

## การกำหนดพิกัดตำแหน่งหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ธีระ ลิลิตวารงกูร<sup>1</sup> กิติเดช สันติชัยอนันต์<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

และ ธนัช สุขวิมลเสรี<sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

รับเมื่อ 5 ตุลาคม 2547 ตอรับเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2548

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ในการสร้างและกำหนดพิกัดตำแหน่งหมุดหลักฐานที่มีความถูกต้องสูง โดยการก่อสร้างหมุดหลักฐานถาวรจำนวน 8 หมุด ให้ครอบคลุมพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจร.) วิทยาเขตทุ่งครุ และวิทยาเขตบางขุนเทียน การรังวัดได้ทำการโยงยึดเข้ากับหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารซึ่งทราบค่าพิกัดในระบบพิกัดของประเทศ ซึ่งจะเป็นการตรึงโครงข่ายลงบนพื้นหลักฐานของประเทศด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต โครงการวิจัยนี้ใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ และมีการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม SKI- PRO ผลที่ได้คือค่าพิกัด ณ ตำแหน่งหมุดหลักฐานถาวรที่ได้ทำการสร้างขึ้นจำนวน 8 หมุด โดยแสดงค่าพิกัดเป็น 3 ระบบ ซึ่งอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ค่าเดิมและค่าพารามิเตอร์ค่าใหม่ที่กรมแผนที่ทหารประกาศใช้ โดยค่าพิกัดที่ได้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยทั้ง 8 หมุดในแนวแกน X เท่ากับ 0.545 ซม. ในแนวแกน Y เท่ากับ 0.419 ซม. และในแนวแกน Z เท่ากับ 1.298 ซม. ซึ่งถือว่าค่าพิกัดที่ได้มีความถูกต้องในระดับสูง สามารถที่จะนำค่าพิกัดเหล่านี้ไปใช้อ้างอิงในงานรังวัดเพื่อผลิตและการปรับปรุงแผนที่ของมหาวิทยาลัยและหน่วยงานโดยรอบมหาวิทยาลัยให้มีความทันสมัยและถูกต้องสูงต่อไป

<sup>1</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

<sup>2</sup> อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา

<sup>3</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

## Positioning the GPS Benchmarks of King Mongkut's University of Technology Thonburi

Theera Lilitwarangkul<sup>1</sup>, Kitidech Santichaiant<sup>2</sup>,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

and Thanutch Sukwimolseree<sup>3</sup>

Kasetsart University, 50 Phaholyothin Rd., Lad Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

*Received 5 October 2004 ; accepted 25 February 2005*

### Abstract

The objective of this research is to study and apply a satellite surveying method, Global Positioning System (GPS), in constructing and positioning eight referenced permanent benchmarks with high accurate coordinates. All benchmarks are located spread over the areas of two campuses i.e., King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT) at Toongkru and Bang Khuntien campuses. The GPS surveying with static survey method is performed to be compatible with the benchmark system of the Royal Thai Survey Department (RTSD) based on the national coordinating system. The generated coordinates are created by static survey using four dual-frequency GPS receivers. The obtained raw data are processed by a specific software, SKI-PRO, yielding a set of high accurate geographical and UTM coordinates referred to 3 referenced coordinate systems i.e., WGS 84, Indian 1975 (the former designated parameters used by the RTSD), and Indian 1975 (the new designated parameters used by the RTSD). The obtained coordinates have the average standard deviations in all the eight benchmarks in the X, Y and Z axes of 0.545, 0.419 and 1.298 cm, respectively, which are corresponding to the high order of accuracy. The contributions from this project will provide high accurate benchmarks and their base lines to improve any future triangulation surveying and also to update any precise maps of both campuses and the surrounding areas.

---

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Civil Engineering.

<sup>2</sup> Lecturer, Department of Civil Technology Education.

<sup>3</sup> Lecturer, Department of Civil Engineering.

## 1. บทนำ

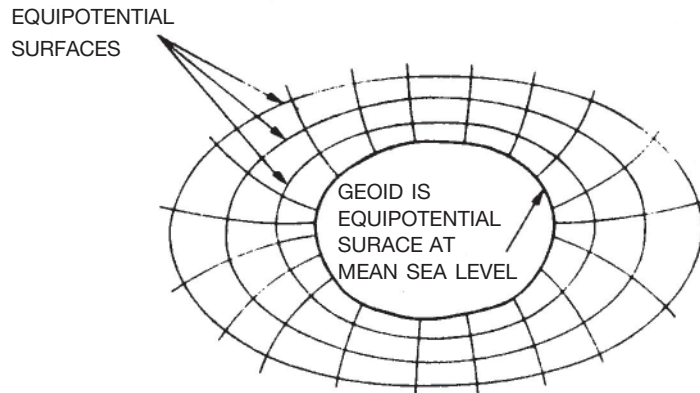
เทคโนโลยีในการสำรวจและรังวัดภูมิประเทศในปัจจุบัน ได้มีความเจริญก้าวหน้าในอดี้อย่างมาก โดยวิชาการสำรวจ (Surveying) ซึ่งเป็นสาขาที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดภูมิประเทศได้นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการทำงาน เช่น กล้องสำรวจอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพและความถูกต้องสูงและเครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Distance Measurement: EDM) เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ช่วยให้การทำงานทางด้านสำรวจและการรังวัดมีความสะดวกและความละเอียดถูกต้องสูง แต่ในพื้นที่ที่กว้างมาก การกำหนดตำแหน่งของหมุดหลักฐานบนพื้นที่อาจจะมีความล่าช้าและใช้เวลานานมาก จึงทำให้มีการนำเอาระบบการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม GPS (Global Positioning System) เข้ามาช่วยเพิ่มความสะดวกในการทำงานทางด้าน การสำรวจและการรังวัดภูมิประเทศ ซึ่งการหาค่าพิกัดด้วยระบบ GPS จะช่วยลดระยะเวลาในการทำงานด้าน โครงข่ายหมุดหลักฐาน ซึ่งในอดีตมีความยากลำบากและใช้เวลานาน สิ้นเปลืองงบประมาณและต้องใช้แรงงาน จำนวนมาก อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการมองเห็นในการทำงานและสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย ดังนั้นในการทำ โครงการนี้จะเป็นการนำเอาระบบ GPS มาใช้ในการหาค่าพิกัดทางราบที่มีความถูกต้องและรวดเร็ว โดยหมุดหลัก ฐานนี้จะครอบคลุมพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตทุ่งครุ และวิทยาเขตบางขุนเทียน ซึ่งหมุดหลักฐานเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำงานสำรวจ งานด้านวิศวกรรมโยธา และงานด้าน สารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

