บทที่ 7
ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

ทบทอง ชั้นเจริญ

หัวข้อ

- 7.1 พื้นฐานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก
- 7.2 องค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก
- 7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก
- 7.4 สมการค่าสังเกตจีพีเอส
- 7.5 การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก
- 7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก
- 7.7 การประยุกต์ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 1. อธิบายพื้นฐานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้
- 2. จำแนกองค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้
- 3. อธิบายหลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้
- 4. จำแนกการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้
- 5. อธิบายการประยุกต์ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้

บทนำ

- ปัจจุบันการหาค่าพิกัดตำแหน่งโดยใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System : GPS) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการสำรวจข้อมูลเชิงพื้นที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในภาครัฐและเอกชน เช่น กรมแผนที่ทหาร กรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง เป็นต้น เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ยังสามารถทำงานได้ทุกสภาพอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ระบบจีพีเอสเป็นระบบที่ประกอบด้วยเครือข่ายของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก และส่งสัญญาณรหัสข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลจีพีเอสทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนผิวโลกจากการวัดระยะจากจุดนั้นไปยังดาวเทียมได้ทุกพื้นที่บนโลก

7.1 พื้นฐานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือระบบดาวเทียมจีพีเอส เป็นระบบโครงข่ายดาวเทียมระบุตำแหน่งจำนวน 24 ดวง ซึ่งโคจรอยู่รอบโลก มีชื่ออ้างอิงว่า ดาวเทียมนาฟสตาร์ (NAVSTAR) พัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมประเทศสหรัฐอเมริกา ถูกออกแบบมาใช้ในภารกิจทางทหารเป็นหลัก และเปิดให้ประชาชนทั่วไปได้ใช้ประโยชน์บางส่วนโดยไม่คิดมูลค่า โดยไม่จำกัดสภาพอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงและใช้ได้ทั่วโลก
- ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกจะรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่ง ณ จุดใด ๆ บนโลกอ้างอิงกับระบบพิกัดภูมิศาสตร์ จึงนับได้ว่าเป็นระบบนำทางที่ดีที่สุดในปัจจุบันและมีผู้ใช้กันอย่างแพร่หลาย

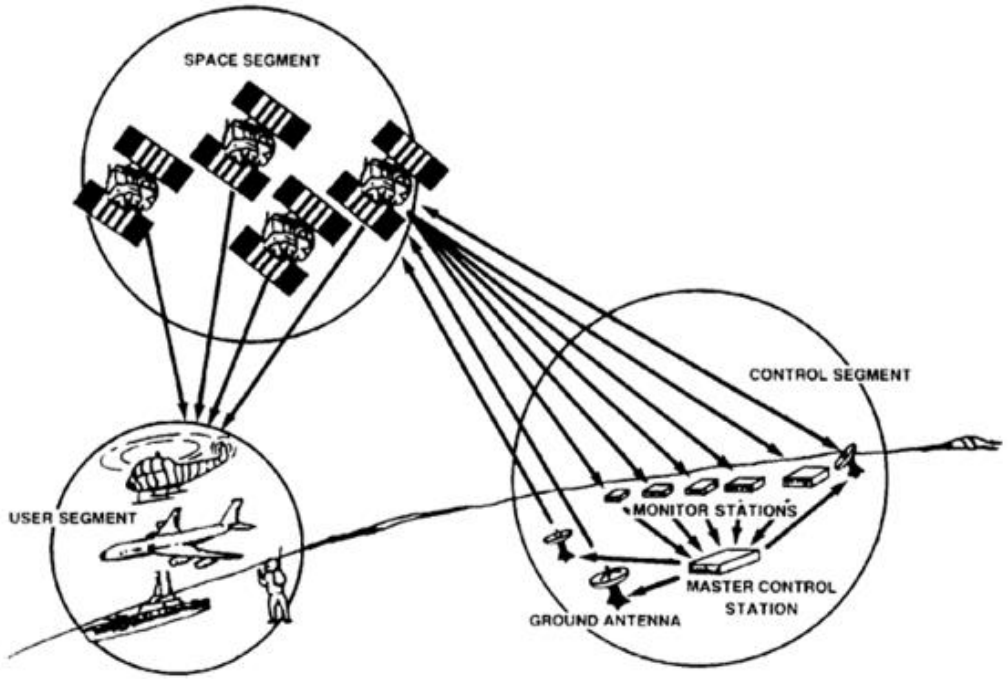
7.1 พื้นฐานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- ระบบดาวเทียมที่มีลักษณะการทำงานคลายคลึงกับระบบดาวเทียมจีพีเอส
- ะบบดาวเทียมโกลนาสส์ (GLObal Navigation Satellite System GLONASS) ของสหพันธรัฐรัสเซีย จำนวน 30 ดวง
- ระบบดาวเทียมกาลิเลโอ (Galileo) จำนวน 24 ดวง ของกลุมสหภาพยุโรป (The European Union : EU) ด้วยความร่วมมือกับสถาบันทางด้านอวกาศของยุโรป (The European Space Agency : ESA)
- ระบบดาวเทียมคอมพาส (Compass) ของสาธารณรัฐประชาชนจีน จำนวน 35 ดวง
- ระบบดาวเทียมคิวซีเอสเอส (Quasi-Zenith Satellites System: QZSS) ของญี่ปุน จำนวน 3 ดวง
- ระบบดาวเทียมไออาร์เอ็นเอสเอส (Indian Regional Navigation Satellite System: IRNSS) ของสาธารณรัฐอินเดีย จำนวน 7 ดวง
- โดยมีการกำหนดชื่อเฉพาะขึ้นมาสำหรับใช่เรียกแทนทุกระบบว่า จีเอ็นเอสเอส (Global Navigation Satellite Systems: GNSS) ในอนาคตทุกระบบสามารถใช่งานรวมกัน อยางไรก็ตามระบบดาวเทียมจีพีเอส ก็ยังเปนองคประกอบหลักของระบบจีเอ็นเอสเอส ดังนั้น จึงสามารถนำใชระบบดาวเทียมจีพีเอสมาใช้ในการอธิบายหลักการทำงานของระบบจีเอ็นเอสเอสได้

7.2 องค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- 7.1) ส่วนอวกาศ (Space segment)
- 7.2) ส่วนควบคุม (Control segment)
- 7.3) ส่วนของผู้ใช้ (User segment)

