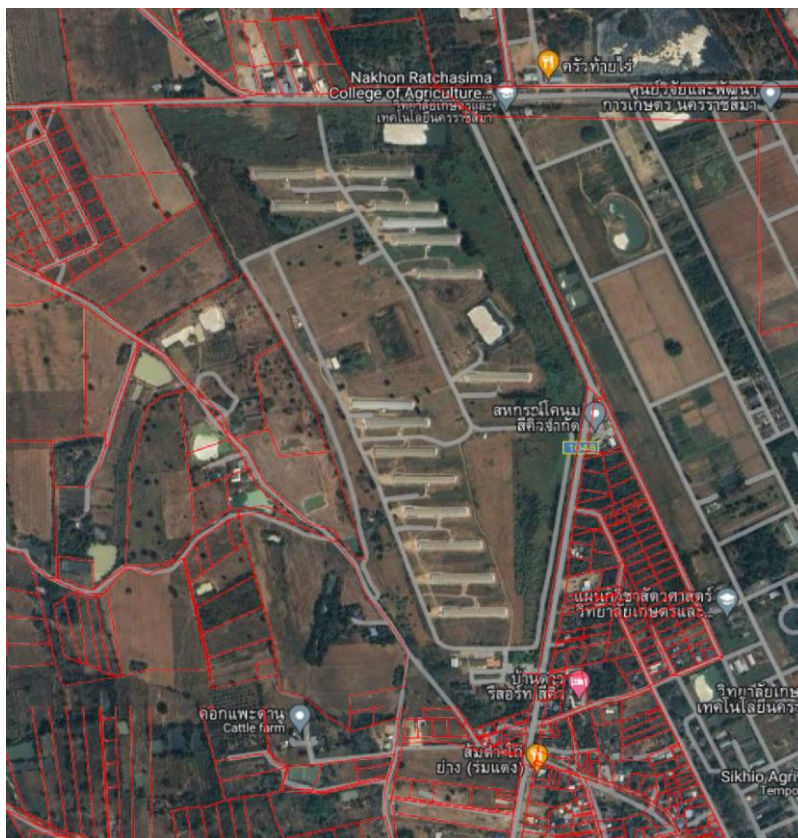
แนวทางที่เสนอในข้อเสนอแนะนี้คือ การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่น (Local Coordinate System) โดยใช้ระบบพิกัดการฉายชนิดคงรูป (Conformal mapping) ระบบพิกัดคงรูปที่รู้จักแพร่หลายที่สุดคือ ระบบพิกัดยูทีเอ็ม แต่ในมาตรฐานนี้ แนะนำ ระบบพิกัดการฉายชนิดคงรูป ชื่อว่า Transverse Mercator (TM) โดยมีการออกแบบให้เหมาะสมกับที่ตั้งโครงการและลักษณะภูมิประเทศ ทำให้สามารถจัดการคำนวณที่ยังยากออกไป และมีความสอดคล้องของการฉายแผนที่ ข้อเท็จจริงของตำแหน่ง ความยาว และพื้นที่ในสนาม ตลอดจนสนับสนุนการใช้ข้อมูลร่วมกับเครื่องมือทันสมัย เช่น CAD, GNSS-RTK และ Total Station ได้สะดวก การทำงานกระชับ และลดข้อผิดพลาด

เอกสารนี้ยกตัวอย่าง งานออกแบบก่อสร้าง พื้นที่ตั้งอยู่ในอำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่รอยต่อระหว่างโซนยูเอ็ม 47 และ 48 พื้นที่ตัวอย่างนี้ มีขนาดประมาณ 400 ไร่ หรือ 0.64 ตร.กม. มีเส้นรอบรูป 3.6 กิโลเมตร แสดงดังภาพ



2. ความสำคัญของการเลือกใช้ระบบพิกัด

สมมุติว่า จะนำ GNSS RTK ไปใช้ในการสำรวจออกแบบ และช่วยในงานก่อสร้าง เมื่อพิจารณาการเลือกใช้ระบบพิกัดยูทีเอ็มในพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่ ดังตัวอย่างสมมุติในที่นี้



| Index | Projection | area_m2 | peri_m | diff_m2 | diff_m | ArealSF | PoninSF |
|-------|------------|------------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|
| 0 | EPSG:4326 | 639,074.72 | 3,615.784 | nan | nan | nan | nan |
| 1 | EPSG:32647 | 639,837.27 | 3,617.941 | 762.55 | 2.157 | 639074.53 | 3,615.784 |
| 2 | EPSG:32648 | 640,634.76 | 3,620.195 | 1,560.04 | 4.411 | 639074.97 | 3,615.785 |

จากตารางจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ก่อสร้าง การคำนวณพื้นที่บนระบบพิกัดยูทีเอ็มโซน 47 (EPSG:32647) และ 48 (EPSG:32648) เทียบกับพื้นที่จริงบนพื้นผิวโลก (EPSG:4326) ได้ความต่าง 762.55 และ 1560.04 ตร.เมตร ตามลำดับ

สำหรับผลต่างทางระยะทาง การคำนวณระยะบนระบบพิกัดยูทีเอ็มโซน 47 (EPSG:32647) และ 48 (EPSG:32648) เทียบกับระยะจริงบนพื้นผิวโลก (EPSG:4326) ได้ความต่าง 2.157 และ 4.411 ตร.เมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาระยะทางสั้น ๆ เช่น ระยะห่างระหว่างหัวเข็มของฐานราก ขนาดของอาคารที่จะต้องกำหนดจุดก่อสร้าง ผังพื้นที่ในโครงการก่อสร้าง เป็นต้น หากทดสอบระยะทาง 10, 100 และ 1,000 เมตร สำหรับยูทีเอ็มในพื้นที่คาบเกี่ยวโซน 47 และ โซน 48 สรุปเป็นตาราง จากตารางระยะทางตัวอย่างสัก 100 เมตร หากคำนวณระยะทางจากพิกัดยูทีเอ็ม ในพื้นที่ดังกล่าวจะไปสู่ความผิดพลาด 60 และ 122 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง

| Index | UTM_Zone | dist_m | scale_factor | diff_m |
|-------|----------|--------|--------------|--------|
| 0 | 47N | 10 | 1.000597 | 0.006 |
| 1 | 48N | 10 | 1.001220 | 0.012 |
| 2 | 47N | 100 | 1.000597 | 0.060 |
| 3 | 48N | 100 | 1.001220 | 0.122 |
| 4 | 47N | 1000 | 1.000597 | 0.597 |
| 5 | 48N | 1000 | 1.001220 | 1.220 |

ในกรณีนี้ ตามมาตรฐานการก่อสร้างของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1106 ยอมให้เบี่ยงเบนสูงสุดจากศูนย์กลางตำแหน่งเสาเข็มทำได้ไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เท่านั้น

5.5. ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

5.5.1 หากไม่ได้มีการระบุในแบบรายละเอียด ตำแหน่งเสาเข็มแต่ละต้นที่ระดับตัดหัวเสาเข็มจะยอมให้มีค่าเบี่ยงเบนสูงสุดจากศูนย์กลางที่กำหนดไว้ในแบบรายละเอียดได้ไม่เกินกว่า 50 มิลลิเมตรสำหรับฐานรากที่ใช้เข็มหนึ่งต้นและสองต้น และไม่เกินกว่า 75 มิลลิเมตรสำหรับฐานรากที่ใช้เข็มตั้งแต่สามต้นขึ้นไป แต่ทั้งนี้ค่าเบี่ยงเบนของกลุ่มเสาเข็มในฐานรากจะต้องไม่เกินกว่า 50 มิลลิเมตร หากค่าเบี่ยงเบนมีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าวจะต้องมีวิศวกรตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของฐานรากและเสาเข็มที่เป็นผลจากการเบี่ยงเบนดังกล่าว และถ้าเสาเข็มมีขนาดเกินกว่า 600 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดให้เป็นดุลยพินิจของวิศวกรผู้คำนวณออกแบบ

3. แนวทางการใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นที่เหมาะสม

แนวทางการแก้ปัญหาข้างต้น เพื่อให้เกิดความง่ายและสะดวกสบายสำหรับการประยุกต์ใช้ค่าพิกัดอย่างเป็นระบบ อีกทั้งการคำนวณตำแหน่ง การวัดความยาว การคิดปริมาตรวัสดุ และการวางผังต่าง ๆ ในพื้นที่การก่อสร้าง ด้วยการใช้อุปกรณ์ GNSS-RTK ควรจะเป็น “สเกลจริง” สามารถรังวัด ด้วยเทปวัดหรือเลเซอร์วัดระยะทางเป็นระบบเดียวกันได้ไม่ยุ่งยาก

วิธีการหนึ่งที่เป็นมาตรฐานคือ การสร้างระบบพิกัดท้องถิ่น (Local Coordinate System) ระบบพิกัดท้องถิ่นนี้มีความสัมพันธ์กับระบบพิกัดยูทีเอ็ม และมีการคำนึงถึงความละเอียดถูกต้อง เรียกว่า การฉายแผนที่ความคลาดเคลื่อนต่ำ (Low Distortion Projection : LDP) โดยระบบพิกัด LDP มีค่านิยามและคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ระนาบของการฉายแผนที่อยู่ในระนาบเฉลี่ยเดียวกันกับพื้นที่ก่อสร้าง
2. ระบบพิกัดฉากหน่วยเป็นเมตร มีจุดศูนย์กำเนิด (Central Meridian : CM) ในพื้นที่ก่อสร้างหรือพื้นที่ใกล้เคียง
3. พิกัดระยะตะวันออก และ ระยะเหนือ ลดทอน (False Easting/Northing) ให้มีตัวเลขน้อย ๆ เช่น 3-4 หลัก ตามขอบเขตพื้นที่โครงการ
4. ในการนำระบบพิกัดท้องถิ่นไปใช้ในการออกแบบ เขียนแบบทางวิศวกรรม เช่น AutoCAD ทุกอย่างเป็นสเกลจริงทั้งหมด มีความสะดวกและความถูกต้องสำหรับการวางผังในพื้นที่ ขนาดชิ้นงานก่อสร้าง และนำไปผลิตชิ้นส่วนก่อสร้างต่าง ๆ ในโรงงาน

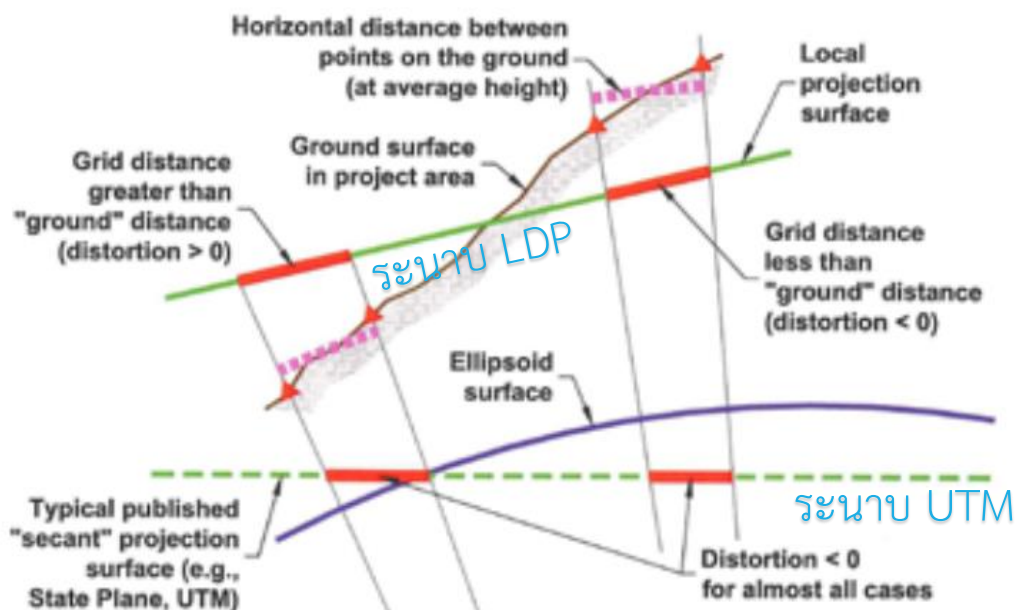
ตัวอย่าง พิกัดระยะตะวันออก และ ระยะเหนือ เทียบกับระบบพิกัดยูทีเอ็ม

| | LDP_E | LDP_N | LDP_Elev | UTM_E | UTM_N | UTM_Elev |
|--------|----------|----------|----------|------------|-------------|----------|
| :----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| PILE-1 | 2500.000 | 5200.000 | 123.000 | 717328.287 | 1605516.734 | 123.000 |
| PILE-2 | 2600.000 | 6000.000 | 456.000 | 717421.239 | 1606317.733 | 456.000 |

4. การออกแบบระบบพิกัดท้องถิ่น LDP

การออกแบบระบบพิกัดท้องถิ่นชนิด LDP วิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การออกแบบการฉายแผนที่ชนิด ทรานส์เวอร์สเมอร์เคเตอร์ (Transverse Mercator : TM) ให้ระนาบการฉายแผนที่ทับผ่านพื้นที่โครงการก่อสร้างให้มากที่สุด ทำการย้ายศูนย์กลางการฉายแผนที่ (Central Meridian : CM) ให้มาอยู่ในโครงการหรือใกล้ ๆ โครงการ ผลที่ได้จะปรากฏในค่า Combined Scale Factor โดยในพื้นที่จะมีขนาดไม่เกิน 20 ppm หรือ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20 มิลลิเมตรในระยะทาง 1 กิโลเมตร จากนั้นจะนำผลที่คำนวณได้ไปนิยามการฉายแผนที่ TM ที่ผู้ใช้สามารถรังวัดบนพื้นผิวภูมิประเทศได้ด้วย GNSS-RTK อย่างสะดวกรวดเร็ว จากนั้นสามารถแปลงค่าพิกัด UTM ที่ได้ไปสู่ระบบพิกัดท้องถิ่น LDP ได้อย่างแม่นยำ ขณะเดียวกันการออกแบบบน AutoCAD สามารถอ่านพิกัดท้องถิ่นและแปลงไปสู่ UTM นำเข้าระบบรังวัด GNSS-RTK นำไปออกสนามทำการ setting-out ต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง

การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง



การออกแบบ LDP ทำได้โดยใช้โปรแกรม constr_LDP (https://github.com/phisan-chula/2021-LDP_Design/blob/main/LDP_Mini.ipynb) ที่อ่านข้อมูลนำเข้าจาก TOML ไฟล์

ตัวอย่าง COOP.toml

```
GEOID = '/usr/share/GeographicLib/geoids/tgm2017-1.pgm'

PROJECT = "Sikew, Korat"
CENTR_MERID = [ 101, 38 ] # longitude in degree and minute ! for central meridian
FALSE_EN = 'AUTO' # make coordinate look nice , compact and easier to handle
#FALSE_EN = [ 1500, -1_640_000 ] # make coordinate look nice , compact and easier to handle

[TEST_POINT]
POS_LATLNG = [ 14.881939, 101.637929 ] # centroid of the constuction site
MSL = 260 # meter
BUFFER = [ 1_000, 20 ] # meter, quadrangle area, make upper/mid/lower planes

[UTM_LDP]
PROJ='EPSG:32647'
RTK1=[ 783582.86, 1647318.61, 123.0 ]
RTK2=[ 783622.71, 1647262.97, 456.0 ]

[LDP_UTM]
PROJ='EPSG:32647'
BLDG-1=[ 5200.000, 5300.000, 260.0 ]
BLDG-2=[ 5225.000, 5300.000, 260.0 ]
BLDG-3=[ 5225.000, 5400.000, 260.0 ]
BLDG-4=[ 5200.000, 5400.000, 260.0 ]
```

เมื่อทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์จนกระทั่งค่า CSF_ppm มีค่าน้อยกระจายตัวในช่วง +/-20 ppm ดังที่แสดงในตัวอย่าง ค่า CSF_ppm มีค่าในระหว่าง -3.6 ถึง +2.7 ppm เท่านั้น

การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง

| | Point | lng | lat | MSL | CSF_ppm | LDP_E | LDP_N |
|----|-------|------------|-----------|-----|---------|-----------|-----------|
| 0 | P0 | 101.637929 | 14.881939 | 280 | -3.6 | 5,494.554 | 4,985.620 |
| 1 | P1 | 101.646938 | 14.890948 | 280 | -3.5 | 6,463.981 | 5,982.520 |
| 2 | P2 | 101.646938 | 14.872930 | 280 | -3.6 | 6,464.103 | 3,988.799 |
| 3 | P3 | 101.628920 | 14.872930 | 280 | -3.6 | 4,525.047 | 3,988.759 |
| 4 | P4 | 101.628920 | 14.890948 | 280 | -3.6 | 4,525.086 | 5,982.480 |
| 5 | P0 | 101.637929 | 14.881939 | 260 | -0.4 | 5,494.554 | 4,985.620 |
| 6 | P1 | 101.646938 | 14.890948 | 260 | -0.4 | 6,463.981 | 5,982.520 |
| 7 | P2 | 101.646938 | 14.872930 | 260 | -0.4 | 6,464.103 | 3,988.799 |
| 8 | P3 | 101.628920 | 14.872930 | 260 | -0.4 | 4,525.047 | 3,988.759 |
| 9 | P4 | 101.628920 | 14.890948 | 260 | -0.4 | 4,525.086 | 5,982.480 |
| 10 | P0 | 101.637929 | 14.881939 | 240 | 2.7 | 5,494.554 | 4,985.620 |
| 11 | P1 | 101.646938 | 14.890948 | 240 | 2.7 | 6,463.981 | 5,982.520 |
| 12 | P2 | 101.646938 | 14.872930 | 240 | 2.7 | 6,464.103 | 3,988.799 |
| 13 | P3 | 101.628920 | 14.872930 | 240 | 2.7 | 4,525.047 | 3,988.759 |
| 14 | P4 | 101.628920 | 14.890948 | 240 | 2.7 | 4,525.086 | 5,982.480 |

เมื่อพิจารณาเสกสแฟกเตอร์ร่วมกระจายอยู่ในช่วง -3.6 ถึง +2.7 ppm ถือว่าน้อยไม่มีนัยสำคัญ ปกติเกณฑ์ที่นิยมคือ 20 ppm ดังนั้นนิยามของการฉาย LDP ที่เหมาะสมกับพื้นที่นี้ คือ

```
+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=101°38' +k_0=1.000036 +x_0=5000 +y_0=-1641000
+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs
```

ค่าพิกัดบนระบบพิกัด UTM Zone47/48 แปลงไปสู่ค่าพิกัดบนระบบพิกัดท้องถิ่น LDP เพื่อนำไปลงพิกัดในการออกแบบเพิ่มเติมได้สะดวก ตัวอย่างตัวเลขพิกัดท้องถิ่นปรากฏในคอลัมน์ LDP_E, LDP_N

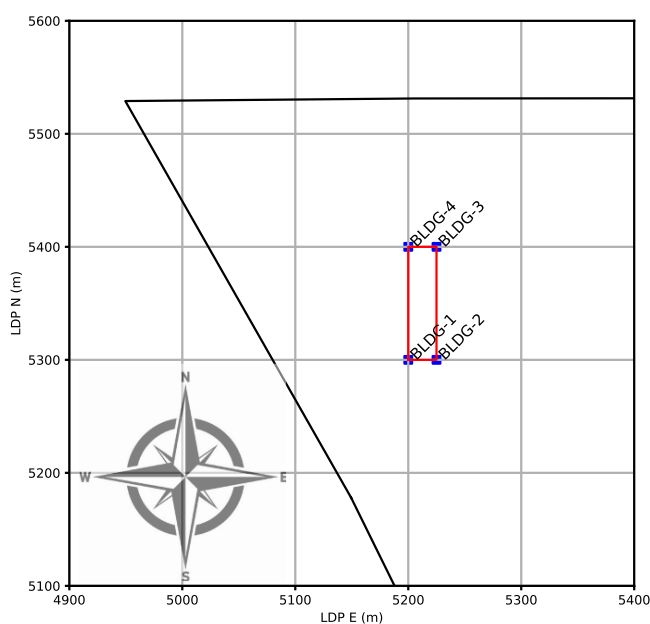
| | UTM_E | UTM_N | UTM_Elev | LDP_E | LDP_N | LDP_Elev |
|------|-------------|---------------|----------|-----------|-----------|----------|
| RTK1 | 783,582.860 | 1,647,318.610 | 123.000 | 5,242.245 | 5,360.042 | 123.000 |
| RTK2 | 783,622.710 | 1,647,262.970 | 456.000 | 5,281.413 | 5,303.967 | 456.000 |

เมื่อมีการเขียนแบบและการออกแบบด้วยสเกล 1.00000 นำค่าพิกัดจากผลการออกแบบ นำไปแปลงกลับเป็นค่าพิกัดบนระบบพิกัด UTM Zone47/48 นำไปรังวัดในสนามจะได้ตัวเลขที่กระชับ อ่านง่าย คีย์เข้าโปรแกรมประยุกต์ หรือ อุปกรณ์สำรวจ เช่น กล้องประมวลผลรวม (Total Station), เครื่องรับสัญญาณ GNSS ได้สะดวก ตัวเลขพิกัดนำไปใช้ อาจเป็น LDP ในคอลัมน์ LDP_E, LDP_N หรือ ในระบบพิกัด UTM ในคอลัมน์ UTM_E, UTM_N ทั้งนี้จะต้องทำการ setting ในอุปกรณ์ GNSS ให้สอดคล้อง ดังเลขพิกัดตัวอย่างเช่น

| | LDP_E | LDP_N | LDP_Elev | UTM_E | UTM_N | UTM_Elev |
|--------|-----------|-----------|----------|-------------|---------------|----------|
| BLDG-1 | 5,200.000 | 5,300.000 | 260.000 | 783,541.304 | 1,647,258.039 | 260.000 |
| BLDG-2 | 5,225.000 | 5,300.000 | 260.000 | 783,566.316 | 1,647,258.335 | 260.000 |
| BLDG-3 | 5,225.000 | 5,400.000 | 260.000 | 783,565.134 | 1,647,358.384 | 260.000 |
| BLDG-4 | 5,200.000 | 5,400.000 | 260.000 | 783,540.122 | 1,647,358.088 | 260.000 |

5. การใช้ระบบพิกัด LDP กับการรังวัดด้วย GNSS-RTK

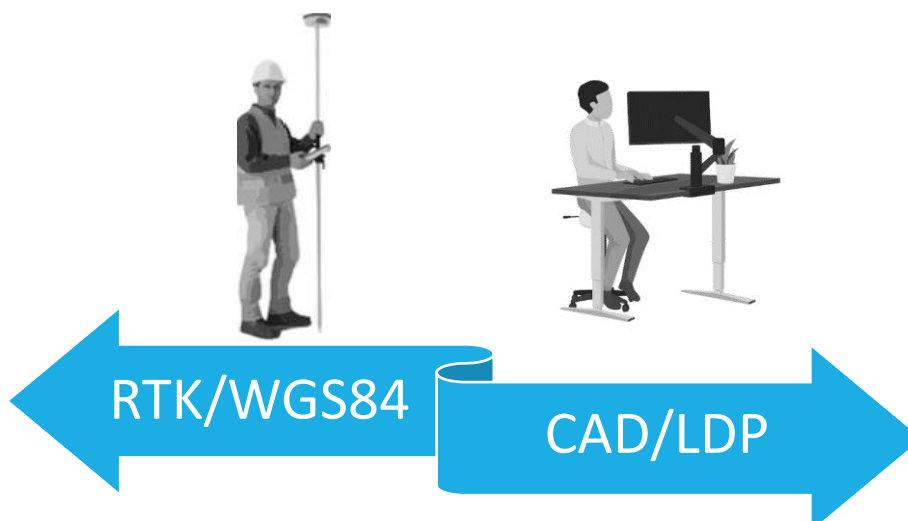
ในการรังวัดด้วย GNSS-RTK เมื่อได้พิกัดมาแล้ว สามารถคำนวณเป็นระบบพิกัดท้องถิ่น นำเข้าข้อมูลเพิ่มเติมจากข้อมูลการรังวัดที่รังวัดมาก่อนหน้านี้ได้ ในระบบ CAD ดังตัวอย่างในพื้นที่ก่อสร้างตัวอย่างนี้ สมมุติมีการออกแบบอาคาร ใหวางตัวตามยาว ในทิศทางเหนือ-ใต้ หากพิจารณาการวางตัวของศูนย์กลางเมอริเดียนที่มีการวางตัวอยู่ไกลมาก ทำให้ค่าแอมพลิจูดเดคัส หรือ ทิศเหนือจริง ของอาคารหลังนี้ เบี่ยงเบนออก 02.09" (arc-second) ซึ่งถือว่าน้อยมาก ไม่มีนัยสำคัญใด ๆ