## 2. ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับระบบ GPS

### 2.1 ระบบอ้างอิงในการทำหมุดบังคับแผนที่

ในการคำนวณตำแหน่งของจุด ระยะและทิศทางของเส้นสำรวจบนผิวโลกนั้น เนื่องจากผิวโลกมีความ สูงต่ำไม่เท่ากัน ระยะที่วัดบนที่สูงจึงยาวมากกว่าระยะที่วัดในที่ต่ำ เพราะฉะนั้นเพื่อให้แผนที่ต่อกันได้จึงได้กำหนด พิกัดสมมติทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการสำรวจชั้นสูง (Geodetic Surveying) ซึ่งจะต้องแก้ความแตก ต่างระหว่าง Geoid และ Ellipsoid แต่ถ้ามีค่าแก่น้อยมาก ก็จะตัดทิ้งและให้ Geoid เป็นผิวเดียวกับ Ellipsoid หรือ Spheroid ในแต่ละประเทศได้กำหนดรูป Spheroid ของตนขึ้นมาเพื่อให้แผนที่ของประเทศนั้นๆ ถูกต้อง กล่าว โดยสรุปแล้วผิวโลกจะมีอยู่สามชนิดด้วยกัน [1] คือ

1. พื้นผิวภูมิประเทศของโลก (Topographic Surface) เป็นผิวพิภพจริงที่เราอาศัยอยู่
2. พื้นผิวยออย (Geoid) ซึ่งใช้ระดับน้ำทะเลปานกลางอ้างอิง เป็นพิภพสมมติซึ่งเป็นผิวที่เกิดขึ้นโดย การวัดแรงดึงดูดของโลก พื้นที่มีแรงดึงดูดเท่ากันเราเรียกว่า Equipotential Surface พื้นผิว Geoid นี้จะไม่ทับกับ ระดับน้ำทะเล เพราะน้ำทะเลมีชั้นมีลงและมีการไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเพราะแต่ละจุดมีค่าระดับต่างกัน แต่พื้นผิว Geoid และระดับน้ำทะเลปานกลางแตกต่างกันน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีของโลก แนวทิศทางของแรงดึงดูด ของโลกจะตั้งได้ฉากกับผิว Geoid ถ้าหากสมมุติว่าให้น้ำในแม่น้ำลำคลอง ทะเล มหาสมุทร ต่อเนื่องถึงกันหมด ให้น้ำไหลได้อย่างอิสระ และไม่มีน้ำขึ้นน้ำลง เมื่อผิวน้ำนิ่งแล้ว ผิวน้ำนั้นจะเป็นผิวของ Geoid



รูปที่ 1 Equipotential Surface [1]

3. พื้นผิวอีลิปซอยด์ (Ellipsoid) หรือสเฟียรอยด์ (Spheroid) เป็นพิภพสมมุติทางคณิตศาสตร์ที่นักสำรวจได้กำหนดขึ้นมาเพื่อให้ใกล้เคียงกับผิวของพิภพจริงมากที่สุด จุดประสงค์เพื่อให้แผนที่ถูกต้องทั้งสามมิติ พิกภพนี้ใช้เพื่อพิสูจน์หากฎ สูตรต่างๆ เพื่อการคำนวณทิศทางและตำแหน่งให้ถูกต้อง เพื่อใช้เป็นจุดบังคับแผนที่บนรูป Ellipsoid หรือ Spheroid ที่ใช้โดยมีการหมุนรอบแกนเหนือ-ใต้เรียกว่า แกนโท (semi-minor axis, b) ส่วนแนวเส้นศูนย์สูตรเรียกว่า แกนเอก (semi-major axis, a) และค่าการยุบตัวที่ขั้ว (flattening, f)

## 2.2 ความสูงและค่าระดับ (height and elevation)

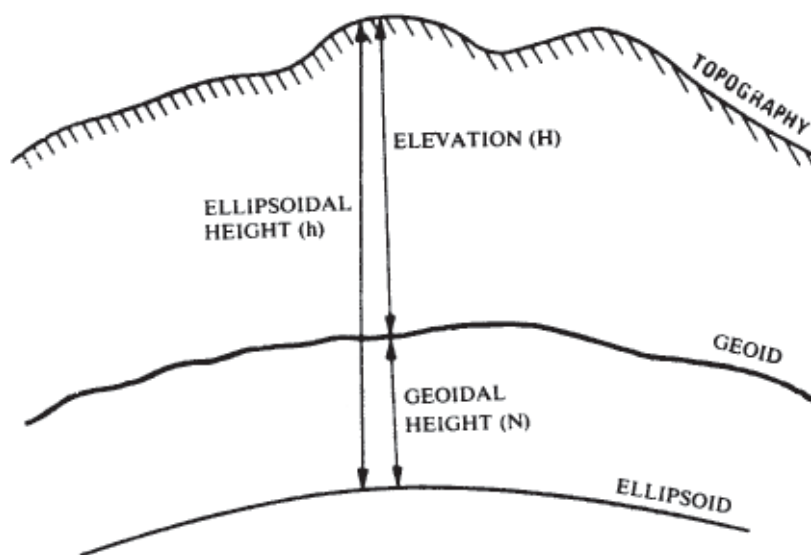
ความสูงจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Ellipsoidal Height (h) ของจุดใดๆ นั้น จะเป็นระยะตั้ง (vertical distance) ของจุดที่อยู่เหนือและนับจากพื้น Ellipsoid และถูกวัดในแนวตั้งฉากกับพื้น Ellipsoid มายัง Topographic Surface