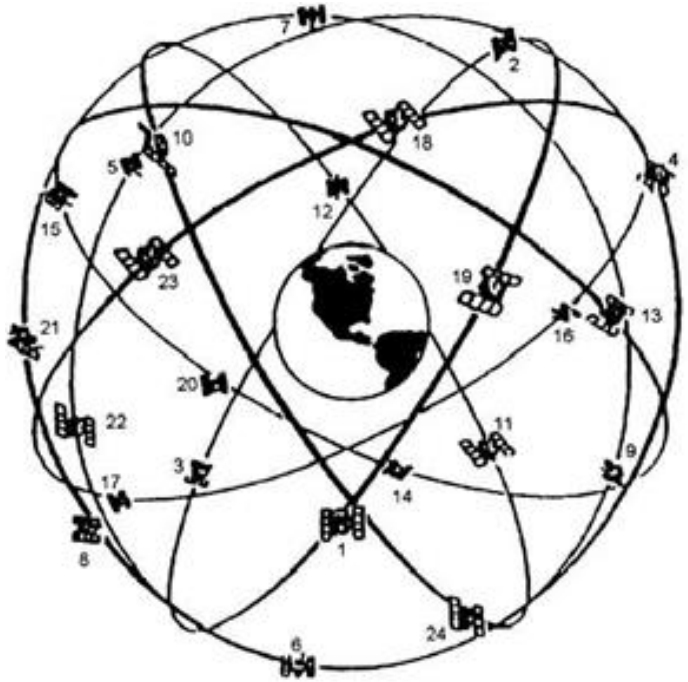
ภาพที่ 7.1 องค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก



7.2 องค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- **7.1) ส่วนอวกาศ (Space segment)**
- ประกอบดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง ทำงานตลอดเวลา 21 ดวง และสำรอง 3 ดวง
- ระดับวงโคจรประมาณ 20,200 กิโลเมตร เหนือผิวโลก โคจรรอบโลกในเวลา 11 ชั่วโมง 58 นาที และปรากฏอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในบริเวณหนึ่งประมาณ 5 ชั่วโมง ซึ่งทำให้คลุมพื้นที่การทำงานทั้งหมดบนผิวโลก เพื่อให้เครื่องรับสัญญาณบนโลกสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้พร้อมกันอย่างน้อย 4 ดวง
- ดาวเทียมจะอยู่เหนือขอบฟ้าไม่น้อยกว่า 15 องศา ตลอด 24 ชั่วโมง ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี มีระบบขับเคลื่อนขนาดเล็กเพื่อขับดันให้ไปในทิศทางที่ถูกต้อง โดยจัดกลุ่มวงโคจรเป็น 6 ระนาบ ๆ ละ 4 ดวง ทำมุมกับระนาบศูนย์สูตร 55 องศา ซึ่งเริ่มส่งเข้าสู่วงโคจรตั้งแต่ปี ค.ศ. 1978 และครบสมบูรณ์ในปี ค.ศ.1994

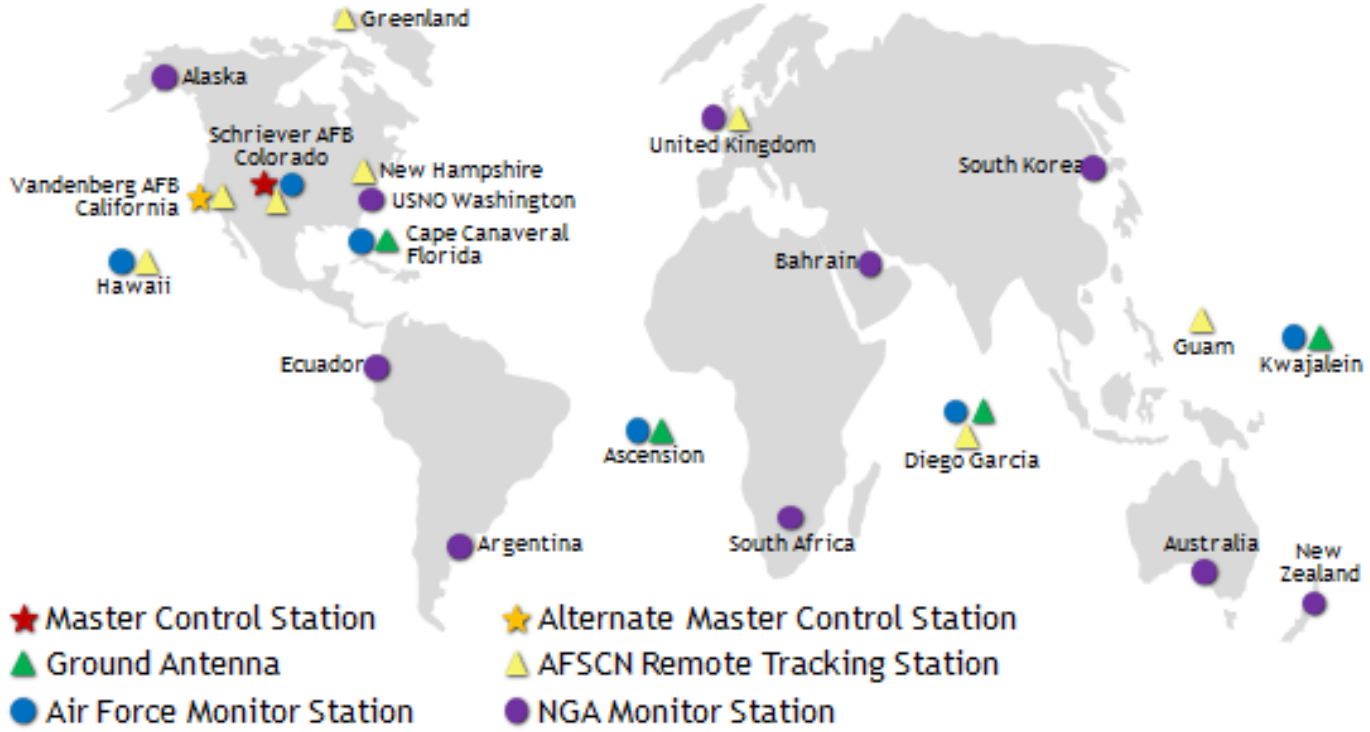
ภาพที่ 7.2 กลุ่มดาวเทียมจีพีเอสนาฟสตาร์



7.2 องค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- **7.2) ส่วนควบคุม (Control segment)**
- สถานีภาคพื้นดิน (Ground control station) จะกระจายอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ทั่วโลก ทำหน้าที่ควบคุมดาวเทียมจีพีเอสด้วยการเฝ้าติดตาม (Tracking) คำนวณและส่งข้อมูลวงโคจรสัญญาณเวลา และตำแหน่งของดาวเทียมที่มีความถูกต้องสูง เพื่อส่งให้ผู้ใช้สัญญาณต่อไป
- สถานีภาคพื้นดินมีสถานีหลักอยู่ที่โคโลราโด สปริง รัฐโคโลราโด และสถานีในเครือข่ายที่ไม่มีคณะทำงานอีก 4 สถานี คือ เกาะฮาวาย (Hawaii) เกาะควาจาเลียน (Kwajalein) เกาะดีเอโก การ์เซีย (Diego Garcia) และเกาะแอสเซนชัน (Ascension)