ความสำคัญของทิศทางในงานก่อสร้างอาคารในประเทศไทย เช่น การคำนึงการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนหลังคา และมีการวางตัวให้สามารถรับแสงอาทิตย์ที่อ่อนไปทางทิศใต้ ทำให้แผงโซล่าเซลล์บนหลังคาได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งปี

ในทางกลับกันเมื่อมีการออกแบบในระบบ CAD สามารถแปลงไปสู่ระบบพิกัด LDP แล้วป้อนเข้าระบบ GNSS-RTK ซึ่งมักจะเป็นระบบพิกัด Geodetic coordinate system ที่มีรูปทรงรีอ้างอิง WGS-84 สำหรับนำไปใช้รังวัดในสนามได้โดยตรง

การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง



ค่าพิกัดท้องถิ่น LDP สามารถนำเข้าซอฟต์แวร์แปลงค่าพิกัด ที่อาจอยู่ในรูปแบบอุปกรณ์ควบคุม GNSS Controller และซอฟต์แวร์แผนที่และซอฟต์แวร์ภูมิสารสนเทศทั่วไป ดังตัวอย่างจากหน้าจอควบคุม SinoGNSS T300 และซอฟต์แวร์ SurveyStar Quick TM (ประจวบ, 2564) เป็นต้น

← Ellipsoid

Ellipsoid: WGS 84

a: 6378137.000

1/f: 298.257223563000

Azimuth System: North

Positive Directi...: N, E

← Projection

Projection: TM

Origin lat: 00°00'00.00000"

Central meridian: 100°37'

False Easting: 50,000

False Northing: 1,470,000

Scale: 0.999996

Project height: 0.000

SurveyStar Quick TM

N: Northing 1000000

E: Easting 500000

P: proj4 string +proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100.0 +k_0=

Central Meridian (CM): 100°0' K0: 1.0

Latitude of origin: 0°0'

E: False Easting (FE) 500000 N: False Northing (FN) 0

Angular format: dd.dddddd°

↓ Transform

Datum - destination: WGS84 - UTM Zone 47N

N: Northing

E: Easting

Latitude

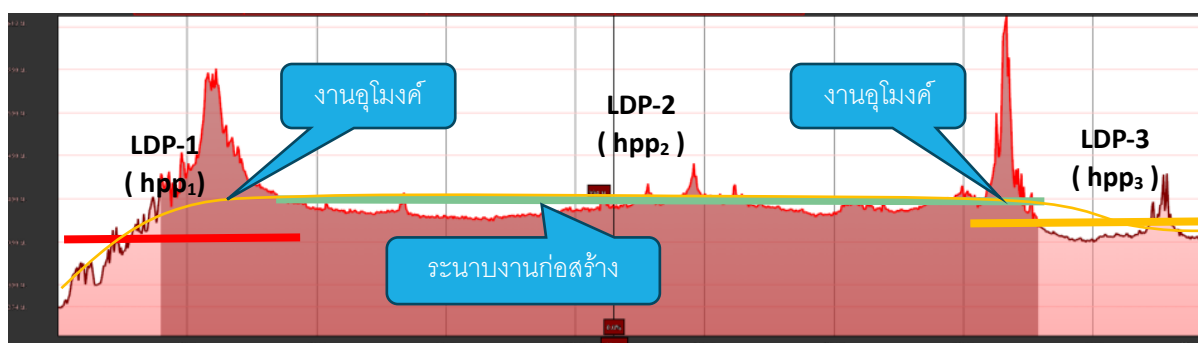
ในกรณีที่ซอฟต์แวร์ไม่รองรับนำเข้า k_0 ให้นำเข้าพารามิเตอร์ Project Plane ในรูปแบบ ellipsoidal height (h_{pp}) ดังตัวอย่างในซอฟต์แวร์ข้างต้น “Projection height”

6. การออกแบบระบบพิกัด LDP บนพื้นที่โครงการขนาดใหญ่

สำหรับ การออกแบบระบบพิกัด LDP บนพื้นที่โครงการขนาดใหญ่ หรือโครงการเป็นงานยาวตามแนวเส้นทาง อีกทั้งภูมิประเทศมีความสูงต่ำแตกต่างกันมาก ทำให้ความพยายามในการกำหนดพารามิเตอร์ของการฉาย LDP แล้วทำให้สเกลแฟกเตอร์รวม CSF มีค่าไม่เกิน 20 ppm ไม่สามารถทำได้

ตัวอย่างข้างล่าง เป็นกรณีสมมุติ ในการสำรวจตามแนวเส้นทางยาวถึง 220 กิโลเมตรในภูมิประเทศภูเขา ในการออกแบบจะมีการเจาะอุโมงค์ลอด เพื่อให้ความลาดชันของเส้นทางไม่มากนัก จากการออกแบบในรอบแรกพบว่าค่า CSF ในส่วนต้นทางและปลายทางมีค่าเกิน 20 ppm ไปมาก

แนวทางแก้ไข คือ ให้แบ่งพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือ แนวเส้นทางที่ยาวมากให้สั้นลง (ประมาณไม่เกิน 100 กิโลเมตร) กรณีที่ไม่ได้ปฏิบัติงานบนพื้นผิวภูมิประเทศตามปกติ เช่น การเจาะอุโมงค์และมีการก่อสร้างในอนาคต ตัวอย่างนี้ เราจึงเลือกระนาบของทรงรี TM ในการพิดเข้ากับภูมิประเทศและงานก่อสร้าง โดยเลือกระดับการวางตั้งทรงรีเป็น h_{pp1} , h_{pp2} และ h_{pp3} ซึ่งจะนำไปสู่ผลการออกแบบ LDP 3 ช่วง คือ LDP-1, LDP-2 และ LDP-3 และคาดว่าค่าสเกลแฟกเตอร์รวม CSF ของทุกช่วงสายทางจะมีค่าไม่เกิน 20 ppm



ในช่วงรอยต่อของนิยามการฉายแผนที่ในโครงการเดียวกัน ควรจะมีส่วนเหลื่อมกันโดยใช้หมุดควบคุม หรือ พิกัดสถานีตามเส้นทาง สัก 2-3 หมุด มีการคำนวณพิกัดให้มีปรากฏทั้งในการฉาย LDP ที่เหลื่อมซ้อนทับกัน ทั้งนี้ ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ทั้ง 2 ส่วนสามารถเลือก LDP อันใดอันหนึ่ง แล้วทำงานต่อเนื่องออกไปได้

7. การประยุกต์ใช้ LDP กับแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจากยูเอวี

แผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากการบินถ่ายภาพแบบมีส่วนซ้อนมากในพื้นที่ก่อสร้าง การบินถ่ายภาพมีความละเอียดจุดภาพ 1-5 เซนติเมตร ประกอบกับการกำหนดจุดบังคับภาพ GCP ในการประมวล Bundle Block Adjustment (BBA) สำหรับผลิตพอยต์คลาวด์หนาแน่นสูงและแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ แผนที่ภาพถ่ายออร์โธในขั้นต้นมักจะมีการใช้ระบบพิกัดยูทีเอ็ม หากผู้ใช้ต้องการตัดแก้ภาพ (rectification) และกำหนดค่าพิกัดอ้างอิง (georeferencing) เป็นระบบพิกัดอ้างอิงใหม่ เช่น ระบบพิกัดท้องถิ่น เพื่อให้ภาพถ่ายออร์โธที่ผลิตได้สามารถนำไปซ้อนทับเป็นเบื้องหลังในการออกแบบและเขียนแบบทางวิศวกรรม ผู้ใช้สามารถนำค่าพารามิเตอร์การฉายแผนที่ที่ได้จากการออกแบบนำไปแปลงระบบพิกัดให้กับภาพถ่ายออร์โธเพื่อให้ภาพถ่ายออร์โธมีระบบพิกัดภาพที่สอดคล้องกับรูปแบบงานที่จะนำไปใช้งานต่อไปได้