2. Elevation (H) ของจุดใดๆ เหนือระดับน้ำทะเลหรือความสูง Orthometric Height ของจุดนั้น ซึ่งเป็นระยะตั้งของจุดที่อยู่เหนือพื้น Geoid และจะวัดตามแนวเส้นตั้งหรือแนวแรงดึงดูดของพิภพ

ผลต่างของ Ellipsoidal Height และ Elevation ก็คือ Geoidal Height (N) ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 และรูปที่ 2

$$h = H + N \quad (1)$$



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ellipsoidal Height และ Elevation [1]

## 2.3 ลักษณะทั่วไปของระบบ GPS

กระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ดำเนินการโครงการ Global Positioning System หรือ “GPS” ขึ้น โดยมีดาวเทียมในระบบจำนวน 24 ดวง โคจรอยู่ในระดับสูงที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวนของโลกและให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง จากการนำมาใช้งานจริงให้ความถูกต้องสูง โดยที่ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบต่ำกว่า 50 เมตรด้วยวิธีการระบบ รหัสสุ่มเทียม (pseudo random code) และถ้ารับวัดแบบวิธีอนุพันธ์ (differential) จะให้ความถูกต้องถึงระดับเซนติเมตร [2] [3] จากการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทำให้สามารถผลิตเครื่องรับ GPS ที่มีขนาดลดลงและมีราคาถูกลงกว่าเครื่องรับระบบ TRANSIT เดิมเป็นอันมาก ปัจจุบันมีการนำ GPS มาใช้งานในหลายสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจ อาทิเช่น การนำ GPS มาใช้ในการกำหนดขอบเขตและจุดที่แน่นอนของป่าสงวนและอุทยานใช้ในการบอกตำแหน่งเพื่อใช้ออกงานวงรอบ (traverse) การใช้ GPS ในการสำรวจภูมิประเทศเพื่อทำแผนที่เส้นชั้นความสูง (contour) และงานถนน หรือแม้แต่การนำ GPS มาใช้ตรวจสอบรายละเอียดความถูกต้องของงานโครงข่ายสามเหลี่ยมและงานวงรอบ เป็นต้น

## 2.4 ระบบ GPS

ลักษณะทั่วไปของระบบ GPS ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนได้แก่

### 2.4.1 ส่วนอวกาศ (space segment)

ระบบ GPS จะประกอบด้วยดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง โดยดาวเทียมจำนวน 21 ดวงจะใช้ในการบอกค่าพิกัด ส่วนที่เหลืออีก 3 ดวงจะสำรองเอาไว้ ดาวเทียมทั้ง 24 ดวงนี้มีวงโคจรอยู่ 6 วงโคจรด้วยกัน โดยมีจำนวนดาวเทียมวงโคจรละ 4 ดวง และมีรัศมีวงโคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร หรือ 12,600 ไมล์

วงโคจรทั้ง 6 จะเอียงทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร (equator) เป็นมุม 55 องศา ดาวเทียมแต่ละดวงจะใช้เวลาในการโคจรครบรอบ 12 ชั่วโมง นั่นคือ คาบของการโคจรเป็น 12 ชั่วโมง/รอบ ความถี่ที่ใช้ในการบอกตำแหน่ง ค่าพิทักของดาวเทียมแต่ละดวงมี 2 ความถี่ คือ ความถี่ L1: 1,575.42 MHz และ ความถี่ L2: 1,227.60 MHz [3], [4]

#### 2.4.2 ส่วนสถานีควบคุม (control station segment)

ในส่วนของสถานีควบคุมจะประกอบด้วย 4 สถานีย่อย (monitor station) ตั้งอยู่ที่เมือง Diego Garcia, Ascension Island, Kwajalein และ Hawaii ส่วนสถานีควบคุมหลัก (master control station) มี 1 สถานี ซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมการทำงานของดาวเทียมด้วยระบบ GPS ตั้งอยู่ที่เมือง Colorado Springs รัฐ Colorado สหรัฐอเมริกา สถานีควบคุมต่างๆ เหล่านี้มีหน้าที่คอยติดต่อสื่อสาร (tracking) กับดาวเทียม ทำการคำนวณผล (computation) เพื่อบอกตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง และส่งข้อมูลที่ได้ไปยังดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ทันสมัยอยู่เสมอ

#### 2.4.3 ส่วนผู้ใช้ (user segment)

ผู้ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับพลเรือน (civilian) และส่วนเกี่ยวกับทางทหาร (military) [4] ในส่วนของผู้ใช้จะมีหน้าที่พัฒนาเครื่องรับสัญญาณ (receiver) ให้ทันสมัยและสะดวกแก่การใช้งาน สามารถที่จะใช้ได้ทุกแห่งในโลก และให้ค่าที่มีความถูกต้องสูง