ภาพที่ 7.3 สถานีภาคพื้นดินที่กระจายเป็นเครือข่ายทั่วโลก



7.2 องค์ประกอบของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

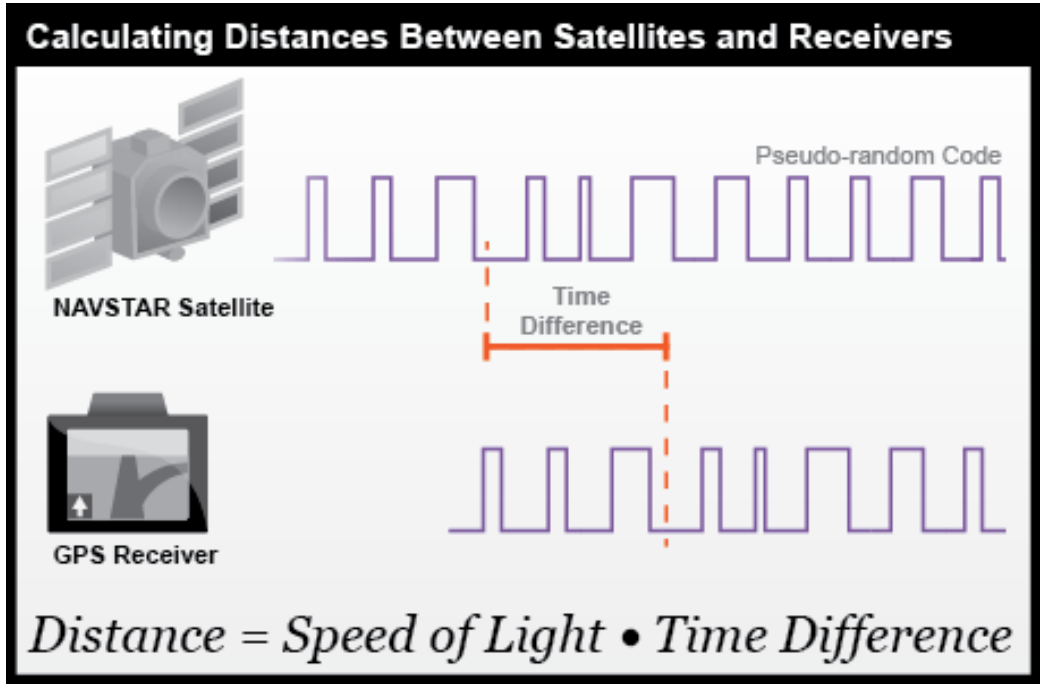
- **7.3) ส่วนของผู้ใช้ (User segment)**
- ประกอบด้วย ผู้ใช้และชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งมีหลายประเภท เช่น เครื่องสำหรับงานนำหน หรือเครื่องรับสัญญาณแบบสวมใส่สำหรับการออกกำลังกาย เป็นต้น มีความถูกต้องในระดับ 10 เมตร
- เครื่องสำหรับใช้ในการทำแผนที่ ที่มีความถูกในระดับน้อยกว่า 1 เมตร
- เครื่องที่ใช้ในงานสำรวจรังวัดความถูกต้องสูง มีความถูกต้องในระดับน้อยกว่าเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการรังวัด (Measuring techniques) และการคำนวณประมวลผลข้อมูลสัญญาณดาวเทียมด้วย

ภาพที่ 7.4 เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสประเภทต่าง ๆ

7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- การรับสัญญาณระหว่างดาวเทียมจีพีเอสกับเครื่องรับสัญญาณ เป็นการรับสัญญาณเพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องรับและดาวเทียมที่รับสัญญาณนั้น โดยเรียกระยะดังกล่าวว่า ซูโดเรนจ์ (Pseudo-range)
- เครื่องรับสัญญาณต้องทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสอย่างน้อย 3 ดวงพร้อมกัน จึงจะสามารถคำนวณตำแหน่งเชิงสองมิติ (2D position) คือละติจูดและลองจิจูดของเครื่องรับสัญญาณได้
- skdสามารถรับสัญญาณได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไป จะสามารถคำนวณตำแหน่งเชิงสามมิติ (3D position) คือ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง ได้ในลักษณะของการเล็งสกัดด้วยความยาวด้าน (Trilateration)
- นอกจากนี้ เครื่องสัญญาณบางเครื่องยังถูกออกแบบมาให้สามารถคำนวณรูปแบบอื่นได้ด้วย เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องรับสัญญาณ ทิศทางเส้นทางการเคลื่อนที่ และระยะห่างจากจุดหมายที่กำหนดไว้ เป็นต้น

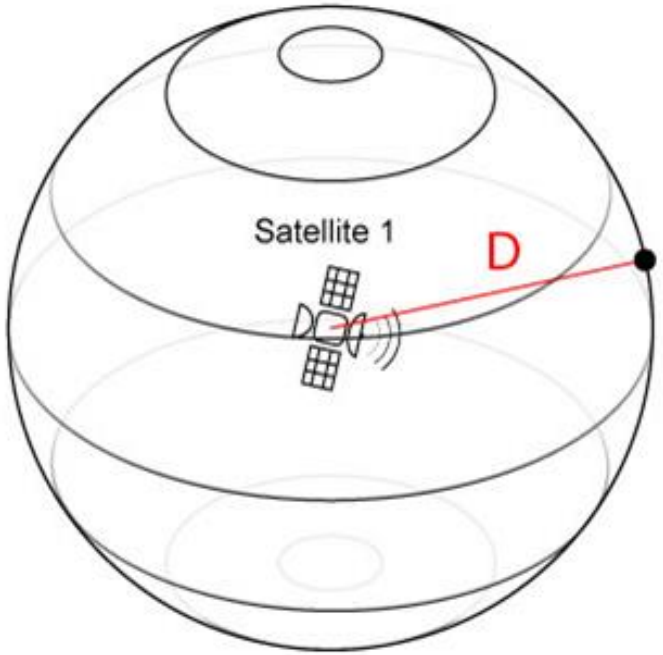
ภาพที่ 7.5 ซูโดเรนจ์



7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- ดาวเทียมระบบจีพีเอสที่โคจรอยู่รอบโลกทุกดวงจะทราบตำแหน่งทุกขณะเวลา ดังนั้นเมื่อเครื่องรับสัญญาณรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ เครื่องรับสัญญาณจะทำการวัดสัญญาณและคำนวณค่าระยะจากเครื่องรับสัญญาณถึงดาวเทียมแต่ละดวงที่รับ
- โดยเครื่องรับสัญญาณจะอยู่ห่างจากดาวเทียมเป็นรัศมีเท่ากับระยะที่วัดได้รอบดาวเทียมเป็นลักษณะทรงกลมที่ตัดกับผิวโลก
- เมื่อรับสัญญาณดาวเทียม 1 ดวง จะยังไม่สามารถระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณได้แน่ชัด โดยที่ตำแหน่งอาจเป็นจุดใดจุดหนึ่งบนพื้นสัมผัสที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมกับผิวโลก

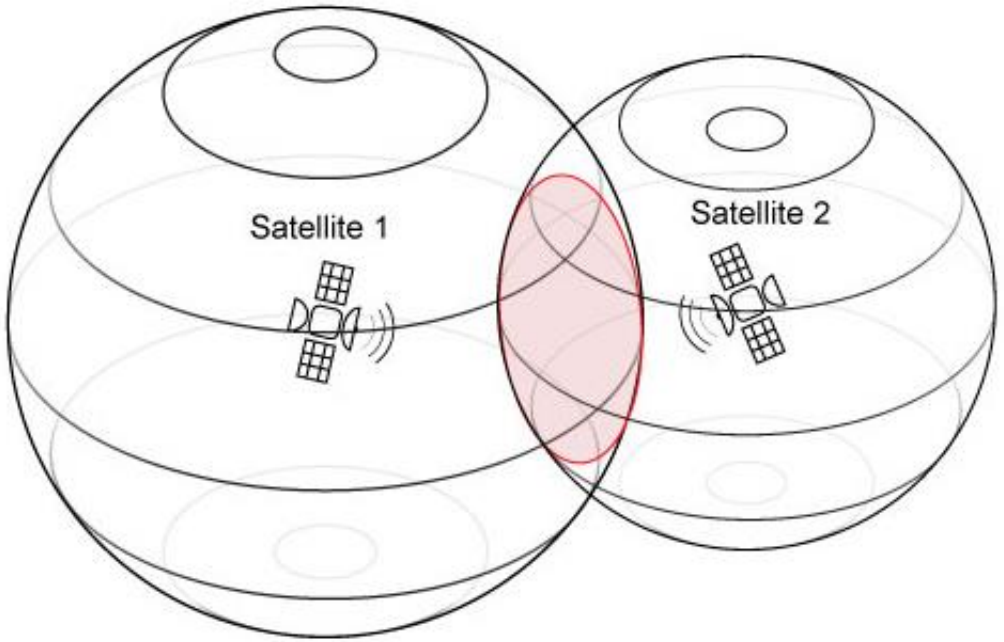
ภาพที่ 7.6 การรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส 1 ดวง



7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- เมื่อรับสัญญาณดาวเทียม 2 ดวง จะเกิดการตัดกันของรูปทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากดาวเทียมแต่ละดวงถึงเครื่องรับสัญญาณและตัดกับผิวโลกเกิดเป็นรอยตัดระหว่างทรงกลมสองลูก
- ซึ่งยังคงไม่สามารถกำหนดตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณได้แน่ชัด โดยตำแหน่งอาจจะเป็นจุดใดจุดหนึ่งบนรอยตัดของทรงกลมทั้งสองลูก

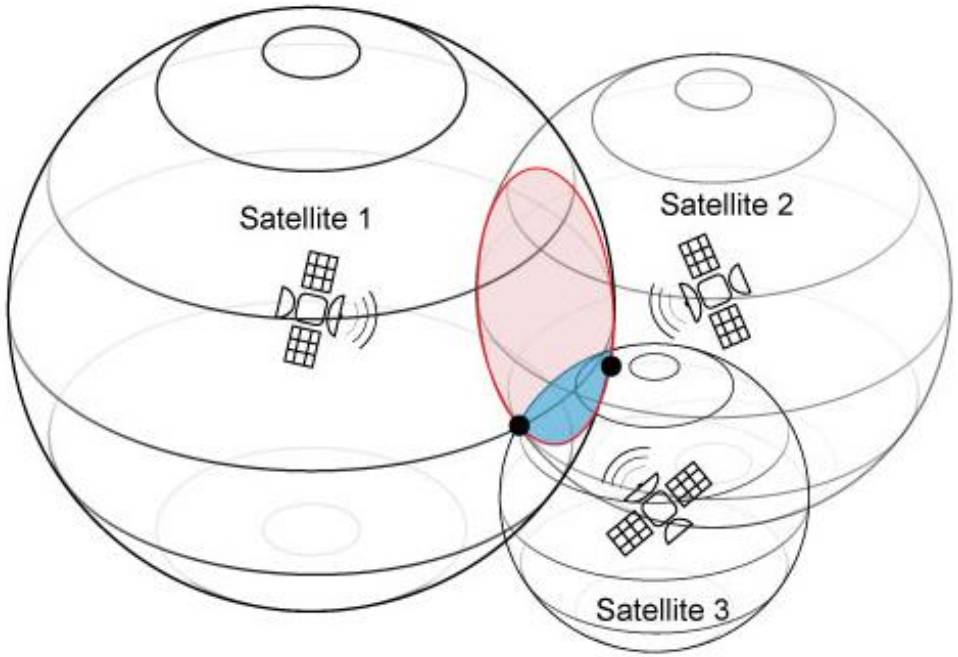
ภาพที่ 7.7 การรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส 2 ดวง



7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- เมื่อรับสัญญาณดาวเทียม 3 ดวง จะเกิดการตัดกันของรูปทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากดาวเทียมแต่ละดวงถึงเครื่องรับสัญญาณและตัดกับผิวโลกเกิดเป็นรอยตัดตามแนวเส้นตรงเพิ่มขึ้น จะทำให้คำนวณตำแหน่งได้ที่อาจจะเป็นตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณเหลือเพียงสองจุด

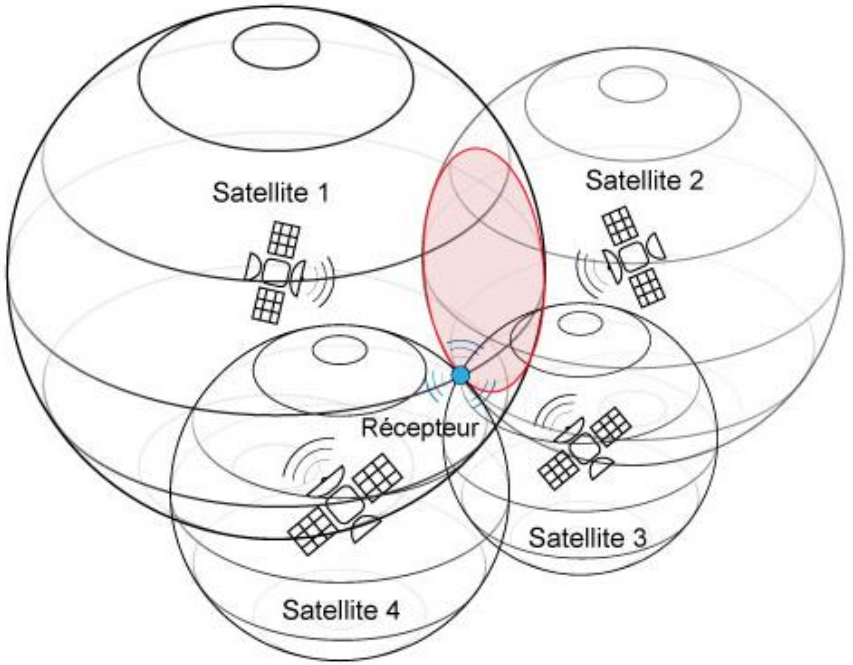
ภาพที่ 7.8 การรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส 3 ดวง



