การเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

มินทร์ลดา รัตนกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์
คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤศจิกายน 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ มินทร์ลดา รัตนกุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

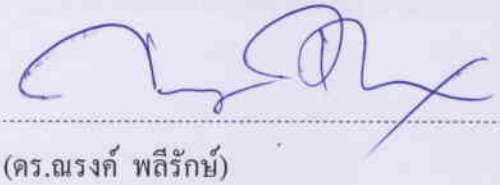
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ณรงค์ พลีรักษ์)

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

วันที่ 11 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี และดร.ณรงค์ พลีรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เชาวลิต ศิลปทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จริตควร เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเป็นประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ให้โอกาสผู้วิจัยได้สามารถสอบวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงตลอดจนได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ตลอดจนครอบครัว รวมทั้งบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังสำคัญยิ่งในการทำงานวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

มินทร์ลดา รัตนกุล

53910176: สาขาวิชา: ภูมิสารสนเทศศาสตร์; วท.ม. (ภูมิสารสนเทศศาสตร์)
คำสำคัญ: ระบบระบุตำแหน่งบนโลก/ ระบบช่วยเหลือการทำงานของ GPS/ การระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

มินทร์ลดา รัตนกุล: การเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS: กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี (COMPARISION ON THE DIFFERENCE OF THE COORDINATES FROM GPS AND A-GPS: THE CASE STUDY OF MUANG DISTRICT, CHON BURI PROVINCE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุพรรณ กาญจนสุธรรม, D.Tech.Sci., แก้ว นวลฉวี, Ph.D., ณรงค์ พลีรักษ์, Ph.D. 87 หน้า ปี พ.ศ. 2558

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กรณีศึกษาอำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี โดยนำเทคโนโลยี A-GPS ในการหาค่าพิกัดจากโทรศัพท์มือถือและเครื่องรับสัญญาณ GPS มาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าพิกัด โดยรูปแบบค่าพิกัดที่ใช้ในการสำรวจ คือ องศาทศนิยม เพื่อแสดงหน่วยของความแตกต่างของการศึกษา จึงทำการแปลงหน่วยค่าพิกัดองศาทศนิยมให้เป็นเมตร และแสดงผลความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กับหมุดหลักฐาน

ผลการวิจัยพบว่าลักษณะของพื้นที่ที่ทำการสำรวจส่วนใหญ่เป็นชุมชน มีอาคารและสิ่งก่อสร้าง ประกอบกับมีการใช้เครื่องมือสื่อสารกันเป็นจำนวนมาก จึงอาจส่งผลต่อการรับสัญญาณ GPS และ A-GPS ส่วนสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ที่ทำการสำรวจนั้น มีเมฆมากตลอดทั้งวัน ไม่มีฝน และลมแรง โดยจุดตัวอย่างที่ S02 ค่าพิกัดระหว่าง GPS และ A-GPS มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้าง และอาคารสูง ในขณะที่จุดตัวอย่างที่ S27 ค่าพิกัดระหว่าง GPS และA-GPS มีความแตกต่างกันน้อย ลักษณะของพื้นที่เป็นที่โล่ง จากการคำนวณ ค่า MAPE ของค่าพิกัด GPS และA-GPS ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ Latitude 0.00034 เปอร์เซ็น และ Longitude 0.00063 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนต่ำ และแม่นยำในระดับที่ดี

จากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กับหมุดหลักฐานพบว่า A-GPS มีค่าความคลาดเคลื่อนจากหมุดหลักฐานน้อยกว่า GPS ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในบริเวณที่ทำการสำรวจเป็นแหล่งชุมชนและอาคารบ้านเรือนทำให้สัญญาณจากดาวเทียมถูกบดบังและรบกวนได้ ในขณะที่ A-GPS ซึ่งอาศัยสัญญาณโทรศัพท์ในการค้นหาพิกัด ซึ่งในปัจจุบันครอบคลุมทุกพื้นที่ จึงทำให้ค่าพิกัดของ A-GPS มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า GPS เมื่อเทียบกับหมุดหลักฐาน

53910176: MAJOR: GEOINFORMATICS; M.Sc. (GEOINFORMATICS)
KEYWORDS: GPS/ ASSISTANCE GPS/ POSITION INDICATION ON SMART PHONE

MINLADA RATTANAKUL: (COMPARISION ON THE DIFFERENCE OF THE COORDINATES FROM GPS AND A-GPS: THE CASE STUDY OF MUANG DISTRICT, CHON BURI PROVINCE. ADVISORY COMMITTEE: SUPAN KARNCHANASUTHAM, D.Tech.Sci., KAEW NUALCHAWEE, Ph.D., NARONG PLEERUX, Ph.D. 87 P. 2015.

This research is about the study of comparison on the difference of the coordinates from GPS and A-GPS in Muang District, Chon Buri Province. A-GPS and GPS technology were used to compare the difference of the coordinates. The unit of coordinates from field survey was Decimal Degree, then it was transformed to meter. Finally. the Mean Absolute Percent Error (MAPE) was calculated and compare to the ground control points.

The results showed that almost areas were buildings and a lot of mobile devices therefore it affected to GPS and A-GPS receivers. The climate condition in the area found that it was cloudy, no-rain and strong wind. The coordinates of SO2 of GPS and A-GPS were very different because of a lot of high buildings. While the coordinates of S27 of GPS and A-GPS were a few different because almost areas are bareland. The average MAPE values of GPS and A-GPS were 0.00034% (Latitude) and 0.00063% (Longitude) with low error and high accuracy.

The accuracy of GPS and A-GPS was compared with ground control points. The error of A-GPS was less than GPS because the satellite signals were obstructed and disturbed by buildings. Moreover, A-GPS relines mobile device signal in which it covers all areas

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

กรอบแนวความคิดในการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

ความเป็นมาของระบบ GPS 7

องค์ประกอบของระบบ GPS 8

ผลกระทบที่ลดทอนความถูกต้องของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส 14

วิวัฒนาการระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก 16

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่หาได้จากระบบพิกัดดาวเทียม 18

วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่ 19

ระบบนำทาง Assisted GPS (A-GPS) 26

โมบายแอพพลิเคชั่นของอุปกรณ์สื่อสารพกพา 28

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

3 วิธีดำเนินการวิจัย 32

เครื่องมือวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 32

การดำเนินการวิจัย 32

การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน 34

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การดำเนินงานวิจัย	35
4	ผลการวิจัย	36
	การวิเคราะห์ข้อมูล	36
	ผลการวิจัย	37
	การหาค่าความแตกต่างของหน่วยค่าพิกัดที่ได้จากระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS	39
	การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS กับหมุดหลักฐาน	47
5	อภิปรายและสรุปผล	50
	อภิปรายผล	50
	สรุปผล	52
	ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม		54
ภาคผนวก		57
	ภาคผนวก ก	58
	ภาคผนวก ข	67
ประวัติย่อของผู้วิจัย		87

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 แสดงผลการแปลงค่าพิกัดเปรียบเทียบความแตกต่างค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS 40

4-2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ MAPE ของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS 44

4-3 ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS กับหมุดหลักฐาน 48

4-4 ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ A-GPS กับหมุดหลักฐาน 49

ภาคผนวก ก-1 ประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC 59

ภาคผนวก ก-2 ข้อมูลแผนที่และข้อมูลหน่วยความจำของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC 60

ภาคผนวก ก-3 ข้อมูลคุณสมบัติและประโยชน์ของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC 60

ภาคผนวก ข-1 แสดงรายละเอียดวันเวลา สถานที่ และระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS ของจุดสำรวจ 68

ภาคผนวก ข-2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจุดสำรวจพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 70

ภาคผนวก ข-3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจุดสำรวจพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ของค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กับหมุดหลักฐาน 86

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย 3

1-2 แผนที่ขอบเขตอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 6

3-1 แสดงแผนผังวิธีดำเนินงานวิจัย 35

4-1 แผนที่พิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 38

4-2 แสดงระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS (หน่วยเป็นเมตร) 42

ภาคผนวก ก-1 เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC 59

ภาคผนวก ก-2 แอพพลิเคชั่นการแสดงข้อมูลพิกัดของแผนที่บนโทรศัพท์มือถือ 61

ภาคผนวก ก-3 การติดตั้งและการใช้งานโปรแกรม Koredoko 62

ภาคผนวก ก-4 การตั้งค่าการแสดงผลค่าพิกัด โดยเลือกเครื่องหมายบวก ทางด้านขวาล่าง ของหน้าจอหลัก 63

ภาคผนวก ก-5 การตั้งค่าการแสดงผลค่าพิกัด เลือก Settings 63

ภาคผนวก ก-6 การเลือกลักษณะการแสดงผลของแผนที่ 64

ภาคผนวก ก-7 การเลือกลักษณะการแสดงผลของแผนที่ แบบ Normal และ Sattelite Coordinate Format และ FILP 64

ภาคผนวก ก-8 ไอคอนแอพพลิเคชั่น Camera 65

ภาคผนวก ก-9 ภาพ (ก) การเลือกภาพเพื่อแสดงผลของค่าพิกัด ภาพ (ข) ฐานข้อมูลภาพ 65

ภาคผนวก ก-10 โปรแกรมที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด 66

ภาคผนวก ข-1 จุดสำรวจที่ S01 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S01 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S01 (A-GPS) 76

ภาคผนวก ข-2 จุดสำรวจที่ S02 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S01 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S01 (A-GPS) 76

ภาพภาคผนวก ข-3 จุดสำรวจที่ S03 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S03 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S03 (A-GPS) 76

ภาคผนวก ข-4 จุดสำรวจที่ S04 บริเวณตำบลบ้านสวน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S04 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S04 (A-GPS) 77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาคผนวก ข-5 จุดสำรวจที่ S05 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S05 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S05 (A-GPS) 77

ภาคผนวก ข-6 จุดสำรวจที่ S06 บริเวณตำบลบ้านโขด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S06 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S06 (A-GPS) 77

ภาคผนวก ข-7 จุดสำรวจที่ S07 บริเวณตำบลบ้านสวน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S07 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S07 (A-GPS) 78

ภาคผนวก ข-8 จุดสำรวจที่ S10 บริเวณตำบลหนองไม้แดง อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S10 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S10 (A-GPS) 78

ภาคผนวก ข-9 จุดสำรวจที่ S12 บริเวณตำบลหนองไม้แดง อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S12 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S12 (A-GPS) 78

ภาคผนวก ข-10 จุดสำรวจที่ S17 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S17 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S17 (A-GPS) 79

ภาพภาคผนวก ข-11 จุดสำรวจที่ S24 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S24 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S24 (A-GPS) 79

ภาคผนวก ข-12 จุดสำรวจที่ S25 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S25 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S25 (A-GPS) 79

ภาคผนวก ข-13 จุดสำรวจที่ S26 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S26 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S26 (A-GPS) 80

ภาคผนวก ข-14 จุดสำรวจที่ S27 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S27 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S27 (A-GPS) 80

ภาคผนวก ข-15 จุดสำรวจที่ S28 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S28 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S28 (A-GPS) 80

ภาคผนวก ข-16 จุดสำรวจที่ S29 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S29 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S29 (A-GPS) 81

ภาคผนวก ข-17 จุดสำรวจที่ S30 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S30 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S30 (A-GPS) 81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาคผนวก ข-18 จุดสำรวจที่ S31 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S31 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S31 (A-GPS) 81

ภาคผนวก ข-19 จุดสำรวจที่ S32 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S32 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S32 (A-GPS) 82

ภาคผนวก ข-20 จุดสำรวจที่ S33 บริเวณตำบลหนองข้างคอก อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S33 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S33 (A-GPS) 82

ภาคผนวก ข-21 จุดสำรวจที่ S34 บริเวณตำบลห้วยกะปิ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S34 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S34 (A-GPS) 82

ภาคผนวก ข-22 จุดสำรวจที่ S35 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S35 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S35 (A-GPS) 83

ภาคผนวก ข-23 จุดสำรวจที่ S36 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S36 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S36 (A-GPS) 83

ภาคผนวก ข-24 จุดสำรวจที่ S37 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S37 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S37 (A-GPS) 83

ภาคผนวก ข-25 จุดสำรวจที่ 38 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S38 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S38 (A-GPS) 84

ภาคผนวก ข-26 จุดสำรวจที่ S39 บริเวณตำบลบ้านปึก อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S39 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S39 (A-GPS) 84

ภาคผนวก ข-27 จุดสำรวจที่ S40 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S40 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S40 (A-GPS) 84

ภาคผนวก ข-28 จุดสำรวจที่ S41 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S41 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S41 (A-GPS) 85

ภาคผนวก ข-29 จุดสำรวจที่ S42 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S42 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S42 (A-GPS) 85

ภาคผนวก ข-30 จุดสำรวจที่ S43 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S43 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S43 (A-GPS) 85

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีการพัฒนาทางด้านระบบการรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ เป็นจุดกำเนิดให้มี “ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก” (Global Positioning System : GPS) นับเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการเดินทางให้แก่ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี เนื่องจาก GPS สามารถระบุพิกัดที่ผู้ใช้งานต้องการได้ (ปุญญรัตน์ ปุญญา, พงษ์พิพัฒน์ สายทอง และมนัสวี แก่นอำพรพันธ์, 2557) สามารถนำทางไปในสถานที่ต่าง ๆ ค้นหาสถานที่ที่สำคัญพร้อมทั้งกำหนดจุดที่สนใจได้ เช่น ใช้ในการวัดพื้นที่ การสำรวจ การเดินป่า การเดินเรือ ซึ่งสามารถนำทางกลับสู่ตำแหน่งตั้งต้นได้ และการบันทึกข้อมูลสำหรับการเล่นกีฬากลางแจ้ง ในเรื่องการขนส่งมีการนำ GPS ไปใช้เป็นระบบติดตามรถยนต์ เพื่อควบคุมดูแลตลอดจนบันทึกเส้นทาง ลักษณะการขับรถ และการควบคุมเครื่องมืออุปกรณ์ในรถ เช่น อุณหภูมิ ตู้แช่สินค้า เป็นต้น ทำให้สามารถบริหารจัดการการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่าย และในด้านความปลอดภัยก็สามารถทราบถึงตำแหน่งของรถว่าอยู่ที่ไหน เกิดอะไรขึ้น สะดวกต่อการตรวจสอบติดตาม และเพื่อตอบสนองความต้องการจึงมีการพัฒนาให้ GPS สามารถนำมาใช้ร่วมกับเครื่องมือสื่อสารที่สามารถพกพาได้สะดวก เช่น โทรศัพท์สมาร์ทโฟน เป็นต้น

ในปัจจุบันโทรศัพท์เป็นปัจจัยที่ห้าที่เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิต นอกเหนือจากปัจจัยสี่ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์ขาดไม่ได้ในชีวิตประจำวัน โดยมีการพัฒนาขีดความสามารถให้มีการทำงานได้หลากหลายรูปแบบ นอกเหนือจากการโทรเข้า-ออก เพียงอย่างเดียว จนกลายเป็นโทรศัพท์มือถืออัจฉริยะที่เรียกกันว่า สมาร์ทโฟน (Smart Phone) มีความสามารถในการใช้งานได้ดีและมีประสิทธิภาพ (สุรพันธ์ ทัดแก้ว, 2554) และโทรศัพท์สมาร์ทโฟนไม่ได้มีประโยชน์เพียงใช้ในการติดต่อสื่อสารเท่านั้น ยังสามารถให้บริการด้านอื่น ๆ เช่น การติดกล้องถ่ายภาพที่มีความละเอียด ฟังเพลงวิทยุ FM เป็นต้น และมีการนำเทคโนโลยีของ GPS เข้ามาใช้ควบคู่กับโทรศัพท์สมาร์ทโฟน เรียกว่า A-GPS (Assistance GPS) เป็นระบบช่วยเหลือการทำงานของ GPS ที่สนับสนุนข้อมูลที่ต้องการผ่านระบบ GPRS/ EDGE ซึ่งเป็นการบริการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงบนระบบโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ แทนการรับข้อมูลต่าง ๆ จากดาวเทียม GPS โดยตรง ซึ่งใช้เวลานานมีหลักการ ดังนี้ การรับข้อมูลผ่านโครงข่าย GPRS/ EDGE โดยนำข้อมูลมาจาก GPS Base Station ซึ่งจะคอยรับข้อมูลวงโคจร GPS และเวลาปัจจุบัน โดยการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Internet) ผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่มีแอพพลิเคชั่น (Application) การระบุตำแหน่ง หรือ Location-Based Service (LBS) เป็น

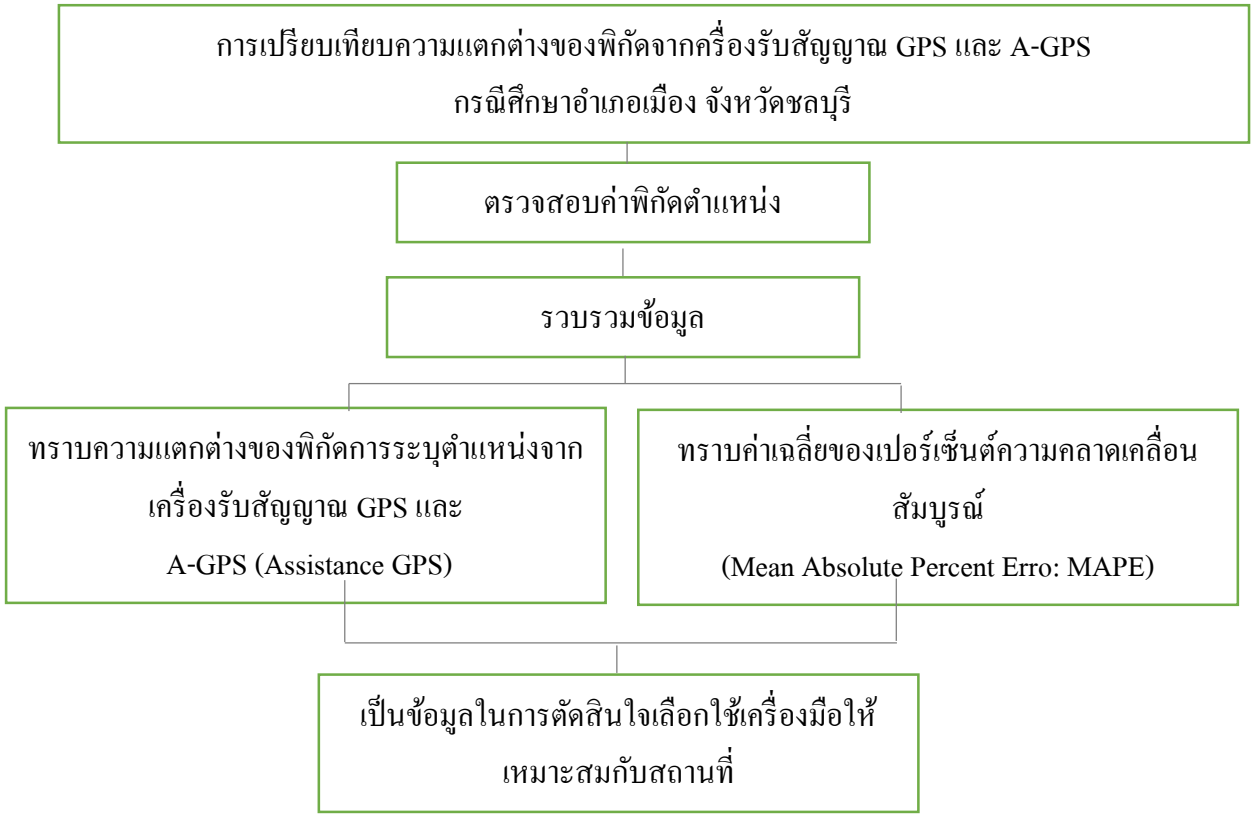
บริการรูปแบบหนึ่งที่ต้องกระทำผ่านทางโทรศัพท์สมาร์ทโฟน โดยใช้เครือข่ายโทรศัพท์มือถือที่มีอยู่ในปัจจุบัน หรืออาจจะใช้เครือข่ายไร้สายต่าง ๆ เพื่อเชื่อมต่อการทำงาน ทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่อยู่ของโทรศัพท์สมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์ไร้สายนั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง และสะดวกรวดเร็ว ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการค้นหาตำแหน่งหรือพิกัดบนพื้นดิน มีประโยชน์ในการแนะนำเส้นทาง บอกตำแหน่ง หรือหาจุดอ้างอิงต่าง ๆ (บุษรา ประกอบธรรม และมานะ อัจฉริยเกียรติ, 2555)

จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีการพัฒนาในเรื่องของการบริการระบุพิกัดตำแหน่งมายังอุปกรณ์เครื่องมือสื่อสารต่าง ๆ และอุปกรณ์รับสัญญาณ GPS ซึ่งตัวเลือกในการใช้งานของอุปกรณ์รับสัญญาณ GPS มีหลายรูปแบบ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS ในสมาร์ทโฟน (A-GPS: Assistance GPS) เนื่องจากการหาตำแหน่งบนโลกมีความสำคัญในการดำเนินงาน เช่น การสำรวจการขุดเจาะน้ำมันเพื่อทราบถึงตำแหน่งที่ต้องการทรัพยากร การนำทางไปสู่เป้าหมายมีความชัดเจน ลดความคลาดเคลื่อนในการระบุพิกัดเส้นทางหรือพิกัดตำแหน่งนั้น ๆ เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบความแตกต่างและค่าความแตกต่างของพิกัดการระบุตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS
2. เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องมือในการหาค่าพิกัด
3. เป็นข้อมูลในการเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

ขอบเขตของการวิจัย

การเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการศึกษาในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ครอบคลุมทั้งหมด 18 ตำบล มีพื้นที่ 238.78 ตารางกิโลเมตร หรือ 14,9237.5 ไร่ อำเภอ

เมืองชลบุรีตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดชลบุรี มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ข้างเคียงดังต่อไปนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับอำเภอบางปะกง (จังหวัดฉะเชิงเทรา)

ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอพานทองและอำเภอบ้านบึง

ทิศใต้ ติดต่อกับอำเภอศรีราชา

ทิศตะวันตก จรดอ่าวไทย

นิยามศัพท์เฉพาะ

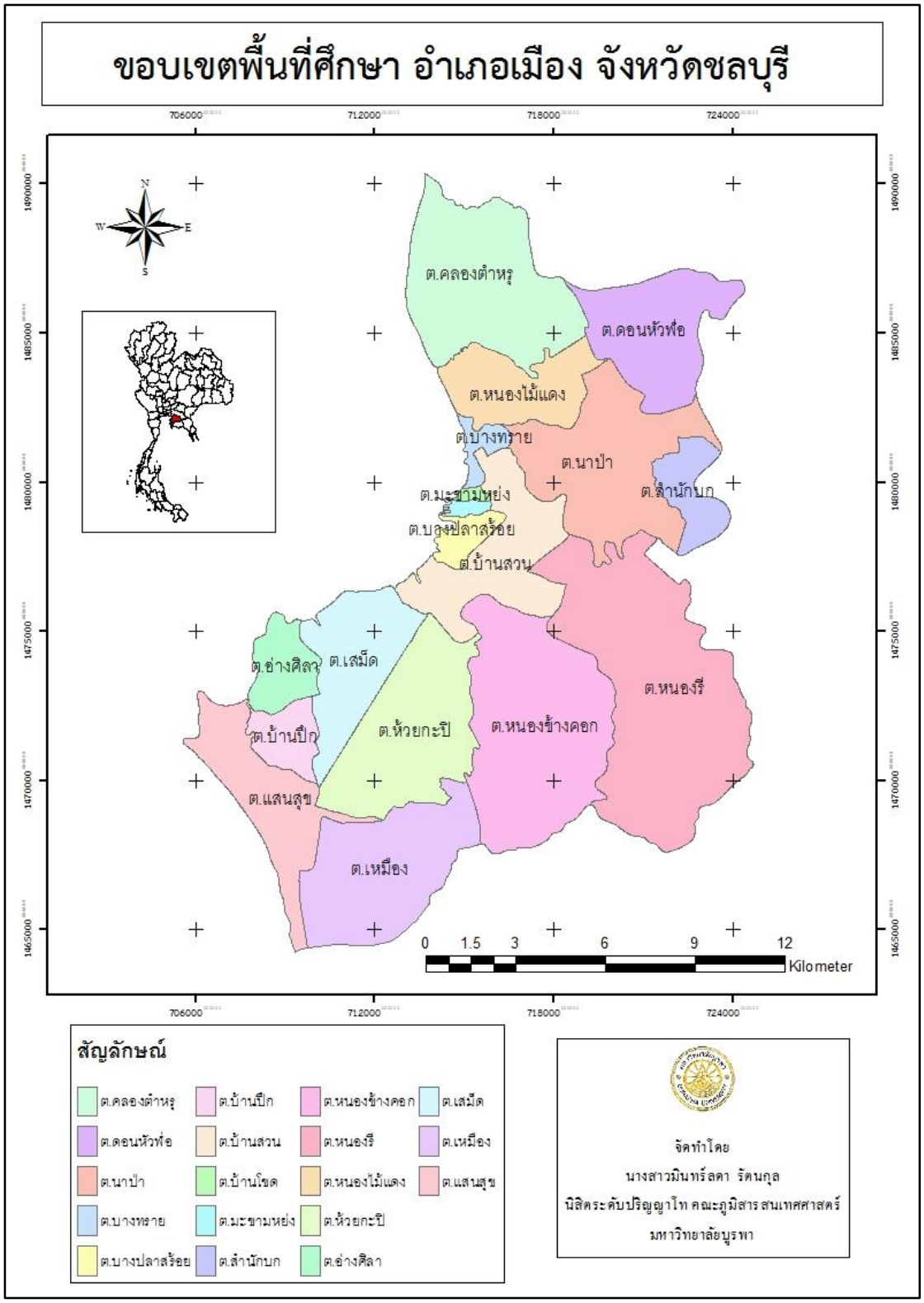
Global Positioning System: GPS (ภาษาไทย) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ จีพีเอส คือ ระบบบอกตำแหน่งบนโลก โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรอยู่รอบโลกซึ่งทราบตำแหน่ง ทำให้ระบบนี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก โดยเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส รุ่นใหม่ ๆ จะสามารถคำนวณความเร็วและทิศทาง นำมาใช้ร่วมกับโปรแกรมแผนที่ เพื่อใช้ในการนำทาง