### 3. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

#### 3.1 การเลือกตำแหน่งเพื่อสร้างหมุดหลักฐาน

เป็นการกำหนดตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้างหมุดหลักฐานลงบนแผนที่ที่มีอยู่เดิมรวมถึงการออกสนามเพื่อตรวจสอบพื้นที่ ซึ่งบริเวณที่จะทำการก่อสร้างหมุดหลักฐานได้นั้นจะต้องเป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวางในระดับที่สูงเกิน 15° จากแนวระนาบ ไม่มีแนวสายไฟฟ้าแรงสูงหรือสถานีส่งสัญญาณโทรคมนาคมอยู่ในบริเวณใกล้เคียง [5] นอกจากนี้ตำแหน่งของหมุดหลักฐานที่จะทำการก่อสร้างควรอยู่ในบริเวณที่ปลอดภัยไม่มีการรื้อถอนหรือย้ายตำแหน่งและไม่สูญหายได้ง่าย

#### 3.2 การก่อสร้างหมุดหลักฐาน

หมุดหลักฐานที่จะทำการก่อสร้างในโครงการนี้จะแบ่งเป็น 3 แบบดังนี้

1. หมุดหลักฐานแบบ ก เป็นหมุดหัวทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. รองด้วยแผ่นสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ฟังบนเสาเข็มเจาะลึกประมาณ 20 เมตร จำนวน 2 หมุด
2. หมุดหลักฐานแบบ ข เป็นหมุดหัวทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. รองด้วยแผ่นสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ฟังบนฐานคอนกรีตหล่อในที่ลึกประมาณ 0.5 เมตร จำนวน 2 หมุด
3. หมุดหลักฐานแบบ ค เป็นหมุดหัวทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. รองด้วยแผ่นสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สกัดและฝังลงบนพื้นคอนกรีต จำนวน 4 หมุด

### 3.3 การออกแบบโครงข่ายหมุดหลักฐานและการวางแผนงานสนาม

ในการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงต้องทำการรังวัดโยงยึดเป็นโครงข่าย โดยการสร้างรูปวงรอบหลายวงเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ดังรูปที่ 3 ซึ่งจะสามารถตรวจสอบการบรรจบของวงรอบย่อยแต่ละวงได้ ช่วยให้สามารถค้นหาเส้นฐานที่ไม่ดีหรือเส้นฐานที่มีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ได้ เฉพาะเส้นฐานที่เป็นอิสระเท่านั้นที่จะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อตรวจสอบการบรรจบของวงรอบย่อยและใช้ในการคำนวณปรับแก้โครงข่าย

ตารางที่ 1 แผนงานสนาม วันที่ 9 มกราคม 2547

Instrument เวลา	A	B	C	D	เส้นฐาน
(08.30 - 10.30) 1	KMUTT08	KMUTT04	KMUTT07	KMUTT06	8-11-13
(11.00 - 13.00) 2	KMUTT05	-	KMUTT07	KMUTT06	12-15
(13.30 - 15.30) 3	KMUTT05	3627	KMUTT07	3628	14-16-17
(16.00 - 18.00) 4	KMUTT05	3627	-	3628	18-19

ตารางที่ 2 แผนงานสนาม วันที่ 10 มกราคม 2547

Instrument เวลา	A	B	C	D	เส้นฐาน
(09.30 - 10.30) 1	3166	KMUTT01	KMUTT02	KMUTT03	1-2-7
(11.35 - 13.35) 2	-	KMUTT01	KMUTT02	KMUTT03	3-4
(14.00 - 16.00) 3	KMUTT08	KMUTT04	KMUTT02	KMUTT03	5-6-10
(16.05 - 18.05) 4	KMUTT08	KMUTT04	-	-	9

ตารางที่ 3 แผนงานสนาม วันที่ 11 มกราคม 2547

Instrument เวลา	A	B	C	D	เส้นฐาน
(12.00 - 14.00) 1	3627	-	-	KMUTT04	20

### 3.4 วิธีรังวัดในสนาม

การรังวัดในสนามเพื่อหาค่าพิกัดของหมุดหลักฐานดาวเทียมด้วยระบบ GPS นั้นจะใช้การรังวัดแบบแบบสถิต [4] ซึ่งเป็นวิธีการทำงานที่เครื่องรับสัญญาณจะถูกติดตั้ง ณ ตำแหน่งจุดปลายของเส้นฐานโดยไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อหาดำแหน่งสัมพัทธ์ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณต้องพอเพียงที่จะนำมาคำนวณหาค่าจำนวนเต็มลูกคลื่น (ambiguity) ได้ตามเกณฑ์และความถูกต้องที่ต้องการ

### 3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดแบบสถิต ประกอบไปด้วย

1. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม LEICA SR520 แบบสองความถี่ (dual frequency receiver) จำนวน 4 เครื่อง
2. เสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียม AT502 Antenna
3. อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ Tripod, Tribrach พร้อม Adaptor, HI Measuring Rod, สายเคเบิลและแบตเตอรี่

### 3.6 การประมวลผล

#### 3.6.1 การประมวลผลเส้นฐาน

ข้อมูลจากการรังวัดจะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดประกอบของเส้นฐานที่กำหนดไว้ โดยใช้โปรแกรม SKI-PRO ประมวลผลเส้นฐานที่เป็นอิสระ (independent baseline)

#### 3.6.2 การประมวลผลโครงข่าย

ผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐานจะนำมาประกอบกันเป็นโครงข่ายและทำการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่ายในลำดับต่อไป เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของค่าพิกัดที่มีความถูกต้องโดยใช้โปรแกรม SKI-PRO โดยกำหนดค่าพิกัดของหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารที่เป็นหมุดควบคุมของโครงการให้มีค่าคงที่ในโครงข่าย ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกัดของหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียมระบบ GPS ที่ได้ทำการก่อสร้างขึ้น