7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- เมื่อรับสัญญาณดาวเทียม 4 ดวง จะเกิดการตัดกันของรูปทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากดาวเทียมแต่ละดวงถึงเครื่องรับสัญญาณและตัดกับผิวโลกทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งได้แน่ชัดเพียงตำแหน่งเดียว

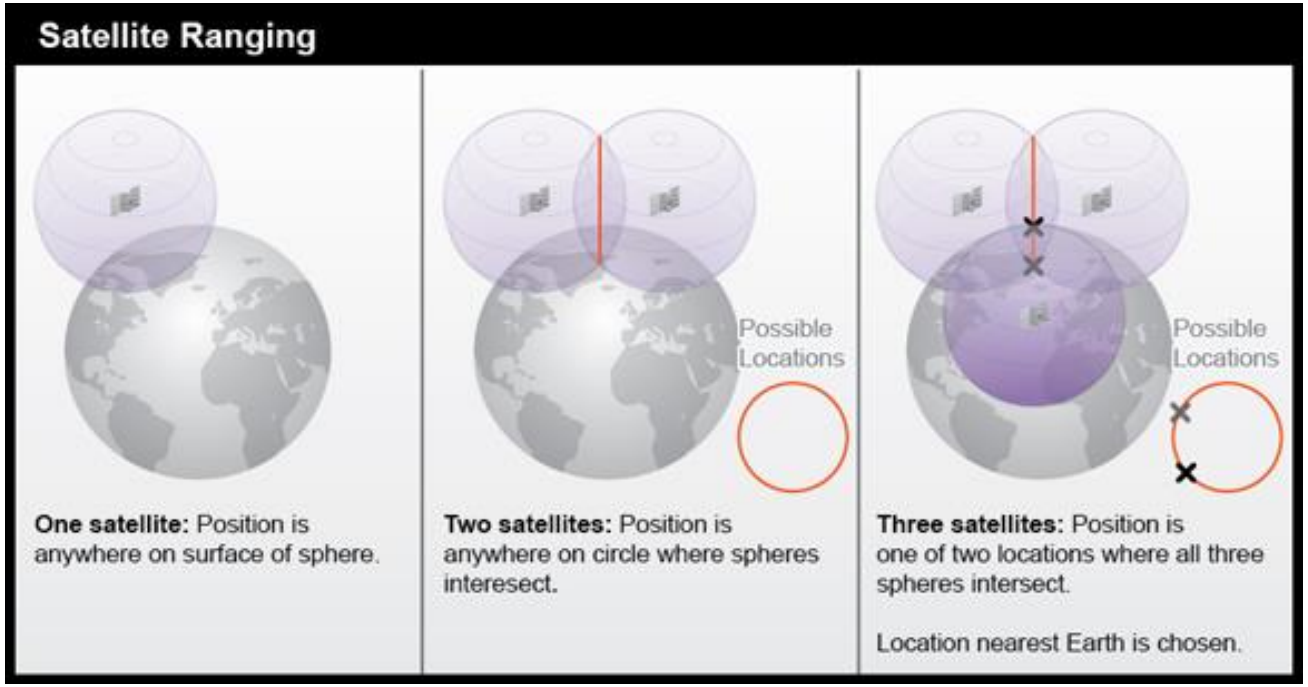
ภาพที่ 7.9 การรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส 4 ดวง



7.3 หลักการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- ในทางปฏิบัติ การรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 3 ดวงก็สามารถกำหนดตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณบนผิวโลกได้ เนื่องจากตำแหน่งที่ได้สองจุดจะมีหนึ่งจุดที่มีค่าผิดปกติสามารถตัดออกไปได้ คือ จุดที่อยู่ในอวกาศ หรืออาศัยการพิจารณาผิวโลกเป็นทรงกลมเสมือนว่าจุดศูนย์กลางโลกเป็นดาวเทียมดวงที่สี่ การตัดกันของผิวจะได้ตำแหน่งที่ต้องการ

ภาพที่ 7.10 การตัดกันของทรงกลมกับพื้นโลกจากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจำนวน 1 2 และ 3 ดวง



7.4 สมการค่าสังเกตจีพีเอส

- **7.4.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)** คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ สามารถหาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น คำนวณได้จาก ความเร็วของสัญญาณคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ

- $R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_r + \varepsilon_R$
-
- โดย R คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- d_{trop} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
- $\Delta\delta_r$ คือ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta^s$ คือ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- dm_r คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (multipath) (เมตร)
- ε_R คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

7.4 สมการค่าสังเกตจีพีเอส (ต่อ)

- **7.4.2 เฟสของคลื่นส่ง** ค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร ต้องอาศัยการวัดเฟสของคลื่นส่งของเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้น โดยในการรับสัญญาณเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity)
- φ = ρ+Δr $-d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_\varphi + \varepsilon_\varphi + \lambda N$
- โดย φ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- d_{trop} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
- $\Delta\delta_r$ คือ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta^s$ คือ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- dm_φ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (multipath) (เมตร)
- ε_φ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)
- λ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
- N คือ เลขปริศนาของคลื่นส่ง

7.5 การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- 7.5.1 การหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning)
- 7.5.2 การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)