Smart Phone สมาร์ทโฟน เป็นโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่มีความสามารถที่เพิ่มเติมนอกเหนือจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนทั่วไป ยังถูกมองว่าเป็นคอมพิวเตอร์พกพาที่ทำงานในลักษณะของโทรศัพท์สมาร์ทโฟน โดยสามารถให้ผู้ใช้งานติดตั้งโปรแกรมเสริมสำหรับเพิ่มความสามารถของโทรศัพท์ตัวเอง โดยรูปแบบนั้นขึ้นอยู่กับแพลตฟอร์มของโทรศัพท์และระบบปฏิบัติการ

Assistance GPS : A-GPS หรือระบบช่วยเหลือการทำงานของ GPS เป็นระบบช่วยเหลือการทำงานของ GPS ให้มีการเริ่มทำงานได้อย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำสูงยิ่งขึ้น โดยมีการรับข้อมูลที่จำเป็นในการเริ่มต้นการทำงานของ GPS Receiver รวบรวมไว้ใน Server ที่ทำการเชื่อมต่อกับจานรับสัญญาณดาวเทียมตลอดเวลา เมื่อ GPS Receiver เริ่มทำงานจะติดต่อกับ Server ผ่านทาง Network ข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณต่าง ๆ จะถูกส่งผ่าน Network เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการทำงานทำให้ลดเวลาในการเริ่มต้นให้ลดลงเหลือเพียง ไม่ถึง 3 วินาทีในสภาวะสัญญาณอ่อนการทำงาน (ปกติจะอยู่ที่ 15 – 30 วินาที ในที่ระดับสัญญาณปกติ และ 1 นาทีขึ้นไปในระดับสัญญาณอ่อน) สามารถใช้งาน GPS ได้เมื่ออยู่ในที่อับสัญญาณ แต่เนื่องจากต้องติดต่อกับเครือข่ายมือถือจึงเสียค่าบริการ GPRS/ EDGE ในการใช้งาน

Location-Based Service: LBS คือ การระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ซึ่งถือว่าเป็นบริการอย่างหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีไร้สายที่ทำให้บุคคลหรืออค์กรใด ๆ สามารถระบุตำแหน่งที่อยู่ของผู้ใช้อุปกรณ์ไร้สายได้อย่างแม่นยำเพื่อตอบสนองการบริการ เช่น การระบุตำแหน่งปัจจุบัน การค้นหาข้อมูลสัตว์ สิ่งของ การค้นหาสถานที่ใกล้เคียง เป็นต้น ซึ่งการให้บริการ

สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ Pull Services และ Push Services โดย Pull Services เป็นลักษณะบริการที่คุ้นเคยเช่นเดียวกับการเข้าเว็บ



ภาพที่ 1-2 แผนที่ขอบเขตอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายงานการวิจัยครั้งนี้มีแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายเรื่องด้วยกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ค้นคว้าและรวบรวมจากเอกสาร ตำรา และผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปแนวคิดทฤษฎีที่สำคัญและเกี่ยวข้องในการวิจัยได้ ดังนี้

ความเป็นมาของระบบ GPS

องค์ประกอบของระบบ GPS

ผลกระทบที่ลดทอนความถูกต้องของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

วิวัฒนาการการของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่หาได้จากระบบพิกัดดาวเทียม

วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบนำทาง Assisted GPS (A-GPS)

โมบายแอพพลิเคชั่นของอุปกรณ์สื่อสารพกพา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาของระบบ GPS

ในปี ค.ศ. 1973 กระทรวงกลาโหมสหรัฐ ฯ จึงได้จัดตั้งสำนักงานแผนงานร่วม (Joint Program Office – JPO) ขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ในการพัฒนาระบบการกำหนดตำแหน่งโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากดาวเทียมโดยให้กองทัพเรือ และกองทัพอากาศ ทำการวิจัยและพัฒนาระบบร่วมกัน ดังนั้น จึงได้เกิดแนวหลักการ NAVigation Satellite Timing and Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System (GPS) ขึ้นซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่า ระบบ GPS (หัสฎี วงศ์อิศเรศ, 2546)

การพัฒนาดาวเทียม GPS ในแต่ละช่วง เรียกแทนว่าเป็น BLOCK กลุ่มดาวเทียม GPS ใน BLOCK I เป็นช่วงเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนาระบบ ดาวเทียมสี่ดวงแรกปล่อยขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี ค.ศ. 1978 ดวงสุดท้ายปล่อยขึ้นไปในเดือน ตุลาคม ค.ศ. 1985 รายละเอียดที่สำคัญของดาวเทียมใน BLOCK I นี้คือ มีการใช้ Cesium และ Rubidium ในการผลิตความถี่มาตรฐานที่คงที่ได้สำเร็จ โดยมีความเที่ยงตรงของระบบเวลาค่อนข้างสูงคลาดเคลื่อนเพียง 2-3 ส่วนใน 10^{13} ส่วนต่อวัน ระบบเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมใน BLOCK I ได้รับการออกแบบให้ปฏิบัติการครอบคลุมพื้นที่ Army Yuma Proving Ground ที่เมือง Yuma รัฐ Arizona โดยกลุ่มดาวเทียมจะแบ่งออกเป็น

สองระนาบ (PLANE) แต่ละระนาบทำมุมกัน 120 องศา และทำมุมเอียงกับเส้นศูนย์สูตร 63 องศา (Leick, 1995)

ดาวเทียม BLOCK II ถูกผลิตโดยบริษัท Rockwell International มีอายุการใช้งานนาน 7.5 ปี มีน้ำหนัก 1860 lb เมื่ออยู่ในวงโคจร ได้รับการปล่อยขึ้นสู่วงโคจรครั้งแรกในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1989 ในช่วงนี้ได้มีการปรับแผนการปฏิบัติงานให้มีกลุ่มดาวเทียมจำนวน 21 ดวง และอะไหล่อีก 3 ดวง บนวงโคจร (รวมเป็น 24 ดวง) เพื่อที่จะทำให้สามารถปฏิบัติการได้ครอบคลุมทั่วทุกแห่งบนโลก ตลอดเวลา และมีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น (หัสฎี วงศ์อิศเรศ, 2546)

ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2552) มีดาวเทียม GPS ปฏิบัติงานอยู่ในอวกาศทั้งสิ้นจำนวน 31 ดวง โคจรอยู่ใน 6 ระนาบ ระนาบละ 5 ดวง ยกเว้นระนาบ A ที่มีดาวเทียมโคจรอยู่ 6 ดวง (U.S. Coast Guard Navigation Center, 2009) สำหรับดาวเทียม GPS ที่ยังคงทำงานอยู่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

BLOCK IIA ดาวเทียมรุ่นนี้จะมีหมายเลข SVN ตั้งแต่ 22 ถึง 40 สามารถทำงานได้ต่อเนื่องนาน 180 วันโดยไม่ต้องติดต่อกับสถานีควบคุม ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนาน 7.3 ปี ดาวเทียมแต่ละดวงบรรจุด้วยนาฬิกาอะตอมมิค 4 ชุด ได้แก่ นาฬิกา Cesium สองชุดและ Rubidium สองชุด พร้อมด้วยระบบ Selective Availability (SA) และ Anti-Spoof (A-S) ดาวเทียมรุ่นนี้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรที่ Cape Canaveral Air Force Station รัฐ Florida โดยกระสวยอวกาศ Delta II

BLOCK IIR/ IIR-M มีหมายเลข SVN ตั้งแต่ 41 ถึง 61 ถูกผลิตโดยบริษัท Lockheed Martin สามารถทำงานได้ 14 วันโดยไม่ต้องติดต่อกับสถานีควบคุม และสามารถนำร่องอัตโนมัติ (AUTONAV) ได้นาน 180 วันโดยไม่มีการติดต่อกับสถานีควบคุม ด้วยการแลกเปลี่ยนข้อมูลการนำร่องระหว่างดาวเทียม BLOCK IIR/ IIR-M ด้วยกัน ดาวเทียมทั้งสองรุ่นได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนาน 7.8 ปี แต่ละดวงบรรจุด้วยนาฬิกาอะตอมมิค Rubidium สามชุด พร้อมด้วยระบบ SA และA-S

สำหรับโครงการในอนาคตจะมีการปล่อยดาวเทียม BLOCK IIF จำนวน 12 ดวง และ BLOCK III จำนวน 30 ดวง (United States Naval Observatory, 2009)

องค์ประกอบของระบบ GPS

ระบบ GPS แบ่งออกเป็น 3 ส่วน (Leick, 1995) ได้แก่

1. ส่วนอวกาศ (Space Segment)

1.1 ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง เคลื่อนที่บน 6 พื้นวงโคจร พื้นวงโคจรละ 4 ดวง แต่ละพื้นวงโคจรทำมุม 55 องศากับระนาบอีเควเตอร์ ดาวเทียมโคจรด้วยความสูง 20,200 กิโลเมตร แต่ละรอบวงโคจรใช้เวลา 12 ชั่วโมง

1.2 ดาวเทียม GPS มีความถี่พื้นฐาน คือ 10.23 MHz ซึ่งได้มาจากนาฬิกาอะตอมมิคในดาวเทียม จากความถี่พื้นฐานนี้ทำให้ดาวเทียม GPS ส่งคลื่นรหัส C/A code และคลื่นรหัส P code มากับคลื่นพาห์ใน 2 ความถี่ คือ

1.2.1 คลื่นพาห์ L1 ความถี่ 1574.42 MHz (ได้มาจากความถี่พื้นฐานคูณด้วย 154) ปรุงแต่งด้วยคลื่นรหัส C/A code ความถี่ 1.023 MHz และคลื่นรหัส P code ความถี่ 10.23 MHz

1.2.2 คลื่นพาห์ L2 ความถี่ 1227.60 MHz (ได้มาจากความถี่พื้นฐานคูณด้วย 120) ปรุงแต่งด้วยคลื่นรหัส P code ความถี่ 10.23 MHz

1.3 คลื่นรหัส C/A code และ P code จะทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน P code เป็นรหัสยาวมีความยาวคลื่น 30 เมตร และซ้ำทุก 267 วัน ให้ความถูกต้องในการรังวัดสูงแต่ผู้ใช้เข้าถึงรหัสนี้ได้ยาก C/A code เป็นรหัสสั้นมีความยาวคลื่น 300 เมตร และซ้ำทุก ๆ 1/ 1,000 วินาที ให้การรังวัดที่หยาบกว่า P Code

2. ส่วนควบคุม (Control Segment)

2.1 ระบบควบคุมการปฏิบัติการ (Operational Control System - OCS) ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station – MCS) ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Falcon ในเมืองโคโลราโดสปริงส์ (Colorado Springs) มลรัฐโคโรลาโดของสหรัฐอเมริกา

2.2 สถานีติดตามดาวเทียม (Monitor Station - MS) 5 แห่งทำการรังวัดติดตามดาวเทียมตลอดเวลาโดยตั้งอยู่ที่หมู่เกาะฮาวาย (Hawaii) ในมหาสมุทรแปซิฟิก หมู่เกาะอัสเซนชัน (Ascension) มหาสมุทรแอตแลนติก หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย (Diego Garcia) มหาสมุทรอินเดีย หมู่เกาะควาจาเลียน (Kwajalein) ประเทศฟิลิปปินส์ เมืองโคโลราโดสปริงส์ สหรัฐอเมริกา

2.3 สถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antenna – GA) 3 สถานีตั้งอยู่ที่หมู่เกาะควาจาเลียน หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย และหมู่เกาะอัสเซนชัน (Leick, 1995)

2.4 สถานีภาคพื้นดินที่ควบคุมระบบ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าติดตามดาวเทียม เพื่อทำนายวงโคจรล่วงหน้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และส่งสัญญาณข้อมูลวงโคจรจากสถานีสู่ดาวเทียมวันละ 3 ครั้ง แล้วทำการกระจายข้อมูลวงโคจรเหล่านั้น จากดาวเทียมสู่เครื่องรับสัญญาณ GPS การรับสัญญาณนี้เรียกว่า Broadcast Ephemeris ซึ่งจะทำให้เครื่องรับสัญญาณ GPS คำนวณตำแหน่งในเวลาจริงได้ สำหรับการสำรวจในทาง Geodetic อาจไม่ละเอียดเพียงพอแต่สามารถทำได้ด้วยวิธีที่เรียกว่า Precise Ephhemeris ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรภายหลังที่ละเอียดกว่า นอกจาก

OCS 5 สถานี ยังใช้สถานีเครือข่ายอื่น ๆ Cooperative International GPS Network (CIGNET) ซึ่งมี 29 สถานี กระจายทั่วโลกในการติดตาม (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2547) สถานีควบคุมหลักและสถานีติดตามดาวเทียม

3. ส่วนผู้ใช้ (User Segment)

ประกอบด้วยผู้ใช้ส่วนของพลเรือนและทหาร รวมถึงการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งติดตั้งอยู่บบพื้นดิน บนยานพาหนะ เช่น รถยนต์ เรือ หรือเครื่องบิน อาจรวมถึงอาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะครอบคลุมไปถึงวิธีการคำนวณ และปรับแก้ข้อมูลต่าง ๆ ด้วย

แนวคิดในส่วนของผู้ใช้ เพื่อให้บรรลุถึงความละเอียดถูกต้องสูงสำหรับงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS คือ ความพยายามที่จะลดขนาด และปริมาณของความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดลง ซึ่งได้แก่ ความคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียม (Ephemeris) ความคลาดเคลื่อนของเวลาทั้งในส่วนของนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงสาเหตุ รวมถึงวิธีการลดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ ด้วยการพัฒนาเครื่องมือ วิธีการรังวัด และการประมวลผล เป็นต้น (ธนัช สุชวิมลเสรี, 2553)

3.1 หลักการของระบบ GPS

หลักการทำงานของระบบ GPS แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน (Trimble Navigation Limited, 1996) ได้แก่

3.1.1 หลักการของสามเหลี่ยมดาวเทียม

ค่าพิกัดบนโลกสามารถคำนวณหาได้ถ้าเราทราบระยะทางที่ถูกต้องแม่นยำจากกลุ่มของดาวเทียมในอวกาศไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพราะดาวเทียมสามารถเป็นตำแหน่งอ้างอิงที่มีความถูกต้องสูงได้ สมมติว่าผู้ใช้ทราบระยะทางจากดาวเทียมดวงหนึ่ง ตำแหน่งของผู้ใช้จะอยู่บนพื้นผิวทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางจากดาวเทียมดวงนั้น

3.1.1.1 หากผู้ใช้ทราบระยะทางจากดาวเทียมดวงที่สอง ตำแหน่งของผู้ใช้จะอยู่ที่ใดที่หนึ่งบนเส้นรอบวงกลมซึ่งเกิดจากการตัดกันของพื้นผิวทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางจากดาวเทียมทั้งสองดวง

3.1.1.2 เมื่อผู้ใช้ทำการรังวัดระยะทางจากดาวเทียมดวงที่สามเพิ่มเข้าไปจะทำให้พื้นผิวของทรงกลมทั้งสามนั้นตัดกันที่จุดสองจุด

โดยทางทฤษฎีการรังวัดระยะจากดาวเทียม 3 ดวงเพียงพอต่อการหาค่าพิกัดบนโลก เพราะค่าพิกัดที่ได้สองจุดมีจุดหนึ่งที่ไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากเป็นจุดที่ลอยอยู่ในอวกาศหรือ

เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ดังนั้น ผู้ใช้สามารถหาค่าพิกัดได้ด้วยการรังวัดดาวเทียมเพียง 3 ดวง อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องทำการรังวัดระยะทางจากดาวเทียม 4 ดวง เพื่อที่จะทำการแก้สมการหาค่าตัวแปร X , Y , Z และระยะเวลา

3.1.2 การรังวัดระยะจากดาวเทียม

การรังวัดระยะจากดาวเทียมใช้หลักการเดียวกับการหาระยะในทางฟิสิกส์กล่าวคือ ระยะทางหาได้จากผลคูณของความเร็วกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Garmin Corporation, 2000)

$$s = vt \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ s คือระยะทางจากดาวเทียม

v คือความเร็วแสง (186,000 miles/ sec)

t คือเวลาในการเคลื่อนที่

ในการคำนวณเวลานั้นเครื่องรับจำเป็นต้องรู้เวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมาจากดาวเทียม สำหรับการหาเวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมาจากดาวเทียมนั้นเครื่องรับและดาวเทียมจะทำการสร้าง Pseudo Random Code (PRC) ที่เหมือนกันขึ้นมาพร้อม ๆ กัน

เครื่องรับทำการตรวจสอบรหัสที่ได้รับจากดาวเทียมเพื่อเปรียบเทียบว่าต้องใช้เวลานานเท่าใดรหัสที่รับได้จากดาวเทียมจึงจะตรงกับรหัสของเครื่องรับ ระยะเวลาที่ต่างกันนี้ คือ ระยะเวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมใช้ในการเคลื่อนที่มาถึงเครื่องรับ เมื่อนำเวลาไปคูณกับความ เร็วแสงจะได้ระยะทางจากดาวเทียม

การใช้รหัสเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพราะทำให้ดาวเทียม GPS ทุก ๆ ดวงทำงานพร้อมกันได้ในความถี่เดียวกันเนื่องจาก ดาวเทียมแต่ละดวงใช้รหัส Pseudo Random Number (PRN) ที่แตกต่างกัน (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546)

4. การรังวัดเวลา

การคำนวณค่าพิกัดได้ถูกต้องแม่นยำนั้นขึ้นอยู่กับการรังวัดเวลาที่มีความถูกต้อง แม้ว่ารหัสจะถูกสร้างขึ้นมาพร้อม ๆ กันทั้งจากดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ GPS แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดแฝงอยู่ เนื่องจากนาฬิกาที่ใช้รังวัดเวลาในดาวเทียมนั้นมีความถูกต้องสูงในระดับเศษหนึ่งส่วนร้อยล้านวินาที แต่มีราคาที่สูงมากจนไม่สามารถนำมาใช้ได้ในเครื่องรับสัญญาณ GPS ทั่วไป ด้วยเหตุนี้เครื่องรับสัญญาณ GPS จึงจำเป็นต้องทำการรังวัดดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวงพร้อม ๆ กันเพื่อที่จะแก้สมการหาค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการรังวัดเวลา (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546)

หากดาวเทียมสองดวงทำการรังวัดระยะเวลาได้อย่างถูกต้องจะหาค่าพิกัดได้จากระยะทางระหว่างดาวเทียมสองดวงที่ตัดกัน

ในกรณีที่เพิ่มดาวเทียมดวงที่สามเข้ามาโดยที่การรังวัดเวลายังคงทำได้อย่างถูงต้อง ระยะทางจากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันที่จุด ๆ เดียว

อย่างไรก็ตามหากเครื่องรับสัญญาณ GPS มีนาฬิกาที่คลาดเคลื่อนโดยรังวัดเวลาเร็วไป 1 วินาที ระยะทางที่รังวัดได้จากดาวเทียมทั้งสองจะตัดกันคลาดเคลื่อนไปจากที่ควร

เมื่อมีการรังวัดดาวเทียมดวงที่สามเพิ่มเข้ามาโดยที่เครื่องรับสัญญาณ GPS ยังคงมีความคลาดเคลื่อน 1 วินาที ระยะทางจากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันได้จุดตัดที่มากกว่า 1 จุดทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าพิกัดได้

เมื่อเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้รับข้อมูลชุดการรังวัดที่ไม่ตัดกันที่จุด ๆ เดียว ส่วนประมวลผลในเครื่องรับสัญญาณ GPS จะทำการคำนวณค่าพิกัดใหม่โดยการเพิ่มหรือลดระยะเวลาที่ทำการรังวัดได้จนกว่าระยะทางที่ได้จากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันที่จุดเดียว หากต้องการรังวัดค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากสามมิติจำเป็นต้องมีการรังวัดดาวเทียมทั้งสิ้นสี่ดวงเพื่อหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนทางเวลา (Trimble Navigation Limited, 1996)

5. วงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม

มีดาวเทียม NAVSTAR จำนวน 24 ดวง โคจรอยู่รอบโลกที่ความสูง 12,600 นูติคอลไมล์ (20,200 km) ความสูงดังกล่าวอิทธิพลของบรรยากาศจึงหมดไปทำให้วงโคจรของดาวเทียมมีความคงที่ โดยดาวเทียมทุกดวงจะถูกติดตามอย่างต่อเนื่องโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา Department of Defense (DoD)

วงโคจรขั้นต้นของดาวเทียมเองค่อนข้างถูกต้องแน่นอน สำหรับเครื่องหาค่าพิกัด GPS บนภาคพื้นจะมีปฏิทินดาวเทียม (Almanac) ซึ่งถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ เครื่องหาค่าพิกัด GPS จึงสามารถคำนวณได้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ ณ ตำแหน่งใดในท้องฟ้าในแต่ละขณะเวลา แต่เพื่อความสมบูรณ์แบบ กระทรวงกลาโหมสหรัฐจะทำการรังวัดติดตามกลุ่มดาวเทียม GPS อย่างถาวร โดยใช้เรดาร์ที่มีความถูกต้องสูงทำการตรวจสอบความสูง ตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมแต่ละดวงที่ถูกต้องแน่นอน ค่าความคลาดเคลื่อนที่ทำการตรวจสอบเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนของวงโคจร (Ephemeris Errors) ซึ่งจะส่งผลต่อวงโคจรของดาวเทียม (Orbit or Ephemeris) ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นผลมาจากแรงดึงดูดจากดวงจันทร์กับดวงอาทิตย์ และการแพร่ของคลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อดาวเทียม โดยทั่วไปแล้วความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีขนาดน้อยมาก (Trimble Navigation Limited, 1996)

เนื่องจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐได้ทำการรังวัดหาตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้ดาวเทียม ดาวเทียมจะทำการรวบรวมและส่งสัญญาณข้อมูลค่าตัวแก้ใหม่นี้มาพร้อมกับสัญญาณเวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมายังโลก ดังนั้น สัญญาณดาวเทียม GPS

นอกจากจะมี PRC เพื่อใช้สำหรับการกำหนดระบบเวลาแล้ว ยังมีข่าวสารการนำร่องพร้อมข้อมูลวงโคจรด้วย การกำหนดระบบเวลาที่สมบูรณ์และตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมทำให้ผู้ใช้สามารถทำการคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องสูงได้ (Witchayangkoon, 2000)

6. ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน

การคำนวณค่าพิกัดในระบบ GPS เป็นการคำนวณโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าสัญญาณดาวเทียม GPS เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลาโดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ในความเป็นจริงสัญญาณจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศเท่านั้น เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงชั้น Ionosphere ซึ่งอยู่สูง 80 – 120 ไมล์เหนือพื้นโลก และชั้น Troposphere ชั้นบรรยากาศจะทำให้สัญญาณเคลื่อนที่ช้าลงซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่าพิกัด สำหรับความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุนี้สามารถแก้ไขโดยการเปรียบเทียบสัดส่วนของสัญญาณความถี่สองความถี่สัมพันธ์กับสัดส่วนของความคลาดเคลื่อน เพื่อแก้ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เนื่องจากสัญญาณทั้งสองความถี่นั้นมีความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน ซึ่งการรังวัดสัญญาณสองความถี่นี้จะได้ผลเฉพาะเครื่องหาค่าพิกัด GPS แบบสองความถี่ (Trimble Navigation Limited, 2002)

6.1 คลื่นหลายวิถี (Multipath) เกิดจากการที่คลื่นสัญญาณสะท้อนกับวัตถุต่าง ๆ บนโลกก่อนที่จะเดินทางถึงจานรับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณ GPS ความคลาดเคลื่อนนี้สามารถลดลงได้ด้วยการออกแบบจานรับสัญญาณที่ดี (Sources of Eorrers in GPS, 2008)