## 4. ผลการศึกษา

จากการเก็บข้อมูลโดยการวางแผนงานในการรังวัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานเพื่อให้ได้ค่าพิกัดในระบบ UTM และพิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดหลักฐานทั้ง 8 หมุด ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุ่งครุ จำนวน 4 หมุดและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน จำนวน 4 หมุด ทำการรังวัดแบบสถิต ซึ่งกำหนดค่าพิกัดออกจากหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารจำนวน 3 หมุด ให้คงที่ ผลที่ได้จะเป็นค่าพิกัดที่อ้างอิงจากพื้นหลักฐานทั้ง 3 แบบคือพื้นหลักฐาน WGS 84 พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (ค่าพารามิเตอร์เดิม โดยกรมแผนที่ทหาร) และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (ค่าพารามิเตอร์ใหม่ โดยกรมแผนที่ทหาร) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้



#### 4.1 ค่าพิกัดที่อ้างอิงจากพื้นหลักฐาน WGS 84

ตารางที่ 4 พิกัดภูมิศาสตร์และ UTM บนพื้นหลักฐาน WGS 84

Point Id	Geographic Coordinate		UTM		Ellip.Ht. (ม.)
	Latitude	Longitude	Easting (ม.)	Northing (ม.)	
KMUTT01	13° 39' 04.64583" N	100° 29' 47.27189" E	661861.521	1509660.275	-28.923
KMUTT02	13° 39' 03.40300" N	100° 29' 45.38452" E	661805.038	1509621.734	-28.794
KMUTT03	13° 39' 05.26265" N	100° 29' 34.11089" E	661465.899	1509676.794	-28.497
KMUTT04	13° 39' 05.44050" N	100° 29' 31.98575" E	661402.003	1509681.867	-28.493
KMUTT05	13° 34' 30.72267" N	100° 26' 22.20620" E	655748.888	1501205.739	-28.792
KMUTT06	13° 34' 32.25967" N	100° 26' 17.52869" E	655608.003	1501252.140	-28.993
KMUTT07	13° 34' 35.37927" N	100° 26' 34.55261" E	656119.178	1501351.022	-28.781
KMUTT08	13° 34' 37.64743" N	100° 29' 34.34893" E	656112.644	1501420.682	-28.984

#### 4.2 ค่าพิกัดที่อ้างอิงจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (ค่าพารามิเตอร์เดิม โดยกรมแผนที่ทหาร)

ตารางที่ 5 พิกัดภูมิศาสตร์และ UTM บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (ค่าพารามิเตอร์เดิม)

Point Id	Geographic Coordinate		UTM		Ellip.Ht. (ม.)
	Latitude	Longitude	Easting (ม.)	Northing (ม.)	
KMUTT01	13° 38' 58.61495" N	100° 29' 59.08656" E	662195.566	1509356.931	-11.359
KMUTT02	13° 38' 57.37204" N	100° 29' 57.19893" E	662139.084	1509318.390	-11.232
KMUTT03	13° 38' 59.23199" N	100° 29' 45.92390" E	661799.945	1509373.450	-10.956
KMUTT04	13° 38' 59.40989" N	100° 29' 43.79850" E	661736.049	1509378.523	-10.955
KMUTT05	13° 34' 24.67255" N	100° 26' 33.99111" E	656082.936	1500902.411	-11.324
KMUTT06	13° 34' 26.20973" N	100° 26' 29.31303" E	655942.051	1500948.812	-11.534
KMUTT07	13° 34' 29.32936" N	100° 26' 46.33915" E	656453.226	1501047.693	-11.297
KMUTT08	13° 34' 31.59770" N	100° 29' 46.13548" E	656446.691	1501117.354	-11.502

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด  $\Delta X = -206$  เมตร  $\Delta Y = -837$  เมตร  $\Delta Z = -295$  เมตร

### 4.3 ค่าพิกัดที่อ้างอิงจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (ค่าพารามิเตอร์ใหม่ โดยกรมแผนที่ทหาร)

ตารางที่ 6 พิกัดภูมิศาสตร์และ UTM บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (ค่าพารามิเตอร์ใหม่)

Point Id	Geographic Coordinate		UTM		Ellip.Ht. (ม.)
	Latitude	Longitude	Easting (ม.)	Northing (ม.)	
KMUTT01	13° 38' 58.62530" N	100° 29' 59.02718" E	662193.780	1509357.238	-12.669
KMUTT02	13° 38' 57.38239" N	100° 29' 57.13955" E	662137.298	1509318.697	-12.541
KMUTT03	13° 38' 59.24234" N	100° 29' 45.86452" E	661798.159	1509373.757	-12.265
KMUTT04	13° 38' 59.42023" N	100° 29' 43.73912" E	661734.263	1509378.830	-12.265
KMUTT05	13° 34' 24.68283" N	100° 26' 33.93171" E	656081.149	1500902.717	-12.632
KMUTT06	13° 34' 26.22001" N	100° 26' 29.25363" E	655940.264	1500949.117	-12.843
KMUTT07	13° 34' 29.33964" N	100° 26' 46.27975" E	656451.439	1501047.998	-12.605
KMUTT08	13° 34' 31.60798" N	100° 26' 46.07608" E	656444.904	1501117.659	-12.810

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด  $\Delta X = -206$  เมตร  $\Delta Y = -837$  เมตร  $\Delta Z = -295$  เมตร

จากข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณและปรับแก้ด้วยวิธี Least Squares โดยโปรแกรม SKI-PRO นั้นจะบอกคุณภาพของค่าพิกัดที่ได้ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละหมุดหลักฐานนั้นๆ ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งในแนวแกน X และในแนวแกน Y สามารถนำไปแสดงผลในรูปของค่าคลาดเคลื่อนแบบวงรี (error ellipse) ถ้าให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวแกน X แทนโดยแกนเอก (major axis) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวแกน Y แทนโดยแกนโท (minor axis) ซึ่งหมายความถึงทุกจุดภายในวงรีของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประจำหมุดมีโอกาสเป็นตำแหน่งที่แท้จริงของหมุดหลักฐานนั้นๆ ได้ โดยได้แสดงค่าในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวแกน X และแนวแกน Y