ตัวอย่างการตัดแก้ภาพและกำหนดระบบพิกัดของภาพถ่ายออร์โธ มีขนาดพื้นที่ประมาณ 1 ตร.กม โดยได้ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์การฉาย LDP ได้พารามิเตอร์การฉายแผนที่ LDP ดังนี้

```
+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100°01' +k_0=1.0 +x_0=2500 +y_0=-1600000  
+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs
```

ผู้ใช้นำค่าพารามิเตอร์ไปใช้ในการแปลงระบบพิกัดให้กับข้อมูลได้ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS QGIS GlobalMapper หรืออื่น ๆ โดยในเอกสารนี้จะนำเสนอการแปลงระบบพิกัดผ่านการใช้ซอฟต์แวร์ GDAL (<https://gdal.org/>) ด้วยคำสั่ง gdalwarp โดยมีสคริปต์การแปลงดังต่อไปนี้

```
gdalwarp -t_srs '+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=101.01666666 +k=1.0 +x_0=2500 +y_0=-1600000  
+a=6378137.0 +b=6356752.314 +units=m +no_defs' -co COMPRESS=LZW -co BIGTIFF=YES  
./Orthophoto_M300_P1_CU_SBR_UAV_ULS_2022.tif  
./Orthophoto_M300_P1_CU_SBR_UAV_ULS_2022_LDP.tif
```

หลังจากทำการแปลงระบบพิกัดของภาพถ่ายออร์โธด้วย GDAL เสร็จแล้ววิธีการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้ทำการแปลงระบบพิกัดถูกต้องหรือไม่ ในกรณีการตรวจสอบภาพถ่ายออร์โธสามารถตรวจสอบได้ผ่านการใช้คำสั่ง gdalinfo ที่จะแสดงรายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ให้ผู้ใช้งานทราบ สำหรับการตรวจสอบด้วยการใช้ gdalinfo ผู้ใช้งานอาจพิจารณาจากผลลัพธ์ในส่วนของ Corner coordinates หากแผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่นำเข้าเป็นระบบพิกัดอ้างอิงยูทีเอ็มโซน 47 จะมีค่าพิกัดของกรอบมุมดังนี้

```
>> gdalinfo Orthophoto_M300_P1_CU_SBR_UAV_ULS_2022.tif  
...  
PROJCRS["WGS 84 / UTM zone 47N",  
...  
Corner Coordinates:  
Upper Left ( 716764.866, 1606788.479) (101d 0'41.56"E, 14d31'31.43"N)  
Lower Left ( 716764.866, 1605344.152) (101d 0'41.14"E, 14d30'44.44"N)  
Upper Right ( 718108.211, 1606788.479) (101d 1'26.42"E, 14d31'31.04"N)  
Lower Right ( 718108.211, 1605344.152) (101d 1'25.99"E, 14d30'44.06"N)  
...
```

การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง

เมื่อทำการตัดแก้และอ้างอิงค่าพิกัดท้องถิ่นแล้วจะปรากฏพิกัดกรอบมุดังนี้

```
>> gdalinfo Orthophoto_M300_P1_CU_SBR_UAV_ULS_2022_LDP.tif
```

```
...
```

```
Corner Coordinates:
```

```
Upper Left ( 1935.181, 6476.437) (101d 0'41.13"E, 14d31'31.43"N)
```

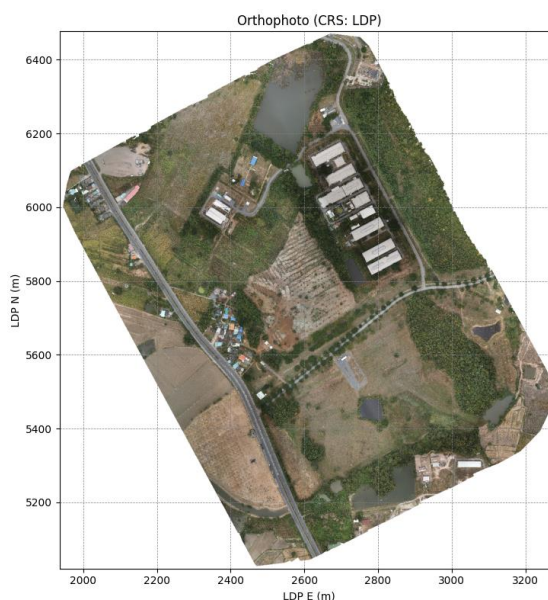
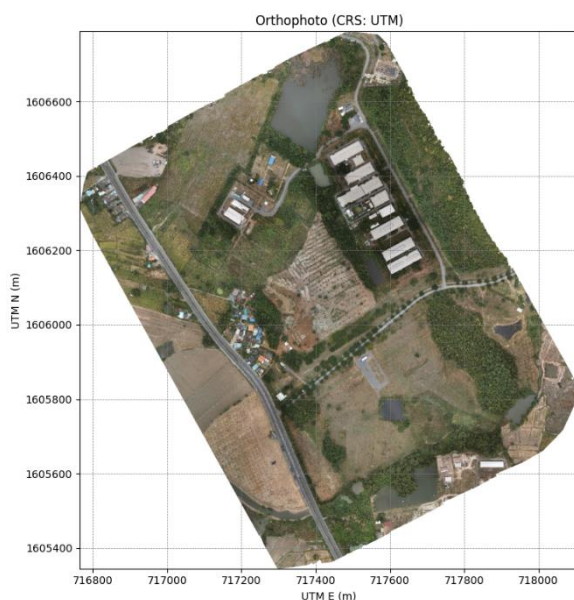
```
Lower Left ( 1935.181, 5020.580) (101d 0'41.14"E, 14d30'44.06"N)
```

```
Upper Right ( 3290.985, 6476.437) (101d 1'26.42"E, 14d31'31.43"N)
```

```
Lower Right ( 3290.985, 5020.580) (101d 1'26.42"E, 14d30'44.06"N)
```

```
...
```

นอกจากนี้แผนที่ภาพออร์โธในระบบพิกัดท้องถิ่นสามารถตรวจสอบผ่านการนำภาพออร์โธเข้าโปรแกรมภูมิสารสนเทศ เช่น ArcGIS, QGIS GlobalMapper หรืออื่น ๆ ได้เช่นกัน หากตรวจสอบผ่านการมองภาพออร์โธที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอจะไม่เห็นถึงความแตกต่างบนระบบพิกัดที่ต่างกัน แต่ผู้ใช้สามารถตรวจสอบผ่านการพิจารณาค่าพิกัดบนหน้าจอว่าแต่ละตำแหน่งจุดภาพของออร์โธได้เปลี่ยนแปลงไปอยู่บนระบบพิกัดท้องถิ่นเรียบร้อยแล้ว



8. กรณีศึกษา ระบบพิกัดท้องถิ่นของกรุงเทพมหานคร

ผลการวิเคราะห์ LDP

Test point mid bounds lng =100°38' lat = 13°43'

Offset Project ion Plane = -40 m.

Designed Project Plane : hPP=-66.51 m. / MSL=-36.31 m. equiv. to k0 = 0.999990

Points CSF min/mean/max : -6.8 / -2.1 / +7.3 ppm

Points MSL min/mean/max : +0.0 / +3.7 / +10.0 meter

E-W : 64,312 m. / N-S : 49,834 m.

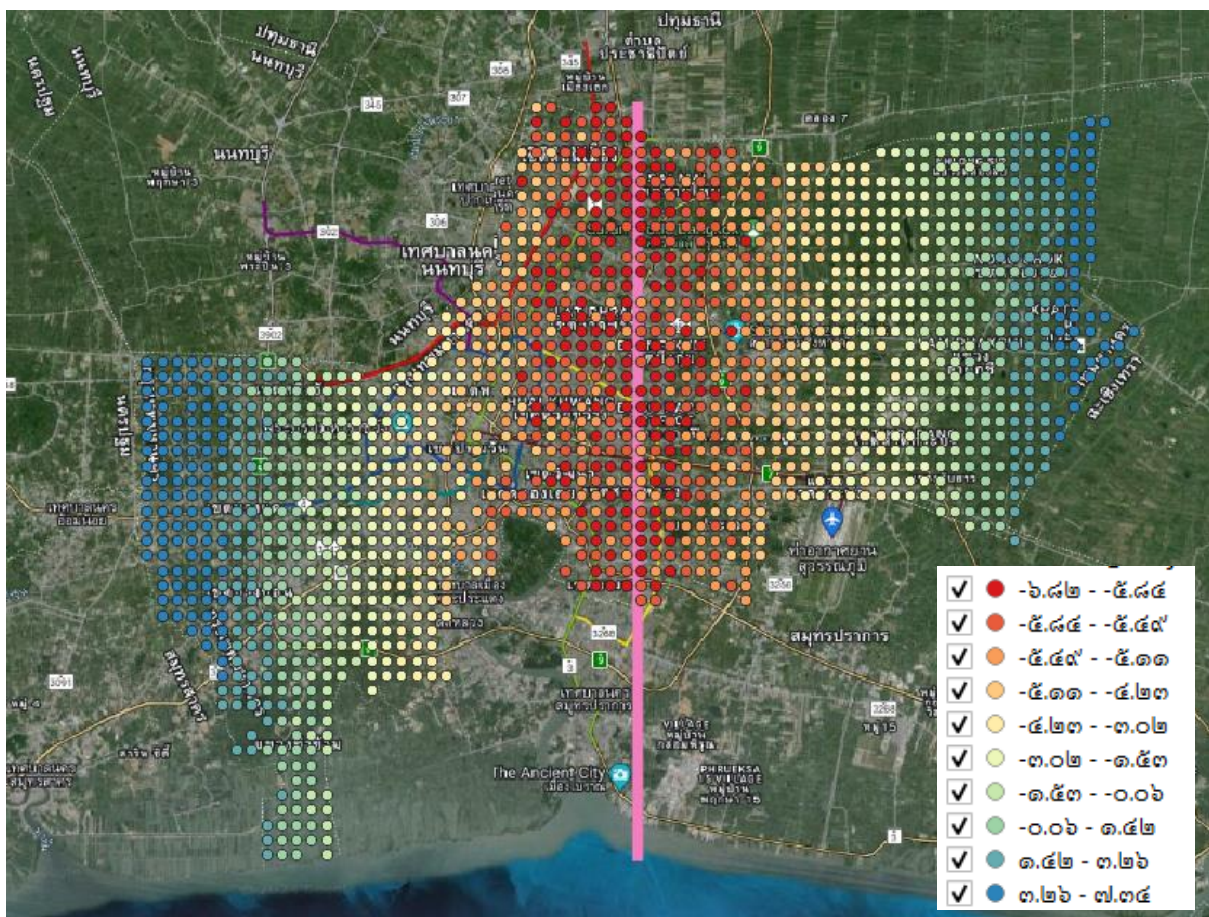
ค่าพารามิเตอร์ระบบพิกัดท้องถิ่น LDP ของกรุงเทพมหานคร (LDP-BKK)

```
+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100.6333333 +k_0=0.99999 +x_0=50000 +y_0=-1470000
```

```
+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs
```

```
+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100°38' +k_0=0.99999 +x_0=50000 +y_0=-1470000
```

```
+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs
```



9. กรณีศึกษา ระบบพิกัดท้องถิ่นของจังหวัดนนทบุรี

ผลการวิเคราะห์ LDP

Middle of bounds lng =100°25' lat = 13°57'

Offset Projection Plane = -10.0 m ***

Designed Project Plane : hPP=-37.54 m. / MSL=-6.45 m. equiv. to k0 = 0.999994

Points CSF min/mean/max : -2.7 / -0.7 / +1.9 ppm

Points MSL min/mean/max : +0.0 / +3.6 / +10.0 meter

E-W : 31,158 m. / N-S : 36,886 m.

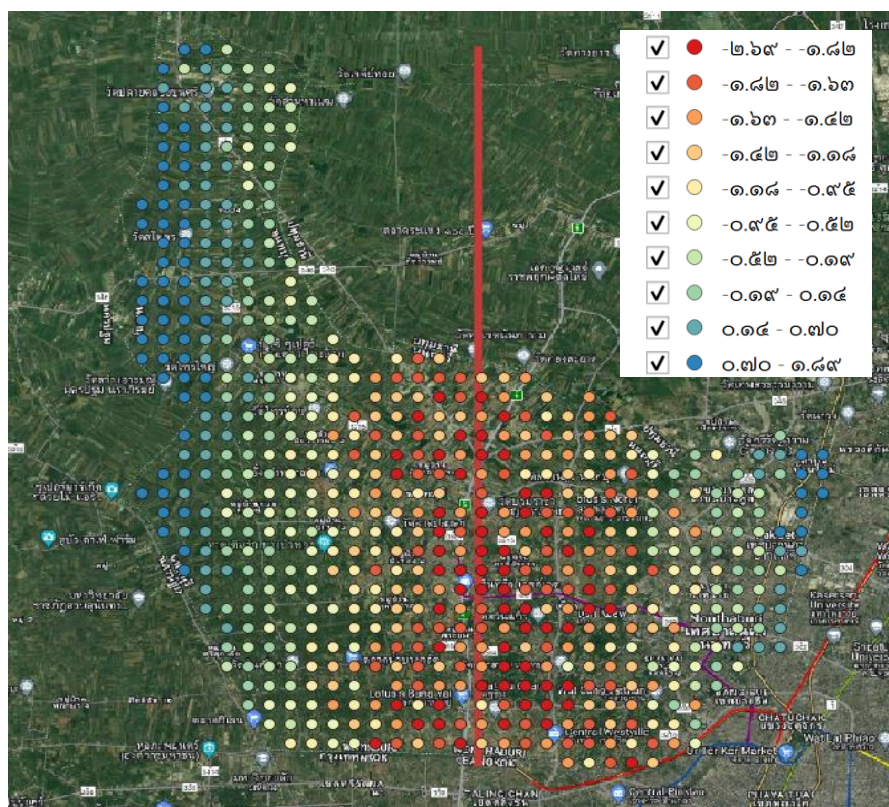
ค่าพารามิเตอร์ระบบพิกัดท้องถิ่น LDP ของจังหวัดนนทบุรี (LDP-NONTABURI)

+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100.41666666 +k_0=0.999994 +x_0=50000 +y_0=-1490000

+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs

+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100°25' +k_0=0.999994 +x_0=50000 +y_0=-1490000

+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs



10. กรณีศึกษา ระบบพิกัดท้องถิ่นของพื้นที่บริการสาธารณูปโภค กรุงเทพมหานคร-สมุทรปราการ-นนทบุรี

ผลการวิเคราะห์ LDP

Middle of bounds lng =100°37' lat = 13°48'

Offset Projection Plane = -40.0 m ***

Designed Project Plane : hPP=-66.90 m. / MSL=-36.68 m. equiv. to k0 = 0.999989

Points CSF min/mean/max : -10.6 / -2.1 / +10.9 ppm

Points MSL min/mean/max : -26.0 / +3.3 / +30.0 meter

E-W : 74,048 m. / N-S : 71,784 m.

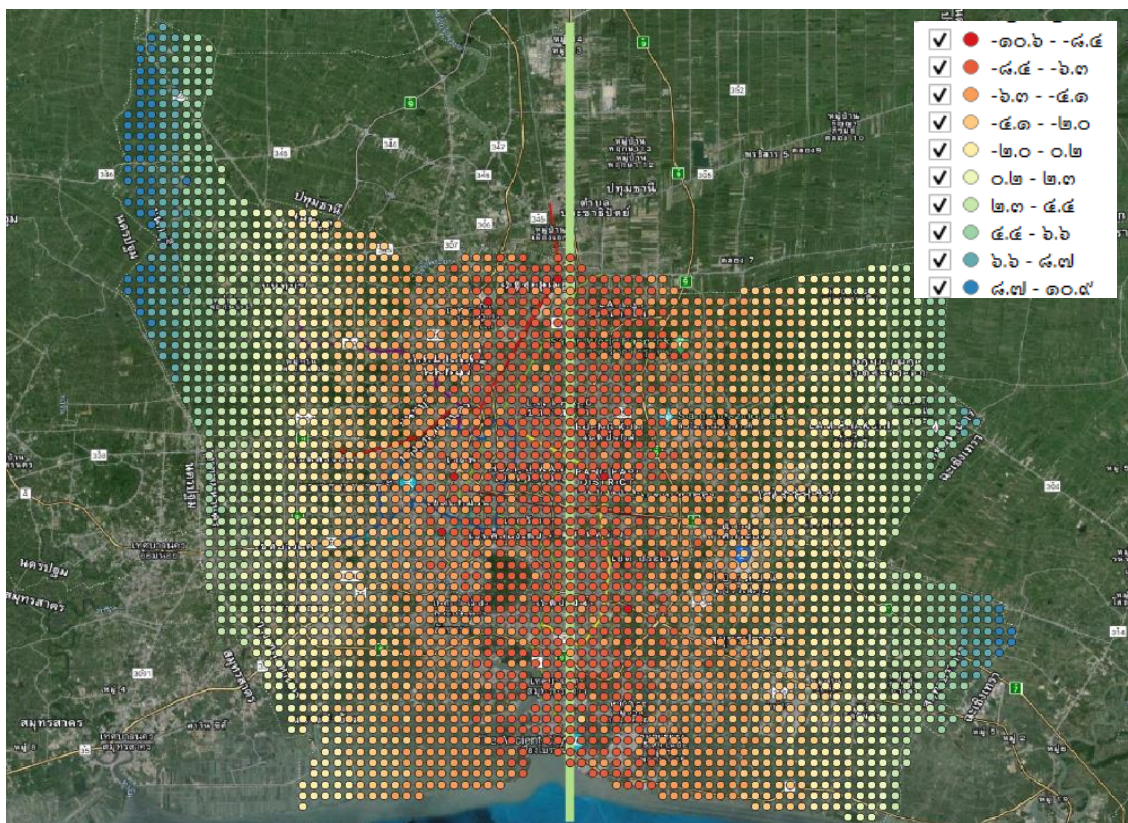
ค่าพารามิเตอร์ระบบพิกัดท้องถิ่น LDP ของ กทม-สมุทรปราการ-นนทบุรี (LDP-MEA)

+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100.61666666 +k_0=0.999989 +x_0=50000 +y_0=-1480000

+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs

+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100°37' +k_0=0.999989 +x_0=50000 +y_0=-1480000

+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs



ภาคผนวก ก) มาตรฐานนิยามการฉายแผนที่ความคลาดเคลื่อนต่ำบนพื้นฐาน Transverse Mercator

มาตรฐานนิยามการฉายแผนที่ความคลาดเคลื่อนต่ำชนิด Transverse Mercator เป็นสิ่งแรกที่จะต้องมีการประกาศในโครงการ เช่น รายงานการสำรวจและออกแบบ แบบแปลนงานก่อสร้าง เป็น มาตรฐานกำหนดให้เขียนบรรยายเป็นข้อความ 3 บรรทัด ดังตัวอย่างพื้นที่กรุงเทพมหานครนี้

```
+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=100°37' +k_0=1.000036 +x_0=5000 +y_0=-1641000
+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs
Projection plane hPP= -26.55 m ( equivalent to k_0 )
```

| ตัวอย่างนิยาม | คำอธิบายมาตรฐาน |
|--------------------------------------|--|
| FORMAT: PROJ | 1) อ้างอิง https://en.wikipedia.org/wiki/PROJ , http://proj.maptools.org/gen_parms.html |
| +proj=tmerc | 2) การฉายแผนที่ชนิด Transverse Mercator ในกรณีจำเป็นอาจเลือกใช้ Conformal Conic (LCC) และ Oblique Mercator (OMC) |
| +lat_0=0.0 | 3) ค่าเริ่มต้นจุดศูนย์กำเนิด สำหรับ latitude ให้เป็น 0 ภายหลังให้ปรับค่า false northing เพื่อให้ตัวเลขพิกัดทางเหนือ กระชับ อ่านง่าย ใช้งานได้สะดวก |
| +lon_0=100°37' | 4) ค่าเริ่มต้นจุดศูนย์กำเนิด Central Meridian ให้เป็น longitude เริ่มต้น ให้ตกในพื้นที่โครงการ หรืออยู่ใกล้ที่สุด กำหนดปริมาณหน่วยองศาให้ละเอียดและลิปดา (Degree Minute :DM) เท่านั้น (exact) ตัวเลขลิปดาให้ใช้ตัวเลข 2 หลักเสมอ ให้เติมศูนย์ข้างหน้ากรณีลิปดาเป็นหลักหน่วย ในกรณีเลือกใช้อองศาในรูปแบบทศนิยม (Decimal Degree :DD) ให้ใช้จุดทศนิยม 6 ตำแหน่ง (1 ลิปดาในพื้นที่ประเทศไทย เทียบเท่าระยะทาง 1.85 กิโลเมตร) |
| +k_0=0.999996 | 5) ค่าสเกลแฟกเตอร์เริ่มต้น ให้พิเศษ นิยามให้ใช้จุดทศนิยม 6 ตำแหน่ง |
| +x_0=50000 +y_0=-1470000 | 6) ค่าเลื่อนพิกัดให้เลือกใช้ค่าลงตัวหลัก พันเมตร ('000) โดยควรออกแบบให้ตัวเลขพิกัดตะวันออกและพิกัดเหนือ มีขนาดเล็กกะทัดรัด ทำให้ตัวเลขค่าพิกัด กระชับ อ่านง่าย ใช้งานได้สะดวก พิกัดตะวันออกและพิกัดเหนืออาจออกแบบให้มีตัวเลขต่างกันเพิ่มเติมอีก 1 หลัก เพื่อให้ผู้ใช้แยกแยะได้ง่าย ไม่สับสน |
| +a=6378137.0 +b=6356752.314245179 | 7) ขนาดของรูปทรงรี WGS84 อ้างอิง https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System |
| +units=m | 8) หน่วยการวัด เมตร |
| +no_defs | 9) จะไม่มีการใช้ค่า default อื่นใด ใช้เฉพาะพารามิเตอร์ปรากฏ ในนิยามนี้เท่านั้น |
| +type=crs | 10) เป็นนิยามสำหรับบรรยาย การฉายแผนที่ |

ภาคผนวก ข) ตารางแสดงการวิเคราะห์การฉาย LDP

ตารางแสดงการวิเคราะห์การฉาย LDP เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์บนจุดสุ่มในพื้นที่ สำหรับงานสำรวจตามสายทาง อาจเลือกใช้ตำแหน่งสถานีรังวัด 0+000, 0+500, ความถี่ตามความเหมาะสม เมื่อได้ออกแบบเลือกพารามิเตอร์ LDP จะแสดงการคำนวณ และเผยให้เห็นถึง การกระจายตัวของค่าสเกลแฟกเตอร์รวม CSF_ppm ว่ามีค่าไม่เกิน 20 ppm

| | Point | lng | lat | MSL | CSF_ppm | LDP_E | LDP_N |
|---|-------|------------|-----------|-----|---------|-----------|-----------|
| 0 | P0 | 101.637929 | 14.881939 | 280 | -3.6 | 5,494.554 | 4,985.620 |
| 1 | P1 | 101.646938 | 14.890948 | 280 | -3.5 | 6,463.981 | 5,982.520 |
| 2 | P2 | 101.646938 | 14.872930 | 280 | -3.6 | 6,464.103 | 3,988.799 |
| 3 | P3 | 101.628920 | 14.872930 | 280 | -3.6 | 4,525.047 | 3,988.759 |
| 4 | P4 | 101.628920 | 14.890948 | 280 | -3.6 | 4,525.086 | 5,982.480 |
| 5 | P0 | 101.637929 | 14.881939 | 260 | -0.4 | 5,494.554 | 4,985.620 |
| 6 | P1 | 101.646938 | 14.890948 | 260 | -0.4 | 6,463.981 | 5,982.520 |
| 7 | P2 | 101.646938 | 14.872930 | 260 | -0.4 | 6,464.103 | 3,988.799 |
| 8 | P3 | 101.628920 | 14.872930 | 260 | -0.4 | 4,525.047 | 3,988.759 |
| 9 | P4 | 101.628920 | 14.890948 | 260 | -0.4 | 4,525.086 | 5,982.480 |