6.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาและวงโคจรของดาวเทียม ทั้งสองอย่างกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาได้ทำการตรวจสอบและปรับแก้อยู่ตลอดเวลาผ่านทางสถานีติดตาม สำหรับเครื่องรับสัญญาณ GPS สามารถแก้ความคลาดเคลื่อนได้ด้วยการรังวัดดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงขึ้นไปหรือทำการประมวลผลค่าพิกัดใหม่โดยใช้วงโคจรดาวเทียมที่มีการปรับแก้แล้ว (Garmin Corporation, 2000)

6.3 ความคลาดเคลื่อนของระบบ GPS เนื่องจากเรขาคณิตของวงโคจรดาวเทียม Geometric Dilution of Precision (GDOP) เกิดจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ที่มีวงโคจรใกล้กัน มาคำนวณหาระยะทางและหาจุดตัด ซึ่งจะทำให้เกิดรอยตัดที่ใหญ่ นั่นคือพื้นที่ความเป็นไปได้ของค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง (Wellenhof, Herbert, Bernhard, & Lichtennegger, 1997)

ในทางกลับกันถ้านำสัญญาณดาวเทียม GPS ที่มีวงโคจรเกือบตั้งฉากกันมาคำนวณรอยตัดของระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัด GPS จะปรากฏรอยตัดเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก นั่นคือค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความละเอียดถูกต้องสูง

ผลกระทบที่ลดทอนความถูกต้องของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส การหาค่าพิกัดจากดาวเทียมจีพีเอส ให้ความสะดวกรวดเร็ว และมีความถูกต้องของค่าพิกัดโดยอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยในปัจจุบัน แต่ค่าพิกัดที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เนื่องมาจากข้อจำกัดต่อไปนี้ (Trimble Navigation Ltd, 1996)

1. ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศของโลก

ขณะที่สัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ผ่านชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ คลื่นสัญญาณจะเกิดการหักเหเนื่องจากอนุภาคต่าง ๆ และทะลุผ่านละอองน้ำที่อยู่ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ทำให้เกิดการหน่วงเล็กน้อยของการเดินทางสัญญาณจีพีเอส ลักษณะการเกิดเช่นนี้มีความคล้ายคลึงกับการที่เกิดความคลาดเคลื่อนในระบบนาฬิกา

2. วิธีการขจัดความคลาดเคลื่อนสามารถทำได้ดังนี้

สร้างแบบจำลองการหน่วงที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะความชื้นของชั้นบรรยากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์มีความแตกต่างกันสูง จึงต้องสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทำนายค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น และการนำค่าความคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศมาพิจารณา โดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเร็วของคลื่นความถี่ที่ต่างกัน 2 ความถี่ ซึ่งวิธีการนี้จะต้องอาศัยเครื่องรับที่ออกแบบเป็นพิเศษให้สามารถรับสัญญาณได้ทั้งสองความถี่ (Trimble Navigation Limited, 2002)

3. คลื่นสะท้อนจากวัตถุก่อนถึงจานรับสัญญาณดาวเทียม

การที่สัญญาณดาวเทียมเกิดการบดบัง หรือหักเหเมื่อกระทบสิ่งต่าง ๆ ก่อนที่จะมาถึงเครื่องรับสัญญาณ ลักษณะที่เกิดขึ้นเช่นนี้ เรียกว่า Multipath Error ลักษณะคล้ายกับการเกิดภาพซ้อนที่เห็นบนจอโทรทัศน์ สำหรับเครื่องรับที่ดี จะสามารถขจัดและป้องกันการรบกวนของความคลาดเคลื่อนประเภทนี้ได้

4. สภาพทางเรขาคณิตของดาวเทียม (Dilution of Precision: DOP) ดาวเทียมระบบจีพีเอสมีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร คุณภาพของสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมและเรขาคณิตของดาวเทียมจะมีผลต่อการกำหนดตำแหน่ง ค่าเรขาคณิตของดาวเทียมจะบอกด้วยค่า DOP ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขณะรังวัดมีค่าความน่าเชื่อถือทางเรขาคณิตมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า DOP มีมากค่าความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้จะมีน้อย แต่ถ้าค่า DOP ต่ำ หมายความว่าค่าพิกัดที่ได้มีค่าความน่าเชื่อถือมาก (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546) ค่าความถูกต้องที่ได้ขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของดาวเทียม โดยการกระจายตัวของดาวเทียมมีผลต่อค่าความถูกต้องที่ได้รับจากการเล็งสกัดย้อน

ถ้าดาวเทียมมีการกระจายตัวในท้องฟ้าดี การกระจายตัวในลักษณะนี้เรียกว่า Geometric Dilution of Precision หรือ GDOP ค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของดาวเทียม ในความเป็นจริงแล้ว ค่า DOP ซึ่งใช้ในการวัดค่าความถูกต้องของการกำหนดตำแหน่ง มีดังนี้

PDOP (Position Dilution of Precision) ความแม่นยำของตำแหน่งสามมิติ

HDOP (Horizontal Dilution of Precision) ความแม่นยำของตำแหน่งทางราบ

VDOP (Vertical Dilution of Precision) ความแม่นยำของตำแหน่งทางดิ่ง

TDOP (Time Dilution of Precision) ความแม่นยำของเวลา

ค่า DOP เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของเรขาคณิตดาวเทียม และใช้วัดความถูกต้องของตำแหน่ง ค่า DOP ที่สำคัญคือ PDOP หรือ Position Dilution of Precision ซึ่งบอกความแม่นยำของตำแหน่งสามมิติ เป็นค่าที่นิยมใช้ในการบอกความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้จากดาวเทียมมากที่สุด หากค่า PDOP สูง ค่าพิกัดที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูง และค่า PDOP ที่ใช้ในการรังวัดสัญญาณ ไม่ควรมากกว่า 6.0 (Trimble Navigation Limited, 1996)

ในการคำนวณ DOP เป็นอัตราส่วนระหว่างความถูกต้องของตำแหน่งกับความถูกต้องของการวัดระยะ (สมการที่ 2-2)

$$\sigma = DOP\sigma_0 \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ σ คือความถูกต้องของตำแหน่ง

σ_0 คือความถูกต้องของการวัดระยะ

ตัวอย่างเช่น เรขาคณิตดาวเทียมมีค่า DOP เท่ากับ 2 ระยะทาง 10 เมตร ค่าความถูกต้องของตำแหน่งที่คำนวณได้จะเป็น 20 เมตร แต่ถ้าเรขาคณิตดาวเทียมมีค่า DOP เท่ากับ 5 ในระยะทางที่เท่ากัน ค่าความถูกต้องของตำแหน่งที่คำนวณได้จะเป็น 50 เมตร ดังนั้น ค่า DOP สูงจึงไม่เหมาะที่จะทำงานรังวัดดาวเทียม (กรมแผนที่ทหาร, 2538)

5. การลดทอนความถูกต้องของเวลา

เป็นการลดทอนความถูกต้องเพื่อป้องกันการใช้ศักยภาพของระบบจีพีเอส ในการพัฒนาอาวุธ โดยหน่วยงานที่ควบคุมระบบจะทำการลดทอนความถูกต้องของเวลา และลดทอนความถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจร และส่งข้อมูลเหล่านั้นกลับขึ้นไปบนดาวเทียม เพื่อส่งกระจายไปยังเครื่องรับสัญญาณ

6. ความคลาดเคลื่อนของการรังวัดแบ่งออกเป็น 3 ชนิด (กนก วีรวงศ์, ม.ป.ป.) ดังต่อไปนี้

6.1 ความคลาดเคลื่อนจากความประมาท (Gross Error) หรือค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างเช่น ผู้ปฏิบัติเล็งเป้าหมายผิด อ่านค่าจากเครื่องมือผิด ขาดความระมัดระวัง การป้องกันมิให้เกิดความผิดพลาดในการรังวัดนี้มีความสำคัญมาก และถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะต้องแน่ใจว่าตรวจพบ และขจัดออกไปก่อนที่จะนำค่าไปใช้ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะสามารถกำจัดออกไปได้หากผู้ปฏิบัติมีความระมัดระวัง

6.2 ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic Error) ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดขึ้นจากระบบบางอย่าง เช่น แสง อุณหภูมิ เป็นต้น หากทราบลักษณะของระบบนั้นก็สามารถแสดงออกมาในรูปของความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในระบบได้ ในรูปของสมการหรือฟังก์ชั่น การรังวัดภายใต้สภาพใด ๆ ที่มี Systematic Error เกิดขึ้นถ้ามีการรังวัดซ้ำภายใต้สภาพเดิมก็จะเกิด Systematic Error ขึ้นมาอีก การรังวัดทุกอย่างเราจำเป็นต้องหาความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบนี้แล้วกำจัดความคลาดเคลื่อนนี้ออกไปเพื่อให้มีความถูกต้อง และความละเอียด ของผลการรังวัดได้ดีขึ้น

6.3 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ไม่สามารถทราบลักษณะของความคลาดเคลื่อนนั้นได้ เพราะไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ได้ ค่ารังวัดจัดเป็นตัวแปรทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่ง เป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีพฤติกรรมแบบสุ่ม

วิวัฒนาการระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

GNSS มาจากคำว่า Global Navigation Satellite System ซึ่งก็คือ ระบบนำทางด้วยดาวเทียม เป็นคำมาตรฐานทั่วไปที่ใช้เรียกแทนคำว่า Satellite Navigation System (Sat Nav) ทำหน้าที่ให้ข้อมูลพิกัดบนผิวโลก โดยใช้อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อคำนวณและแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่

1. สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์ (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศ เพื่อทำการระบุตำแหน่งของ ผู้ใช้ (อาทิเช่น ผู้คน หรือ ยานพาหนะ หรือ อากาศยาน หรือ กระทั่งตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรในวงโคจรโลกต่ำ) สามารถทำได้โดยใช้คลื่นวิทยุที่ส่งสัญญาณออกมาโดยดาวเทียมนำร่อง และ ผู้ใช้เองจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุดังกล่าว

ในปัจจุบันมีระบบดาวเทียมนำร่องอยู่หลายระบบ แต่มี 3 ระบบที่ค่อนข้างโดดเด่นและเป็นที่กล่าวถึง ได้แก่

1.1 จีพีเอส ของประเทศสหรัฐอเมริกา (GPS: Global Positioning System)

1.2 โกลนาส ของประเทศรัสเซีย (GLONASS: GLObal NAvigation Satellite System)

1.3 จีเอ็นเอสเอส ของกลุ่มประเทศยุโรป (GNSS: Global Navigation Satellite System)

1.3.1 GNSS-1: เอ็คนอส (EGNOS)

1.3.2 GNSS-2: กาลิเลโอ (Galileo)

โดยที่ทุกระบบจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง ได้แก่ กลุ่มดาวเทียมนำร่อง สถานีควบคุมภาคพื้นดิน และ เครื่องรับสัญญาณของผู้ใช้ การระบุตำแหน่งของผู้ใช้ของทุกระบบจะใช้หลักการ TOA (Time of Arrival) ซึ่งคือ เวลาที่สัญญาณคลื่นวิทยุใช้ในเดินทางจากดาวเทียมนำร่องมาถึงผู้ใช้ เมื่อทราบค่าเวลาดังกล่าวแล้ว สามารถที่จะคำนวณหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมนำร่องและผู้ใช้ได้ (r) ในกรณีที่ผู้ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมนำร่องเพียงหนึ่งดวง เมื่อพิจารณาในระบบสามมิติ ตำแหน่งของผู้ใช้จะเป็นตำแหน่งใด ๆ บนทรงกลม ที่มีรัศมีเท่ากับระยะ r ดังกล่าว 1) สำหรับกรณีพิจารณาดาวเทียมนำร่อง 2 ดวง ตำแหน่งของผู้ใช้อยู่ที่พื้นผิวที่เกิดจากการตัดกันของสองทรงกลม 2) สำหรับกรณีพิจารณาดาวเทียมนำร่อง 3 ดวง ตำแหน่งของผู้ใช้จะมี 2 ตำแหน่ง 3) โดยที่ตำแหน่งที่ต่ำกว่าจะเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง

สัญญาณคลื่นวิทยุที่แพร่ออกโดยดาวเทียมนำร่องจะประกอบด้วย

- สัญญาณคลื่นพาห์ความถี่สูง อาทิเช่น GPS L1 1.57542 GHz
- ข้อมูลนำร่อง เป็นข้อมูลของระบบและของดาวเทียมนำร่อง อาทิเช่น ตำแหน่งของดาวเทียม
- รหัสเฉพาะ เป็นรหัสเฉพาะสำหรับดาวเทียมแต่ละดวงโดยข้อมูลนำร่องจะถูกเข้ารหัสไว้ ตัวอย่างสัญญาณคลื่นวิทยุที่แพร่ออกโดยดาวเทียมจีพีเอส

ข้อเท็จจริงของการระบุตำแหน่งโดยดาวเทียมนำร่อง ไม่ได้ระบุตำแหน่งของผู้ใช้

1) สิ่งที่ดาวเทียมนำร่องส่งออกมา
   - ข้อมูลนำร่อง บอกตำแหน่งของดาวเทียมนำร่องเอง
   - สัญญาณวิทยุพร้อมกับรหัสสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง
2) เครื่องรับ คำนวณระยะทางระหว่าง ดาวเทียม และ ผู้ใช้
   - ข้อมูลระยะ 4 ชุด ในเวลาเดียวกัน (กรณีดาวเทียม 4 ดวง)
3) เครื่องรับทำการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ

ค่าความแม่นยำโดยประมาณของการระบุตำแหน่งของระบบดาวเทียมนำร่องของระบบต่าง ๆ

1) จีพีเอส
   - ประมาณ 100 เมตร สำหรับผู้ใช้พลเรือน
   - ประมาณ 10 เมตร สำหรับทหาร
2) โกลนาส
   - ประมาณ 50 ~ 70 เมตร
3) กาลิเลโอ
   - ประมาณ 10 เมตร

นิยามหรือคำจำกัดความหมายของ “จีเอ็นเอสเอส” โดยภาพรวมนั้นหมายถึง ระบบดาวเทียมนำร่อง หรือระบบนำร่องโดยใช้กลุ่มดาวเทียม ซึ่งระบบดังกล่าวจะให้บริการระบุตำแหน่งของผู้ใช้ที่อยู่บนพื้นผิวครอบคลุมทั้งโลก ซึ่งการวิจัยในปัจจุบันเริ่มให้ความสนใจถึงความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทั้งหมดร่วมกันในการประมวลผลเชิงตำแหน่ง ซึ่งเรียกว่า Multi-GNSS หรือ MGNSS ซึ่งแนวคิดนี้ยังมีการศึกษาพัฒนาองค์ความรู้ และอุปกรณ์เครื่องมือรองรับในอนาคตต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่หาได้จากระบบพิกัดดาวเทียม

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่หาได้จากระบบพิกัดดาวเทียมนั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ดังนี้ วิกิพิเดีย (Wikipedia, 2002)

จำนวนดาวเทียม จำนวนดาวเทียมยิ่งมากยิ่งมีโอกาสที่จะได้ความถูกต้องที่สูงขึ้นจากการวิเคราะห์ตำแหน่ง

ตำแหน่งและการเรียงตัวของดาวเทียม (Satellite Configuration)

ชนิดของสัญญาณที่นำมาใช้วิเคราะห์ (Code หรือ Phase หรือทั้งสองอย่าง)

จำนวนสัญญาณคลื่นความถี่ (ความถี่เดี่ยว หรือ ความถี่คู่ หรือ มากกว่า)

วิธีการวิเคราะห์ (วิเคราะห์ตำแหน่งแบบเชิงเดี่ยว (Single หรือ Precise Point Positioning) หรือ ตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

เทคนิคการขจัดผลกระทบเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere เป็นชั้นอากาศเบาบางที่ประกอบด้วยแก๊สที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบ)

เทคนิคการประมาณผลกระทบจากโทรโปสเฟียร์ (Troposphere เป็นชั้นอากาศที่เราอาศัยอยู่)

คุณภาพของข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมว่าใช้จากแหล่งใด (ข้อมูลนำหน Navigation Message) หรือ ข้อมูลจาก IGS (Final Ephemeris Product SP3)

ผลกระทบเนื่องจากสหวิถี (Multi-Path) ซึ่งเป็นผลจาการสะท้อนของสัญญาณ

การผสมผสานระบบดาวเทียมหลาย ๆ อย่าง ที่เรียก GNSS (Global Navigation Satellite System)

ความสามารถในการกรองข้อมูล (Data Filtering Technique)

ผลกระทบอื่น ๆ (Random Noise Error)

ความถูกต้องของการหาตำแหน่งโดยการรังวัดดาวเทียม

สาเหตุและขนาดของความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ไว้ ดังนี้ (Stasell, 1978 อ้างถึงใน ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2538)

คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก โดยใช้เวลาไม่นานในการเรียกข้อมูลเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งได้มีการพัฒนานำเอาวิชาการทางด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับภูมิศาสตร์เข้ามาบูรณาการเป็นหนึ่งเดียวกัน เช่น ด้านภูมิศาสตร์ ด้านธรณีวิทยา เป็นต้น ทั้งจุดประสงค์เพื่อรวบรวม จัดเก็บ สืบค้นข้อมูลอย่างเป็นระบบ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้ตัวเลขเป็นตัวกำหนด หรือข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านภูมิศาสตร์สำหรับนำไปใช้ในขบวนการตัดสินใจต่าง ๆ โดยเฉพาะข้อมูลที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ สภาพแวดล้อม และความเป็นอยู่ของมนุษย์ชาติทั้งทางตรงและทางอ้อม (พิชญ จุลศิริ, จุน ศรีสุริฉัน, ณัฐชยพงษ์ ศรีสว่างสุข และอนุชา แต้มคม, 2549)

วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่

วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน (โชคชัย แสงดาว, 2557)

1. พื้นฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.1 ความรู้ทั่วไปของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่

วิวัฒนาการของเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เริ่มต้นจากวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radiotelephone) ซึ่งเป็นวิทยุโทรศัพท์แบบหนึ่งที่สามารถพกพาติดตัวไปด้วย แต่จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้เฉพาะในบริเวณที่คลื่นวิทยุเดินทางไปถึงอีกเครื่องหนึ่งเท่านั้น การทดลองใช้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เริ่มครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2483 และได้มีปรับปรุงพัฒนามาจนในที่สุดปี พ.ศ. 2489 บริษัท AT&T จำกัด ได้เริ่มให้บริการวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นรายแรก แต่ในเวลานั้นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังคงใช้งานได้แต่เฉพาะในกลุ่มจำกัด ซึ่งขณะนั้น

มีช่องสัญญาณใช้งานเพียง 6 ช่องเท่านั้น โดยใช้การส่งแบบเอเอ็ม (AM) ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่หลายประการเช่น ข้อจำกัดด้านเครือข่ายของการสื่อสาร เนื่องจากช่องสัญญาณแต่ละช่องอนุญาตให้มีผู้ใช้บริการได้เพียงคนเดียว การติดต่อเลขหมายปลายทางจะต้องเรียกผ่านศูนย์ควบคุมเท่านั้น โดยต้องมีพนักงานเป็นผู้เชื่อมต่อสัญญาณให้ และข้อเสียประการสำคัญ คือ มีความจุของช่องสัญญาณต่ำ ในที่สุดระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ต้องถูกระงับการให้บริการลง แต่ยังมีความต้องการใช้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่มากขึ้น จึงได้มีผู้พัฒนาระบบเพื่อให้มีความจุของสัญญาณสูงขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีแบบเอฟเอ็ม (FM) ทำให้ใช้แถบกว้างของช่องสัญญาณสื่อสารลดลงจากเดิมจาก 120 กิโลเฮิรตซ์ มาเป็น 25 กิโลเฮิรตซ์ สามารถช่วยเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณใช้ในการติดต่อสื่อสารได้มากขึ้น และนอกจากนั้นยังได้แบ่งช่องว่างความถี่ในพื้นที่บริการให้ใช้งานหลายช่องความถี่ และได้นำความถี่ที่ใช้งานในพื้นที่อื่นกลับมาใช้งานใหม่ในอีกพื้นที่หนึ่ง จึงสามารถใช้ช่องสัญญาณเพื่อติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นลักษณะของระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ในสมัยแรก ๆ

ในปี พ.ศ. 2490 ห้องทดลองเบลล์ได้จดสิทธิบัตรของระบบนี้และได้พัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่จนกลายมาเป็นระบบโทรศัพท์แบบรวงผึ้ง (Cellular Mobile Telephone System) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Cellular Telephone) โครงสร้างของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) จำนวนมากประกอบกันเครือข่าย แต่ระบบยังมีความสามารถไม่เพียงพอที่จะใช้งานในทางธุรกิจ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกติดตั้งและเปิดให้บริการในปี พ.ศ. 2526 โดยพื้นที่ให้บริการทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่า เซลล์ (Cell) แต่ละเซลล์เล็ก ๆ จะมีรัศมีและจัดสรรความถี่ใช้งานเฉพาะเซลล์พ่วงต่อกันเป็นแบบรวงผึ้ง เนื่องจากพื้นที่ให้บริการมีขนาดเล็กจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่กำลังส่งสูง ๆ สามารถนำความถี่ซ้ำ ๆ ไปใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

1.2 การจัดการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ในปัจจุบัน สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้กว้างมากขึ้น ขยายขอบเขตการให้การบริการได้ต่อเนื่องตามความต้องการ ในเขตพื้นที่มีประชากรหนาแน่น ซึ่งจะมีความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวนมากก็ต้องออกแบบให้มีจำนวนเซลล์เป็นจำนวนมากขึ้นเพื่อรับรองอัตราใช้บริการแบบทราฟฟิก (Traffic) ที่เพิ่มขึ้น ส่วนในเขตที่มีประชากรไม่หนาแน่นนั้นจะมีความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีจำนวนน้อยกว่า ก็จะออกแบบให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ละเซลล์ที่ติดกันจะใช้ย่านความถี่ที่แตกต่างกันเพื่อการนำความถี่กลับมาใช้อีก (Frequency Reuse) โดยไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนแทรกสอด (Interference) แต่หากต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นก็จะแบ่งจำนวนเซลล์ออกแบบเป็นเซลล์ย่อย (Cell Splitting) ให้มากขึ้นตามต้องการได้ ทำให้ระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำความถี่กลับมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้หลักการติดตั้งเครื่องรับส่งวิทยุ (Transceiver) ที่กำลังส่งต่ำ ๆ จำนวนมากกระจายเป็นจุด ๆ ไปทั่วพื้นที่ให้บริการ จุดที่ติดตั้งเครื่องรับส่งวิทยุเหล่านี้เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station: BS) หรืออาจเรียกว่าที่ตั้งเซลล์ (Cell Site) ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางเซลล์ตามลักษณะโครงสร้างระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

โครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเซลล์จะเชื่อมต่อถึงกัน ซึ่งแต่ละเซลล์มีรัศมีครอบคลุมกว้างหรือแคบนั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของความต้องใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในพื้นที่มีความหนาแน่นไม่มากจำนวนเซลล์จะครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้าง โดยมาตรฐานทั่วไปที่นิยมใช้ขนาดของเซลล์มีรัศมีตั้งแต่ 250 เมตร จนถึง 30 กิโลเมตร แต่ถ้ามีความต้องใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่หนาแน่นมากจำนวนเซลล์จะมีขนาดลดลงเพื่อเพิ่มการใช้ความถี่ซ้ำให้มากขึ้นและจะต้องเพิ่มสถานีฐานมากขึ้นตามไปด้วย แต่เครื่องส่งของแต่ละเซลล์จะลดกำลังส่งลงให้ครอบคลุมอยู่เฉพาะพื้นบริการเท่านั้น

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นต้องนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกในเซลล์ต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกลออกไป จำนวนช่องสัญญาณมากน้อยขึ้นอยู่กับแถบความถี่ที่จัดสรรให้โดยผู้ให้บริการที่รับผิดชอบ และช่วงห่างของช่องสัญญาณที่เป็นมาตรฐานใช้กันอยู่เป็นเครือข่ายช่องสัญญาณในกลุ่มเซลล์ที่ติดกันจะต้องใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน ระบบทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องป้องกันการรบกวนสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกันในบริเวณที่ใกล้เคียง ซึ่งเรียกว่าการแทรกสอดช่องสัญญาณร่วม (Co-Channel Interference) ต้องให้อยู่ในขีดจำกัดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานการสื่อสารในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