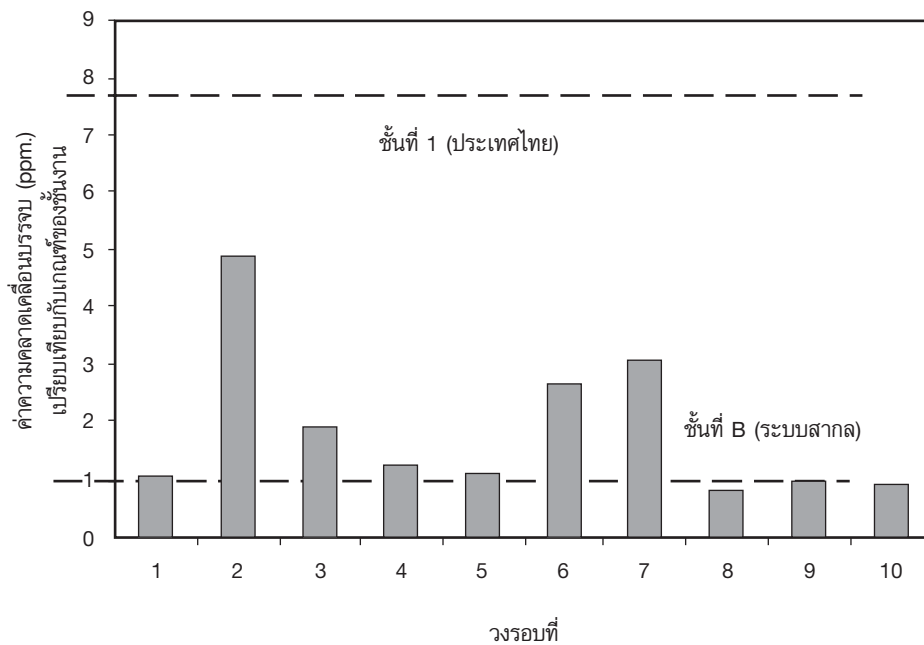
Point Id	Sd. X (ม.)	Sd. Y (ม.)
KMUTT01	0.007	0.005
KMUTT02	0.006	0.005
KMUTT03	0.006	0.005
KMUTT04	0.007	0.005
KMUTT05	0.004	0.003
KMUTT06	0.005	0.004
KMUTT07	0.004	0.003
KMUTT08	0.005	0.004

จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ค่าความคลาดเคลื่อนภายในวงรอบที่เกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบในแต่ละวงรอบ

วงรอบที่	ความยาว (กม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบ (ppm.)
1	20.57	1.05
2	0.82	4.90
3	1.12	1.92
4	20.20	1.27
5	41.51	1.11
6	1.07	2.68
7	1.73	3.08
8	0.81	0.83
9	24.66	0.98
10	24.61	0.91

หมายเหตุ ppm. = part per million (หนึ่งในล้านส่วน)



**รูปที่ 4** ค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบเทียบกับมาตรฐานการแบ่งชั้นงาน

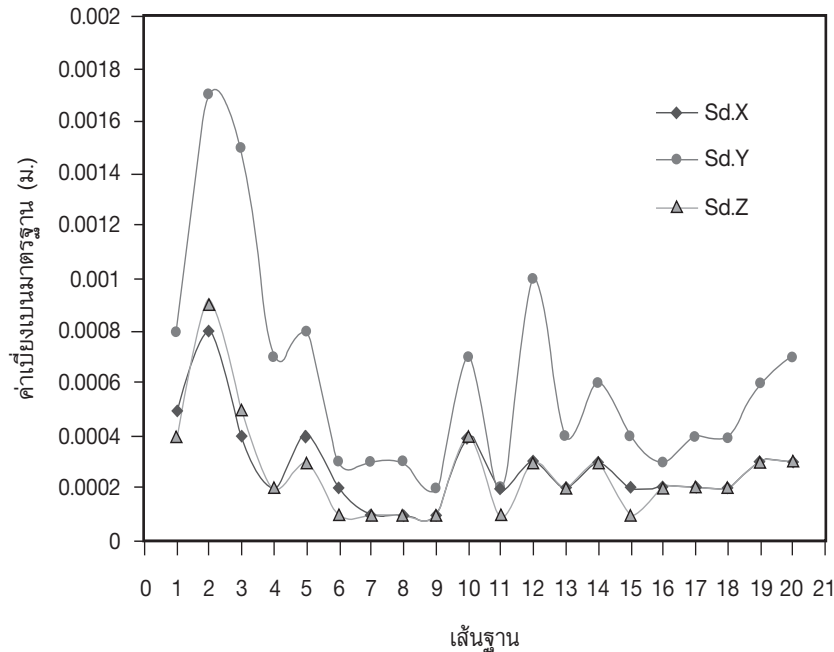
จากรูปที่ 4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานการแบ่งชั้นของงาน รังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS จะแบ่งชั้นงานของการรังวัดภาคสนามได้ดังนี้ งานรังวัดทุกวงรอบ จะอยู่ในเกณฑ์ของงานชั้นที่ 1 คือค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐาน อยู่ในช่วงเฉลี่ยไม่เกิน 8 ppm. นอกจากนี้วงรอบที่ 8, 9 และ 10 จัดอยู่ในเกณฑ์งานชั้น B (high precision) มีความละเอียดถูกต้องสูง คือค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะ

เส้นฐานไม่เกิน 1 ppm. ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจาก องค์ประกอบทางเรขาคณิตของรูป  
โครงข่ายที่ไม่สามารถทำให้สมบูรณ์แบบได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐาน โดยการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS  
แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐาน (มีหน่วยเป็นเมตร)