ภาคผนวก ค) ตารางการแปลงพิกัดของจุดที่เป็นสาระสำคัญในโครงการ

ให้แสดงตารางการแปลงพิกัดของจุดที่เป็นสาระสำคัญในโครงการ เช่น ค่าพิกัดของจุดทดสอบต่าง ๆ ในพื้นที่โครงการ ค่าพิกัดของหมุดอ้างอิง ค่าพิกัดของหมุดคู่ เพื่อแสดงแนวคิดของการเลือกค่าพิกัดว่ามีคุณภาพอย่างไร โดยแสดงให้เห็นค่าความคลาดเคลื่อนสเกลแฟกเตอร์รวม (Combined Scale Factor) ที่น้อยกว่า +/- 20 ppm หรือบางครั้งอาจอนุโลมให้ น้อยกว่า +/- 50 ppm หรือ 100 ppm ด้วยเหตุผลข้อจำกัดของลักษณะภูมิประเทศหรือขอบเขตงานก่อสร้าง

| | | LDP_E | LDP_N | Elev | UTM_E | UTM_N | UTM_Elev |
|--|--------|-----------|-----------|---------|-------------|---------------|----------|
| | :----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| | BLDG-1 | 5,200.000 | 5,300.000 | 260.000 | 783,541.304 | 1,647,258.039 | 260.000 |
| | BLDG-2 | 5,225.000 | 5,300.000 | 260.000 | 783,566.316 | 1,647,258.335 | 260.000 |
| | BLDG-3 | 5,225.000 | 5,400.000 | 260.000 | 783,565.134 | 1,647,358.384 | 260.000 |
| | BLDG-4 | 5,200.000 | 5,400.000 | 260.000 | 783,540.122 | 1,647,358.088 | 260.000 |

ภาคผนวก ง) สคริปต์ไพธอน แปลงค่าพิกัด LDP UTM และ Geodetic Coordinate

ตัวอย่างสคริปต์ไพธอน แสดงการตรวจสอบค่าพิกัด LDP UTM และ Geodetic Coordinate ในรูปแบบ ington ทศนิยม และ ington-ลิปดา-ลิปดา ตลอดจนการนำค่าพิกัดไปประยุกต์ใช้งาน

```
import pandas as pd
import geopandas as gpd
import pyproj
import numpy as np
import pygeodesy as pgd
from io import StringIO
gpd.options.io_engine = "pyogrio"

def dd2DMS( dd, PREC=7, POS=' ' ):
    '''convert degree to DMS string'''
    return pgd.dms.toDMS( dd, prec=PREC,pos=POS )

#####
LDP = ''+proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=101.633333333 +k_0=1.000036 +x_0=5000 +y_0=-1641000
+a=6378137.0 +b=6356752.314245179 +units=m +no_defs +type=crs'''
LDP = pyproj.CRS( LDP )

TAB = '''
BLDG-1  5200.000  5300.000  260.000  783541.304  1647258.039  260.000
BLDG-2  5225.000  5300.000  260.000  783566.316  1647258.335  260.000
BLDG-3  5225.000  5400.000  260.000  783565.134  1647358.384  260.000
BLDG-4  5200.000  5400.000  260.000  783540.122  1647358.088  260.000
'''

COLS = ['Pnt','LDP_E','LDP_N','LDP_Elev', 'UTM_E', 'UTM_N', 'UTM_Elev']
df = pd.read_csv( StringIO(TAB), header=None, delim_whitespace=True,names=COLS )
gdf = gpd.GeoDataFrame( df, crs=LDP, geometry=gpd.points_from_xy(df.LDP_E,df.LDP_N) )

gdfUTM47 = gdf.to_crs( 'EPSG:32647' )
gdfWGS84 = gdf.to_crs( 'EPSG:4326' )

def TransLatLng(row):
    Lat_DD, Lng_DD = row.geometry.y, row.geometry.x
    Lat_DMS, Lng_DMS = dd2DMS(Lat_DD,PREC=5), dd2DMS(Lng_DD,PREC=5)
    Lat_DD, Lng_DD = f'{Lat_DD:.9f}', f'{Lng_DD:.9f}'
    return Lat_DMS,Lng_DMS ,Lat_DD,Lng_DD
gdfWGS84[['Lat_DMS','Lng_DMS' , 'Lat_DD', 'Lng_DD']] = \
    gdfWGS84.apply( TransLatLng, axis=1, result_type='expand' )
print( gdf )
print( gdfUTM47.iloc[:,[0,1,3,7]] )
print( gdfWGS84.iloc[:,[0,1,2,8,9,10,11]] )
```

การประยุกต์ใช้ระบบพิกัดท้องถิ่นและ GNSS RTK สำหรับงานก่อสร้าง

ผลลัพธ์การแปลงจะปรากฏดังนี้

| Pnt | LDP_E | LDP_N | LDP_Elev | UTM_E | UTM_N | UTM_Elev | |
|----------|--------|--------|-----------------|--------------------------------|--------------|---------------|---------------------------|
| geometry | | | | | | | |
| 0 BLDG-1 | 5200.0 | 5300.0 | 260.0 | 783541.304 | 1647258.039 | 260.0 | POINT (5200.000 5300.000) |
| 1 BLDG-2 | 5225.0 | 5300.0 | 260.0 | 783566.316 | 1647258.335 | 260.0 | POINT (5225.000 5300.000) |
| 2 BLDG-3 | 5225.0 | 5400.0 | 260.0 | 783565.134 | 1647358.384 | 260.0 | POINT (5225.000 5400.000) |
| 3 BLDG-4 | 5200.0 | 5400.0 | 260.0 | 783540.122 | 1647358.088 | 260.0 | POINT (5200.000 5400.000) |
| Pnt | LDP_E | LDP_N | LDP_Elev | geometry | | | |
| 0 BLDG-1 | 5200.0 | | 260.0 | POINT (783541.304 1647258.039) | | | |
| 1 BLDG-2 | 5225.0 | | 260.0 | POINT (783566.316 1647258.335) | | | |
| 2 BLDG-3 | 5225.0 | | 260.0 | POINT (783565.134 1647358.384) | | | |
| 3 BLDG-4 | 5200.0 | | 260.0 | POINT (783540.122 1647358.088) | | | |
| Pnt | LDP_E | LDP_N | Lat_DMS | Lng_DMS | Lat_DD | Lng_DD | |
| 0 BLDG-1 | 5200.0 | 5300.0 | 14°53'05.20877" | 101°38'06.69072" | 14.884780214 | 101.635191867 | |
| 1 BLDG-2 | 5225.0 | 5300.0 | 14°53'05.20876" | 101°38'07.52706" | 14.884780212 | 101.635424183 | |
| 2 BLDG-3 | 5225.0 | 5400.0 | 14°53'08.46222" | 101°38'07.52709" | 14.885683949 | 101.635424192 | |
| 3 BLDG-4 | 5200.0 | 5400.0 | 14°53'08.46222" | 101°38'06.69075" | 14.885683951 | 101.635191874 | |

ข้อสังเกต ค่าพิกัดภูมิศาสตร์บนพื้นผิวโลก หากต้องการจัดเก็บแสดงผลให้ละเอียดถูกต้องถึงระดับ “มิลลิเมตร”

- การแสดงผลค่าพิกัด องศา-ลิปดา-ฟิลิปดา (DMS) จะต้องมีทศนิยมหลัง ฟิลิปดา 5 ตำแหน่ง
- การแสดงผลค่าพิกัด องศาพร้อมจุดทศนิยม (DD) จะต้องมีทศนิยมอย่างน้อย 9 ตำแหน่ง

เอกสารอ้างอิง

- ไพศาล สันติธรรมนนท์, ประจวบ เรียบร้อย, ชาญชัย พัชรอาภา. (2563). ผลการศึกษาการฉายแผนที่ WGS-TM ในโครงการรถไฟความเร็วสูงไทย-จีน. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 32, ฉบับที่ 2, หน้า 11-23.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์, ประจวบ เรียบร้อย, ชาญชัย พัชรอาภา. (2563). การศึกษาศักยภาพการฉายแผนที่ความคลาดเคลื่อนต่ำสำหรับประเทศไทย. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2563. หน้า 39-58.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์, ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์ และ บดินทร์ จุลนาถ. (2565). หลักการออกแบบการฉายแผนที่ความคลาดเคลื่อนต่ำสำหรับโครงการ. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 33 ฉบับที่ 4, หน้า 47-65.
- Dennis M.: Ground Truth: Low Distortion Map Projections for Engineering, Surveying, and GIS, Pipelines, ASCE, 2016.