การนำความถี่เดิมมาใช้ใหม่ต้องแบ่งพื้นที่บริการหรือเซลล์เป็นจำนวนที่เหมาะสมในทางเทคนิคมักใช้ตัวแปรจำนวนเซลล์ที่จะจัดกลุ่ม คือ K โดยแต่ละเซลล์ที่ติดกันต้องใช้ช่องสัญญาณที่ต่างความถี่กัน สำหรับจำนวนเซลล์ หรือ K นั้น ควรมีมากที่สุดที่จะจัดได้เท่าที่จำเป็น ซึ่งจะต้องไม่ให้เกิดการซ้อนทับกันหรือเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ โดยส่วนมากการจัดสรรเซลล์ที่นิยมจะมีจำนวน K เท่ากับ 4 7 12 และ19 เซลล์ เป็นต้น ตามลักษณะการวางพื้นที่บริการหรือเซลล์ที่แตกต่างกัน

การแบ่งกลุ่มเซลล์ที่ใช้ค่า K น้อยนั้นจะทำให้มีจำนวนช่องสัญญาณสื่อสารในแต่ละเซลล์มีจำนวนมาก จะสามารถรองรับบริการผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนได้จำนวนมากในเวลาเดียวกัน แต่หากค่า K เพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนช่องสัญญาณสื่อสารในแต่ละเซลล์มีจำนวนน้อยลง ทำให้ในแต่ละเซลล์จะให้บริการหมายเลขได้จำนวนน้อยลงในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่น สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งมีจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด 280 ช่อง เมื่อใช้จำนวนเซลล์สัญญาณที่แตกต่าง

กัน คือ K เท่ากับ 4 ทำให้แต่ละเซลล์จะมีช่องสัญญาณสื่อสาร 70 ช่อง และหากแบ่งเซลล์ให้บริการ K เท่ากับ 7 จะได้ช่องสัญญาณสื่อสาร 40 ช่อง เป็นต้น

1.3 หลักการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

หลักการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องประกอบด้วยตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station; MS) สถานีฐาน (Base Station; BS) และ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Public Switched Telephone Network; PSTN) ทั้งหมดนั้นจะต่อกันเป็นเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดั้งนี้

1.3.1 เมื่อเปิดเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ลำดับแรกโทรศัพท์เคลื่อนที่จะตรวจสอบหาสัญญาณจากช่องสัญญาณที่มีอยู่ในบริเวณหรือเซลล์นั้นโดยอัตโนมัติ และปรับความถี่ให้ตรงกับช่องสัญญาณที่มีความแรงมากที่สุดของสถานีฐานที่อยู่ใกล้ที่สุด และคงสถานะไว้จนกว่าเครื่องโทรศัพท์จะเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่อื่นและมีความแรงของสัญญาณมากกว่าเซลล์เดิม

1.3.2 ขณะที่ผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องการติดต่อเลขหมายปลายทางโดยกดเลขหมายที่ต้องการติดต่อด้วยเรียบร้อยและกดส่ง เครื่องโทรศัพท์จะส่งสัญญาณออกไปให้กับสถานีฐาน ที่สถานีฐานเมื่อรับสัญญาณนั้นจะทำหน้าที่เลือกช่องสัญญาณให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งข้อมูลของสัญญาณควบคุมและสัญญาณเรียกจะแฝงอยู่ในคลื่นวิทยุในระดับกำลังส่งต่ำออกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านอากาศส่งไปยังสถานีฐาน ในส่วนของสถานีฐานจะเชื่อมต่ออยู่กับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งเป็นส่วนทำหน้าที่ควบคุมและเชื่อมต่อสัญญาณและต่อกันเป็นระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยจะมีฐานข้อมูลเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่หากสัญญาณนั้นเป็นเลขหมายของโทรศัพท์พื้นฐานหรือโทรศัพท์ประจำที่ สัญญาณเรียกเข้าจะถูกส่งต่อเข้าไปเชื่อมต่อกับระบบชุมสายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN) เช่น ชุมสายของ บริษัท ทีโอที คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เป็นต้น

1.3.3 กรณีใช้โทรศัพท์เรียกเข้าหาเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชุมสายโทรศัพท์ประจำที่จะสามารถแยกได้ว่าเป็นการเรียกไปยังปลายทางชนิดใด โดยตรวจสอบจากกลุ่มรหัสเลขหมายนำหน้า ซึ่งถ้าเป็นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะขึ้นต้นด้วยเลข 08x หรือ 09x ตามด้วยเลขหมายโทรศัพท์ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องส่งข้อมูลสั้น ๆ เข้าหาเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามข้อมูลของหมายเลขนั้นในการค้นหาเครื่องลูกข่าย แต่ละสถานีฐานทำการส่งข้อความเรียกผ่านทางช่องปรับแต่ง เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่รับทราบว่ามีผู้เรียกเข้าหาตัวเองจะทำการติดต่อกลับผ่านทางช่องปรับแต่ง สถานีฐานจัดการหาช่องสัญญาณที่ว่างให้สามารถเชื่อมต่อการสนทนาได้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการปรับจูนหาความถี่ของช่องสัญญาณตามคำสั่งของสถานีฐาน

1.3.4 การเคลื่อนที่เปลี่ยนเซลล์ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถทราบระดับความแรงของสัญญาณวิทยุที่ติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ระดับความแรงของสัญญาณที่ลดจะหมายถึงเครื่องโทรศัพท์นั้นได้เคลื่อนที่ออกห่างจากสถานีฐานของเซลล์ที่ให้บริการอยู่ และถ้าสัญญาณต่ำลงมาก ระบบจะเปลี่ยนให้โทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ย้ายไปติดต่อกับสถานีฐานในเซลล์อื่นซึ่งโทรศัพท์กำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้และมีการรับสัญญาณแรงที่สุด เรียกวิธีการนี้ว่า แฮนด์ออฟ (Handoff) หรือแฮนด์โอเวอร์ (Handover)

1.3.5 การสิ้นสุดการสนทนา เมื่อใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กดปุ่มสิ้นสุดการสนทนาจะมีสัญญาณสิ้นสุดการสนทนาส่งไปยังสถานีฐาน สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการยกเลิกใช้ช่องสัญญาณดังกล่าว และสถานีฐานยกเลิกการใช้ช่องสัญญาณเช่นกัน เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะกลับไปวัดสัญญาณช่องปรับแต่งตามเดิม

1.4 โครงสร้างพื้นฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

โครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คล้ายกันไม่ว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นระบบใด ซึ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นอาจแบ่งเป็นเครื่องลูกข่ายหรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเครือข่ายในระบบซึ่งติดตั้งประจำที่ และในส่วนที่เป็นเครือข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ Base Station System (BSS) และ Network Switching System (NSS) ซึ่งในแต่ละส่วนจะแยกเป็นองค์ประกอบอื่น ๆ ได้อีกที่แต่ละส่วนทำหน้าที่ต่าง ๆ โดยแต่ละองค์ประกอบคืออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ โปรแกรม และฐานข้อมูล

1.4.1 เครื่องลูกข่าย (Mobile Station: MS)

เครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ Mobile Equipment (Terminal) แต่ละเครื่องจะต้องมีการระบุคุณสมบัติของเครื่องโดยมี International Mobile Equipment Identity (IMEI) ซึ่งจะแสดงว่าเครื่องโทรศัพท์นั้นสามารถใช้ในระบบใดได้บ้าง ส่วนที่สองคือ SIM (Subscriber Identity Module) ซึ่งจะมี International Mobile Subscriber Identity (IMSI) จะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของหมายเลขที่จะใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอ้างอิงข้อมูลสำหรับการให้บริการ ซึ่ง IMEI กับ IMSI จะแยกเป็นอิสระกัน เพื่อให้ผู้ที่ใช้สามารถนำหมายเลขที่อยู่ใน SIM ไปใช้กับเครื่องโทรศัพท์เครื่องอื่นได้

1.4.2 ระบบสถานีฐาน (Base Station System ; BSS)

เป็นส่วนซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกับลูกข่ายหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านคลื่นวิทยุ แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนสถานีฐาน และส่วนอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน

1.4.2.1 สถานีฐาน (Base Transceiver Station: BTS)

ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย MS กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสารต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ BSC และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนประกอบของสถานีฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ด้วยกัน ส่วนแรก ได้แก่ ส่วนของระบบควบคุมการทำงานและการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ BSC ส่วนที่เหลือเป็นภาคการจัดการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุสำหรับการติดต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่าย หน้าที่โดยทั่วไปของ BTS มีดังนี้

1) รายงานเกี่ยวกับคุณภาพช่องสัญญาณที่ไม่มีการใช้งานให้ BSC ทราบ
2) ทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Code) และถอดรหัส (Decode)
3) เอ็นคริปชั่น (Encryption)
4) ทำการซิงโครไนซ์ (Synchronize) กับ MS

1.4.2.2 อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller: BSC)

ทำหน้าที่ควบคุมการจัดสรรทรัพยากรหลัก นั้นก็คือ ช่องสัญญาณความถี่ในกลุ่มสถานีฐาน ควบคุมการสร้างเส้นทางเชื่อมต่อเพื่อใช้ในการสนทนาต่อผ่านสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย โดยติดต่อสื่อสารกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่อุปกรณ์ BSC โดยจะทำหน้าที่ในการบริหารการทำงานอุปกรณ์ BTS ทั้งหมดทำให้ชุมสายสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น จำนวนของอุปกรณ์ BSC ในเครือข่ายหนึ่งจะมีอยู่เท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้วางระบบแต่ละราย โดยทั่วไปแล้ว BSC แต่ละตัวจะมีความสามารถรองรับจำนวนสถานีฐานที่ถูกควบคุมอยู่ จำนวนอุปกรณ์รับส่งสัญญาณความถี่ของสถานีฐานทั้งหมดยังขึ้นอยู่กับรูปแบบการเชื่อมต่อของสถานีฐาน สรุปหน้าที่ของ BSC มีดังนี้

1) จัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณวิทยุ
2) จัดการเกี่ยวกับ RF Link
3) จัดการเกี่ยวกับ Frequency Hopping
4) ควบคุมกำลังส่งของ MS และBTS
5) ควบคุมคุณภาพ และระดับกำลังงานของสัญญาณในช่องสัญญาณที่ใช้งาน
6) จัดการเกี่ยวกับการทำ Handover

1.4.3 โครงข่ายสวิทช์ชิ่งย่อย (Network Switching Subsystem; NSS)

NSS ประกอบด้วย Function หลัก ๆ ที่ทำหน้าที่ในการ Switch แก่ระบบ ซึ่งจะมี Function unit ดังนี้

1.4.3.1 สวิทช์ชิ่งบริการเคลื่อนที่ (Mobile Service Switching Center; MSC)

MSC หรือเรียกกว่าชุมสายของเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่าง BSC ซึ่งเป็นส่วนที่ดูแลการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และส่วนอีกด้านหนึ่งจะต่อเชื่อมกับเครือข่ายทั้งหมดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่รวมทั้งเครือข่ายอื่นด้วย โดยหน้าที่ของ MSC คือ เป็นส่วนสวิตช์และเชื่อมต่อคู่สายระหว่างเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าด้วยกัน รวมทั้งคู่สายระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ประเภทอื่นด้วย นอกจากนี้ MSC มีหน้าที่ในการย้ายเซลล์ให้บริการหรือ Handover รวมทั้งต้องรายงานตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย ในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมี MSC หลาย ๆ ตัวเชื่อมต่อกัน จะมีจำนวนเท่าไรนั้นขึ้นกับการออกแบบให้เหมาะสมเพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้บริการ สำหรับเมื่อต้องการเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์อื่น เช่น เครือข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN จะต้องเชื่อมต่อเส้นทางของสัญญาณไปยังเครือข่ายอื่นโดย GMSC (Gateway Mobile Service Switching Center) ในส่วนของ MSC นั้นต้องทำงานร่วมกับส่วนประกอบหลักที่สำคัญอีก 3 ส่วนคือ HLR VLE และ AUC

1.4.3.2 การลงทะเบียนตำแหน่งเครื่อง (Home Location Register ; HLR)

เป็นฐานข้อมูลสำหรับ MSC ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ข้อมูลที่สำคัญที่ต้องบันทึก เช่น สถานะของเครื่องโทรศัพท์ การปิดและเปิด การใช้งานโทรออก การรับสายเข้า การใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ครั้งล่าสุด และรวมถึงการใช้บริการเสริมต่าง ๆ เป็นต้น สรุปหน้าที่ของ HLR ได้คือ

1) จัดการเกี่ยวกับข้อมูลผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่
2) Location Register และ Call Handle
3) ช่วยในการทำ Encryption และตรวจสอบความถูกต้อง
4) จัดการเกี่ยวกับบริการเสริม
5) SMSC (Short Message Service Center)

1.4.3.3 การลงทะเบียนตำแหน่งโทรศัพท์ต่างถิ่น (Visitor Location Register ; VLR)

เป็นฐานข้อมูลอีกแบบหนึ่งที่จะทำงานร่วมกับ MSC หนึ่งชุดหรือกลุ่มของ MSC โดย VLR มีหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของผู้ที่ใช้บริการในขณะที่มีการใช้งานอยู่ เช่น เก็บตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์ใช้งานอยู่ เป็นต้น ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่เก็บข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเป็นโทรศัพท์ต่างถิ่น เช่น เครื่องโทรศัพท์

จากต่างประเทศ เป็นต้น จะเห็นว่าหน้าที่หลักของ VLR นั้นจะมาช่วยการทำงานของ HLR เพื่อลดปริมาณการร้องขอข้อมูลจาก HLR ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้ลงทะเบียนเป็นสมาชิกไว้

1.4.3.4 ศูนย์ข้อมูลลับ (Authentication Center ; AUC)

เป็นฐานข้อมูลซึ่งเก็บข้อมูลที่เป็นความลับ จึงต้องมีการจัดเก็บไว้ในสถานที่ที่ปลอดภัย โดยจะอนุญาตให้เข้าได้เฉพาะบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องดู แลและรับผิดชอบกับระบบเท่านั้น การจะเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้ก็จะต้องมีการใส่รหัสลับผ่าน นอกจากนี้ ข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลยังต้องมีการเข้ารหัสอีก โดย AUC นี้จะติดต่อเฉพาะกับ HLR เท่านั้น

ระบบนำทาง Assisted GPS (A-GPS)

Assisted Global Positioning System (A-GPS) คือ ระบบนำทางช่วยในการค้นหาสัญญาณจากดาวเทียม เมื่อใช้งานระบบนำทาง A-GPS โทรศัพท์มือถือของคุณจะได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับดาวเทียมจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ เมื่อโทรศัพท์มือถือไม่ได้รับข้อมูลช่วยเหลือ ระบบจะพยายามค้นหาสัญญาณจากดาวเทียมดวงอื่นที่เหลือ ด้วยข้อมูลช่วยเหลือที่ได้รับ โทรศัพท์มือถือจะสามารถค้นหาตำแหน่งของดาวเทียมที่อยู่ด้านเดียวกับซีกโลกที่โทรศัพท์มือถืออยู่ A-GPS สามารถเพิ่มความเร็วในการคำนวณตำแหน่งได้ดีขึ้น ระบบนำทาง A-GPS คือ บริการจากเครือข่ายซึ่งถูกใช้งานเป็นมาตรฐานในโทรศัพท์มือถือที่รองรับ A-GPS ซึ่งระบบนำทาง A-GPS สามารถใช้ได้ในทุกประเทศและไม่ขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการเครือข่ายใดเป็นพิเศษ

1. ข้อดีและประโยชน์ของระบบนำทาง A-GPS

ระบบนำทาง A-GPS ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อให้โทรศัพท์มือถือสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณดาวเทียมได้รวดเร็วและมีเสถียรภาพมากขึ้นมากกว่าการใช้ระบบนำทาง GPS เพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น การระบุตำแหน่งสามารถทำได้รวดเร็วมากขึ้นในขั้นตอนการเปิดใช้แบบ Cold-Start เมื่อการเชื่อมต่อ GPS ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน หรือเมื่อผู้ใช้งานเดินทางไปยังต่างประเทศ ระบบนำทาง A-GPS ช่วยให้ระยะเวลาในการเชื่อมต่อสัญญาณกับดาวเทียม GPS สั้นลง จากระยะเวลาหลายนาทีที่โทรศัพท์มือถือใช้ GPS ในการเชื่อมต่อการรับสัญญาณเมื่อเปิดใช้แบบ Cold-Start สามารถลดเหลือเพียง 10 วินาทีเมื่อใช้ระบบนำทาง A-GPS นอกจากนี้ ระบบนำทาง A-GPS สามารถลดระยะเวลาที่โทรศัพท์มือถือค้นหาตำแหน่งตัวเองในปัจจุบันหรือที่เรียกว่า 'Time To First Fix' (TTFF) สำหรับทุกสถานที่ทั่วโลก โดย GPS มีข้อจำกัดเช่นเดียวกับ A-GPS เช่น คุณภาพและการเชื่อมต่อสัญญาณที่อาจได้รับผลกระทบจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เป็นต้น ได้แก่ อาคาร สิ่งกีดขวางทางธรรมชาติ สภาพอากาศ และจุดที่ผู้ใช้ใช้งาน หากคุณอยู่ภายในอาคาร ควรเปลี่ยนไปอยู่

นอกอาคารที่เปิดโล่ง และตรวจสอบให้แน่ใจว่ามือของคุณไม่บังตัวรับสัญญาณ GPS ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างโทรศัพท์ของคุณ

2. ความเป็นมาของ A-GPS

ความเป็นมาของ A-GPS เกิดจากการคำนวนตำแหน่งของอุปกรณ์ GPS นั้น จะต้องอาศัยข้อมูลในการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ GPS บนโลก มีดังนี้

2.1 ข้อมูลวงโคจร

2.2 เวลาปัจจุบัน

3. ระยะเวลาในการเดินทางของสัญญาณ GPS จากดาวเทียมมาสู่เครื่องรับสัญญาณ GPS

ซึ่งการได้มาซึ่งข้อมูล 3 ข้อ ข้างต้นจะต้องได้รับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง นั้นมีข้อจำกัดดังนี้

3.1 เวลา การใช้ระยะเวลานานในการหาตำแหน่ง การรับสัญญาณ GPS ของอุปกรณ์รับ GPS จะสามารถ Synchronize (การเชื่อมต่อ GPS) ได้สมบูรณ์โดยเฉพาะข้อมูลวงโคจร ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญและมีขนาดใหญ่ การรับสัญญาณ GPS ครั้งแรกประมาณ 30 นาที ในกรณีไม่มีการเคลื่อนที่หากมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาก็จะใช้ระยะเวลามาก

3.2 สัญญาณ การส่งสัญญาณ GPS มายังโลกมีกำลังอ่อนและถูกบดบังได้ง่าย สัญญาณ GPS จะถูกบดบังได้ง่ายจากโละ ทำให้จำเป็นต้องใช้อุปกร์ GPS ในที่โล่งแจ้งจึงจะสามารถรับสัญญาณ GPS ได้ดีซึ่งอาจทำให้เกิดการไม่เสถียรในการแสดงตำแหน่ง

3.3 การสิ้นเปลืองพลังงาน การได้มาซึ่งข้อมูลของตำแหน่งที่ต่อเนื่องจำเป็นต้องเปิดการเชื่อมต่อ (Synchronize) ของดาวเทียมตลอดเวลา ทำให้เกิดปัญหาพลังงานไม่เพียงพอ

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีการค้นคิดหาวิธีที่จะทำให้ GPS สามารถทำงานได้เร็วขึ้นและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยลง ประกอบกับเทคโนโลยีด้านการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่มีความเร็วมากขึ้น และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาจาก GPS ทั่วไปมาเป็น A-GPS โดยหลักการในการแก้ปัญหาขั้นต้น

4. หลักการทำงานของ A-GPS

A-GPS ย่อมาจาก Assited GPS (จีพีเอสช่วยเหลือ) เป็นระบบ GPS ที่สนับสนุนข้อมูลที่ต้องการผ่านระบบ GPRS (General Package Radio Service) เป็นบริการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงบนระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แทนการรับข้อมูลต่าง ๆ ตรงจากดาวเทียม GPS ซึ่งใช้เวลานาน โดยมีหลักการ ดังนี้

4.1 การสนับสนุนข้อมูลวงโคจร และเวลาปัจจุบันผ่านระบบ GPRS โดยปกติ GPS รับข้อมูลวงโคจร และข้อมูลเวลาปัจจุบันจากสัญญาณ GPS โดยตรง ซึ่งทำให้ช้าหลังจากการพัฒนา

ระบบ A-GPS เปลี่ยนจากการรับข้อมูลทั่วไปผ่านโครงข่าย GPRS โดยเอาข้อมูลจาก GPS Base Station ซึ่งคอยรับข้อมูลวงโคจร GPS และเวลาปัจจุบันจากดาวเทียมโดยตรง ทำให้อุปกร์สามารถทำงานได้เร็วขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์รับสัญญาณ GPS สามารถรับข้อมูลทั้ง 2 จากเครือข่าย GPRS ซึ่งมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลเร็วกว่า สัญญาณ GPS มาก

4.2 การรับข้อมูลตำแหน่งจาก GPRS นอกจากที่จะได้ข้อมูลที่จำเป็นในการหาตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ผ่านเครือข่าย GPRS แล้วระบบ GPRS ยังส่งข้อมูลบอกตำแหน่งให้เครื่องรับ GPS ได้อีกด้วย เนื่องจากอุปกรณ์รับสัญญาณ GPRS ได้นั้น จะต้องอยู่ในรัศมีทำการของ Cell Phone Location หรือ Cell Site (เสาส่งสัญญาณ) ซึ่งแต่ละเครื่องจะมีเสาส่ง Cell site โทรศัพท์มาให้ด้วย ทำให้อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS สามารถทราบตำแหน่งคร่าว ๆ ของตนเองก่อนที่จะรับสัญญาณ GPS ทำให้กระบวนการประมวลผลหาตำแหน่งอย่างละเอียดทำได้เร็วขึ้น

จากหลักการข้างต้นทำให้ A-GPS สามารถทำงานได้เร็วกว่า GPS ทั่วไป 5-10 เท่า คือสามารถหาตำแหน่งได้ในเวลลาไม่ถึง 3 วินาที แต่ A-GPS มีข้อจำกัด ดังนี้

4.2.1 การใช้บริการ A-GPS จะต้องเสียค่าบริการ หากต้องการจะใช้ความเร็วของ A-GPS ผู้ใช้อุปกรณ์รับ GPS (GPS Receiver) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโทรศัพท์มือถือ จะต้องเปิดใช้บริการ GPRS หรือ EDGE กับผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ เช่น AIS True และDTAC เป็นต้น

4.2.2 พื้นที่การให้บริการจำกัด การให้บริการ A-GPS มีเขตการให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือโดยมีเสาส่งสัญญาณของแต่ละการให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์มือถือเท่านั้น ในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีเสาสัญญาณจะไม่สามารถใช้ได้ เช่น พื้นที่ป่า หรือในการเดินป่า เข้าถึงได้ จาก http://lamphun.dlt.go.th/Knowledge%20Center_files/AGPS.pdf สืบค้นวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2558

โมบายแอพพลิเคชั่นของอุปกรณ์สื่อสารพกพา

แอพพลิเคชั่น คือ โปรแกรมประยุกต์สำหรับเสริมความสามารถของอุปกรณ์สื่อสารพกพาที่สามารถให้ผู้ใช้งานติดตั้งได้เอง โดยรูปแบบการทำงานนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอุปกรณ์สื่อสารพกพาและระบบปฏิบัติการที่อุปกรณ์สื่อสารนั้น ๆ รองรับ

ระบบปฏิบัติการของอุปกรณ์สื่อสารพกพา ระบบปฏิบัติการ Apple IOS

ตลาดของโปรแกรมบนโทรศัพท์มือถือ หรือกลายเป็นคำฮิตสั้น ๆ ว่า “App” มีการเติบโตสูงทำให้ความต้องการของโปรแกรมเหล่านี้สูงขึ้นตามไปด้วย หนึ่งในตลาดที่ใหญ่ที่สุดของแอพพลิเคชั่น ก็คือ App store สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ระบบ IOS ของ Apple ซึ่งปัจจุบันนี้มี

แอพพลิเคชั่นรวมแล้วกว่าครึ่งล้านตัว ทั้งแอพพลิเคชั่นเรียบง่ายไม่มีความซับซ้อน จนถึงแอพพลิเคชั่นขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนและความสามารถไม่แพ้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (รวิทัต ภู่หลำ, 2554: 1)

บริษัท Apple Computer Inc. ได้เกิดขึ้นจากการร่วมกันก่อตั้งของ สตีฟ จ๊อบส์ และสตีฟ วอซเนียกทำการปฏิวัติธุรกิจคอมพิวเตอร์ในยุค 70 โดยการนำเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องแรกที่ประดิษฐ์จากโรงรถออกมาขาย ในชื่อ Apple มีการเปิดตัวด้วย iPhone Cocoa Touch SDK รุ่น เบต้า ในช่วงต้นเดือนมีนาคม 2008 นักพัฒนาให้ความสนใจเป็นจำนวนมากทำให้เซิร์ฟเวอร์ของ Apple ล่ม และมียอดดาวน์โหลด SDK ถึง หนึ่งแสนชุดภายในหนึ่งสัปดาห์ (Erica Sadun, 2552: 15)