เส้นฐาน	Reference Id	Rover Id	dX	dY	dZ	Sd. X	Sd. Y	Sd. Z	Posn. Qlty	Ht. Qlty
1	KMUTT08	KMUTT04	-4898.79	-2874.55	7998.70	0.0005	0.0008	0.0004	0.0005	0.0009
2	3627	KMUTT04	-16621.80	-5222.54	8807.44	0.0008	0.0017	0.0009	0.0011	0.0018
3	3628	3627	12036.48	2267.49	-251.46	0.0004	0.0015	0.0005	0.0005	0.0016
4	KMUTT05	3628	-663.41	-34.98	-350.46	0.0002	0.0007	0.0002	0.0002	0.0007
5	KMUTT05	3627	11373.09	2232.50	-601.91	0.0004	0.0008	0.0003	0.0005	0.0008
6	KMUTT07	3628	-304.46	65.31	-489.58	0.0002	0.0003	0.0001	0.0002	0.0004
7	KMUTT05	KMUTT07	-358.95	-100.29	139.11	0.0001	0.0003	0.0001	0.0002	0.0003
8	KMUTT06	KMUTT07	-499.29	-114.68	93.24	0.0001	0.0003	0.0001	0.0002	0.0003
9	KMUTT06	KMUTT05	-140.34	-14.38	-45.87	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002
10	KMUTT04	KMUTT06	5389.06	3004.38	-8159.65	0.0004	0.0007	0.0004	0.0005	0.0008
11	KMUTT08	KMUTT06	490.26	129.85	-160.95	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0003
12	KMUTT04	KMUTT08	4898.80	2874.54	-7998.68	0.0003	0.001	0.0003	0.0004	0.001
13	KMUTT04	KMUTT02	-398.59	-59.10	-60.93	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004
14	KMUTT02	KMUTT08	5297.40	2933.63	-7937.79	0.0003	0.0006	0.0003	0.0004	0.0007
15	KMUTT03	KMUTT04	63.03	10.36	5.31	0.0002	0.0004	0.0001	0.0002	0.0004
16	KMUTT02	KMUTT03	335.56	48.74	55.61	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003
17	KMUTT01	KMUTT03	389.67	68.05	18.52	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004
18	KMUTT01	KMUTT02	54.11	19.32	-37.09	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004
19	3166	KMUTT01	645.09	3014.95	-11720.70	0.0003	0.0006	0.0003	0.0004	0.0007
20	3166	KMUTT03	1034.73	3082.99	-11702.18	0.0003	0.0007	0.0003	0.0004	0.0008

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานขององค์ประกอบของเส้นฐานที่ได้รับจากการประมวลผล ดังตารางที่ 9 แสดงในรูปแบบที่  
5 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการแบ่งชั้นงาน จะอยู่ในเกณฑ์งานชั้น AA และงานชั้นที่ 1



รูปที่ 5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบกับมาตรฐานการแบ่งชั้นงาน

## 5. สรุปผลและวิจารณ์ผล

จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ซึ่งทำให้ได้ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งหมุดหลักฐาน ทั้งพิกัดภูมิศาสตร์และพิกัด UTM รวมทั้งความสูงเหนือทรงรีอ้างอิง (spheroid) ซึ่งพิกัดที่ได้นั้นได้แบ่งออกเป็น 3 แบบตามชนิดพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ โดยข้อมูลพิกัดในชุดแรกนั้นเป็นการอ้างอิงจากพื้นหลักฐาน WGS 84 โดยในอนาคตอันใกล้ประเทศไทยโดยกรมแผนที่ทหารจะทำการเปลี่ยนพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มาเป็นพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งจะทำให้การทำงานในด้านการสำรวจชั้นสูงและงานทำแผนที่เป็นสากลมากขึ้น ข้อมูลในชุดที่สองนั้นเป็นการอ้างอิงจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ซึ่งเป็นพื้นหลักฐานที่ประเทศไทยได้ใช้มาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2518 ซึ่งในปัจจุบันยังคงใช้อยู่ โดยมีค่าพารามิเตอร์คือ  $\Delta X = -206$  เมตร  $\Delta Y = -837$  เมตร  $\Delta Z = -295$  เมตร และในข้อมูลชุดที่สามนั้นเป็นค่าพิกัดที่อ้างอิงมาจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เช่นเดียวกับชุดที่สอง เพียงแต่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้นั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารได้คำนวณขึ้นใหม่ และมีค่าพารามิเตอร์คือ  $\Delta X = -204$  เมตร  $\Delta Y = -838$  เมตร  $\Delta Z = -295$  เมตร ในการดำเนินการก่อสร้างหมุดหลักฐานและการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ในครั้งนี้ หมุดหลักฐานที่ได้มีความถูกต้องสูงโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยทั้ง 8 หมุดในแนวแกน  $X = 0.00545$  เมตร ในแนวแกน  $Y = 0.00419$  เมตร และในแนวแกน  $Z = 0.01298$  เมตร และจากข้อกำหนดของงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ได้บ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลของการรังวัด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ อาทิ ระยะเวลาในการรังวัด คุณภาพของข้อมูล และวิธีการประมวลผล โดยมีเกณฑ์การตรวจสอบการรังวัดเมื่อนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแบ่งชั้นงาน พบว่าอยู่ในเกณฑ์งานชั้น AA และงานชั้นที่ 1 ซึ่งมีเกณฑ์มาตรฐานของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย ไม่เกิน 2 เซนติเมตร ถือว่าค่าพิกัดที่ได้มีความถูกต้องอยู่ในระดับสูงที่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น งานสำรวจชั้นสูง งานสำรวจระยะยาว งานก่อสร้าง