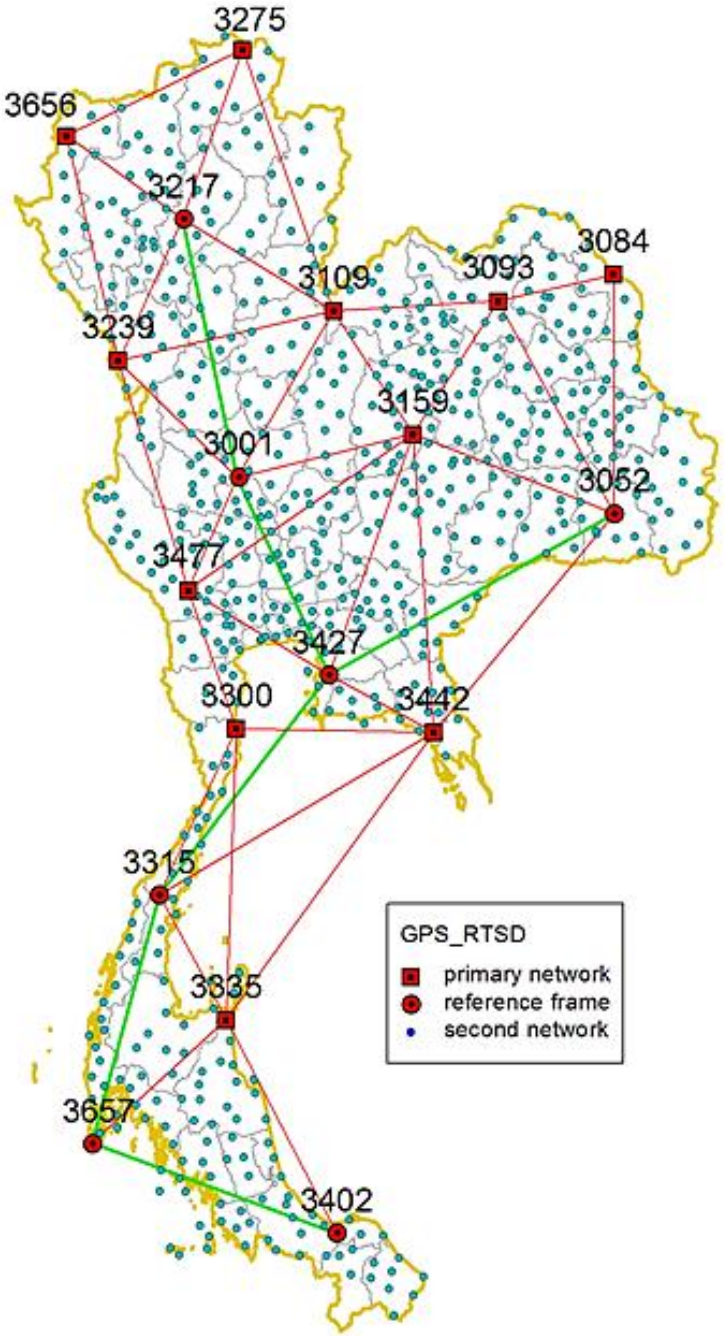
7.5 การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.5.1 การหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning)**
- วิธีการหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยว (SPP) เป็นการใช้เครื่องรับสัญญาณ 1 เครื่อง ไป ณ จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด โดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์มาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดแบบทันที
- ข้อได้เปรียบ คือ ข้อมูลซูโดเรนจ์เป็นข้อมูลพื้นฐานที่รับได้กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสทุกชนิด มีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่าง 10-20 เมตร
- เครื่องรับสัญญาณมีราคาที่ไม่สูงจนเกินไป

7.5 การรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.5.2 การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)**
- **การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)**
- วิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะวางอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เช่น หมุดหลักฐานกรมที่ดิน หรือหมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหาร เป็นต้น ส่วนเครื่องรับอีกเครื่องหนึ่งจะถูกนำไป ณ จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด
- ผลที่ได้ คือ ตำแหน่งเปรียบเทียบของจุดหนึ่งเทียบกับอีกจุดหนึ่ง หรือเป็น เส้นฐาน ที่มีระยะทางระหว่างจุดที่นำเครื่องรับทั้งสองไปวาง สามารถใช้ได้กับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัด
- ในกรณีที่ใช้ข้อมูลซูโดเรจน์ในการหาค่าพิกัด จะเรียกว่า ดีจีพีเอส (Pseudorange-based Differential GPS: DGPS) ค่าความถูกต้องที่ได้รับอยู่ระหว่าง 0.5-5 เมตร และกรณีที่ใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นในการหาค่าพิกัดค่าความถูกต้องที่ได้รับอยู่ระหว่าง 1-5 เซนติเมตร
- การใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาคำนวณค่าพิกัดจะสามารถใช้ได้กับเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดเท่านั้น

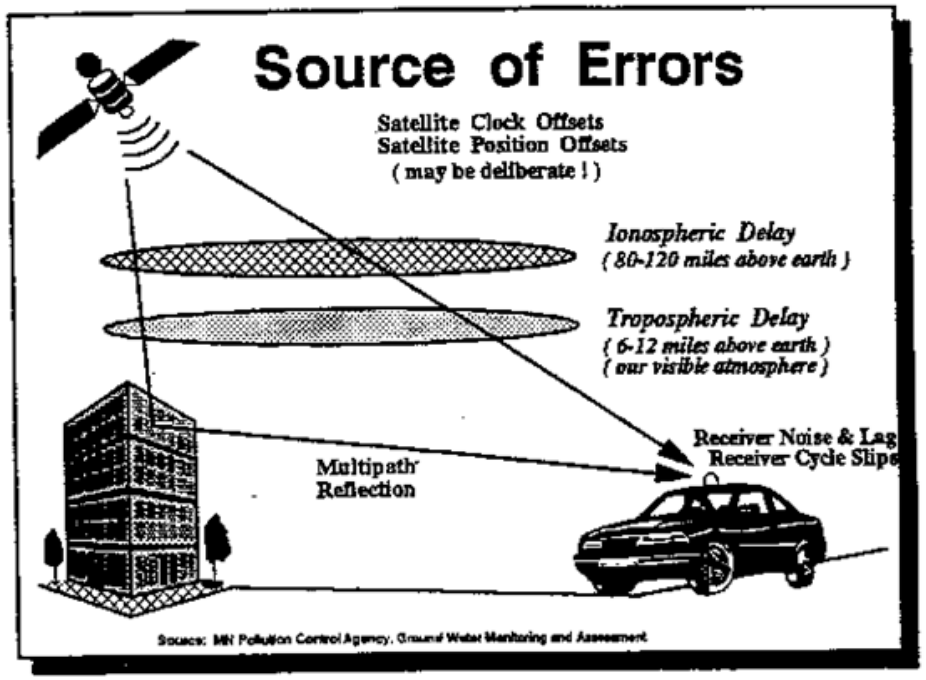
ภาพที่ 7.11 โครงข่ายหมุดหลักฐานจีพีเอสหลักของประเทศไทย



7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- 7.6.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม
- 7.6.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม
- 7.6.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ
- 7.6.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ

ภาพที่ 7.12 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกจากสาเหตุต่าง ๆ



7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.6.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม**
- **7.6.1.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม** วงโคจรดาวเทียมถูกคำนวณขึ้นที่สถานีควบคุม โดยมีการทำนายวงโคจรล่วงหน้าและส่งข้อมูลนั้นไปยังดาวเทียมเพื่อให้ดาวเทียมส่งมาให้กับผู้ใช้ ในความเป็นจริง จะไม่สามารถการทำนายวงโคจรดาวเทียมให้สมบูรณ์ได้ เนื่องจากมีแรงต่าง ๆ มากระทำกับตัวดาวเทียมมากมายหลายชนิด ด้วยเหตุนี้ตำแหน่งของดาวเทียมที่คำนวณได้จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมจึงมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่
- **7.6.1.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม** ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมเกิดขึ้นจากการเทียบเวลาและความถี่มาตรฐานที่แตกต่างไปจากเวลาจีพีเอส โดยข้อมูลค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงจะอยู่ในข้อมูลนำหนที่ส่งลงมาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบของสัมประสิทธิ์ค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมทั้งสามตัว ทั้งนี้ ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุม

7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.6.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม**
- **7.6.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ** ความเสถียรของระบบนาฬิกาที่ใช้ในเครื่องรับมีความเสถียรต่ำกว่านาฬิกาที่ใช้ในดาวเทียม จึงมีผลให้ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับผิดไปจากเวลาจีพีเอส ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนจะส่งผลต่อระยะที่วัดได้ อาจมากถึงระดับไมโครวินาที ซึ่งเทียบเท่ากับระยะที่ผิดพลาดไปประมาณ 300 เมตร
- **7.6.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ** ข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากสัญญาณจีพีเอสจะเป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวส่งคลื่นสัญญาณในดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางของเสาอากาศของเครื่องรับ เนื่องจากจุดศูนย์กลางจะแปรเปลี่ยนตามทิศทางและความแรงของคลื่นสัญญาณที่เข้ามายังเสาอากาศ ค่าการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของเสาอากาศที่ใช้

7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.6.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (ต่อ)**
- **7.6.2.3 ค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ** ค่าคลาดเคลื่อนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราส่วนระหว่างความแรงของสัญญาณกับสัญญาณรบกวน และความกว้างของช่องสัญญาณ เป็นต้น โดยจะมีขนาดประมาณร้อยละ 1 ของความยาวคลื่น
- **7.6.2.4 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐาน** จะเกิดเฉพาะกับวิธีการหาตำแหน่งสัมพัทธ์เท่านั้น ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสเพื่อหาค่าระยะเส้นฐาน จะทำการตรึงค่าพิกัดที่ทราบตำแหน่งของสถานีฐานไว้ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตรึงค่าพิกัดของสถานีฐานจะส่งผลให้ค่าระยะเส้นฐานที่คำนวณได้ผิดพลาดไปด้วย ทั้งนี้ ค่าคลาดเคลื่อนต่อการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์จะขึ้นกับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสอง

7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.6.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ**
- **7.6.3.1 การล่าช้าเนื่องจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ** ในทางทฤษฎี กำหนดให้คลื่นเดินทางในสุญญากาศมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง แต่ในความเป็นจริง ในการเดินทางของคลื่นไม่ได้ผ่านสุญญากาศโดยตลอด มีการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกหลายชั้น ซึ่งมีชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่น คือ ชั้นไอโอโนสเฟียร์ และชั้นโทรโพสเฟียร์
- **7.6.3.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี** คลื่นหลายวิถีเกิดจากการสะท้อนของคลื่นสัญญาณระหว่างเดินทาง ลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวดิ่ง ราบ หรือเอียง เช่น ผนังตึก ถนน ผิวน้ำ หรือยานพาหนะ เป็นต้น

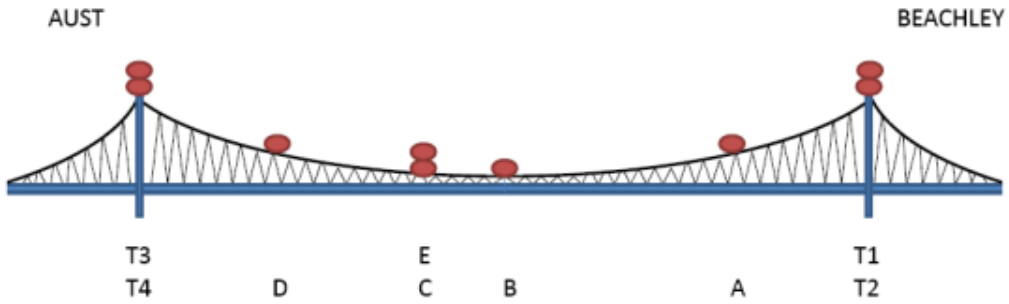
7.6 ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (ต่อ)

- **7.6.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ**
- **7.6.4.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด** เกิดจากมีสิ่งกีดขวางมาบังเสาอากาศที่เครื่องรับสัญญาณหรือมีคลื่นรบกวนขนาดใหญ่ เช่น การเกิดความแปรปรวนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นต้น
- **7.6.4.2 ค่าเลขปริศนา (Ambiguity)** ในการหาระยะที่ละเอียดถูกต้องสูงจำเป็นต้องมีการคำนวณหาค่าเลขปริศนา (N) ค่าเลขปริศนาแต่ละค่าจะเป็นค่าคงที่ตราบใดที่มีการรับสัญญาณอย่างต่อเนื่องและไม่เกิดคลื่นหลุด การหาค่าปริศนาจะทำในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล ภายหลังจากที่ได้ขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ และซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลแล้ว ขั้นตอนการหาค่าเลขปริศนา เรียกว่า การแยกความกำกวม (Ambiguity Resolution : AR)

7.7 การประยุกต์ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

- ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ถูกนำไปประยุต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการรังวัดหาค่าพิกัดโดยการคำนวณจากข้อมูลจีพีเอส เริ่มจากระบบดั้งเดิมอย่าง ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ แม้กระทั่ง จีเอ็นเอสเอส ในปัจจุบัน
- สามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่น เช่น การรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- รวมถึงศาสตร์ทางด้านวิศวกรรม เช่น วิศวกรรมก่อสร้าง วิศวกรรมทางน้ำ เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการจัดการทางด้านโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ เช่น อาคารสูง สะพาน เป็นต้น ให้มีประสิทธิภาพ

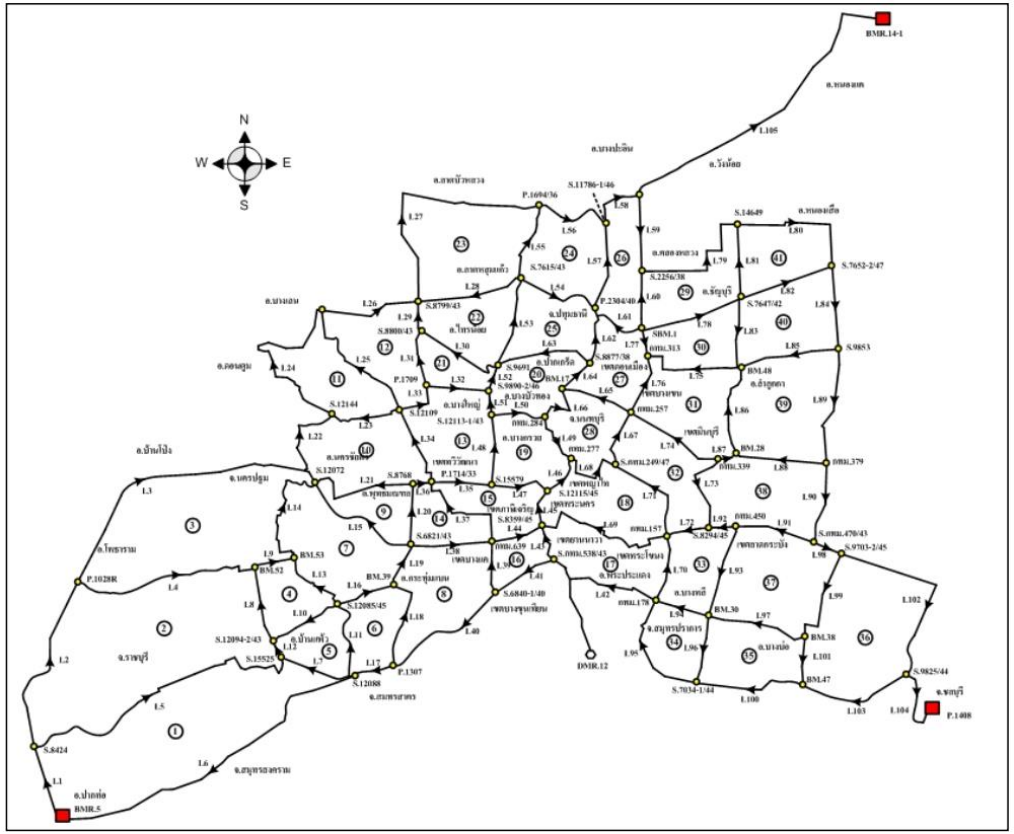
ภาพที่ 7.13 การติดตั้งระบบจีเอ็นเอสเอสเพื่อวิเคราะห์การสั่นสะเทือนและการเหวี่ยงตัวของสะพานขณะที่มีการขับขี่ยวดยานบนสะพานแขวนแม่น้ำเซเวิร์น ในประเทศอังกฤษ



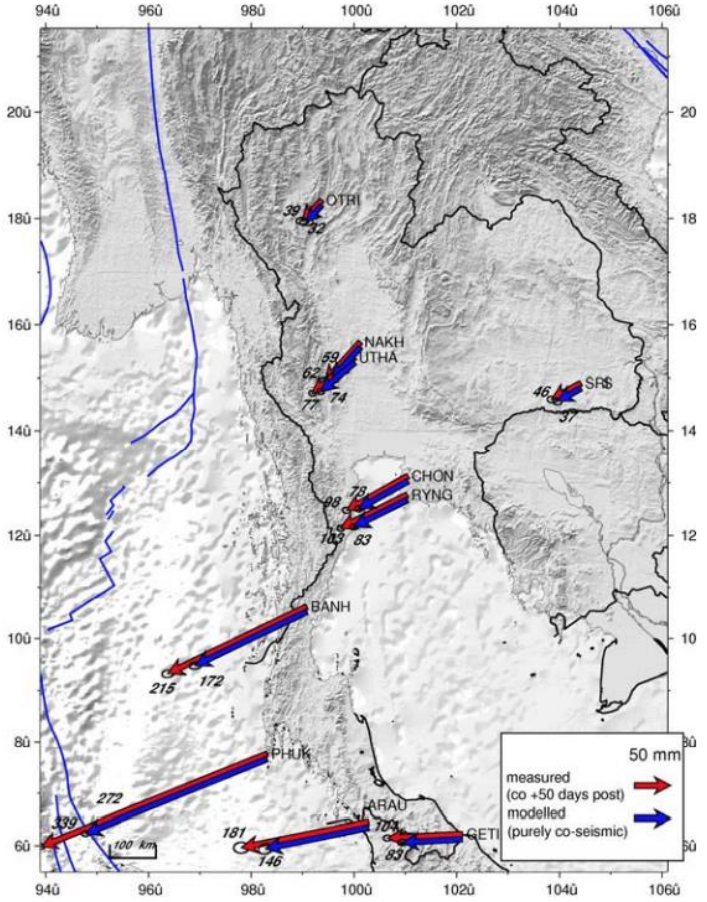
(ก) ตำแหน่งที่ติดตั้ง

(ข) เครื่องรับสัญญาณ

ภาพที่ 7.14 โครงข่ายระดับการทรุดตัวของพื้นดิน ในรายงานผลการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดิน โครงการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดิน ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปี 2551

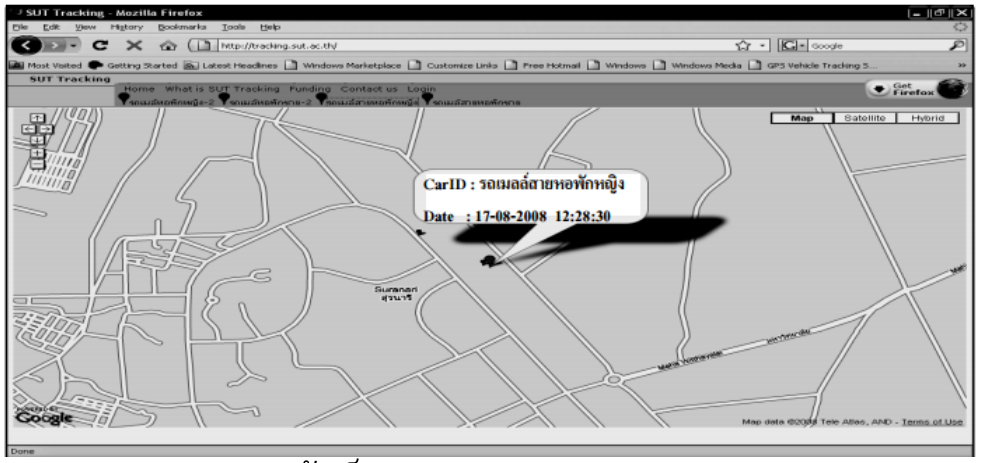


ภาพที่ 7.15 แสดงการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย
จากการศึกษาความบิดเบี้ยวของโครงข่ายหมุดหลักฐานจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร
สืบเนื่องจากเหตุการณ์ธรณีพิบัติ เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547



ภาพที่ 7.16 การพัฒนาระบบติดตามสถานการณ์สถานศึกษาที่ประสบอุทกภัยโดยใช้สมาร์ทโฟน

ภาพที่ 7.17 การพัฒนาระบบติดตามยานพาหนะโดยใช้จีพีเอส และการทำนายตำแหน่งด้วยคาลมานอัลกอริธึม



(ก) หน้าเว็บแสดงผลการติดตาม

(ข) หน้าเว็บแสดงผลการติดตามเมื่อซ้อนกับภาพถ่ายจากดาวเทียม

?