Apple Inc. เป็นบริษัทสัญชาติอเมริกันที่ทำธุรกิจหลายแขนง ทั้งด้านอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยมีผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงอย่าง Macintosh ซึ่งมีหลายรุ่นด้วยกัน เช่น iPhone iPod และ iPad เป็นต้น โดยซอฟต์แวร์ที่ Apple พัฒนานั้นมี Mac OS X อันเป็นซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ดีที่สุด iTunes ที่ใช้สำหรับแสดงสื่อต่าง ๆ เพลง รายการทีวี ภาพยนตร์ และล่าสุดจะรวมไปถึงในส่วนของหนังสือที่ใช้ร่วมกับ iPad

แหล่งดาวน์โหลดแอพพลิเคชั่น Apple IOS สามารถเลือกดาวน์โหลดได้ที่แอพสโตร์ (AppStore) รวบรวมแอพพลิเคชั่น สามารถเข้าถึงเพื่อดาวน์โหลดได้ 2 ช่องทาง คือ ภายในเครื่องอุปกรณ์สื่อสารพกพา และดาวน์โหลดผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แล้วทำการอัพโหลดลงเครื่องอุปกรณ์สื่อสารพกพาในภายหลัง ซึ่งการดาวน์โหลดแอพพลิเคชั่นบางแอพพลิเคชั่นสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี และบางแอพพลิเคชั่นต้องเสียค่าใช้จ่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วฤษาย์ ร่มสายหยุด (2553) ได้ทำการศึกษาการระบุตำแหน่งโทรศัพท์มือถือด้วยโปรแกรม mvGPS เป็นการพัฒนาระบบ GPS เสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือได้โดยไม่ต้องมี GPS บรรจุอยู่ในเครื่องโทรศัพท์มือถือ หรือใช้งานในกรณีที่บางโทรศัพท์มีระบบ GPS แต่การใช้งานไม่เสถียรหรือใช้งานได้ไม่สมบูรณ์ เช่น ใต้อาคาร หรือนอกระบบเครือข่าย เป็นต้น การศึกษาครั้งนี้เพื่อลดช่องว่างและเติมเต็มให้โทรศัพท์มือถือทุก ๆ เครื่องสามารถใช้ประโยชน์จากการระบุตำแหน่งได้ พร้อมทั้งประยุกต์ผลการทำงานในระบบการติดตามตัว (Tracking System) ของผู้ใช้โทรศัพท์มือถือและแสดงผลการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนระบบ Social Network ยอดนิยมตัวหนึ่ง คือ Twitter เพื่อแสดงให้เห็นผลการเดินทางหรือความสามารถในการติดตามตัวของผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือนั้น ๆ

วิเชษฐ ดารากัย. (2550) ได้พัฒนาระบบสำหรับรองรับการใช้งาน GSM และ GPS Tracker เพื่อระบุตำแหน่ง ณ เวลาปัจจุบัน เป็นการจัดทำระบบสำหรับรองรับการใช้งาน GSM และ GPS Tracker เพื่อระบุพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ซึ่งการใช้งาน GPS Tracker โดยผ่านดาวเทียม GPS และส่งสัญญาณผ่านทางโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM โดยมุ่งเน้นไปที่การเขียนโปรแกรมเพื่อนำมาใช้งานร่วมกับระบบดังกล่าวให้สามารถใช้งานได้อย่างอัตโนมัติ และทำการทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้น ซึ่งแบ่งผลการทดลองได้เป็น 3 แบบ คือ การทดสอบเทียบความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ GSM / GPS Tracker โดยเปรียบเทียบพิกัดที่ได้ กับพิกัดแผนที่ ของกรมแผนที่ทหาร ความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าน้อยมาก เกิดจากปัจจุบันผู้ผลิตอุปกรณ์รับสัญญาณ GPS มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย ทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ที่มีคุณภาพ การทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ GSM / GPS Tracker กับอุปกรณ์ GPS ชนิดอื่น อุปกรณ์ GSM / GPS Tracker เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานในการบอกพิกัดตามมาตรฐานของสินค้าในกลุ่ม GPS ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และการทดสอบเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของพิกัด โดยทำการเปรียบเทียบโปรแกรมที่สร้างขึ้น กับโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ในท้องตลาด โปรแกรมที่เขียนขึ้น สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ GSM / GPS Tracker ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ปุญญรัตน์ ปุญญา, พงษ์พิพัฒน์ สายทอง และมนัสวี แก่นอำพรพันธ์. (2557) ทำการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สำหรับการเดินทางในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นการศึกษาและพัฒนาเฟรมเวิร์กสำหรับสร้างโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สำหรับการเดินทางในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (MSU-GPS) พัฒนา MSU-GPS ให้ใช้งานกับโทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ให้มีประสิทธิภาพ และศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ MSU-GPS กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย คือ บุคคลภายนอกที่มีบทบาทในการติดต่อกับมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 20 คน ซึ่งผลการวิจัยที่พัฒนาขึ้นเป็นกรอบในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สามารถนำมาพัฒนา MSU-GPS ได้ ซึ่งผ่านการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี และกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจระดับพอใจมาก งานวิจัยเรื่องนี้สามารถนำมาใช้นำทางภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยสามารถค้นหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างจุดปัจจุบันของผู้ใช้ต้องการได้ ทั้งนี้เฟรมเวิร์กสามารถนำไปใช้สร้างโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ ได้ต่อไป

วรานาถ ศิริสหวัฒน์. (2556) ศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านอินเตอร์เน็ต ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของ FGDC 1998 โดยมีจุดทดสอบ 24 จุด เมื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน ในแต่ละส่วนมีจุดทดสอบไม่น้อยกว่า 6 จุด (ร้อยละ 20 ของ

28 จุด) แต่ละจุดต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยต้องมีระยะห่างระหว่างจุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของระยะตามแนวทแยงมุม (d) ของพื้นที่ทดสอบ (27 กม. × 27 กม.) การรังวัดค่าพิกัดทางราบของจุดทดสอบกระทำโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบชนิดสองความถี่ ทำการรังวัดด้วยวิธีสถิติอย่างรวดเร็วแล้วนำมาประมวลผลภายหลังด้วยโปรแกรม TGO (Trimble Geomatic Office) ตามเกณฑ์งานชั้น C ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนบรรจบไม่เกิน 10 ppm (Part per Million) ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจะถือว่าเป็นค่าอ้างอิงเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่อ่านได้บนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเตอร์เน็ตเพื่อคำนวณหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบโดยใช้หลักเกณฑ์ค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error) ตามมาตรฐานของ NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยผลการวิจัยพบว่า แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านอินเตอร์เน็ต มีความคลาดเคลื่อนตามทิศตะวันออก 1.88 เมตร มีความคลาดเคลื่อนตามทิศเหนือ 1.80 เมตร มีค่าความเคลื่อนทางราบ 2.60 เมตร และมีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ 4.50 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดการระบุตำแหน่งของหมุดหลักฐาน เครื่องรับสัญญาณ GPS และเครื่องรับสัญญาณระบบช่วยเหลือ A-GPS พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยการประยุกต์ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ในการศึกษา พิจารณาจากข้อมูลต่าง ๆ เพื่อกำหนดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล นำมาประกอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องกับหมุดหลักฐาน ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินงาน ดังนี้

เครื่องมือวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ (Notebook)
2. โปรแกรมประยุกต์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
3. เครื่องกำหนดตำแหน่งบนผิวโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS)
4. โทรศัพท์มือถือ (A-GPS : Assited GPS) เป็นระบบ GPS ที่สนับสนุนข้อมูลที่ต้องการผ่านระบบ GPRS (General Package Radio Service)
5. แผนที่จาก Google Earth
6. ขาตั้งกล้อง
7. ตลับเมตร
8. กล้องถ่ายภาพระบบดิจิตอล (Digital Camera)
9. เครื่องพิมพ์ชนิดสีและขาวดำ (Printer)

การดำเนินการวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย

1.1 รวบรวมข้อมูลวิธีการคำนวณจากตำรา เอกสาร ผลงานวิจัย บทความและข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย

1.2 วางแผนการสำรวจจัดเก็บข้อมูล โดยวิธีการสุ่มตัวอย่าง เพื่อหาจำนวนตัวอย่างและจุดที่ใช้ในการสำรวจ กลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่ถือว่าประชากรแต่ละหน่วยจะมีโอกาสถูก

เลือกเท่า ๆ กันโดยใช้วิธีจับฉลากหาตัวแทนพื้นที่สุ่มตัวอย่าง จากตารางสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่ถูกแบ่งมาจากพื้นที่ทั้งหมด ตัวอย่างข้อมูลที่ได้โดยวิธีนี้จะกระจัดกระจายกันออกไปอย่างไม่มีระเบียบ ซึ่งเมื่อสุ่มได้บริเวณใดแล้วต้องเข้าทำการสำรวจ ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้นทุกแห่ง จะละเว้นหรือล้มเลิกไม่ได้

วิธีสุ่มตัวอย่างแบบนี้ไม่นิยมใช้ในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ที่มีเนื้อที่กว้างขวางด้วยเหตุเพราะเมื่อมีเนื้อที่สำรวจมากเกินไป พื้นที่บางแห่งอาจจะถูกละเลยไม่ได้รับการคัดเลือกหรือถูกเลือกน้อยเกินไป

ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยกำหนดจุดตัวอย่างให้กระจายเท่ากันและครอบคลุมทั่วทุกตำบลของพื้นที่ศึกษา ซึ่งพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 18 ตำบล โดยกำหนดตำบลละ 3 จุด ได้จำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 54 จุด เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

1.3 การสำรวจข้อมูลภาคสนามเพื่อเก็บค่าพิกัด GPS และ A-GPS โดยแต่ละจุดกำหนดเวลาในการตั้งเครื่องเป็นเวลา 5 นาทีต่อจุด และกำหนดความสูงในการวางเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม โดยการตั้งขาตั้งโดยมีความสูง 120 เซนติเมตร เพื่อให้การรับสัญญาณดาวเทียมและการรับสัญญาณโทรศัพท์ได้ดี พร้อมบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล

1.4 การแสดงผลข้อมูลค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยใช้แอพพลิเคชั่น Koredoko เป็นโปรแกรมสำหรับระบุตำแหน่งจากรูปถ่าย อาศัยหลักการ คือ การใช้สัญญาณ GPS ที่มีอยู่ในตัวของไอโฟนระบุพิกัดตำแหน่งปัจจุบัน ขณะที่ถ่ายรูปด้วยกล้องจากไอโฟนจะมีการบันทึกค่าพิกัดนั้นลงไปที่รูปด้วย จากนั้นโปรแกรมที่จะทำการนำพิกัดที่ได้ไปประยุกต์เข้ากับ Google Map ซึ่งผลที่ได้คือ สามารถทราบได้ว่าภาพนั้นถ่ายที่จุดใด ๆ ในโลก

2. การประมวลผลข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมและการเปรียบเทียบข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

2.1 การนำข้อมูลค่าพิกัดจุดตัวอย่างลงโปรแกรม Microsoft Excel

2.2 การแปลงหน่วยค่าพิกัด โดยหน่วยค่าพิกัดของ A-GPS จะถูกแสดงเป็นหน่วยในระบบพิกัดแบบค่าตัวเลขทศนิยมแบบ DD (Decimal Degrees) จึงต้องแสดงผลหน่วยค่าพิกัดในเครื่องรับสัญญาณ GPS ให้แสดงผลในรูปแบบของหน่วยพิกัดเดียวกัน เพื่อสะดวกในการเก็บค่าพิกัดการเปรียบเทียบ โดยหน่วยค่าพิกัดองศาทศนิยมบอกตำแหน่งเป็นค่าระยะเชิงมุมของละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ตามระยะเชิงมุมที่ห่างจากศูนย์กำเนิด (Origin) เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบหน่วยค่าพิกัด ผู้วิจัยจึงทำการแปลงหน่วยค่าพิกัดจากองศาทศนิยมเป็นระบบพิกัดยูทีเอ็ม UTM (Universal Transverse Mercator co-ordinate System) เนื่องจาก ปัจจุบัน

ระบบยูทีเอ็มเป็นที่ยอมรับสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้งานครอบคลุมได้ทั่วโลก โดยกำหนดใช้หน่วยวัดระยะทางเป็นเมตร โดยใช้โปรแกรมแปลงค่าพิกัดของกรมแผนที่ทหาร

2.3 เมื่อได้ผลลัพทำการคำนวณหาค่าความแตกต่าง โดยเปรียบค่าพิกัดระหว่างเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS จากนั้น ทำการแสดงผลในรูปแบบของตาราง กราฟ และแผนที่ต่อไป

การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณสมการของค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS ที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยนำค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจข้อมูลในภาคสนามมาแทนค่าลงในสมการของค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS ที่ดีที่สุดเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ดังสมการที่ 3-1 และ 3-2 (สุพรรณ กาญจนสุธรรม และแก้ว นวลฉวี, 2556)

$$PE = \frac{X_i - F_i}{X_i} \times 100 \qquad (3\text{-}1)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |PE_i|}{n} \qquad (3\text{-}2)$$

โดย

PE = เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error)

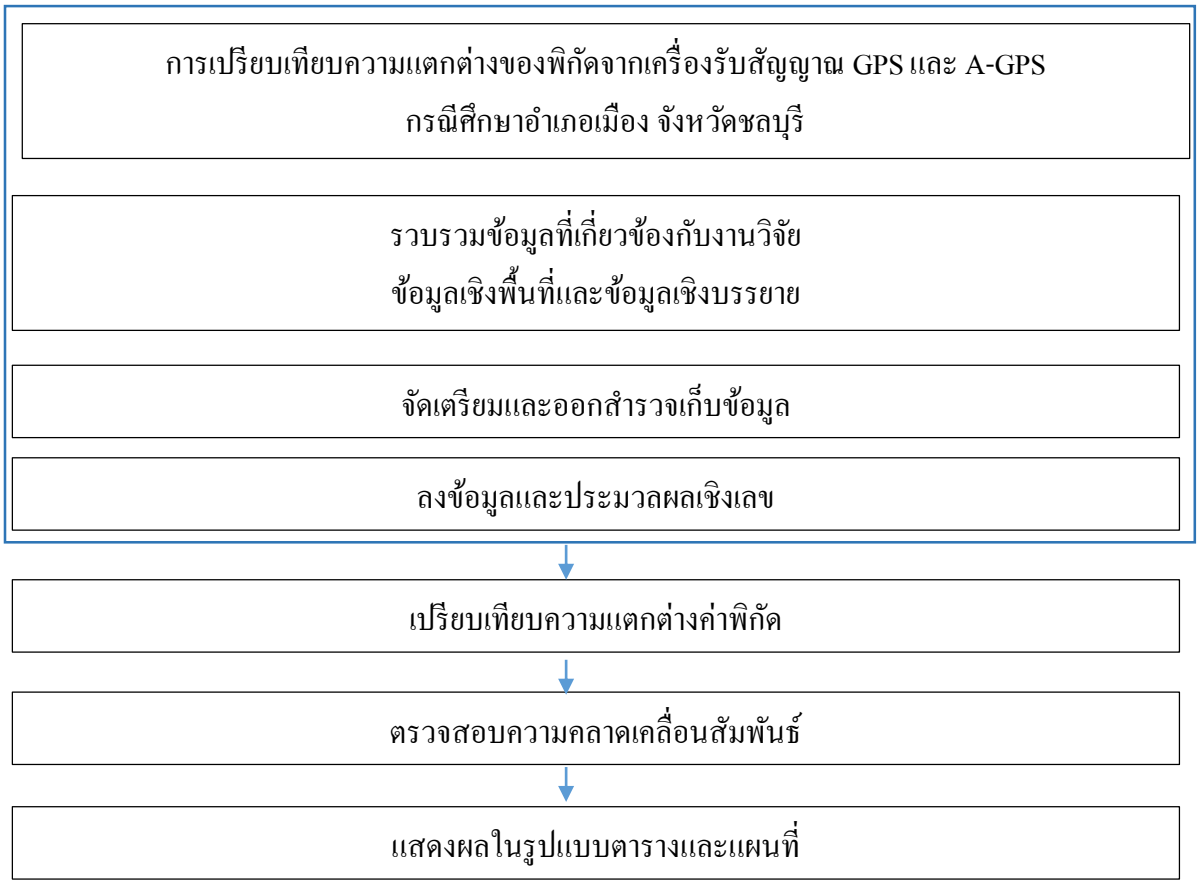
$|PE|$ = ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

F_i = ค่าที่ได้จากการสำรวจของ A-GPS ณ ช่วงเวลาที่ i เมื่อ i = 1, 2, 3,..,n

Xi = ค่าที่ได้จากการสำรวจของ GPS ณ ช่วงเวลาที่ i เมื่อ i = 1, 2, 3,..,n

n = จำนวนตัวอย่าง

การดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3-1 แสดงแผนผังวิธีดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS เพื่อนำผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดอันเป็นผลเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของระบบทั้ง 2 ระบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับหมุดหลักฐานเพื่อได้ข้อมูลความแตกต่างในการรับสัญญาณของเครื่องสัญญาณ GPS และ A-GPS

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นหลัก โดยอาศัยการคำนวณหน่วยการแปลงค่าพิกัดและการตรวจสอบค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณสมการของค่าพิกัด โดยอาศัยเครื่องมือทางภูมิสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงบรรยาย เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างที่ได้จากค่าพิกัดโดยใช้สูตรการคำนวณเพื่อแปลงหน่วยข้อมูลจุดตัวอย่างโดยการหาพื้นที่ตามขั้นตอนรายละเอียด ดังนี้

1. การกำหนดจุดตัวอย่าง โดยใช้รูปแบบการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยกำหนดจุดตัวอย่างให้กระจายเท่ากันและครอบคลุมทั่วทุกตำบลของพื้นที่ศึกษา ซึ่งพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 18 ตำบล โดยกำหนดตำบลละ 3 จุดตัวอย่าง ได้จำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 54 จุดตัวอย่าง แต่เนื่องจากในบางพื้นที่ไม่สามารถเข้าถึงเพื่อเก็บข้อมูลที่กำหนด ซึ่งบริเวณดังกล่าวที่เป็นพื้นที่ป่า ภูเขา รกร้าง เป็นพื้นที่ส่วนบุคคล โรงงานอุตสาหกรรม หรือพื้นที่ต้องห้ามไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องลดจุดลงเหลือเพียง 30 จุดตัวอย่าง ซึ่งในบางตำบลมีจำนวนจุดตัวอย่างมากกว่า 3 จุดตัวอย่าง เพื่อเพิ่มเติมในตำบลที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ และเพื่อให้ได้จำนวนจุดตัวอย่างมากที่สุดและกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่สามารถทำดำเนินการเก็บข้อมูลตัวอย่างได้

2. การแปลงหน่วยค่าพิกัด โดยใช้โปรแกรมแปลงค่าพิกัดของกรมแผนที่ทหาร แปลงหน่วยในระบบพิกัดแบบค่าตัวเลขทศนิยม เป็นหน่วยค่าพิกัดจากองศาทศนิยมเป็นระบบพิกัดยูทีเอ็ม เนื่องจากปัจจุบันระบบยูทีเอ็มเป็นที่ยอมรับสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้งานครอบคลุมได้ทั่วโลก โดยกำหนดใช้หน่วยวัดระยะทางเป็นเมตร

3. การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน โดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

เพื่อใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย หรือ MAPE เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับค่าข้อมูลจริงจึงสามารถที่จะใช้ในการประเมินการพยากรณ์ได้เหมาะสม

ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS ของอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

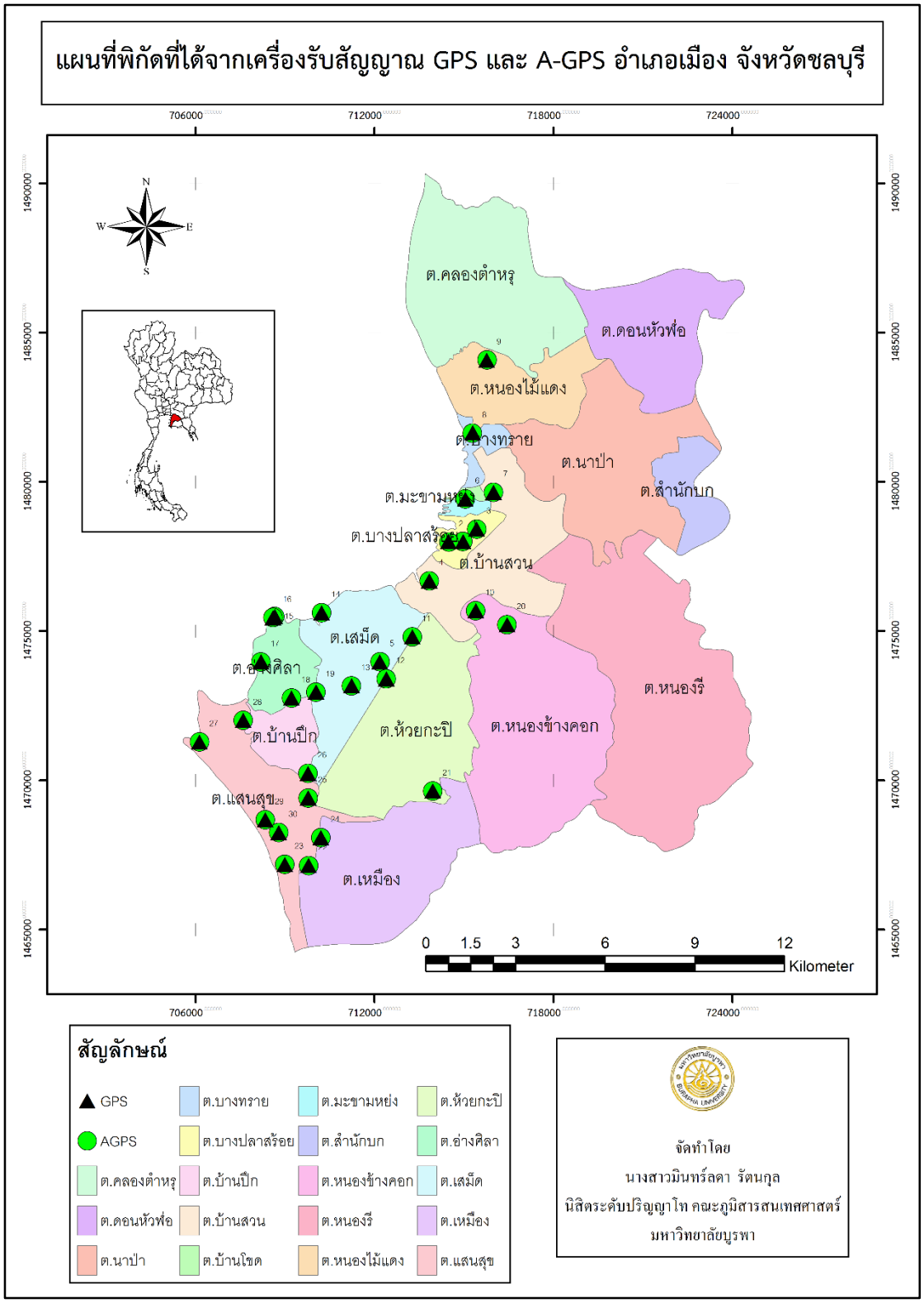
จากภาพที่ 4-1 พบว่า การกระจายตัวในการเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาจำนวน 18 ตำบล ของอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ได้กำหนดจุดตัวอย่างข้อมูล จำนวน 30 จุด โดยพื้นที่ที่มีจุดตัวอย่างมากที่สุด คือ ตำบลแสนสุข จำนวน 7 จุดตัวอย่าง เนื่องจากตำบลแสนสุขเป็นตำบลที่มีการกระจายตัวของชุมชนที่เหมาะสมทำให้การเก็บข้อมูลในส่วนนี้มีจำนวนจุดตัวอย่างมากที่สุด

พื้นที่ลำดับต่อมา ได้แก่ ตำบลเสม็ด และตำบลอ่างศิลา ตำบลละ 5 จุดตัวอย่าง ในบริเวณตำบลดังกล่าวลักษณะพื้นที่เป็นชุมชน หมู่บ้านจัดสรร พื้นที่ก่อสร้าง วัด และโรงเรียน ทำให้การเก็บข้อมูลได้อยู่ในระดับปานกลาง

ลำดับต่อมาเป็นตำบลบางปลาสร้อย ได้จุดตัวอย่างจำนวน 3 จุดตัวอย่าง ในบริเวณตำบลดังกล่าวลักษณะพื้นที่เป็นชุมชน หมู่บ้านจัดสรร พื้นที่ก่อสร้าง วัด และโรงเรียน ทำให้การลงพื้นที่เก็บข้อมูลได้จำนวนจุดตัวอย่างอยู่ในระดับปานกลาง

พื้นที่ลำดับต่อมา ได้แก่ ตำบลหนองไม้แดง ตำบลบ้านสวน และตำบลหนองข้างคอก ได้จุดตัวอย่างตำบลละ 3 จุดตัวอย่าง และตำบลห้วยกะปิ ตำบลบ้านปึก ตำบลเหมือง และตำบลบ้านโขด ที่มีการเก็บจุดตัวอย่างเพียงตำบลละ 1 จุดตัวอย่าง เนื่องจาก เป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของชุมชนมีอาคารบ้านเรือน และมีจำนวนประชากรหนาแน่นมาก ทำให้การลงพื้นที่เก็บข้อมูลได้จำนวนจุดตัวอย่างอยู่ในระดับน้อย

ส่วนพื้นที่ตำบลที่ไม่มีจุดตัวอย่างจำนวน 7 ตำบล คือ ตำบลดอนหัวฬ่อ ตำบลนาป่า ตำบลสำนักบก ตำบลหนองรี ตำบลมะขามหย่ง ตำบลคลองตำหรุ และตำบลบางทราย เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะของพื้นที่ป่าไม้ ภูเขา พื้นที่รกร้าง เขตกำลังก่อสร้าง และเป็นเขตพื้นที่อุตสาหกรรม ในบางตำบลพบว่า ไม่สามารถทำการลงพื้นที่ในการเก็บข้อมูลได้ ซึ่งในบริเวณบางตำบลเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะชุมชนแออัด โรงเรียน วัด และสถานที่ราชการที่มีข้อจำกัดในการลงพื้นที่ และการรับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณได้ไม่ดี



ภาพที่ 4-1 แผนที่พิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

การหาค่าความแตกต่างของหน่วยค่าพิกัดที่ได้จากระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS

จากการสำรวจเก็บค่าพิกัดและแปลงหน่วยค่าพิกัดองศาทศนิยมเป็นระบบพิกัดยูทีเอ็ม เพื่อหาค่าความแตกต่างของระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS ดังแสดงในตารางที่ 4-1 จากตารางการเปรียบเทียบค่าพิกัด พบว่า ระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS โดยจุดตัวอย่างที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดมีจำนวน 2 จุดตัวอย่าง คือ จุดตัวอย่างที่ S27 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS เป็นระยะ 1.15 เมตร อยู่ที่ Latitude 1.10 เมตร Longitude 0.32 เมตร และจุดตัวอย่างที่ S42 ระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS อยู่ที่ 1.71 เมตร อยู่ใน Latitude 1.10 เมตร Longitude 1.31 เมตร

โดยจุดตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยอยู่ในระยะใกล้เคียงกันมากที่สุดอยู่ในระยะระหว่าง 4 เมตร ไม่เกิน 5 เมตร จำนวน 6 จุดตัวอย่าง คือ S33 S31 S34 S39 S24 และS35 ตามลำดับ ซึ่งยกตัวอย่างของจุดตัวอย่างที่ S33 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS 4.18 เมตร อยู่ที่ Latitude 1.14 เมตร Longitude 4.02 เมตร และจุดตัวอย่างที่ S35 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS 4.61 เมตร อยู่ที่ Latitude 3.54 เมตร Longitude 2.95 เมตร

จุดตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยอยู่ในระยะใกล้เคียงกันลำดับต่อมา ระยะระหว่าง 6 เมตร ไม่เกิน 7 เมตร จำนวน 4 จุดตัวอย่าง คือ S28 S29 S43 และS32 ตามลำดับ โดยยกตัวอย่างของจุดตัวอย่างที่ S28 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS 6.09 เมตร Latitude 3.82 เมตร Longitude 4.75 เมตร และจุดตัวอย่างที่ S32 ระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS 6.56 เมตร Latitude 4.15 เมตร Longitude 5.08 เมตร

จุดตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยอยู่ในระยะใกล้เคียงกันลำดับต่อมา ระยะระหว่าง 7 เมตร ไม่เกิน 8 เมตร จำนวน 4 จุดตัวอย่าง คือ S17 S30 S05 และS26 ตามลำดับ โดยยกตัวอย่างของจุดตัวอย่างที่ 17 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS 7.47 เมตร Latitude 2.40 เมตร Longitude 7.08 เมตร และจุดตัวอย่างที่ S26 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS 7.83 เมตร Latitude 6.69 เมตร Longitude 4.07 เมตร

จุดตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างมากที่สุด อยู่ที่จุดตัวอย่างที่ S02 ระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS 23.38 เมตร Latitude 14.26 เมตร Longitude 18.53 เมตร ดังตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการแปลงค่าพิกัดเปรียบเทียบความแตกต่างค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS

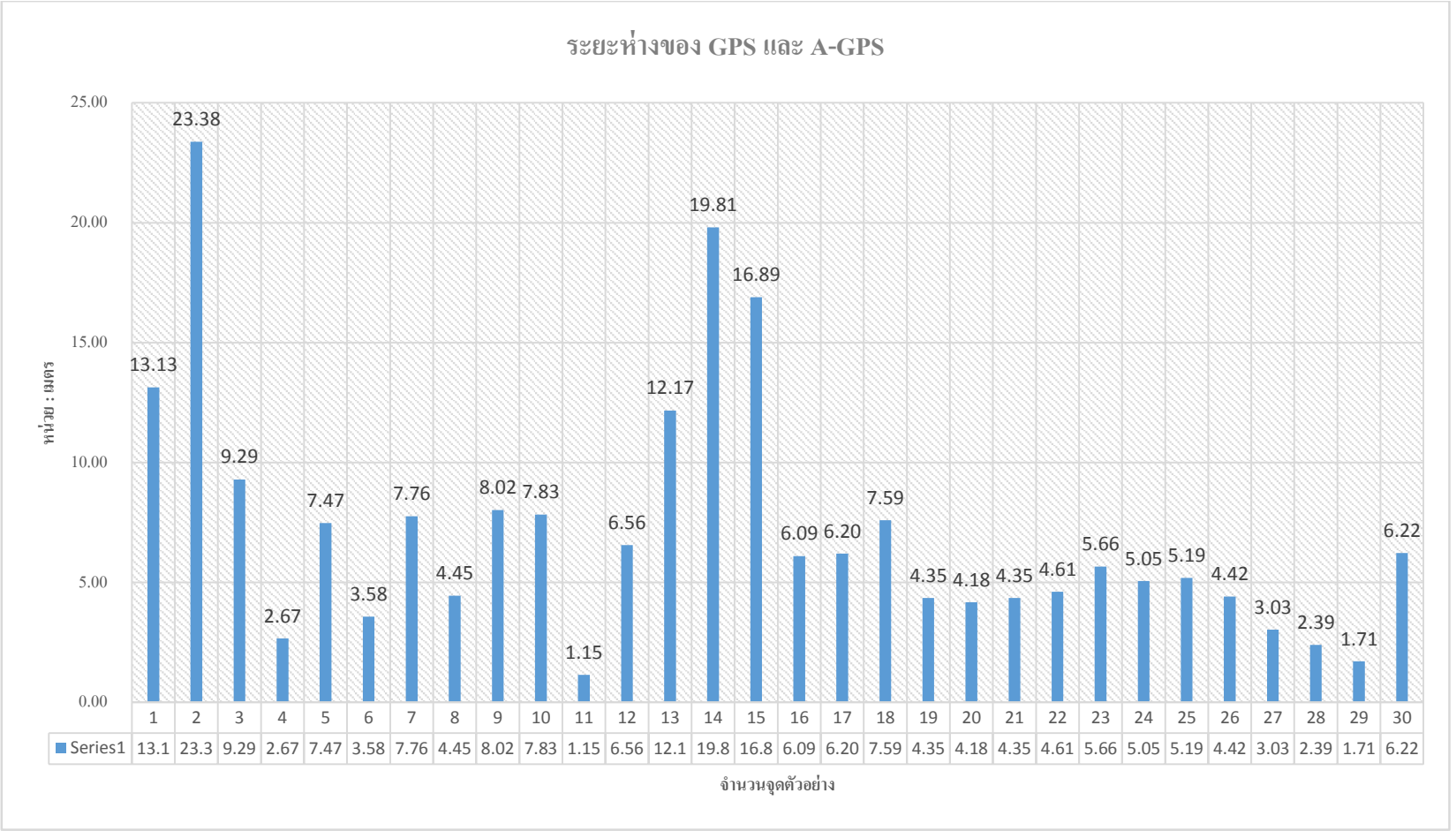
หน่วย : เมตร

No.	Point	ค่าความแตกต่าง (UTM)		ระยะทางระหว่าง
		Latitude (Y)	Longitude (X)	เมตร
1	S27	1.10	0.32	1.15
2	S42	1.10	1.31	1.71
3	S41	2.00	1.32	2.39
4	S04	2.53	0.83	2.67
5	S40	1.35	2.72	3.03
6	S07	3.33	1.31	3.58
7	S33	1.14	4.02	4.18
8	S31	0.40	4.33	4.35
9	S34	4.12	1.39	4.35
10	S39	2.26	3.79	4.42
11	S24	1.71	4.10	4.45
12	S35	3.54	2.95	4.61
13	S37	1.37	4.87	5.05
14	S38	5.18	0.30	5.19
15	S36	5.33	1.91	5.66
16	S28	3.82	4.75	6.09
17	S29	6.11	1.04	6.20
18	s43	4.63	4.15	6.22
19	S32	4.15	5.08	6.56
20	S17	2.40	7.08	7.47
21	S30	5.57	5.16	7.59
22	S05	2.49	7.35	7.76
23	S26	6.69	4.07	7.83
24	S25	4.35	6.73	8.02
25	S03	7.72	5.17	9.29

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

หน่วย : เมตร

No.	Point	ค่าความแตกต่าง (UTM)		ระยะทางระหว่าง
		Latitude (Y)	Longitude (X)	เมตร
26	S06	11.95	2.29	12.17
27	S01	6.86	11.20	13.13
28	S12	14.69	8.33	16.89
29	S10	17.72	8.85	19.81
30	S02	14.26	18.53	23.38



ภาพที่ 4-2 แสดงระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS (หน่วยเป็นเมตร)

จากการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS จำนวน 30 จุด โดยวิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error) ดังตัวอย่างจุดตัวอย่าง คือ จุดตัวอย่าง S27 ค่าพิกัดของ GPS อยู่ที่ Latitude 13.32036 Longitude 100.96087 และค่าพิกัดของ A-GPS อยู่ที่ Latitude 13.32040 Longitude 100.96081 ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่างดังกล่าว Latitude (Y) อยู่ที่ 0.00003 Longitude (X) อยู่ที่ 0.00006

จุดตัวอย่าง S33 ค่าพิกัดของ GPS อยู่ที่ Latitude 13.33649 Longitude 100.99835 และค่าพิกัดของ A-GPS อยู่ที่ Latitude 13.33648 Longitude 100.99831 ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่างดังกล่าว Latitude (Y) อยู่ที่ 0.00007 Longitude (X) อยู่ที่ 0.00004

จุดตัวอย่าง S28 ค่าพิกัดของ GPS อยู่ที่ Latitude 13.31839 Longitude 100.95008 และค่าพิกัดของ A-GPS อยู่ที่ Latitude 13.31833 Longitude 100.95004 ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่างดังกล่าว Latitude (Y) อยู่ที่ 0.00045 Longitude (X) อยู่ที่ 0.00004

จุดตัวอย่าง S17 ค่าพิกัดของ GPS อยู่ที่ Latitude 13.33261 Longitude 101.05183 และค่าพิกัดของ A-GPS อยู่ที่ Latitude 13.33261 Longitude 101.05180 ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่างดังกล่าว Latitude (Y) อยู่ที่ 0.00004 Longitude (X) อยู่ที่ 0.00003

จุดตัวอย่าง S01 ค่าพิกัดของ GPS อยู่ที่ Latitude 13.36176 Longitude 100.98495 และค่าพิกัดของ A-GPS อยู่ที่ Latitude 13.36232 Longitude 100.98056 ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่างดังกล่าว Latitude (Y) อยู่ที่ 0.00421 Longitude (X) อยู่ที่ 0.00010

จุดตัวอย่าง S02 ค่าพิกัดของ GPS อยู่ที่ Latitude 13.36181 Longitude 100.98039 และค่าพิกัดของ A-GPS อยู่ที่ Latitude 13.36168 Longitude 100.98485 ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่างดังกล่าว Latitude (Y) อยู่ที่ 0.00097 Longitude (X) อยู่ที่ 0.00017

จากการหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยจุดตัวอย่างค่าพิกัด จำนวน 30 จุดตัวอย่างมาทำการแปลงค่าและหาค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่าง โดยเฉลี่ยเท่ากับ Longitude 0.00034 เปอร์เซ็น ได้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.00063 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ MAPE ของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และ A-GPS

หน่วย: เมตร

Point	GPS		A-GPS		PE		$\|PE\|$	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (Y)	Longitude (X)	Latitude (Y)	Longitude (X)
S01	13.36176	100.98495	13.36232	100.98485	-0.00421	0.00010	0.00421	0.00010
S02	13.36181	100.98039	13.36168	100.98056	0.00097	-0.00017	0.00097	0.00017
S03	13.36555	100.98915	13.36548	100.98920	0.00052	-0.00005	0.00052	0.00005
S04	13.34996	100.97438	13.34994	100.97437	0.00017	0.00001	0.00017	0.00001
S05	13.32555	100.95887	13.32557	100.95894	-0.00017	-0.00007	0.00017	0.00007
S06	13.37457	100.98572	13.37468	100.98574	-0.00081	-0.00002	0.00081	0.00002
S07	13.37663	100.99445	13.37660	100.99446	0.00022	-0.00001	0.00022	0.00001
S10	13.41659	100.99271	13.41672	100.99279	-0.00098	-0.00008	0.00098	0.00008
S12	13.34183	101.04781	13.34181	101.04781	0.00019	0.00000	0.00019	0.00000
S17	13.33261	101.05183	13.33261	101.05180	0.00004	0.00003	0.00004	0.00003
S24	13.31619	101.06040	13.31618	101.06043	0.00008	-0.00003	0.00008	0.00003
S25	13.32632	101.02758	13.32635	101.02762	-0.00019	-0.00004	0.00019	0.00004
S26	13.33304	100.96901	13.33303	100.96897	0.00011	0.00004	0.00011	0.00004
S27	13.32036	100.96087	13.32040	100.96081	-0.00030	0.00006	0.00003	0.00006
S28	13.31839	100.95008	13.31833	100.95004	0.00045	0.00004	0.00045	0.00004

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

หน่วย: เมตร

Point	GPS		A-GPS		PE		$\|PE\|$	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (Y)	Longitude (X)	Latitude (Y)	Longitude (X)
S29	13.33917	100.92591	13.33923	100.92592	-0.00041	-0.00001	0.00041	0.00001
S30	13.32588	100.92212	13.32583	100.92207	0.00038	0.00005	0.00038	0.00005
S31	13.31481	100.93144	13.31482	100.93148	-0.00005	-0.00004	0.00005	0.00004
S32	13.31657	100.93908	13.31653	100.93903	0.00028	0.00005	0.00028	0.00005
S33	13.33649	100.99835	13.33648	100.99831	0.00007	0.00004	0.00007	0.00004
S34	13.28635	100.97495	13.28631	100.97494	0.00028	0.00001	0.00028	0.00028
S35	13.26406	100.93632	13.26403	100.93635	0.00024	-0.00003	0.00024	0.00024
S36	13.26441	100.92896	13.26446	100.92898	-0.00036	-0.00002	0.00036	0.00002
S37	13.27246	100.94018	13.27247	100.94023	-0.00009	-0.00004	0.00009	0.00004
S38	13.28455	100.93639	13.28450	100.93639	0.00035	0.00000	0.00035	0.00000
S39	13.29191	100.93636	13.29193	100.93640	-0.00015	-0.00003	0.00015	0.00003
S40	13.30171	100.90287	13.30172	100.90290	-0.00009	-0.00002	0.00009	0.00002
S41	13.30818	100.91643	13.30816	100.91644	0.00014	-0.00001	0.00014	0.00001
S42	13.27799	100.92304	13.27800	100.92303	-0.00008	0.00001	0.00008	0.00001

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

หน่วย: เมตร

Point	GPS		A-GPS		PE		$\|PE\|$	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (Y)	Longitude (X)	Latitude (Y)	Longitude (X)
S43	13.27408	100.92720	13.27412	100.92716	-0.00032	0.00004	0.00032	0.00004
						SUM	0.01866	0.00279
						MAPE	0.00043	0.00006

การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS กับหมุดหลักฐาน

จากการสอบของเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS โดยเปรียบเทียบกับค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในมหาวิทยาลัยบูรพา เป็นค่าพิกัดของนักเรียนโรงเรียนกรมแผนที่ทหาร หลักสูตรยีออเดซี รุ่นที่ 1 ได้จัดทำวงรอบภาคสนาม เพื่อถ่ายหมุนหลักฐาน จำนวนทั้งหมด 6 หมุด คือ บริเวณฟุตบาทด้านหน้าพิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำหน้าอาคารโลกใต้ทะเล บริเวณสวนบูรพา บริเวณหน้าป้ายคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ บริเวณหัวสะพานสวนนันทนาการ และบริเวณฟุตบาทด้านหน้าหอเทา-ทอง 4

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ผลการตรวจสอบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS กับหมุดหลักฐาน โดยหมายเลขหมุดหลักฐานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ได้แก่ หมุดหลักฐานบริเวณหน้าป้ายคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ผลที่ได้จากการตรวจสอบค่าพิกัด Longitude คลาดเคลื่อน -29.5392 เมตร ค่าพิกัด Latitude คลาดเคลื่อน -6.2838 เมตร ระยะห่างระหว่างจุด 30.20 เมตร และหมายเลขหมุดหลักฐานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ หมุดหลักฐานบริเวณฟุตบาทด้านหน้าพิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำหน้าอาคารโลกใต้ทะเล ผลที่ได้จากการตรวจสอบค่าพิกัด Longitude คลาดเคลื่อน -1.9797 เมตร ค่าพิกัด Latitude คลาดเคลื่อน -0.7903 เมตร ระยะห่างระหว่างจุด 2.13 เมตร

จากตารางที่ 4-4 พบว่า ผลการตรวจสอบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ A-GPS กับหมุดหลักฐาน โดยหมายเลขหมุดหลักฐานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ได้แก่ หมุดหลักฐานบริเวณหน้าป้ายคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ผลที่ได้จากการตรวจสอบค่าพิกัด Longitude คลาดเคลื่อน -5.9858 เมตร ค่าพิกัด Latitude คลาดเคลื่อน -10.7677 เมตร ระยะห่างระหว่างจุด 12.32 เมตร และหมายเลขหมุดหลักฐานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ หมุดหลักฐานบริเวณฟุตบาทด้านหน้าพิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำหน้าอาคารโลกใต้ทะเล ผลที่ได้จากการตรวจสอบค่าพิกัด Longitude คลาดเคลื่อน -0.8823 เมตร ค่าพิกัด Latitude คลาดเคลื่อน 0.2161 เมตร ระยะห่างระหว่างจุด 0.91 เมตร

ตารางที่ 4-3 ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS กับหมุดหลักฐาน

หน่วย: เมตร

สถานที่หมุดหลักฐาน	หมุดหลักฐาน		พิกัด GPS		ผลค่าความแตกต่าง		ค่าระยะห่าง
	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	เมตร
สวนบูรพา	708473.988	1469267.528	708479.4782	1469276.439	-5.4902	-8.9113	10.47
หน้าอาคารโลกใต้ทะเล ฯ	708613.449	1469354.155	708615.4287	1469354.945	-1.9797	-0.7903	2.13
ป้ายคณะมนุษยศาสตรฯ	708667.058	1468659.911	708696.5972	1468666.195	-29.5392	-6.2838	30.20
หัวสะพานสวนนันทนาการ	708784.911	1468248.000	708788.6885	1468251.963	-3.7775	-3.963	5.47
หน้าหอเทา-ทอง4	708941.931	1468221.070	708937.3856	1468222.13	4.5454	-1.0598	4.67

ตารางที่ 4-4 ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ A-GPS กับหมุดหลักฐาน

หน่วย: เมตร

สถานที่หมุดหลักฐาน	หมุดหลักฐาน		พิกัด A-GPS		ผลค่าความแตกต่าง		ค่าระยะห่าง
	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	เมตร
สวนบูรพา	708473.988	1469267.528	708474.8703	1469267.312	-0.8823	0.2161	0.91
หน้าอาคารโลกใต้ทะเล ฯ	708613.449	1469354.155	708615.6973	1469359.927	-2.2483	-5.7717	6.19
ป้ายคณะมนุษยศาสตรฯ	708667.058	1468659.911	708673.0438	1468670.679	-5.9858	-10.7677	12.32
หัวสะพานสวนนันทนาการ	708784.911	1468248.000	708787.7674	1468256.622	-2.8564	-8.6217	9.08
หน้าหอเทา-ทอง4	708941.931	1468221.070	708950.7022	1468226.345	-8.7712	-5.2753	10.24

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS ด้วยการเก็บข้อมูลค่าพิกัดบนจุดตัวอย่างจำนวน 30 จุด จากนั้นตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน โดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เพื่อใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย หรือMAPE เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับค่าข้อมูลจริงจึงสามารถที่จะใช้ในการประเมินการพยากรณ์ได้เหมาะสมสำหรับเป็นข้อมูลทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS ต่อไป

ผลของค่าพิกัดที่ได้จากการเก็บข้อมูลจุดตัวอย่างผ่านเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS นำมาคำนวณวิเคราะห์ข้อมูลผลที่ได้ คือ จุดตัวอย่างที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดมีจำนวน 2 จุดตัวอย่างอยู่ในระยะระหว่าง 1 เมตร ไม่เกิน 2 เมตร ซึ่งอยู่ในจุดตัวอย่างที่ S27 และจุดตัวอย่างที่ S42 โดยจุดตัวอย่างที่ S27 มีระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS มีระยะห่าง 1.15 เมตร จุดตัวอย่างตั้งอยู่ที่ตำบลเสม็ด บริเวณหน้าโรงเรียนอนุบาลเมืองใหม่ชลบุรี วันที่เก็บข้อมูล 30 มีนาคม พ.ศ. 2558 เวลา 14.23 น. และจุดตัวอย่างที่ S42 ระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS 1.71 เมตร จุดตัวอย่างตั้งอยู่ที่ตำบลแสนสุข บริเวณหน้าเสาธงสนามโรงเรียนสาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา วันที่เก็บข้อมูล 02 เมษายน พ.ศ. 2558 เวลา 10.02 น.ซึ่งจุดตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยอยู่ในระยะใกล้เคียงกันมากที่สุดอยู่ในระยะระหว่าง 4 เมตร ไม่เกิน 5 เมตร จำนวน 6 จุดตัวอย่าง คือ จุดตัวอย่างที่ S33, S31, S34, S39, S24 และS35 ตามลำดับ ซึ่งยกตัวอย่างของจุดตัวอย่างที่ S33 มีระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS 4.18 เมตร จุดตัวอย่างตั้งอยู่ที่ตำบลหนองข้างคอก บริเวณจุดหน้าป้ายวิทยาลัยอาชีวศึกษาเทคนิคบริหาร ฯ ชลบุรี วันที่เก็บข้อมูล 31 มีนาคม พ.ศ. 2558 เวลา 16.40 น. และจุดตัวอย่างที่ S35 มีระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS 4.61 เมตร จุดตัวอย่างตั้งอยู่ที่ตำบลแสนสุขบริเวณจุดหน้าเสาธงโรงเรียนวัดราษฎร์ศรัทธา วันที่เก็บข้อมูล 02 เมษายน พ.ศ. 2558 เวลา 11.20 น. ซึ่งจุดตัวอย่างที่มีความแตกต่างมากที่สุด คือ จุดตัวอย่างที่ S02 มีระยะห่างระหว่าง GPS และA-GPS มีระยะห่าง 23.38 เมตร จุดตัวอย่างตั้งอยู่ที่ตำบลบางปลาสร้อย บริเวณมุมเสาไฟฟ้าหน้าอำเภอเมืองจังหวัดชลบุรี วันที่เก็บข้อมูล 28 มีนาคม พ.ศ. 2558 เวลา 12.06 น. ในการนี้เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ของพิกัดจากการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากจุดตัวอย่างค่าพิกัด ทั้ง 2 ระบบ จำนวน 30 จุดตัวอย่าง มาทำ

การแปลงค่า และหาค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดตัวอย่าง ผลที่ได้ คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ Latitude 0.00034 เปอร์เซ็น และLongitude 0.00063 เปอร์เซ็นต์

หลังจากได้ค่าพิกัดจากการแปลงหน่วยและคำนวณค่าพิกัดของจุดตัวอย่างทั้ง 30 จุด ซึ่งใช้ค่าพิกัดในการอ้างอิงโดยถือว่ามีค่าความแตกต่างของค่าพิกัดน้อย จำนวน 6 จุดตัวอย่าง อยู่ที่ระยะห่าง 1-3 เมตร ซึ่งจุดตัวอย่างดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณตำบลเสม็ด ตำบลแสนสุข และตำบลบ้านสวน ซึ่งลักษณะของพื้นที่เป็นลานกว้างหรือพื้นที่โล่งแจ้ง โดยรอบมีการกระจายตัวของบ้านเรือน และอาคารขนาด 1-2 ชั้น มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อน มีเมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก อยู่ในช่วงเวลา 10.00–15.00 น. ทำให้การรับสัญญาณได้ดีที่สุด และค่าความแตกต่างของค่าพิกัดที่รับสัญญาณ GPS และ A-GPS ในค่าเฉลี่ยระดับปานกลาง จำนวน 19 จุดตัวอย่าง อยู่ที่ระยะห่าง 4-9 เมตร ซึ่งจุดตัวอย่างดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณตำบลหนองข้างคอก ตำบลอ่างศิลา ตำบลบ้านปึก ตำบลห้วยกะปิ ตำบลเหมือง ตำบลบางปลาสร้อย ตำบลเสม็ด ตำบลแสนสุข และตำบลบ้านสวน ซึ่งลักษณะของพื้นที่ของบริเวณจุดตัวอย่างดังกล่าวมีความคล้ายกัน คือ จุดตั้งอยู่ใกล้กับเสาไฟฟ้า กำแพงหรือรั้ว บริเวณโดยรอบมีอาคารพาณิชย์ขนาด 2-3 ชั้นตั้งอยู่และเป็นชุมชน หมู่บ้านที่มีการจราจรค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อน มีเมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดี ทำให้การรับสัญญาณอยู่ในระดับปานกลาง และค่าความแตกต่างของค่าพิกัดที่รับสัญญาณ GPS และA-GPS ในค่าเฉลี่ยที่สูงมาก จำนวน 5 จุดตัวอย่าง อยู่ที่ระยะห่าง 12-23 เมตร ซึ่งจุดตัวอย่างดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณตำบลบ้านโขด ตำบลบางปลาสร้อย และตำบลหนองไม้แดง ซึ่งลักษณะของพื้นที่ของบริเวณจุดตัวอย่างดังกล่าวตั้งอยู่ใกล้กับเสาไฟฟ้า สิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ ชิดกำแพงหรือรั้ว บริเวณโดยรอบมีอาคารพาณิชย์ขนาด 2-5 ชั้น เป็นชุมชนที่มีความหนาแน่นของจำนวนประชากร และอยู่ใกล้ห้างสรรพสินค้า ศูนย์ราชการ ซึ่งบริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่อยู่ใกล้กับเสาส่งสัญญาณโทรศัพท์ ทำให้การรับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS ถูกรบกวนและรับสัญญาณได้ไม่ดี ซึ่งการเก็บข้อมูลอยู่ในช่วงเวลา 11.00–15.00 น. มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อน มีเมฆมาก ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดี และจากการตรวจสอบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ของพิกัดการระบุตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS จำนวน 30 จุด โดยวิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error) เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับค่าข้อมูลจริงจึงสามารถที่จะใช้ในการประเมินการพยากรณ์ได้เหมาะสมกว่า นั่นคือ ค่า MAPE ซึ่งค่าเฉลี่ยยิ่งน้อย หมายถึง การพยากรณ์ยิ่งมีความแม่นยำมาก ดังนั้น ผลการวิจัยครั้งนี้เปอร์เซ็นต์ความคลาเคลื่อนมีความเหมาะสมและแม่นยำอยู่ในระดับดี

จากการตรวจสอบค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS กับหมุดหลักฐาน โดยหมุดหลักฐานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ได้แก่ หมุดหลักฐานบริเวณหน้าป้ายคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ผลที่ได้จากการตรวจสอบค่าพิกัดระยะห่างระหว่างจุด 30.20 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบรับสัญญาณ A-GPS ในบริเวณหมุดหลักฐานเดียวกัน เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันโดยมีระยะห่างระหว่างจุด 12.32 เมตร ซึ่งบริเวณดังกล่าวอยู่ใกล้กับอาคารขนาด 9 ชั้น และบริเวณโดยรอบมีอาคารขนาดใกล้ 4-5 ชั้น ซึ่งจุดสำรวจอยู่ในช่วงเวลา 15.40 น. และผลของค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS กับหมุดหลักฐานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ได้แก่ หมุดหลักฐานบริเวณสวนบูรพา ผลที่ได้จากการตรวจสอบค่าพิกัดระยะห่างระหว่างจุด 10.47 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบรับสัญญาณ A-GPS ในบริเวณหมุดหลักฐานเดียวกัน เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันโดยมีระยะห่างระหว่างจุด 0.91 เมตร ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นโล่ง และมีอาคารขนาด 3-4 ชั้นตั้งอยู่โดยรอบของจุดสำรวจ ซึ่งอยู่ในช่วงเวลา 15.40 น. โดยบริเวณจุดสำรวจ 5 จุด สำรวจในวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2558 มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อน มีเมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดี

สรุปผล

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี เพื่อทราบความแตกต่างความคลาดเคลื่อนของพิกัดการระบุตำแหน่ง และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS กับหมุดหลักฐาน สรุปได้ดังนี้

ผลการวิจัยพบว่า ลักษณะของพื้นที่ที่ทำการสำรวจส่วนใหญ่เป็นชุมชน มีอาคารและสิ่งก่อสร้าง ประกอบกับมีการใช้เครื่องมือสื่อสารกันเป็นจำนวนมาก จึงอาจส่งผลต่อการรับสัญญาณ GPS และA-GPS ส่วนสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ที่ทำการสำรวจนั้น มีเมฆมากตลอดทั้งวัน ไม่มีฝน และลมแรง โดยจุดตัวอย่างที่ S02 ค่าพิกัดระหว่าง GPS และA-GPS มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้าง และอาคารสูง ในขณะที่จุดตัวอย่างที่ S27 ค่าพิกัดระหว่าง GPS และA-GPS มีความแตกต่างกันน้อย ลักษณะของพื้นที่เป็นที่โล่ง จากการคำนวณ ค่า MAPE ของค่าพิกัด GPS และA-GPS ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ Latitude 0.00034 เปอร์เซ็น และ Longitude 0.00063 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนต่ำ และแม่นยำในระดับที่ดี

จากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ GPS และA-GPS กับหมุดหลักฐานพบว่า A-GPS มีค่าความคลาดเคลื่อนจากหมุดหลักฐานน้อยกว่า GPS ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในบริเวณที่ทำการสำรวจเป็นแหล่งชุมชนและอาคารบ้านเรือนทำให้สัญญาณจากดาวเทียมถูกบดบังและรบกวนได้ ในขณะที่ A-GPS ซึ่งอาศัยสัญญาณโทรศัพท์ในการค้นหาพิกัด ซึ่งในปัจจุบันครอบคลุมทุกพื้นที่ จึงทำให้ค่าพิกัดของ A-GPS มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า GPS เมื่อเทียบกับหมุดหลักฐาน

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้หมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารมาเป็นข้อมูลอ้างอิงเนื่องจากมีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ในการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของ GPS และ A-GPS จะทำให้เห็นผลของค่าความคลาดเคลื่อนของระบบดังกล่าว
2. เลือกเครือข่ายในการใช้โทรศัพท์มือถือที่มีความเร็วของอินเตอร์เน็ต
3. หากมีการใช้โทรศัพท์มือถือที่มีระบบ A-GPS ในรุ่นอื่น ๆ อาจได้ค่าพิกัดความถูกต้องแตกต่างกัน
4. ควรสำรวจพื้นที่ก่อนการเข้าสำรวจเพื่อความสะดวกรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่แต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของลักษณะพื้นที่มีสัญญาณโทรศัพท์เข้าถึงมากน้อย เพราะบางพื้นที่มีการบดบังของภูเขา หรืออยู่ในจุดที่อับสัญญาณ
5. การเลือกช่วงเวลาในการสำรวจควรเลือกช่วงเวลาเดียวกันในการสำรวจแต่ละจุดเพื่อลดตัวแปรที่ส่งผลต่อการคลาดเคลื่อนในการเก็บพิกัดให้น้อยลง

บรรณานุกรม

กนก วีรวงศ์. (ม.ป.ป.). *เอกสารประกอบการสอนวิชาการคำนวณและปรับแก้*. กรุงเทพฯ: กรมแผนที่ทหาร. อัดสำเนา.

กรมแผนที่ทหาร. (2538). *ระเบียบกรมแผนที่ทหารว่าด้วยลักษณะหมุดหลักฐานการแผนที่*. กรุงเทพฯ: กรมแผนที่ทหาร, กองบัญชาการทหารสูงสุด. อัดสำเนา.

_____. (ม.ป.ป.). แปลงค่าพิกัดและพื้นหลักฐาน. วันที่ค้นข้อมูล 18 มีนาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.rtsd.mi.th/sections/Geodesy/index.php/wcts.html

เฉลิมชนม์ สถิระพจน์. (2546*). การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. อัดสำเนา.

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. (2538). เอกสารประกอบการฝึกอบรมการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS. ม.ป.ท. อัดสำเนา.

_____. (2547). การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โชคชัย แสงดาว. (2557). *วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตอนที่ 3*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

ธนัช สุขวิมลเสรี. (2553). เอกสารประกอบการสอนวิชา การสำรวจเพื่อการทำแผนที่. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553

บุษรา ประกอบธรรม และมานะ อัจฉริยเกียรติ. (2555). บริการระบุตำแหน่ง : ทางเหลือกใหม่ในการทำธุรกิจ. วารสารนักบริหาร Executive Journal. ปีที่ 34 (ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2557), หน้าที่ 148-152.

ปุญญรัตน์ ปุญญา, พงษ์พิพัฒน์ สายทอง และมนัสวี แก่นอำพรพันธ์. (2557). บทความวิจัย เรื่อง การพัฒนาโปรแกรประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สำหรับการเดินทางในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ในวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.. ปีที่ 7 (ฉบับที่ 2), หน้าที่ 45 - 54.

พิชญ จุลศิริ, จุน ศรีสุริฉัน, ณัฐชยพงษ์ ศรีสว่างสุข และอนุชา แต้มคม. (2549). *ครบเครื่องเรื่องGPS*. กรุงเทพฯ: สมาร์ทโฟน.

ระบบนำทาง Assisted GPS (A-GPS) คืออะไร. (2551). วันที่ค้นข้อมูล 15 มกราคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://community.siamphone.com/viewtopic.php?t=270883

รวิทัต ภู่หลำ. (2554). *ไอโฟน.* คู่มือเขียน iPhone Apps. กรุงเทพ ฯ: โปรวิชั่น, พิมพ์ครั้งที่ 1.

รู้จักกับ GPSThai 2002. (2551). วันที่ค้นข้อมูล 17 ตุลาคม 2551, เข้าถึงได้จาก http://www.ezilup.com/gps2002/main.html

วฤษาย์ ร่มสายหยุด. (2553). *การระบุตำแหน่งโทรศัพท์มือถือด้วยโปรแกรม mv GPS.* วารสารร่มพฤกษ์. ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2552 – มกราคม 2553), หน้าที่ 1 – 21.

วิกิพีเดีย. (2558). *สมาร์ทโฟน.* วันที่ค้นข้อมูล 20 พฤษภาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%95%E0%B9%82%E0%B8%9F%E0%B8%99

วิเชษฐ ดารากัย. (2550). *การพัฒนาระบบสำหรับรองรับการใช้งาน GSM และ GPS Tracker เพื่อระบุตำแหน่ง ณ เวลาปัจจุบัน.* สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

วรนาถ ศิริสหวัฒน์. (2556). *ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านอินเตอร์เน็ต.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์, คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์. (ม.ป.ป.). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศด้านการระบุตำแหน่ง. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

สุพรรณ กาญจนสุธรรม และแก้ว นวลฉวี. (2556). *การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน.* การประยุกต์ดัชนีพืชพรรณเพื่อประมาณผลผลิตสับปะรดโรงงานโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี. รายงายการวิจัย, คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุรพันธ์ ทัดแก้ว. (2554). *การศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้งาน ios, android, windows, mobile, blackberry os.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

หัสฎี วงศ์อิศเรศ. (2546). *ความคลาดเคลื่อนของระบบ REAL TIME DGPS.* เอกสารวิจัยส่วนบุคคล, วิทยาลัยการทัพบก, สถาบันวิชาการทหารบกชั้นสูง.

AGPS คืออะไร. (ม.ป.ป.). วันที่ค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://lamphun.dlt.go.th/Knowledge%20Center_files/AGPS.pdf Trimble

Erica Sadum. (2009). *รวมโค้ด iPhone App: The iPhone developer's cookbook*. กรุงเทพมหานคร: ฟิวเจอร์เกมส์เมอร์.

Garmin Corporation. (2000). *GPS GUIDE for beginners*. Kansas: Garmin International.

Leick, A. (1995). GPS Satellite Surveying. New York: John Wiley & Sons.

Sources of Eorrers in GPS. (2008). Retrieved September 1, 2008, from http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm

Trimble Navigation Limited. (1996). Mapping Systems General Reference. Sunnyvale: Trimble Navigation.

_____. (2002). Trimble All About GPS. California: Trimble Navigation .

United States Naval Observatory. (2009). Block II Satellite Information. Retrieved August 27, 2009, from ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb2.txt

Wellenhof, H., Herbert, B., & Lichtennegger. (1997). *Global Positioning System Theory and Practice* (4th ed). Wien: Springer – Verlag.

Wikipedia. (2002). *Global Positioning System.* Retrieved July 23, 2010, from http://en.wikipedia.org/ wiki/Global_Positioning_System

Witchayangkoon, B. (2000). *Elements of GPS Precise Point Positiong*. Doctoral dissertation, Spatial Information Science and Engineering, The Graduate School, The University of Maine.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เครื่องที่ใช้ในการสำรวจและการแปลงหน่วยค่าพิกัด

1. เครื่องมือในการแสดงผลข้อมูลในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

1.1 เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC

ภาพภาคผนวก ก-1 เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC

1.1.1 คุณสมบัติ

GPS แบบ Handheld คุณสมบัติครบถ้วนพร้อมเข็มทิศแบบ 3-แกน และกล้องในตัว หน้าจอสีขนาด 2.6" อ่านได้ชัดกลางแสงแดด กล้องแบบ Autofocus ขนาด 5 พร้อมการทำ Geotagging แบบอัตโนมัติ มาพร้อมแผนที่ฐานทั่วโลกและเฉดสีภูมิประเทศ รวมถึงแผนที่ประเทศไทย เสารับสัญญาณ GPS ความไวสูงแบบ Quad Helix สำหรับการรับสัญญาณที่รวดเร็ว เข็มทิศแบบ 3-แกน พร้อมเครื่องมือวัดความสูงด้วยความกดดันของบรรยากาศ สนับสนุนการนำทางด้วยภาพถ่าย

ตารางภาคผนวก ก-1 ประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC

ข้อมูล	รายละเอียด
ขนาดเครื่อง WxHxD	2.4" x 6.3" x 1.4" (6.1 x 16.0 x 3.6 ซม)
ขนาดหน้าจอ WxH	1.43" x 2.15" (3.6 x 5.5 ซม); 2.6" ทแยงมุม (6.6 ซม)
ความละเอียดหน้าจอ WxH	160 x 240 พิกเซล
ประเภทหน้าจอ	transflective สี 65-K TFT
น้ำหนัก	9.3 ออนซ์ (262.1 ก) พร้อมแบตเตอรี่
แบตเตอรี่	2 AA NiMH แบตเตอรี่
อายุแบตเตอรี่	16 ชั่วโมง (2 AA แบตเตอรี่)

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ข้อมูล	รายละเอียด
เครื่องรับความไวสูง	ใช่
กันน้ำ	ใช่ (IPX7)
การเชื่อมต่อ	USB ความเร็วสูงและสนับสนุน NMEA 0183
ลอยน้ำ	ไม่ใช่

ตารางภาคผนวก ก-2 ข้อมูลแผนที่และข้อมูลหน่วยความจำของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC

ข้อมูล	รายละเอียด
แผนที่ฐาน	ใช่
แผนที่ติดตั้งพร้อมเครื่อง	ใช่
เพิ่มแผนที่ได้	ใช่
หน่วยความจำในเครื่อง	3.5 GB
สนับสนุนการ์ดข้อมูล	microSD card
Wayจุด/ที่ใช้ประจำ/ตำแหน่ง	2000
เส้นทาง	200
TrackLog	10,000 จุด, 200 track ที่จัดเก็บ

ตารางภาคผนวก ก-3 ข้อมูลคุณสมบัติและประโยชน์ของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส Garmin GPSMap 62SC

ข้อมูล	รายละเอียด
การนำทางอัตโนมัติ	ใช่
หน้าจอสัมผัส	ไม่ใช่
เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์	ใช่ (ชดเชยความเอียง 3 แกน)
เครื่องมือวัดความสูงด้วยความกดดันของบรรยากาศ	ใช่

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

ข้อมูล	รายละเอียด
กล้อง	ใช่ (5 megapixel พร้อม autofocus; automatic geo-tagging)
การนำทางด้วยภาพถ่าย:	ใช่
ปฏิทินล่าสัตว์/ตกปลา	ใช่
ข้อมูลพระอาทิตย์และพระจันท	ใช่
ตารางน้ำขึ้นลง	ใช่
การคำนวณพื้นที่	ใช่
การโอนจากเครื่องต่อเครื่อง	ใช่
เพิ่มเติม	Garmin Connect™ compatible

1.1.2 แอพพลิเคชั่นในการแสดงข้อมูลพิกัดของภาพผ่านแผนที่ Google Map บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

ภาพภาคผนวก ก-2 แอพพลิเคชั่นการแสดงข้อมูลพิกัดของแผนที่บนโทรศัพท์มือถือ

1.2.1 ข้อมูลแอพพลิเคชั่น

Koredoko เป็นโปรแกรมสำหรับระบุตำแหน่งจากรูปถ่าย อาศัยหลักการ คือ การใช้สัญญาณ GPS ที่มีอยู่ในตัวของไอโฟนระบุพิกัดตำแหน่งปัจจุบัน ขณะที่ถ่ายรูปด้วยกล้องจาก

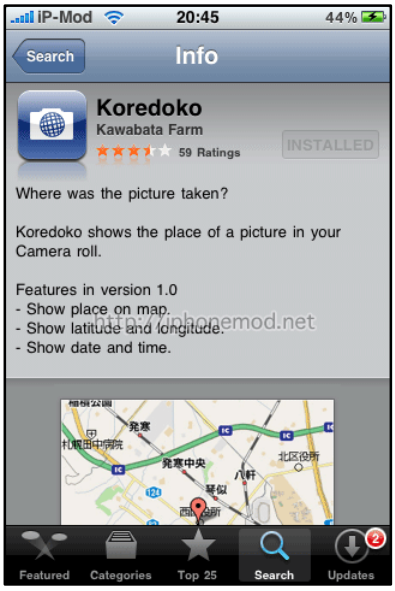
ไอโฟนจะมีการบันทึกค่าพิกัดนั้นลงไปที่รูปด้วย จากนั้นโปรแกรมที่จะทำการนำพิกัดที่ได้ไปประยุกต์เข้ากับ Google Map ซึ่งผลที่ได้ คือ สามารถทราบได้ว่ารูปนั้นถ่ายที่จุดใด ๆ ในโลก

1.2.2 การติดตั้งและการใช้งานโปรแกรม Koredoko

1.2.2.1 โปรแกรม Koredoko สามารถดาวน์โหลดฟรีที่ App Store และต้องมี iTunes Account

1.2.2.2 จากนั้นเปิดเที่ App Store ค้นาด้วยคำว่า Koredoko

1.2.2.3 คลิกเลือก INSTALLED



ภาพภาคผนวก ก-3 การติดตั้งและการใช้งานโปรแกรม Koredoko

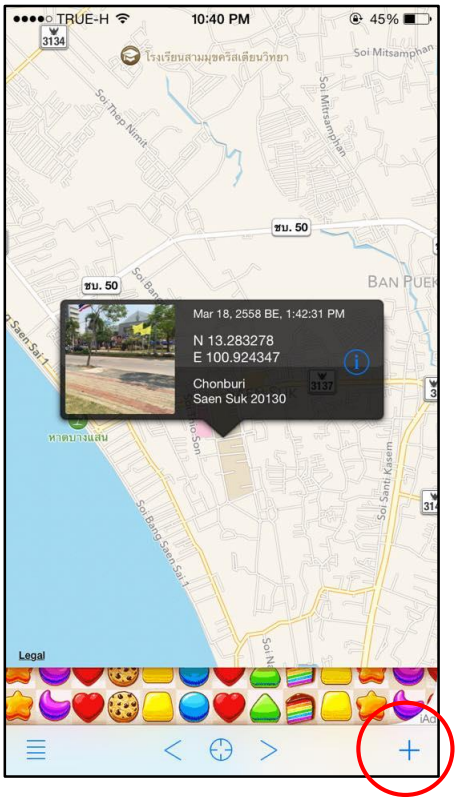
1.2.2.4 หลังจากติดตั้งเสร็จเรียบร้อย ก่อนการใช้งานจะต้องทำการเปิดเซอร์วิสดังนี้

1) ตั้ง Location ไปที่ Setting> General> Location Service เลือกเป็น On

2) เปิด EDGE 3G 4G หรือ Wifi เพื่อเปิดระบบการรับส่งข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ต

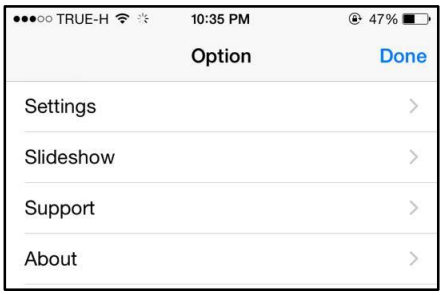
3) ตั้งค่าการแสดงผลค่าพิกัด

เลือกเครื่องหมายบวก ทางด้านขวาล่างของหน้าจอหลัก ดังภาพภาคผนวก ก-4



ภาพภาคผนวก ก-4 การตั้งค่าการแสดงผลค่าพิกัด โดยเลือกเครื่องหมายบวก ทางด้านขวาล่าง ของหน้าจอหลัก

เลือก Settings ดังภาพภาคผนวก ก-5



ภาพภาคผนวก ก-5 การตั้งค่าการแสดงผลค่าพิกัด เลือก Settings

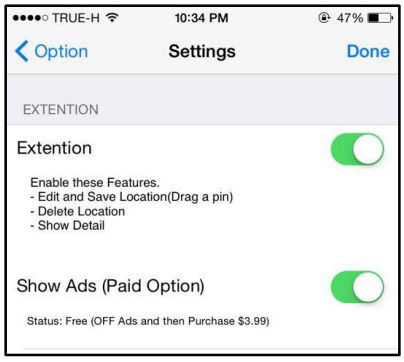
เลือกลักษณะการแสดงผลของแผนที่

โดยให้เลือกที่ Map Type โดยโหมดของแผนที่มีให้เลือก ดังนี้

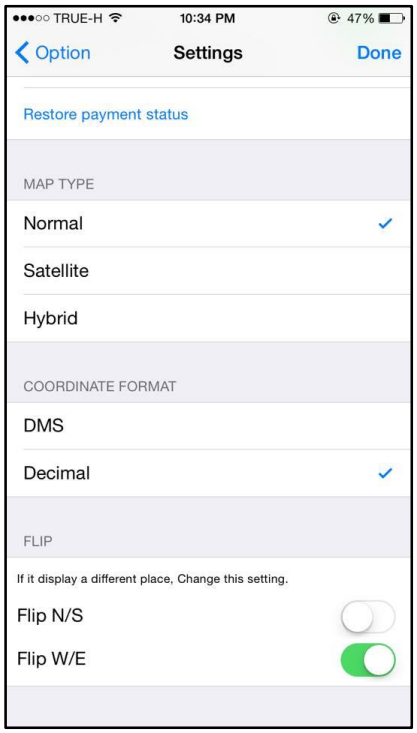
Normal – แสดงแผนที่แบบธรรมดา เช่น เส้นทางถนนต่าง ๆ

Satellite – แสดงภาพถ่ายมุมสูงจากดาวเทียมของพื้นที่ในบริเวณนั้น ๆ

Hybrid – แสดงแบบ Normal และ Sattelite Coordinate Format และ FILP ดังภาพภาคผนวก ก-6 และ ก-7



ภาพภาคผนวก ก-6 การเลือกลักษณะการแสดงผลของแผนที่

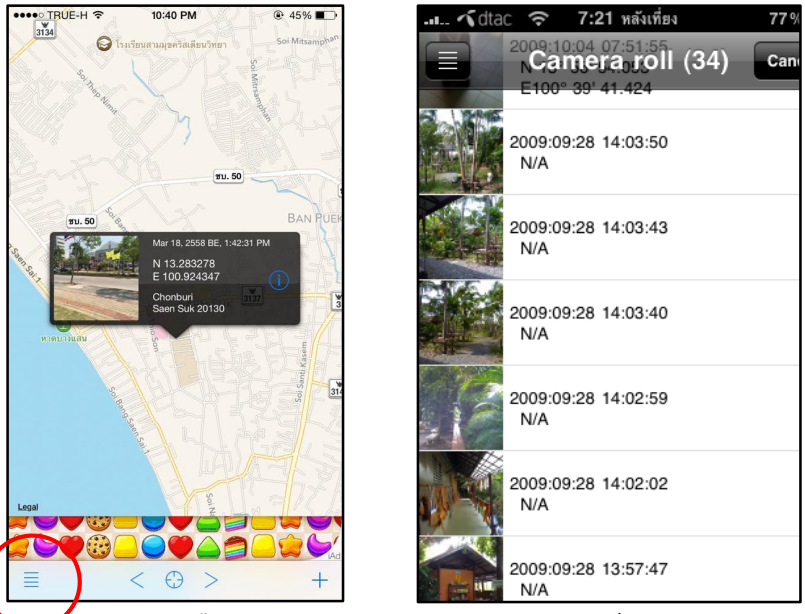


ภาพภาคผนวก ก-7 การเลือกลักษณะการแสดงผลของแผนที่ แบบ Normal และ Sattelite Coordinate Format และ FILP

1.2.2.5 การถ่ายภาพ โดยใช้แอพพลิเคชั่นพื้นฐานของสมาร์ทโฟน เช่น ไอโฟน ใช้ แอพพลิเคชั่น Camera

ภาพภาคผนวก ก-8 ไอคอนแอพพลิเคชั่น Camera

1.2.2.6 เมื่อถ่ายภาพเรียบร้อยแล้ว แสดงผลโดยเปิดโปรแกรม Koredoko ซึ่งสามารถเลือกภาพเพื่อแสดงผลของค่าพิกัด เลือกที่ฟังก์ชั่น ด้านขวาล่างของหน้าจอหลัก ภาพ (ก) และ ภาพ (ข) ดังภาพภาคผนวก ก-9

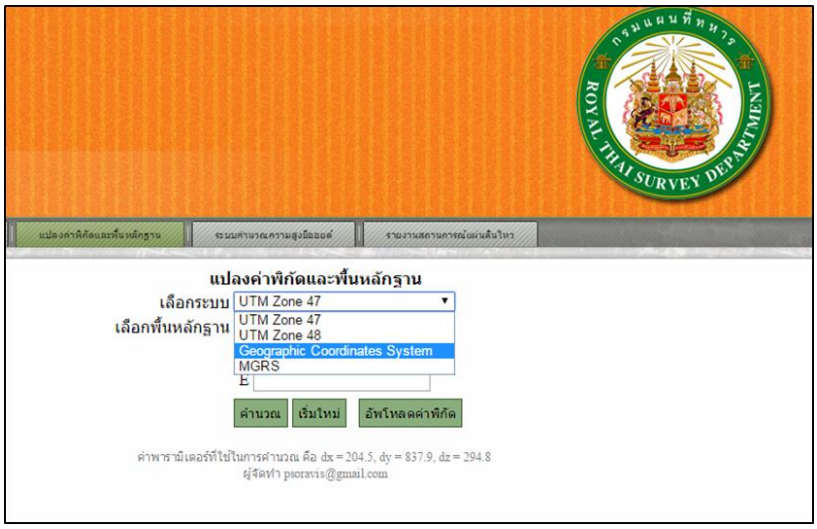


ภาพ (ก) การเลือกภาพ ภาพ (ข) ฐานข้อมูลภาพ

ภาพภาคผนวก ก-9 ภาพ (ก) การเลือกภาพเพื่อแสดงผลของค่าพิกัด ภาพ (ข) ฐานข้อมูลภาพ

2. โปรแกรมที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด

การแปลงหน่วยค่าพิกัดของ A-GPS จากค่าพิกัดแบบค่าตัวเลขทศนิยม (DD : Decimal Degrees) เป็นระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM : Universal Transverse Mercator co-ordinate System) โดยใช้โปรแกรมการแปลงพิกัดของกรมแผนที่ทหาร โดยผ่านระบบอินเตอร์เน็ตของเว็บไซต์กรมแผนที่ทหาร http://www.rtsd.mi.th ดังภาพภาคผนวก ก-10



ภาพภาคผนวก ก-10 โปรแกรมที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัด (กรมแผนที่ทหาร, ม.ป.ป.)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการออกภาคสนาม

ข้อมูลการออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงตำแหน่ง จำนวน 30 จุด ระหว่างวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2558 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางภาคผนวก ข-1 แสดงรายละเอียดวันเวลา สถานที่ และระยะห่างระหว่าง GPS และ A-GPS ของจุดสำรวจ

ที่	จุด	สถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา	ระยะห่าง
1	S27	โรงเรียนอนุบาลเมืองใหม่ชลบุรี	เสม็ด	30 มีนาคม 2558	14.23.24	1.15
2	S42	โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญ	แสนสุข	02 เมษายน 2558	10.02.51	1.71
3	S41	โรงเรียนสามมุขคริสเตียนวิทยา	แสนสุข	02 เมษายน 2558	12.27.35	2.39
4	S04	โรงเรียนชลราษฎรอำรุง	บ้านสวน	31 มีนาคม 2558	12.29.57	2.67
5	S40	โรงเรียนบ้านแหลมแท่น	แสนสุข	02 เมษายน 2558	12.41.46	3.03
6	S07	โรงเรียนเพชรพิทยาคม	บ้านสวน	29 มีนาคม 2558	15.07.26	3.58
7	S33	วิทยาลัยอาชีวศึกษาเทคนิคบริหารฯ ชลบุรี	หนองข้างคอก	31 มีนาคม 2558	16.40.39	4.18
8	S31	โรงเรียนวัดใหม่เกตุงาม	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	11.46.51	4.35
9	S34	โรงเรียนวัดบ้านไร่ไหหลำ	ห้วยกะปิ	01 เมษายน 2558	17.29.32	4.35
10	S39	โรงเรียนแสนสุข	บ้านปึก	02 เมษายน 2558	11.57.59	4.42
11	S24	โรงเรียนอนุบาลต้นกล้า	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	11.35.44	4.45
12	S35	โรงเรียนวัดราษฎร์ศรัทธา	แสนสุข	02 เมษายน 2558	11.20.45	4.61
13	S37	โรงเรียนวัดตาลล้อมพูนราษฎร์อำรุง	เหมือง	02 เมษายน 2558	10.59.03	5.05
14	S38	โรงเรียนวัดกลางดอน	แสนสุข	02 เมษายน 2558	11.40.36	5.19
15	S36	โรงเรียนวอนนภาศัพท์	แสนสุข	02 เมษายน 2558	10.25.43	5.66
16	S28	โรงเรียนอ่างศิลาพิทยาคม	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	12.51.26	6.09
17	S29	โรงเรียนพระตำหนักมหาราช	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	12.21.57	6.20

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

ที่	จุด	สถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา	ระยะห่าง
18	s43	มหาวิทยาลัยบูรพา	แสนสุข	02 เมษายน 2558	15.16.40	6.22
19	S32	โรงเรียนวัดเตาปูน	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	11.19.30	6.56
20	S17	โรงเรียนธารทิพย์วิทยา	หนองข้างคอก	31 มีนาคม 2558	13.14.26	7.47
21	S30	โรงเรียนปากคลองโรงนาค	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	13.13.25	7.59
22	S05	โรงเรียนบูรพาวิทยา ชลบุรี	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	10.59.03	7.76
23	S26	โรงเรียนวัดเสม็ด	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	09.52.41	7.83
24	S25	วิทยาลัยเทคโนโลยีชลบุรี	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	10.29.12	8.02
25	S03	โรงเรียนปรีชานุสาสน์	บางปลาสร้อย	28 มีนาคม 2558	12.51.14	9.29
26	S06	โรงเรียนวัดโพธิ์	บ้านโขด	28 มีนาคม 2558	13.41.55	12.17
27	S01	โรงเรียนอนุบาลจังหวัดชลบุรี	บางปลาสร้อย	28 มีนาคม 2558	11.42.24	13.13
28	S12	มหาวิทยาลัยศรีปทุมวิทยาเขตชลบุรี	หนองไม้แดง	28 มีนาคม 2558	15.13.13	16.89
29	S10	โรงเรียนชลบุรีสุขบท	หนองไม้แดง	29 มีนาคม 2558	14.35.38	19.81
30	S02	โรงเรียนชลกัลยานุกูล	บางปลาสร้อย	28 มีนาคม 2558	12.06.36	23.38

ตารางภาคผนวก ข-2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจุดสำรวจพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

จุดสำรวจ	ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
S01	โรงเรียนอนุบาลจังหวัดชลบุรี	บางปลาสร้อย	28 มีนาคม 2558	11.42.24	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S02	โรงเรียนชลกัลยานุกูล	บางปลาสร้อย	28 มีนาคม 2558	12.06.36	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S03	โรงเรียนปรีชานุสาสน์	บางปลาสร้อย	28 มีนาคม 2558	12.51.14	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S04	โรงเรียนชลราษฎรอำรุง	บ้านสวน	31 มีนาคม 2558	12.29.57	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆเล็กน้อยตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S05	โรงเรียนบูรพาวิทยา ชลบุรี	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	10.59.03	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน
S06	โรงเรียนวัดโพธิ์	บ้านโขด	28 มีนาคม 2558	13.41.55	ลมสงบ ท้องฟ้ามีเมฆ ค ก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี บ่าย-เย็น ลมกำลังอ่อน มีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

จุดสำรวจ	ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
S07	โรงเรียนเพชรพิทยาคม	บ้านสวน	29 มีนาคม 2558	15.07.26	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมาก ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S10	โรงเรียนชลบุรีสุขบท	หนองไม้แดง	29 มีนาคม 2558	14.35.38	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S12	มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตชลบุรี	หนองไม้แดง	28 มีนาคม 2558	15.13.13	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน
S17	โรงเรียนธารทิพย์วิทยา	หนองข้างคอก	31 มีนาคม 2558	13.14.26	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S24	โรงเรียนอนุบาลต้นกล้า	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	11.35.44	ลมสงบ ท้องฟ้ามีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี บ่าย-เย็น มีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี
S25	วิทยาลัยเทคโนโลยีชลบุรี	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	10.29.12	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

จุดสำรวจ	ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
S26	โรงเรียนวัดเสม็ด	เสม็ด	31 มีนาคม 2558	09.52.41	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S27	โรงเรียนอนุบาลเมืองใหม่ชลบุรี	เสม็ด	30 มีนาคม 2558	14.23.24	ลมสงบ ท้องฟ้ามีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี บ่าย-เย็น ลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี
S28	โรงเรียนอ่างศิลาพิทยาคม	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	12.51.26	ลมสงบ ท้องฟ้ามีเมฆ ค ก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี บ่าย-เย็น ลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีเมฆ ค ก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี
S29	โรงเรียนพระตำหนักมหาราช	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	12.21.57	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S30	โรงเรียนปากคลองโรงนาค	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	13.13.25	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

จุดสำรวจ	ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
S31	โรงเรียนวัดใหม่เกตุงาม	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	11.46.51	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S32	โรงเรียนวัดเตาปูน	อ่างศิลา	30 มีนาคม 2558	11.19.30	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S33	วิทยาลัยอาชีวศึกษาเทคนิคบริหารฯ ชลบุรี	หนองข้างคอก	31 มีนาคม 2558	16.40.39	มีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี
S34	โรงเรียนวัดบ้านไร่ไหหลำ	ห้วยกะปิ	01 เมษายน 2558	17.29.32	มีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ลมกำลังอ่อน ทัศนวิสัยดี
S35	โรงเรียนวัดราษฎร์ศรัทธา	แสนสุข	02 เมษายน 2558	11.20.45	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S36	โรงเรียนวอนนภาศัพท์	แสนสุข	02 เมษายน 2558	10.25.43	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยดี

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

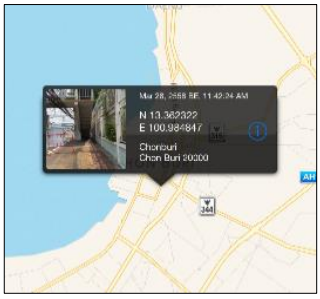
จุดสำรวจ	ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
S37	โรงเรียนวัดตาลล้อมพูนราษฎร์อำรุง	เหมือง	02 เมษายน 2558	10.59.03	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S38	โรงเรียนวัดกลางดอน	แสนสุข	02 เมษายน 2558	11.40.36	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S39	โรงเรียนแสนสุข	บ้านปึก	02 เมษายน 2558	11.57.59	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S40	โรงเรียนบ้านแหลมแท่น	แสนสุข	02 เมษายน 2558	12.41.46	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S41	โรงเรียนสามมุขคริสเตียนวิทยา	แสนสุข	02 เมษายน 2558	12.27.35	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

จุดสำรวจ	ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
S42	โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญ	แสนสุข	02 เมษายน 2558	10.02.51	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ลมตะวันตกเฉียงใต้กำลังอ่อน ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
S43	มหาวิทยาลัยบูรพา	แสนสุข	02 เมษายน 2558	15.16.40	อากาศค่อนข้างร้อน มีเมฆก่อตัวเล็กน้อย ทัศนวิสัยดี

ข้อมูลภาพการออกสำรวจพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

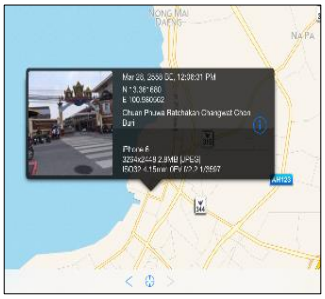
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S01 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S01 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-1 จุดสำรวจที่ S01 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S01 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S01 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S02 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S02 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-2 จุดสำรวจที่ S02 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S01 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S01 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S03 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S03 (A-GPS)

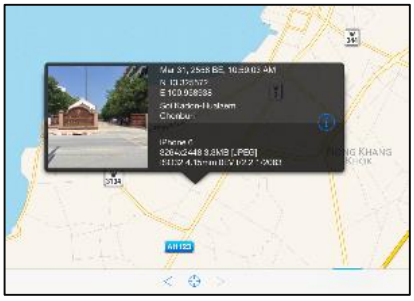
ภาพภาคผนวก ข-3 จุดสำรวจที่ S03 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S03 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S03 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S04 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S04 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-4 จุดสำรวจที่ S04 บริเวณตำบลบ้านสวน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S04 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S04 (A-GPS)

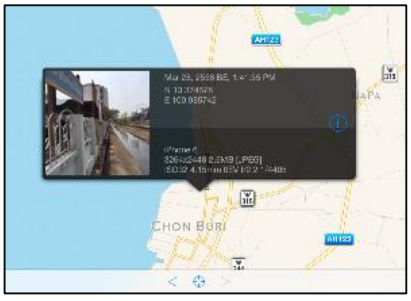
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S05 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S05 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-5 จุดสำรวจที่ S05 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S05 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S05 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S06 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S06 (A-GPS)

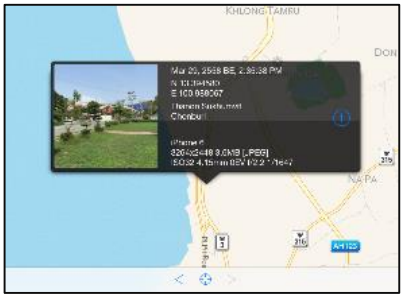
ภาพภาคผนวก ข-6 จุดสำรวจที่ S06 บริเวณตำบลบ้านโขด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S06 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S06 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S07 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S07 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-7 จุดสำรวจที่ S07 บริเวณตำบลบ้านสวน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S07 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S07 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S10 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S10 (A-GPS)

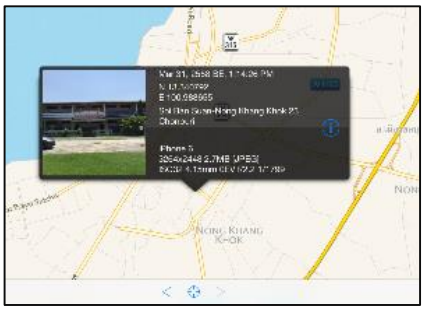
ภาพภาคผนวก ข-8 จุดสำรวจที่ S10 บริเวณตำบลหนองไม้แดง อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S10 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S10 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S12 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S12 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-9 จุดสำรวจที่ S12 บริเวณตำบลหนองไม้แดง อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S12 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S12 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S17 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S17 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-10 จุดสำรวจที่ S17 บริเวณตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S17 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S17 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S24 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S24 (A-GPS)

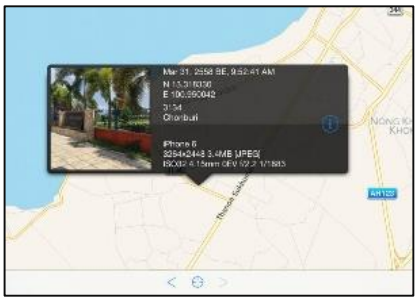
ภาพภาคผนวก ข-11 จุดสำรวจที่ S24 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S24 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S24 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S25 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S25 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-12 จุดสำรวจที่ S25 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S25 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S25 (A-GPS)

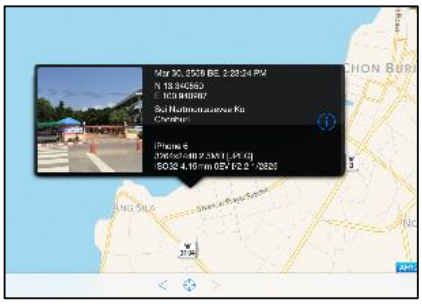
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S26 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S26 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-13 จุดสำรวจที่ S26 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S26 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S26 (A-GPS)

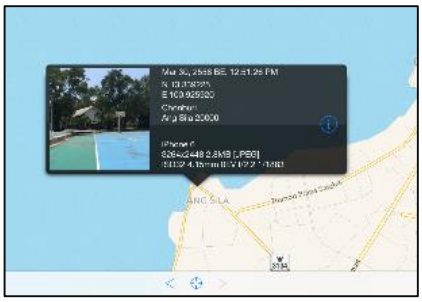
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S27(GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S27 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-14 จุดสำรวจที่ S27 บริเวณตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S27 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S27 (A-GPS)

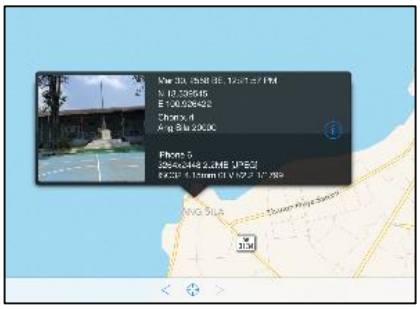
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S28 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S28 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-15 จุดสำรวจที่ S28 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S28 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S28 (A-GPS)

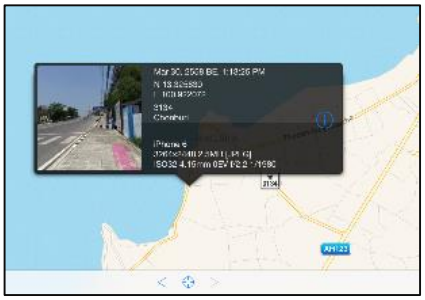
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S29 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S29 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-16 จุดสำรวจที่ S29 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S29 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S29 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S30 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S30 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-17 จุดสำรวจที่ S30 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S30 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S30 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S31 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S31 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-18 จุดสำรวจที่ S31 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S31 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S31 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S32 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S32 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-19 จุดสำรวจที่ S32 บริเวณตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S32 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S32 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S033(GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S33 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-20 จุดสำรวจที่ S33 บริเวณตำบลหนองข้างคอก อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S33 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S33 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S34 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S34 (A-GPS)

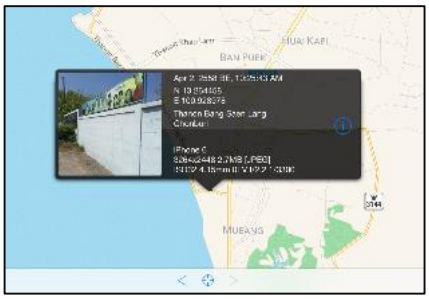
ภาพภาคผนวก ข-21 จุดสำรวจที่ S34 บริเวณตำบลห้วยกะปิ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S34 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S34 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S35 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S35 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-22 จุดสำรวจที่ S35 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S35 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S35 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S36 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S36 (A-GPS)

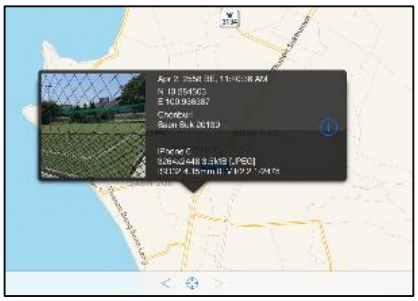
ภาพภาคผนวก ข-23 จุดสำรวจที่ S36 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S36 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S36 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S37 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S37 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-24 จุดสำรวจที่ S37 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S37 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S37 (A-GPS)

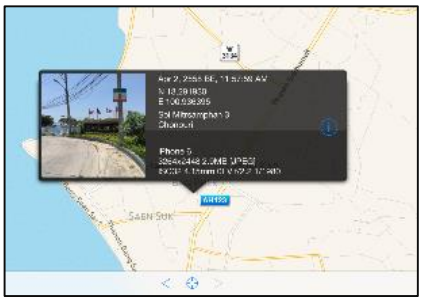
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S38 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S38 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-25 จุดสำรวจที่ 38 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S38 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S38 (A-GPS)

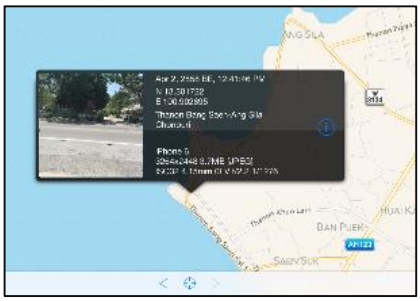
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S39 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S39 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-26 จุดสำรวจที่ S39 บริเวณตำบลบ้านปึก อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S39 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S39 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S40 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S40 (A-GPS)

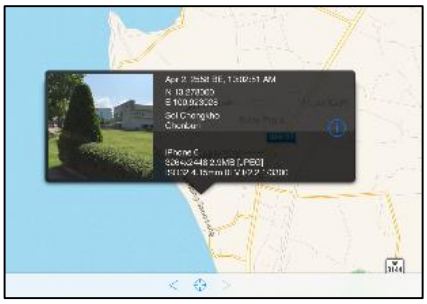
ภาพภาคผนวก ข-27 จุดสำรวจที่ S40 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S40 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S40 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S41 (GPS)

ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S41 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-28 จุดสำรวจที่ S41 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S41 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S41 (A-GPS)

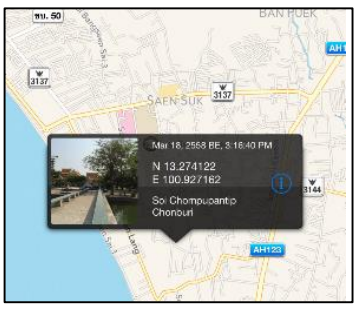
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S42 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S42 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-29 จุดสำรวจที่ S42 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S42 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S42 (A-GPS)

ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S43 (GPS)



ภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S43 (A-GPS)

ภาพภาคผนวก ข-30 จุดสำรวจที่ S43 บริเวณตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ภาพ (ก) จุดสำรวจที่ S43 (GPS) และภาพ (ข) จุดสำรวจที่ S43 (A-GPS)

ตารางภาคผนวก ข-3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจุดสำรวจพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ของค่าพิกัดของระบบรับสัญญาณ GPS และ A-GPS กับหมุดหลักฐาน

ชื่อสถานที่	ตำบล	วัน-เดือน-ปี	เวลา (น.)	สภาพอากาศ
สวนบูรพา	แสนสุข	18 มีนาคม 2558	13.42.28	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
หน้าอาคารโลกใต้ทะเล ฯ	แสนสุข	18 มีนาคม 2558	14.09.04	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
ป้ายคณะมนุษยศาสตรฯ	แสนสุข	18 มีนาคม 2558	12.51.14	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
หัวสะพานสวนนันทนาการ	แสนสุข	18 มีนาคม 2558	15.16.40	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆเล็กน้อยตลอดวัน ไม่มีฝนตก ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก
หน้าหอเทา-ทอง4	แสนสุข	18 มีนาคม 2558	14.52.20	อากาศค่อนข้างร้อน เมฆมากตลอดวัน ไม่มีฝนตก ทัศนวิสัยทั่วไปดีมาก

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวมินทร์ลดา รัตนกุล
วัน เดือน ปีเกิด	10 ตุลาคม พ.ศ. 2530
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 194/1 หมู่ที่ 5 ตำบลบ่อกวางทอง
	อำเภอบ่อทอง จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2549	โรงเรียนพนัสพิทยาคาร
พ.ศ. 2553	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์)
	มหาวิทยาลัยบูรพา

ตรวจรูปแบบวิทยานิพนธ์โดย (ลงชื่อ).....

(นางวรัญญา ชนะสงคราม)

...../...../.....