ขนาดใหญ่และงานสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เป็นต้น รวมทั้งมหาวิทยาลัยจะมีหมุดหลักฐานที่มีความถูกต้องสูง และได้มาตรฐานเพราะเป็นการอ้างอิงค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานระดับประเทศ

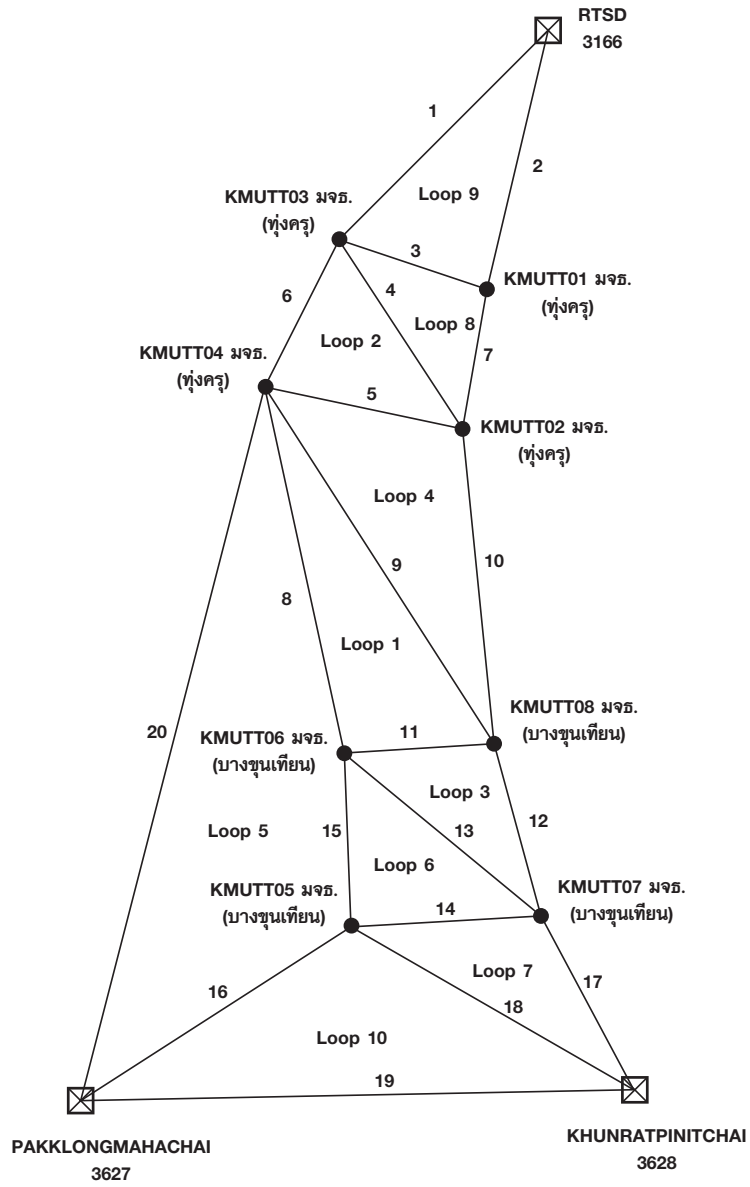
จากผลการศึกษาทำให้ทราบค่าพิกัด ณ ตำแหน่งหมุดหลักฐานทั้ง 8 หมุด โดยการอ้างอิงค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จากการศึกษานั้นนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูง โดยเมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแบ่งชั้นของงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS จะแบ่งชั้นงานของการรังวัดภาคสนามได้ดังนี้ งานรังวัดทุวงรอบ จะอยู่ในเกณฑ์ของงานชั้นที่ 1 ในระบบของประเทศไทย คือค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐาน อยู่ในช่วงเฉลี่ยไม่เกิน 8 ppm. และมีวงรอบที่ 8, 9 และ 10 จัดอยู่ในเกณฑ์งานชั้น B (high precision) ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงคือ ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานเฉลี่ยไม่เกิน 1 ppm. และผลลัพธ์จากการประมวลผลโครงข่ายจะพบว่าค่าความสูงจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ซึ่งอ้างอิงรูปทรงรีนั้น ยังคงมีความคลาดเคลื่อนที่สูงอยู่ ดังนั้นควรจะพิจารณาในการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่งของหมุดหลักฐานเพิ่มขึ้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ คุณสมบัติ ทรัพย์สวนแดง ผู้จัดการฝ่าย GEOMATICS บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS และซอฟต์แวร์เพื่อการประมวลผล รวมถึงขอขอบคุณกรมแผนที่ทหาร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าพิกัดของหมุดหลักฐาน ตลอดจนนิสิตในโครงการ ซึ่งได้แก่ นายชัยณรงค์ คำแก้ว นางสาวศิริญา ธรรมดิษฐ์ และนางสาวสุพัตรา บังสันเทียะ ที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไว้ ณ โอกาสนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

1. ยรรยง ทรัพย์สุขอำนาจ, 2545, *การสำรวจชั้นสูง*, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, หน้า 165-173.
2. ธนัช สุขวิมลเสรี, 2543, “ระบบดาวเทียมในงานรังวัด”, *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 39, หน้า 40-48.
3. ครายุทธ อยู่สำราญ, รท., 2543, *การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐานประเทศไทย : WGS84 กับ อินเดียน 1975*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 33-36.
4. James R. Smith, 1997, *Introduction to Geodesy*, John Wiley & Sons, Inc., USA, pp. 27-35
5. Alfred Leick, 2004, *GPS Satellite Surveying*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 3<sup>rd</sup> ed., pp. 123-125.
6. B. James M. Anderson, 1998, *Surveying: Theory and Practice*, McGraw-Hill, USA, 7<sup>th</sup>ed. pp. 700-702.



รูปที่ 3 โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS