

การลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐานด้วยเวฟเลท



นางรจนา คุณพูล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

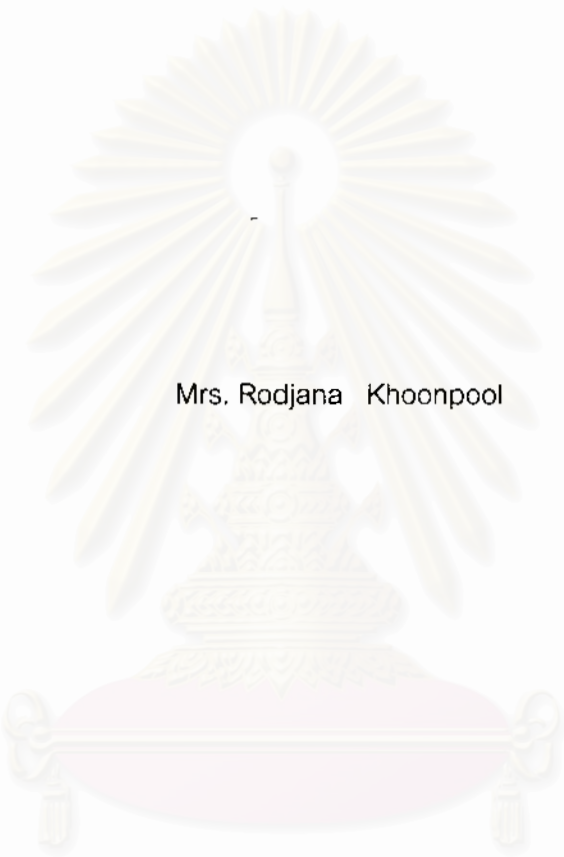
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN: 974-17-6781-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTIPATH MITIGATION OF GPS BASE STATION USING WAVELETS



Mrs. Rodjana Khoonpool

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

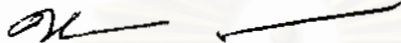
Academic Year 2004

ISBN: 974-17-6781-1


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐานด้วยเวฟเลท  
โดย                              นางรจนา คุณพูล  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมสำรวจ  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

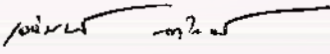
---

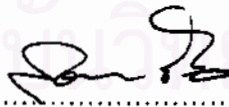
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกரியงไกรเพชร)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรวิทย์ พละการ)

รจนา คุณพูล : การลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐานด้วยเวฟเลท (MULTIPATH MITIGATION OF GPS BASE STATION USING WAVELETS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติรพจน์ ,71 หน้า. ISBN: 974-17-6781-1

ปัจจุบันงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสได้เข้ามามีบทบาทในงานสำรวจและการทำแผนที่มากขึ้นโดยเฉพาะงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสูง ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่รังวัดได้อาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นหลายชนิด เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ การเกิดคลื่นหลายวิถี และสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องรับสัญญาณ การรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในบริเวณที่มีพื้นผิวที่สะท้อนคลื่นอยู่รอบข้างเสาอากาศ เช่น ผนังตึก ถนน ยานพาหนะ เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดคลื่นหลายวิถีในข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสได้ ส่งผลให้ความถูกต้องทางตำแหน่งที่ควรจะเป็นลดลงไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการขจัดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐาน โดยใช้เวฟเลทเป็นเครื่องมือในการกรองคลื่นหลายวิถีทั้งที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง โดยทำการเก็บข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสแบบสถิติจำนวน 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นชุดข้อมูลที่มีเส้นฐานเป็นศูนย์ จึงไม่มีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นมีเพียงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดเท่านั้น ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 มีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นเนื่องจากวงเสาอากาศไว้ใกล้กับกำแพงคอนกรีต จากนั้นจึงทำการแยกคลื่นหลายวิถีในข้อมูลชุดที่ 2 ออกจากสัญญาณรบกวน และขจัดออกไปจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสโดยการกรองด้วยเวฟเลท

ผลจากการวิจัยพบว่า หลังจากการกรองข้อมูลชุดที่ 2 ด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1 สามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวัดและลดขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสออกไปได้

ภาควิชา..... วิศวกรรมสำรวจ..... **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา .....วิศวกรรมสำรวจ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....

ปีการศึกษา .....2547.....

## 4470479021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD : GPS / Reduction of Multipath Effect / Base Station / Wavelet

RODJANA KHOONPOOL : MULTIPATH MITIGATION OF GPS BASE  
STATION USING WAVELETS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.Dr.  
CHALERMCHON SATIRAPOD, 71 pp. ISBN: 974-17-6781-1

Nowadays GPS technology greatly plays crucial role on surveying and mapping community especially in high precision positioning. However, the GPS observations are contaminated by several types of biases such as the orbital bias, the atmospheric biases, multipath disturbance, and receiver noise. The multipath disturbance is one of the major error sources impacting on high precision GPS positioning. It is largely dependent on the receiver's environment since satellite signals can arrive at the receiver via multiple paths, due to reflections from nearby objects such as trees, buildings, vehicles, etc. To obtain accurate positioning results from GPS, it is necessary to minimise the magnitude of multipath disturbance in the GPS observations. Therefore, this research is to put emphasis on the use of wavelet decomposition technique for extracting or modelling multipath from both GPS pseudorange and carrier-phase observations. In this study, two sets of GPS data were collected in static mode. The first set of data is free from multipath effect because of the zero baseline configuration. On the contrary, the second set is seriously interfered by multipath effects as the receiver was put nearly a concrete wall. The multipath disturbance of the second data set was extracted and compared with the first data set .

The findings of this research indicate that both multipath disturbance and receiver noise were significantly reduced after the 1<sup>st</sup> level of wavelet decomposition was applied.

Department ... Survey Engineering Student's signature .....

Field of study ... Survey Engineering. Advisor's signature .....

Academic year .....2004.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความสนับสนุนจากหลายฝ่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจสอบวิทยานิพนธ์นี้ให้กับข้าพเจ้า รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตภาคใต้ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอบพระคุณอาจารย์ประจำวิทยาเขตภาคใต้ทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายวีระกุล เขี้ยเท่า นายภักพงศ์ หอมเนียม และ นายสมชาย เกரியงไกรวศิน ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าในขั้นตอนการเก็บข้อมูล รวมถึงคำแนะนำและกำลังใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคน

ทำนุนี้ขอมอบความดีในวิทยานิพนธ์นี้แด่ บิดา-มารดา ของข้าพเจ้าและคณาจารย์ทุกท่าน และที่สำคัญขอขอบคุณชีวิตของข้าพเจ้าที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจ ในการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญรูป .....	ญ
คำจำกัดความ .....	ถ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 การศึกษาเกี่ยวกับการลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่ผ่านมาและสมมุติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....	4
2. ระบบดาวเทียมจีพีเอสและเทคนิคการแปลงเวฟเลท .....	5
2.1 ประวัติและพัฒนาการของระบบดาวเทียมจีพีเอส .....	5
2.2 ค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอส (GPS observable) .....	7
2.3 ค่าคลาดเคลื่อนในงานรังวัดจีพีเอส .....	8
2.4 คลื่นหลายวิถี (Multipath) .....	9
2.5 ค่าต่าง (Difference) .....	12
2.6 หลักการหาตำแหน่ง (Position concept) .....	14
2.7 การรังวัดแบบสถิต (Static survey) .....	16
2.8 เทคนิคการแปลงเวฟเลท (Wavelet transform) .....	16
2.9 การประยุกต์ใช้เวฟเลทกับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส .....	21



## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่	
3. การปฏิบัติงานสนาม .....	24
3.1 การวางแผนปฏิบัติงานเบื้องต้น .....	24
3.2 การเตรียมการเพื่อปฏิบัติงานสนาม .....	25
3.3 การปฏิบัติงานสนาม .....	25
4. การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล .....	30
4.1 ตรวจสอบข้อมูล .....	30
4.2 การประมวลผลเพื่อหาลักษณะของคลื่นหลายวิถี .....	33
4.3 การขจัดคลื่นหลายวิถีด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลท .....	40
5. บทสรุป .....	53
5.1 ผลจากงานวิจัย .....	53
5.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย .....	54
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย .....	54
5.4 ข้อเสนอแนะ .....	55
รายการอ้างอิง .....	56
ภาคผนวกก. ผลการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ของคู่ดาวเทียม (PRN7,PRN8) , (PRN8,PRN28) ,(PRN27,PRN28) และ (PRN29,PRN10) .....	59
ภาคผนวกข. การขจัดคลื่นหลายวิถีโดยใช้เวฟเลทตระกูล Daubechies .....	66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	70



## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง

3.1	แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 25-31 ต.ค. 2545 ของเครื่องรับหมายเลข 1 .....	26
3.2	แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 25-31 ต.ค. 2545 ของเครื่องรับหมายเลข 2 .....	26
3.3	แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 25-31 ต.ค. 2545 ของเครื่องรับหมายเลข 3 .....	27
3.4	แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 24-26 ต.ค. 2546 ของเครื่องรับหมายเลข 1 .....	27
3.5	แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 24-26 ต.ค. 2546 ของเครื่องรับหมายเลข 2 .....	28
3.6	แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 24-26 ต.ค. 2546 ของเครื่องรับหมายเลข 3 .....	28
4.1	แสดงช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ในปีพ.ศ. 2545 .....	31
4.2	แสดงช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ในปีพ.ศ. 2546 .....	32
4.3	แสดงช่วงเวลาที่นำข้อมูลมาคำนวณตามสมการที่ 2.1 และ 2.4 .....	34
4.4	แสดงช่วงเวลาของข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ใช้ประมวลผลเส้นฐาน .....	37
4.5	แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของดาวเทียม PRN07.....	43
4.6	แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของดาวเทียม PRN05(15 วินาที) .....	43
4.7	แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของดาวเทียม PRN05(1 วินาที) .....	43
4.8	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม PRN07 ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์ .....	45
4.9	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม PRN05 (15 วินาที)ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์ .....	46

## สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตาราง

4.10	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม PRN05 (1 วินาที) ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชูโดเรนท์ .....	46
4.11	แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของดาวเทียม (PRN31,PRN2).....	49
4.12	แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของดาวเทียม (PRN27,PRN28).....	49
4.13	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม (PRN31,PRN2) ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง .....	51
4.14	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม (PRN27,PRN28 ) ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง .....	51
ก.1	แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ .....	59
ก.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถี .....	62
ข.1	แสดงการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีแล้ว โดยใช้เวฟเลทตระกูล Symlets และ Daubechies จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชูโดเรนท์.....	69
ข.2	แสดงการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีแล้ว โดยใช้เวฟเลทตระกูล Symlets และ Daubechies จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง.....	70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	แสดงส่วนต่างๆของระบบดาวเทียมจีพีเอส .....	5
2.2	แสดงวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส .....	6
2.3	แสดงชนิดคลื่นสัญญาณในระบบดาวเทียมจีพีเอส .....	6
2.4	แสดงการวัดเฟสของคลื่นส่ง .....	7
2.5	แสดงการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ .....	8
2.6	แสดงการเกิดคลื่นหลายวิถี .....	9
2.7	แสดงค่าต่างของค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอส .....	12
2.8	แสดงลักษณะการหาค่าต่างระหว่างจุด .....	13
2.9	แสดงลักษณะการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม .....	13
2.10	แสดงลักษณะการหาค่าต่างระหว่างเวลา .....	14
2.11	แสดงการหาตำแหน่งจุดเดี่ยว .....	15
2.12	แสดงการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ .....	16
2.13	แสดงลักษณะของมาเธอร์เวฟเลทและการแปลงเวฟเลท .....	18
2.14	แสดงการกระจายเวฟเลทในระดับที่ 1 .....	20
2.15	แสดงการกระจายเวฟเลทแบบหลายระดับความละเอียด .....	20
2.16	แสดงขั้นตอนการแปลงกลับเวฟเลท .....	21
2.17	แสดงองค์ประกอบของสัญญาณหลังจากการแปลงกลับเวฟเลท .....	21
2.18	การกรองสัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด .....	22
2.19	แสดงลักษณะของตระกูลเวฟเลท .....	23
3.1	แสดงลักษณะการติดตั้งชุดรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส .....	24
3.2	แสดงการวางอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสบนอาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .....	28
3.3	แสดงการวางเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่จุด A .....	29
3.4	แสดงการวางเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่จุด B .....	29

รูป

4.1	แสดงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์จากดาวเทียม หมายเลข PRN05 (ที่จุด A) .....	30
4.2	แสดงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์จากดาวเทียม หมายเลข PRN05 (ที่จุด B) .....	31
4.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูล ซูโดเรนจ์ .....	33
4.4	แสดงขนาดและลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ในข้อมูล ชุดที่ 1 และ 2 จากดาวเทียม PRN07 .....	35
4.5	แสดงขนาดและลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ในข้อมูล ชุดที่ 1 และ 2 จากดาวเทียม PRN05 .....	35
4.6	แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN7,PRN8).....	37
4.7	แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN8,PRN28).....	38
4.8	แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2).....	38
4.9	แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28).....	39
4.10	แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN28,PRN7).....	39
4.11	แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN29,PRN10).....	40
4.12	แสดงผลการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลทระดับ 5 จากดาวเทียมหมายเลข PRN07 ...	44
4.13	แสดงผลการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลทระดับ 4 จากดาวเทียมหมายเลข PRN05 ...	45
4.14	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม PRN07 .....	47
4.15	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม PRN05 (อัตราถี่ข้อมูล 15 วินาที).....	47
4.16	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม PRN05 (อัตราถี่ข้อมูล 1 วินาที).....	50
4.17	ผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2).....	49
4.18	ผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28).....	50
4.19	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม (PRN31,PRN2) .....	52

รูป		
4.20	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม (PRN27,PRN28).....	52
ก.1	ผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN7,PRN8).....	60
ก.2	ผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN8,PRN28).....	61
ก.3	ผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN28,PRN7).....	61
ก.4	ผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN29,PRN10).....	62
ก.5	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม (PRN7,PRN8).....	64
ก.6	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม (PRN8,PRN28).....	64
ก.7	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม (PRN28,PRN7).....	64
ก.8	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่าง ๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม (PRN29,PRN10).....	65
ข.1	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองโดยใช้โปรแกรม MATLAB .....	66
ข.2	แสดงตัวอย่างการใช้ตัวกรองเวฟเลทในตระกูล Symlets .....	67
ข.3	แสดงตัวอย่างการใช้ตัวกรองเวฟเลทในตระกูล Daubechies.....	67

## คำจำกัดความ

ข้อมูลชุดที่ 1	ได้จากเครื่องรับหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ซึ่งใช้เสาอากาศอันเดียวกัน และวางอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีได้น้อยหรือไม่มีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นเลย (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ)
ข้อมูลชุดที่ 2	ได้จากเครื่องรับหมายเลข 3 (ดังรูปที่ 3.1) ซึ่งวางเสาอากาศไว้ในตำแหน่งที่มีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีในข้อมูลจีพีเอสได้ เนื่องจากสัญญาณไปกระทบกับพื้นผิวอื่น ก่อนที่จะเดินทางเข้ามายังเสาอากาศ
เส้นฐาน 1	จุดปลายของเส้นฐานทั้งสองอยู่ที่จุด A (ดังรูปที่ 3.1) โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องรับหมายเลข 1 และ 2 มาประมวลผลร่วมกัน ซึ่งเส้นฐานดังกล่าวก็คือเส้นฐานที่มีความยาวเท่ากับศูนย์
เส้นฐาน 2	จุดปลายของเส้นฐานอยู่ที่จุด A และ B (ดังรูปที่ 3.1) โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องรับหมายเลข 1 และ 3 มาประมวลผลร่วมกัน ซึ่งเส้นฐานดังกล่าวจะมีความยาวประมาณ 8 เมตร และเป็นเส้นฐานขนาดสั้น
สัญญาณ 1	ได้แก่ ขนาดของ $MP_1$ ในข้อมูลชุดที่ 1 เมื่อพิจารณาข้อมูลชุดโดเรนจ์ หรือ ค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 1 เมื่อพิจารณาข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง
สัญญาณ 2	ได้แก่ ขนาดของ $MP_1$ ในข้อมูลชุดที่ 2 เมื่อพิจารณาข้อมูลชุดโดเรนจ์ หรือ ค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 2 เมื่อพิจารณาข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส (Global Positioning System:GPS) ได้เข้ามา มีบทบาทในงานสำรวจมากขึ้น โดยเฉพาะงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสูง เช่น งานโครงข่ายหมุดควบคุมระดับประเทศ เป็นต้น เนื่องจากรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส ให้ ตำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ประหยัดเวลาในการออกสนาม สามารถปฏิบัติงานได้ทุก สภาพอากาศและทุกสภาพพื้นที่ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส นั้นอาจมีค่าคลาดเคลื่อนปนอยู่ด้วยเช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนจาก วงโคจรดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนจากการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศซึ่งอาจส่งผล ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งที่ควรจะเป็นลดลง ค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถถูกขจัดออกได้ จากการใช้เทคนิคการหาค่าต่าง

ด้วยข้อดีของการรังวัดด้วยระบบจีพีเอสที่สามารถปฏิบัติงานได้ทุกสภาพพื้นที่นั้นส่งผลให้ การปฏิบัติงานในบริเวณชุมชนที่มีพื้นผิวที่สะท้อนคลื่นอยู่รอบข้างเสอากาศไม่ว่าพื้นผิวนั้นจะอยู่ ในแนวราบ ดิ่ง หรือเอียงดังเช่น ผนังตึก ถนน ผิวน้ำ ลานคอนกรีต ยานพาหนะ เป็นต้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) ในข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสได้ ซึ่งคลื่น หลายวิถีเป็นค่าคลาดเคลื่อนอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสและมีอิทธิพลต่อ ความถูกต้องทางตำแหน่ง การปฏิบัติงานรังวัดโดยเลือกใช้เสอากาศชนิดพิเศษหรือการหลีกเลี่ยง การทำงานในบริเวณที่มีโอกาสเกิดการสะท้อนของคลื่นนั้นอาจช่วยให้ขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปได้ บ้าง แต่ก็เป็นการยากที่จะหลีกเลี่ยงการทำงานในบริเวณที่ไม่มีการสะท้อนของคลื่นโดยสิ้นเชิง (Satirapod, Khoonphool และ Rizos, 2003) ฉะนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการขจัด ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี ที่เกิดขึ้นที่สถานีฐานเพื่อให้ความถูกต้องทางตำแหน่งสูงขึ้น โดยใช้เวฟเลทเป็นเครื่องมือในการกรองสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเพื่อหาลักษณะของคลื่นหลาย วิถีที่เกิดขึ้นและขจัดคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เนื่องจากการแปลง เวฟเลท(Wavelets Transform:WT) เป็นกลวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลสัญญาณ เช่น การกรอง หรือการบีบอัดสัญญาณ จากเดิมที่เคยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform:FT) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณที่มีความคงตัว (Stationary Signal) เท่านั้น แต่เนื่องจากสัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมจีพีเอสนั้นเป็นสัญญาณที่มีลักษณะไม่คงตัว(Non-Stationary Signal) จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีการแปลงแบบฟูเรียร์กับคลื่นสัญญาณจีพีเอส



(Satirapod, Ogaja, Wang, และ Rizos, C., 2001) อย่างไรก็ตามเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคนิคเวฟเลทได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยไม่มีข้อจำกัดเหมือนกับวิธีการแปลงแบบฟูเรียร์ จึงทำให้นักวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะนำเทคนิคการแปลงแบบเวฟเลทมาใช้กับคลื่นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาถึงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในการรับวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการแปลงเวฟเลทเพื่อนำมาใช้ในการกรองสัญญาณของคลื่นหลายวิถีที่มีอยู่ในคลื่นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
3. จัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องสูงขึ้น

## 1.3 การศึกษาเกี่ยวกับการลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่ผ่านมาและสมมุติฐาน

จากการศึกษาของ Ge, Han และ Rizos (2002) ได้กล่าวไว้ว่า การลดผลจากคลื่นหลายวิถีนั้นสามารถทำได้โดยการปรับปรุงเทคนิคการประมวลผลภายหลัง (Post Processing) และการปรับปรุงเทคนิคการผลิตเสาอากาศหรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส อย่างไรก็ตามราคาของเครื่องรับสัญญาณชนิดนี้จะมีราคาสูงตามไปด้วย Han และ Rizos (1997) ได้ทำการศึกษาลักษณะของคลื่นหลายวิถีโดยใช้เทคนิคการกรองสัญญาณแบบ FIR (Finite Impulse Response) เพื่อขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในงานรับวัดแบบสถิตโดยทำการรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องกันเป็นเวลา 4 วันเพื่อแสดงให้เห็นว่าคลื่นหลายวิถีมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันในแต่ละวัน แต่วิธีการนี้เป็นการประมวลผลโดยใช้ การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform: DFT) เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณเชิงเวลา (Time Domain) ให้เป็นสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Domain) ก่อน จึงจะสามารถนำสัญญาณไปประมวลผลได้ ซึ่งการแปลงฟูเรียร์นั้นเหมาะกับคลื่นสัญญาณที่มีความคงตัว (Stationary Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำเดิมเมื่อครบคาบเวลา เช่น สัญญาณแบบคลื่นไซน์ เท่านั้น แต่เนื่องจากคลื่นสัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมจีพีเอสนั้นเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ไม่เกิดขึ้นซ้ำเดิม ซึ่งเรียกสัญญาณชนิดนี้ว่า สัญญาณที่มีลักษณะไม่คงตัว (Non-Stationary Signal) ดังนั้นวิธีการแปลงแบบฟูเรียร์กับคลื่นสัญญาณจีพีเอสจึงไม่เหมาะสม

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการขจัดค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นที่สถานีฐานโดยใช้เวฟเลทเป็นเครื่องมือกรองสัญญาณที่มีคลื่นหลายวิถีออกไปเนื่องจากการแปลงเวฟเลท

(Wavelet Transform: WT) เป็นกลวิธีหนึ่งที่น่ามาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลสัญญาณ เช่น การกรอง หรือการบีบอัดสัญญาณ จากเดิมที่เคยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์

งานวิจัยที่จะทำขึ้นนี้มีสมมุติฐานต่อไปนี้

1. สำหรับการคำนวณหาขนาดของเส้นฐานขนาดสั้น โดยหลักการของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) ด้วยวิธีการหาค่าต่างแบบ Double Difference จะสามารถลดขนาดของค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดออกไปได้ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่นในชั้นบรรยากาศ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียม ดังนั้นค่าเศษเหลือของค่าต่างแบบ Double Difference ที่ได้จากการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least-Squares) จึงสะท้อนให้เห็นลักษณะของคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวน ที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง
2. การนำเทคนิคการแปลงเวฟเลทมาใช้สามารถหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่ปนอยู่ในข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และยังช่วยลดปริมาณของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้อีกด้วย

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถกำหนดขอบเขตได้ดังต่อไปนี้

1. บริเวณที่เหมาะสมในการรับสัญญาณควรจะเป็นดาดฟ้าของอาคารสูงโดยมีจุดที่ไม่มีสิ่งแวดล้อมที่จะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น และอีกจุดควรเป็นบริเวณที่มีการเกิดคลื่นหลายวิถี โดยใช้เส้นฐานที่มีความยาวสั้น ๆ (ไม่เกิน 10 เมตร) ซึ่งจะทำให้การทดลองนี้ในบริเวณดาดฟ้า อาคารวิทยนิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้มาจากการรับสัญญาณดาวเทียมด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบสองความถี่ โดยจะรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง เพื่อให้เห็นรูปแบบของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นจากดาวเทียมแต่ละดวง

3. ในการประมวลผลจะใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลเส้นฐานของกลุ่ม SNAP และจะเขียนโปรแกรมขึ้นมาใช้สำหรับงานวิจัยในส่วนของการกรองสัญญาณด้วยเวฟเลท

MATLAB Version 6.5.0 Release 13

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการวิจัยครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ทราบถึงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส
2. สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้กับการทำงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส ในบริเวณที่มีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถี เพื่อให้ได้พิกัดของตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง

### 1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การวิจัยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล
3. รับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง
4. ประมวลผลสัญญาณและหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
5. ขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีออกจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

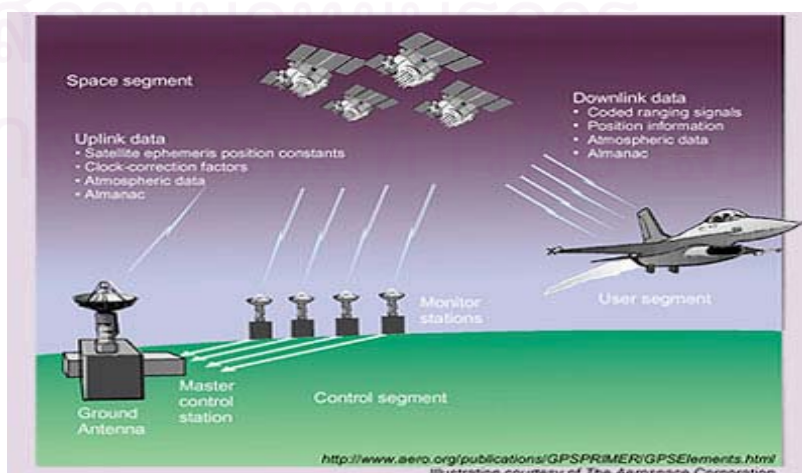
## บทที่ 2

### ระบบดาวเทียมจีพีเอสและเทคโนโลยีการแปลงเวฟเลข

#### 2.1 ประวัติและพัฒนากการของระบบดาวเทียมจีพีเอส

ระบบดาวเทียมจีพีเอสเป็นระบบดาวเทียมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของ ประเทศสหรัฐอเมริกา พัฒนามาจากระบบทรานซิท(Transit) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการ พัฒนาระบบนำวิถีที่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในทุกๆพื้นที่รอบโลก มีความละเอียดถูกต้องสูงและสามารถแสดงผลได้ในขณะปฏิบัติงาน ในระยะแรกระบบดาวเทียมจีพีเอสถูกนำไปใช้ เพื่อประโยชน์ในทางทหารเท่านั้น แต่ภายหลังได้เปิดให้พลเรือนใช้งานได้ในบางส่วน และใช้ ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ในด้านการนำวิถีในอากาศ ทางเรือ ทางบก รวมถึงการนำมา ประยุกต์ใช้ทางด้านการสำรวจรังวัดซึ่งเป็นการหาตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง

องค์ประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอสมีส่วนหลักๆอยู่ 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุม(Control Segment) ส่วนอวกาศ(Space Segment) และส่วนผู้ใช้(User Segment) ในแต่ละส่วนมีความ สัมพันธ์กันดังนี้ ส่วนควบคุมจะมีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่บนพื้นโลกเพื่อคอยติดตาม การเคลื่อนที่ของดาวเทียม ซึ่งทำให้สามารถคำนวณวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมที่ขณะเวลา ต่างๆได้ จากนั้นส่วนควบคุมก็จะทำนายวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมทุกดวงในระบบล่วงหน้าแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังส่วนอวกาศซึ่งก็คือดาวเทียมนั่นเอง ดาวเทียมก็จะทำการส่งข้อมูล เหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังโลก ในส่วนผู้ใช้เมื่อต้องการที่จะทราบตำแหน่งของจุดใดๆก็ เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งให้ตรงตำแหน่งจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลที่ ได้ไปประมวลผลก็จะทราบตำแหน่งที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนต่างๆของระบบดาวเทียมจีพีเอส (EPA, 2004)

ปัจจุบันระบบดาวเทียมจีพีเอสมีดาวเทียมโคจรอยู่บนท้องฟ้าพร้อมๆกันทั้งหมด 28 ดวง แต่ละดวงโคจรอยู่รอบโลกวันละ 2 รอบ(ข้อมูล ณ วันที่ 16 พฤษภาคม 2545) ดังนั้นไม่ว่าจะอยู่ที่ใดในพื้นที่ผิวโลกจึงมีดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวงอยู่เหนือจุดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 คลื่นสัญญาณที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งออกมาเป็นคลื่นวิทยุที่มีความถี่ในย่านไมโครเวฟเพราะสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ ซึ่งต่างจากคลื่นวิทยุอื่นๆ ที่มีการหักเหและถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศ ดาวเทียมจีพีเอสส่งคลื่นสัญญาณออกมาสองความถี่คือ ความถี่ 1575.42 MHz.เรียกว่าคลื่นส่ง  $L_1$  มีความยาวคลื่นประมาณ 19 เซนติเมตร และความถี่ 1227.6 MHz.เรียกว่าคลื่นส่ง  $L_2$  ความยาวคลื่นประมาณ 24 เซนติเมตร คลื่นทั้งสองถูกกล้ำสัญญาณ (Modulate) ด้วยรหัสและข้อมูลดาวเทียม รหัสที่ใช้ในการกล้ำสัญญาณมีสองชนิด คือ รหัส C/A มีความถี่ 1.023 MHz. ความยาวคลื่น 300 เมตร เปิดให้ใช้ได้อย่างเสรี และมีการกล้ำสัญญาณรหัสนี้บนคลื่นส่ง  $L_1$  เท่านั้น ส่วนอีกชนิดคือ รหัส P มีความถี่ 10.23 MHz. ความยาวคลื่น 30 เมตร มีการกล้ำสัญญาณรหัสนี้ไว้บนคลื่นส่ง  $L_1$  และ  $L_2$  และในส่วนของข้อมูลนำหนหรือข้อมูลดาวเทียมนั้นเป็นข้อมูลที่มีอยู่ที่ทั้งบนคลื่นส่ง  $L_1$  และคลื่นส่ง  $L_2$  (ดูรูปที่ 2.3) ความหมายของข้อมูลนำหนคือ การที่ดาวเทียมทุกดวงสามารถบอกตำแหน่งของตัวเองได้ ณ เวลาใดๆ รวมถึงบอกสถานะภาพของระบบตัวดาวเทียมเอง



รูปที่ 2.2 แสดงวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส(Ordnance Survey, 2004)



รูปที่ 2.3 แสดงชนิดคลื่นสัญญาณในระบบดาวเทียมจีพีเอส



## 2.2 ค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอส (GPS Observable)

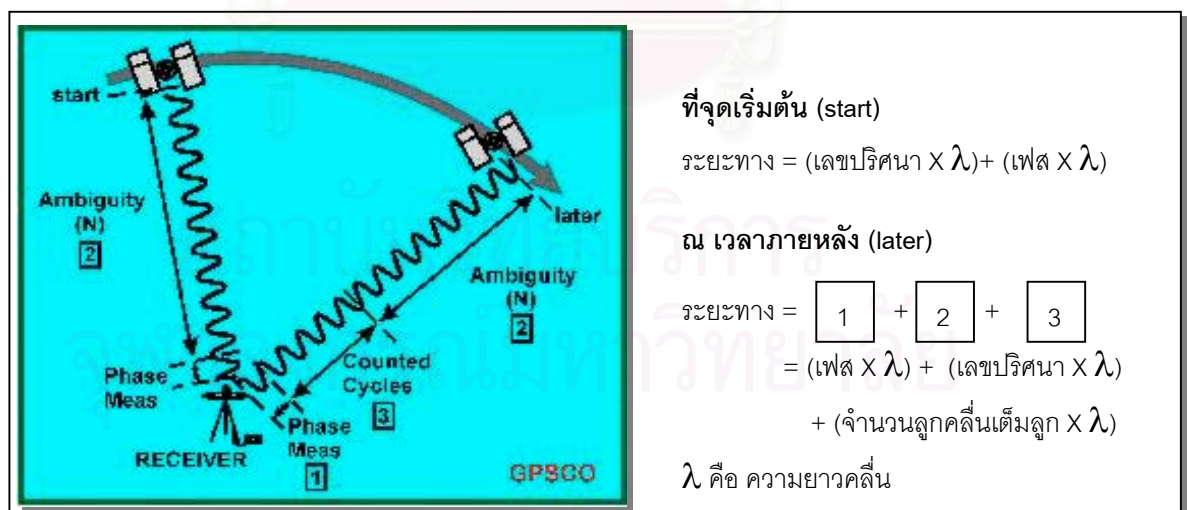
ค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอสและถูกนำมาใช้คำนวณหาตำแหน่งมีสองชนิดคือ ชูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ชูโดเรนจ์ (Pseudorange)

ชูโดเรนจ์ คือระยะทางที่วัดจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบรหัสที่เครื่องรับสร้างขึ้นมากับรหัสที่ได้จากดาวเทียม จึงทราบระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับและเมื่อนำมาคูณกับความเร็วของคลื่นก็จะทราบระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับหรือชูโดเรนจ์นั่นเอง การวัดชูโดเรนจ์ใช้ได้ทั้งกับรหัส C/A และรหัส P แต่จะเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง

### 2.2.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)

การวัดเฟสของคลื่นส่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา เครื่องรับสามารถวัดส่วนย่อยของลูกคลื่นลูกสุดท้ายหรือค่าเฟส (Phase Measurement) ได้เท่านั้น ส่วนจำนวนเต็มลูกคลื่นสามารถหาได้จากการคำนวณในภายหลัง จำนวนเต็มลูกคลื่นนี้เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity: n) ดังนั้นเมื่อนำผลคูณของเลขปริศนากับความยาวคลื่นมารวมกับผลคูณของค่าเฟสกับความยาวคลื่นก็จะทราบระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ ดังรูปที่ 2.4 จึงทำให้การวัดเฟสของคลื่นได้ระยะทางที่ละเอียดกว่าการวัดชูโดเรนจ์

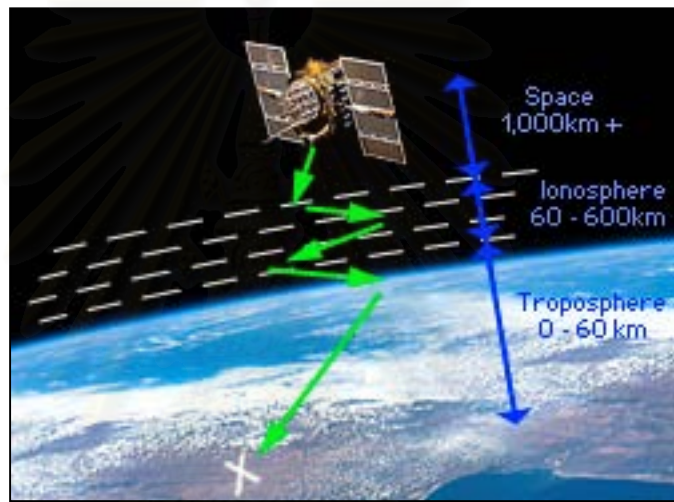


รูปที่ 2.4 แสดงการวัดเฟสของคลื่นส่ง (Rizos, C. ,1997)

## 2.3 ค่าคลาดเคลื่อนในงานรังวัดจีพีเอส

ในงานรังวัดด้วยระบบสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจพิจารณาได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรและความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม
- กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ การเกิดคลื่นหลายวิถี และการเกิดคลื่นหลุด
- กลุ่มสุดท้ายเกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณเช่นนาฬิกาเครื่องรับ และสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ



รูปที่ 2.5 แสดงการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ  
(GeoPlane Services, 2004)

ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณในชั้นบรรยากาศสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.5 จากรูปแสดงให้เห็นถึงการเดินทางของคลื่นสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอสก่อนจะมาถึงเครื่องรับสัญญาณซึ่งมีการหักเหของสัญญาณเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ส่วนคลื่นหลุด (Cycle Slips) นั้น เกิดจากการที่เครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจับคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมได้ภายใต้สภาพการรับสัญญาณที่เป็นปกติ ซึ่งจะพบบ่อยในการทำงานจริง แต่สามารถลดจำนวนคลื่นหลุดได้โดยการยืนห่างจากเสาอากาศหรือพยายามไม่ให้มีวัตถุใดๆมาเกิดขวางสัญญาณดาวเทียมโดยรอบเสาอากาศ และในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นทำการศึกษาดังลักษณะการเกิดคลื่นหลายวิถี ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลายวิถีโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



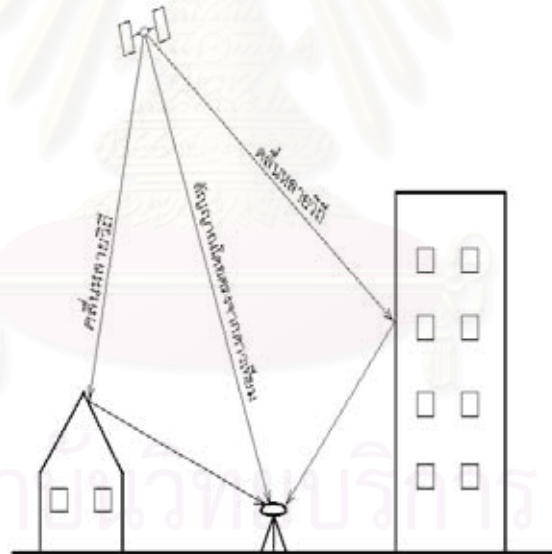
## 2.4 คลื่นหลายวิถี (Multipath)

คลื่นหลายวิถีหมายถึงการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนบนพื้นผิวตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป พื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวตั้ง ราบ หรือเอียง เช่น ผนังตึก ถนน ผิวน้ำ หรือยานพาหนะ เป็นต้น ลักษณะของการเกิดคลื่นหลายวิถีสามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะคือ

- แพร่กระจายจากพื้นผิวในบริเวณกว้างเช่น สัญญาณที่เดินทางผ่านกลุ่มวัสดุที่ทำจากโลหะ (Metallic)

- การสะท้อนแบบกระจกเงาจากพื้นผิวดำที่อยู่ใกล้เสาอากาศ
- การขึ้นลงของความถี่ต่ำมากๆอันสืบเนื่องมาจากการสะท้อนบนผิวน้ำ

หรืออาจกล่าวได้ว่าข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสที่มีคลื่นหลายวิถีนั้นคือ ข้อมูลที่ได้จากการรับวัดในขณะที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสรับสัญญาณที่เดินทางจากดาวเทียมโดยตรง และรับสัญญาณดาวเทียมที่สะท้อนพื้นผิวดำรอบข้างเสาอากาศก่อนที่จะเดินทางเข้าเครื่องรับสัญญาณ โดยทั่วไปสัญญาณดาวเทียมที่ส่งจากดาวเทียมที่อยู่ในระดับต่ำกว่าจะมีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีมากกว่าดาวเทียมที่อยู่ในระดับสูงกว่า (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger และ Collins, 2001: 125-126)



รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดคลื่นหลายวิถี

ในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงการเกิดคลื่นหลายวิถีซึ่งประกอบไปด้วยแนวทางเดินของสัญญาณที่เดินทางมาเข้าเครื่องรับโดยตรง และสัญญาณที่สะท้อนวัตถุก่อนที่จะเดินทางถึงเครื่องรับ จากหัวข้อ 2.2 ค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอสนั้นมีสองชนิด คือ ซูดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่ง การเกิดคลื่นหลายวิถีนั้น เกิดขึ้นกับข้อมูลทั้งสองประเภท ดังต่อไปนี้

### 2.4.1 คลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูดเรนจ์ (Multipath on Pseudorange)

อิทธิพลของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในซูดเรนจ์นั้นจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่เนื่องจากข้อมูลซูดเรนจ์มีความยาวคลื่นที่ยาว ในกรณีที่มิข้อมูลจีพีเอสที่ได้จากเครื่องรับแบบสองความถี่ เราสามารถหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูดเรนจ์ได้จากความสัมพันธ์ดังนี้ (Rizos, 1997)

$$MP_1 + K_1 = P_1 - \frac{9525}{2329} \Phi_1 + \frac{7200}{2329} \Phi_2 \quad (2.1)$$

$$K_1 = (n_1 - 0.9697n_2) / 1.2844 \quad (2.2)$$

เมื่อ  $MP_1$  คือ ขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูดเรนจ์จากคลื่นส่ง  $L_1$

$\Phi_1$  และ  $\Phi_2$  คือ ค่าเฟสของคลื่นส่ง  $L_1$  และ  $L_2$

$n_1$  คือ จำนวนลูกคลื่นเต็มลูกของคลื่นส่ง  $L_1$

$n_2$  คือ จำนวนลูกคลื่นเต็มลูกของคลื่นส่ง  $L_2$

$P_1$  คือ ซูดเรนจ์ของคลื่นส่ง  $L_1$

$K_1$  คือ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่และจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกหรือเลขปริศนาของคลื่นส่ง  $L_1$

ตัวแปรต่างๆในสมการข้างต้นมีหน่วยเป็นเมตรและถ้าไม่มีคลื่นหลุดเกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ค่าของตัวแปร  $K_1$  จะมีค่าคงที่ จากสมการที่ (2.1) จะเห็นได้ว่าหากต้องการหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูดเรนจ์ ( $MP_1$ ) จะต้องขจัดค่า  $K_1$  ออกไปก่อน และจากการศึกษาของ Han และ Rizos (1997) พบว่าหากมีข้อมูลซูดเรนจ์เป็นจำนวนมากหรือใช้ข้อมูลในช่วงเวลายาวนาน ค่า  $K_1$  ในสมการที่ (2.2) สามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ทางด้านขวามือทั้งหมดจากสมการที่ 2.1 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า  $K_1$  ที่ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง เมื่อต้องการหาขนาดของคลื่นหลายวิถี ( $MP_1$ ) ณ เวลาใดๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$K_1 = \sum (MP_1 + K_1) \times \frac{1}{n} \quad ; n = \text{จำนวนข้อมูลทั้งหมดใน 2 ชั่วโมง} \quad (2.3)$$

ดังนั้นขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดรนจะหาได้จากผลต่างของสมการที่ (2.1) และ (2.3) ดังแสดงให้เห็นในสมการที่ 2.4

$$MP_1 = P_1 - \frac{9525}{2329} \Phi_1 + \frac{7200}{2329} \Phi_2 - \frac{\sum (MP_1 + K_1)}{n} \quad (2.4)$$

โดยทั่วไปคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในชุดโดรนจะมีขนาดประมาณ 10-20 เมตร แต่ก็อาจเพิ่มขึ้นได้ถึง 100 เมตร ถ้าเสาอากาศถูกวางอยู่ใกล้กับอาคารสูง (Hofmann-Wellenhof et al, 2001)

#### 2.4.2 คลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Multipath on Carrier Phase)

สำหรับคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดรน ลักษณะเฉพาะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมีดังนี้

- 1) ถ้าในขณะรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสมีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นอาจส่งผลให้ข้อมูลของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่กำลังรับวัดอยู่จะผิดเพี้ยนไปจากเดิม
- 2) ในกรณีที่เรขาคณิตของดาวเทียมจีพีเอสมีการเปลี่ยนแปลงไปในขณะทำการรับวัดจะส่งผลให้มุมตกกระทบของสัญญาณที่ไปกระทบกับพื้นผิวรอบข้างเสาอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย
- 3) ในกรณีที่ทำการรับวัดแบบสถิตเป็นเวลานานและไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมรอบๆ เสาอากาศ คลื่นหลายวิถีจะเกิดขึ้นเป็นช่วงๆ และจะเกิดขึ้นซ้ำอีกในรอบ 1 วันดาราคติ (Sidereal Day: ใน 1 วันมี 23 ชั่วโมง 56 นาที 4 วินาที) ดังนั้นในทางทฤษฎีค่าเลื่อนเวลา (Time Shift) ของการเกิดคลื่นหลายวิถีในวันถัดไปควรมีค่าประมาณ 236 วินาที
- 4) สำหรับการคำนวณหาตำแหน่งแบบจลน์ (Kinematic Position) อิทธิพลของคลื่นหลายวิถีนั้นจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าการรับวัดแบบสถิต ขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสจะแสดงให้เห็นได้จากลักษณะของค่าเศษเหลือที่ได้จากค่าต่างแบบ Double Difference จากการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least-Squares) เนื่องจากการรับวัดแบบสถิตของเส้นฐานสั้นๆ ด้วยวิธีการหาค่าต่างแบบ Double Difference จะสามารถลดขนาดของค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดออกไปได้ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่นในชั้นบรรยากาศ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียม ดังนั้นค่าเศษเหลือของค่าต่างแบบ Double

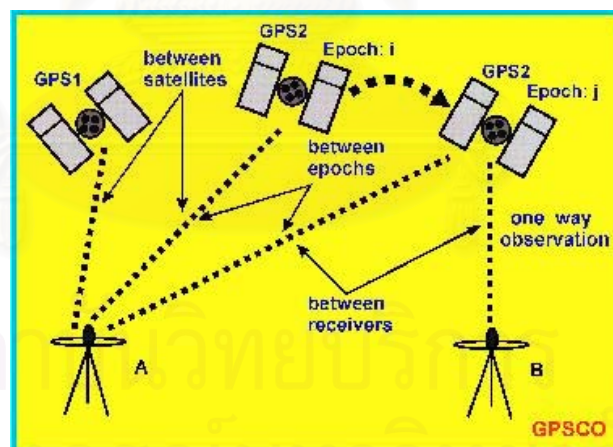
Difference ที่ได้จากการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด จึงสะท้อนให้เห็นลักษณะของคลื่นหลายวิธีและสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

อิทธิพลของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจะมีผลต่อความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเฟส  $L_1$  ไม่เกิน 5 เซนติเมตร (Hofmann-Wellenhof et al., 2001) ในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาลักษณะของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่ง

## 2.5 ค่าต่าง (Difference)

สำหรับค่าที่วัดได้จากงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสคือซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งนั้น จะมีค่าคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.3 เพื่อกำจัดค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวออกไป จึงได้มีการนำเอาเทคนิคการหาค่าต่างเข้ามาช่วยในการประมวลผลเพื่อให้ผลการคำนวณหาตำแหน่งออกมาดีที่สุด โดยถือว่าค่าต่างที่คำนวณได้เปรียบเสมือนค่าที่วัดได้(Observation)แล้วนำมาสร้างเป็นสมการค่าสังเกตในการคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ

การหาค่าต่างของค่าที่วัดได้จากดาวเทียมมี 3 แบบ คือ ค่าต่างระหว่างจุดหรือระหว่างเครื่องรับ ค่าต่างระหว่างดาวเทียม และค่าต่างระหว่างช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.7 รายละเอียดการหาค่าต่างมีดังต่อไปนี้

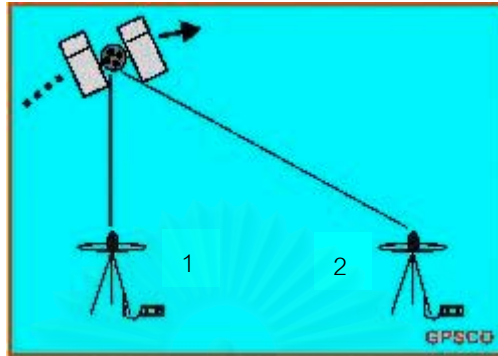


รูปที่ 2.7 แสดงค่าต่างของค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอส (Rizos, C. ,1997)

### 2.5.1 ค่าต่างแบบ Single Difference

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

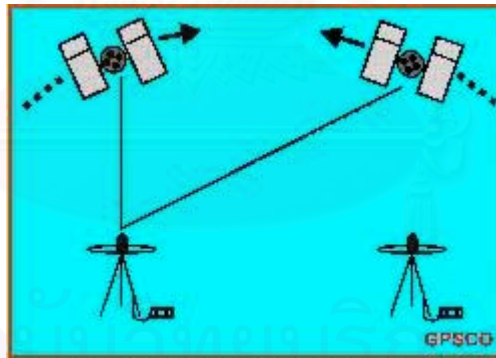
#### ค่าต่างระหว่างจุด



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการหาค่าต่างระหว่างจุด (Rizos, C. ,1997)

ค่าต่างระหว่างจุด เป็นการพิจารณาค่าต่างของระยะทาง ที่วัดไปยังดาวเทียมดวงเดียวกัน ระหว่างจุด 1 และ 2 ที่ขณะเวลาหนึ่ง ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมจึงถูกขจัดออกไป และความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียมบางส่วนก็จะลดลงไปด้วย

#### ค่าต่างระหว่างดาวเทียม

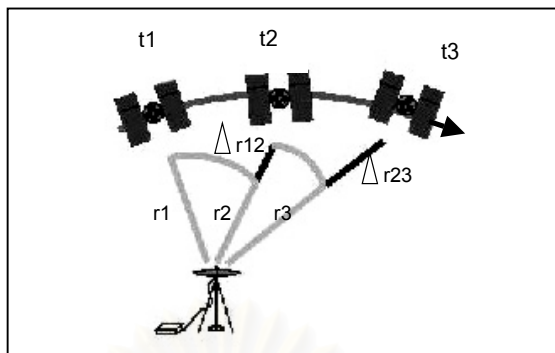


รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม (Rizos, C. ,1997)

เมื่อพิจารณาค่าที่วัดได้จากดาวเทียมสองดวงที่เวลาเดียวกันของจุดๆหนึ่งแล้ว ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับจะไม่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียว ดังนั้นการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียมจึงสามารถกำจัดค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับออกไปได้



## ค่าต่างระหว่างช่วงเวลา



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการหาค่าต่างระหว่างเวลา (Rizos, C. ,1997)

ด้วยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง เมื่อพิจารณาค่าต่างของซูดิเรกซ์ที่วัดไปยังดาวเทียมดวงเดียวกันที่ช่วงเวลา  $t_1$  และ ที่ช่วงเวลา  $t_2$  หากไม่มีคลื่นหลุดเกิดขึ้น จะสามารถขจัดเทอมของเลขปริศนาออกไปได้จากการหาค่าต่างระหว่างเวลานี้

### 2.5.2 ค่าต่างแบบ Double Difference

เป็นการประมวลผลเพื่อคำนวณเส้นฐานระหว่างจุดสองจุดที่ทำกรวัดเฟสของคลื่นส่งมา หมายถึงการนำค่าต่างระหว่างจุดและระหว่างดาวเทียม มาหาค่าต่างระหว่างกันอีกครั้ง ซึ่งปกติจะใช้ค่าต่างระหว่างจุดและระหว่างดาวเทียมมาคำนวณหาค่าต่างแบบ Double Difference ซึ่งทำให้ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับหมดไปอีก ดังนั้นค่าต่างแบบนี้จะไม่มีทั้งความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ นอกจากนี้ค่าคลาดเคลื่อนจากการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศและวงโคจรของดาวเทียมก็จะถูกลดขนาดลงไปด้วย

### 2.5.3 ค่าต่างแบบ Triple Difference

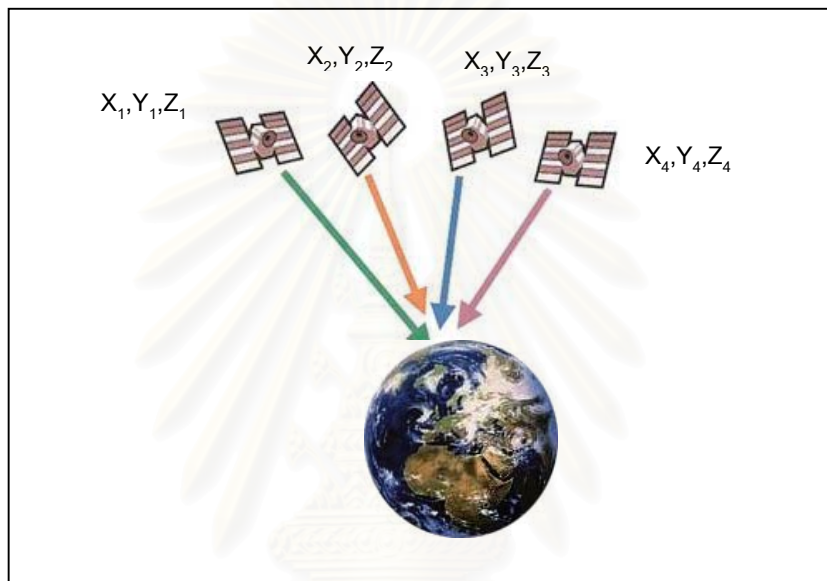
เป็นค่าต่างระหว่างจุด ระหว่างดาวเทียมและระหว่างเวลา หาได้จากการนำค่าต่างแบบ Double Difference ระหว่างจุดและระหว่างดาวเทียมที่ช่วงเวลา  $t_1$  และ  $t_2$  มาลบกัน ค่าต่างแบบ Triple Difference นี้จึงไม่มีค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม นาฬิกาเครื่องรับและเลขปริศนา

## 2.6 หลักการหาตำแหน่ง (Positioning Concept)

หลักการหาตำแหน่งของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธี ดังต่อไปนี้

### 2.6.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning)

วิธีนี้เป็นการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ของจุดที่นำเครื่องรับสัญญาณไปวาง ดังนั้นจึงต้องการเครื่องรับแบบนำหนเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น เมื่อนำเครื่องรับไปวางบนจุดที่ต้องการหาตำแหน่งและรับสัญญาณดาวเทียมได้ครบ 4 ดวง ก็จะสามารถหาตำแหน่งของจุดนั้นได้ทันที เหตุที่ต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงนั้นเนื่องจากมีตัวไม่ทราบค่า 4 ตัว คือ ค่าพิกัดของจุด 3 ตัว ( $X, Y, Z$ ) และค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาอีก 1 ตัว (ดูรูปที่ 2.11) ความถูกต้องของวิธีการนี้อยู่ระหว่าง 10 - 25 เมตร เมื่อใช้รหัส C/A (ซูเกียร์ติ วิเชียรเจริญ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2545)



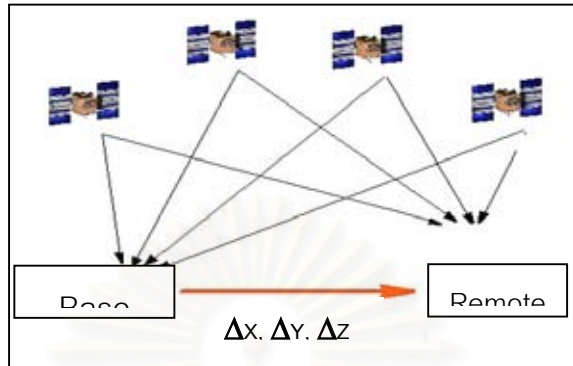
รูปที่ 2.11 แสดงการหาตำแหน่งจุดเดียว

### 2.6.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

เป็นการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกันระหว่างจุดสองจุด จึงให้ความถูกต้องของตำแหน่งดีกว่าการหาตำแหน่งจุดเดียว วิธีนี้ต้องทราบค่าพิกัดของจุดอย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการหาตำแหน่งของจุดอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องรับอย่างน้อย 2 เครื่องเพื่อวางบนหมุดที่ทราบค่าพิกัด เรียกจุดนี้ว่าสถานีฐาน (Base Station) ส่วนเครื่องรับอื่นนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกับสถานีฐาน เรียกจุดนี้ว่าสถานีรีโมท (Remote Station) หลักการหาตำแหน่งคือ เครื่องรับที่สถานีฐานและสถานีรีโมทจะต้องรับวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและที่ช่วงเวลาเดียวกัน(ดูรูปที่ 2.12) เพื่อให้ค่าคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบ (Systematic Error) เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับและค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของดาวเทียม หักล้างกันไปจนเกือบหมด เนื่องจากมีลักษณะที่คล้ายกันและมีขนาดเท่าๆกันเมื่อคำนวณค่าต่างของตำแหน่งทั้งสอง ส่งผลให้ความถูกต้อง



ต้องของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ให้ความถูกต้องในระดับ 2-5 เมตร ในการวัดแบบชุดโพรเจกต์ และหากต้องการความละเอียดสูงในระดับเซนติเมตรก็ใช้วิธีการวัดเฟสกับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์



รูป 2.12 แสดงการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

## 2.7 การรังวัดแบบสถิต (Static Survey)

การรังวัดแบบสถิตเป็นการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยการวัดเฟสของคลื่นส่ง เป็นวิธีการรังวัดที่เครื่องรับสัญญาณไม่มีการเคลื่อนที่ เครื่องรับจะถูกลวางไว้ที่จุดปลายของเส้นฐานที่ต้องการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงต้องวางเครื่องรับสัญญาณให้นานพอที่จะนำข้อมูลการวัดระยะไปคำนวณหาค่าเลขปริศนาได้ตามเกณฑ์ความถูกต้องที่ต้องการ ระยะเวลาที่ทำงานรังวัดขึ้นอยู่กับความยาวเส้นฐาน จำนวนดาวเทียมและเรขาคณิตของดาวเทียมด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการรังวัดแบบสถิตโดยใช้เส้นฐานขนาดสั้น

## 2.8 เทคนิคการแปลงเวฟเลท (Wavelet transform)

### 2.8.1 ประวัติและวิวัฒนาการของเวฟเลท

เทคนิคเวฟเลทเกิดขึ้นมาโดยมีพื้นฐานมาจากการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ซึ่งนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้พัฒนาการแปลงฟูเรียร์ขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบายการแพร่ของอุณหภูมิและการนำความร้อน หลังจากนั้นจึงได้นำการแปลงฟูเรียร์ไปใช้ประโยชน์กับงานหลายๆด้าน เช่นการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในงานวิศวกรรมเครื่องกล การวิเคราะห์วงจรในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการประมวลผลภาพทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น แต่การแปลงฟูเรียร์นั้นเหมาะกับการวิเคราะห์สัญญาณที่มีความคงตัว (Stationary Signal) จึงทำให้มีการพัฒนาเทคนิคการแปลงเวฟเลทขึ้นมาและใช้วิเคราะห์สัญญาณที่ไม่คงตัวได้ มีการกล่าวถึงการแปลงเวฟเลทเป็นครั้งแรกในวิทยานิพนธ์ของ A.Harr ในปีพ.ศ.2452 ต่อจากนั้นได้มีการพัฒนาเวฟ

เลทเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในสาขาต่างๆ เช่น สาขาควอนตัมฟิสิกส์ เป็นต้น และถือเป็นจุดเริ่มต้นของทฤษฎีเวฟเลท ต่อมาในปี.ศ.2526 นักวิจัยชื่อ Morlet ได้ใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหว ในปี.ศ. 2529 Stephane Mallat ได้นำเทคนิคเวฟเลทมาใช้ในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing) และอีกสองปีต่อมา Ingrid Daubechies ได้นำผลงานของ Stephane Mallat มาพัฒนาต่อและสร้างเป็นฟังก์ชันพื้นฐานของเวฟเลท (Wavelet Basis Function) ซึ่งถือว่าเป็นฟังก์ชันพื้นฐานของเวฟเลทที่ดีที่สุด ซึ่งกลายเป็นการประยุกต์ใช้เวฟเลทครั้งสำคัญและได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆได้แพร่หลายขึ้นในปัจจุบัน เช่น ในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งมีประโยชน์มากในการประมวลผลสัญญาณ หรือใช้อธิบายลักษณะต่างๆ หรือระบบใดๆ เช่นอธิบายลักษณะการเต้นของหัวใจ การหาขอบภาพ การลดขนาดข้อมูลภาพและสัญญาณ เป็นต้น

เจษฎา ตรีวิทยานุรักษ์ (2542) ให้ความหมายของเทคนิคการแปลงเวฟเลทไว้ดังนี้ เวฟเลทเป็นคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการแบ่งสัญญาณหรือฟังก์ชันออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนมีองค์ประกอบในเชิงความถี่แตกต่างกันไปและศึกษาหรือวิเคราะห์แต่ละส่วนด้วยความละเอียด (Resolution) ที่เหมาะสมกับมาตราส่วน (Scale) ของส่วนนั้นๆ โดยทั่วไปการวิเคราะห์สัญญาณอาจทำได้สองวิธีคือ การวิเคราะห์สัญญาณในเชิงเวลา (Time Domain) ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอย่างชัดเจนในขณะที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป และการวิเคราะห์สัญญาณในเชิงความถี่ (Frequency Domain) หรือสัญญาณที่ทราบความถี่และพลังงานของแต่ละองค์ประกอบของสัญญาณ การวิเคราะห์สัญญาณในเชิงความถี่นั้นนิยมใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) และหากต้องการทำการวิเคราะห์สัญญาณในเชิงเวลาดำเนินการแปลงฟูเรียร์ก็ต้องเปลี่ยนสัญญาณที่จะทำการแปลงฟูเรียร์ให้เป็นสัญญาณในเชิงความถี่ก่อน การแปลงฟูเรียร์จะมีฟังก์ชันพื้นฐานในเทอมของฟังก์ชันไซน์ และฟังก์ชันโคไซน์ซึ่งเป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีคุณสมบัติเชิงตั้งฉาก เหมาะสมกับสัญญาณที่มีลักษณะคงตัว เท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์มักมีลักษณะเป็นสัญญาณไม่คงตัว (Non-Stationary Signal) หรือเป็นสัญญาณคงตัวเป็นช่วง (Quasi-Stationary Signal) ดังนั้นการวิเคราะห์โดยใช้การแปลงฟูเรียร์จึงไม่เหมาะสมกับสัญญาณชนิดนี้ ส่วนการแปลงเวฟเลทสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงเวลาและความถี่ เนื่องจากมีฟังก์ชันพื้นฐานที่ต่างออกไปจากการแปลงฟูเรียร์ ดังนั้นการแปลงเวฟเลทจึงอาจเรียกว่าเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สัญญาณในเชิงเวลา – ความถี่ (Time –frequency Domain)

## 2.8.2 การแปลงเวฟเลท

พีระ เลียวประเสริฐพร (2544) ได้กล่าวไว้ว่า ทฤษฎีเวฟเลทสามารถใช้อธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่งเสมือนการแตกสิ่งนั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆที่สัมพันธ์กันคล้ายๆกับภาพ

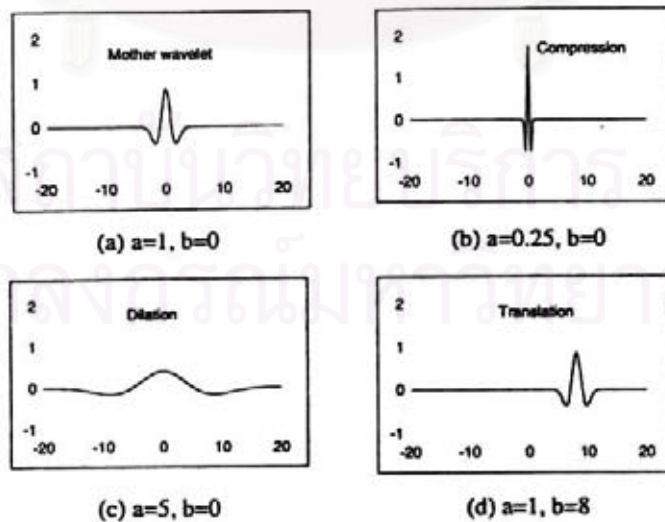
ต่อปริศนา (Jig-Saw Puzzle) โดยที่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของ เวฟเลทแม่หรือมาเธอร์เวฟเลท (Mother Wavelet :  $\psi(t)$ ) ซึ่งมาเธอร์เวฟเลทนี้ จะสร้างเวฟเลทตระกูลอื่นๆ  $\psi_{a,b}(t)$  ได้ โดยสามารถเขียนเป็นสมการพื้นฐานได้ดังนี้ (Motard และ Joseph ,1994)

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad , a > 0 \text{ และ } b \in \mathbb{R} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $a$  คือ พารามิเตอร์ของการสเกล  
 $b$  คือ พารามิเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง  
 $t$  คือ ช่วงเวลาในการวิเคราะห์สัญญาณ

โดยปกติ  $a$  จะมีค่าเป็น 1 และ  $b=0$  จากสมการที่ 2.5 มาเธอร์เวฟเลทถูกสเกล (Scaling) ด้วยค่า  $a$  ซึ่งหมายถึงการหดเข้า(Compression) หรือการขยายออก(Dilation) ถือเป็น การเปลี่ยนความถี่ของเวฟเลทเมื่อนั้นเอง และเลื่อนตำแหน่งการเกิดของคลื่นเวฟเลทบนแกนเวลา (Translation) ด้วยค่า  $b$  โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆคุณอยู่กับสัมประสิทธิ์เวฟเลทแต่ละตัว เรียก กระบวนการนี้ว่าการแปลงเวฟเลท (Wavelet Transform) ค่า  $a,b$  จะเป็นค่าที่แสดงระดับความสัมพันธ์กัน (Degree of Correlation) ระหว่างเวฟเลทแม่ที่ถูกสเกลด้วยค่า  $a$  และสัญญาณนำเข้า (Input Signal) ที่ตำแหน่งเวลาด้วยค่า  $b$

และเพื่อให้เวฟเลทที่ถูกสเกลไปแล้วยังมีพลังงานเหมือนมาเธอร์เวฟเลทจึงทำให้ เป็นบรรทัดฐาน(Normalize) โดย คุณด้วย  $\frac{1}{\sqrt{|a|}}$



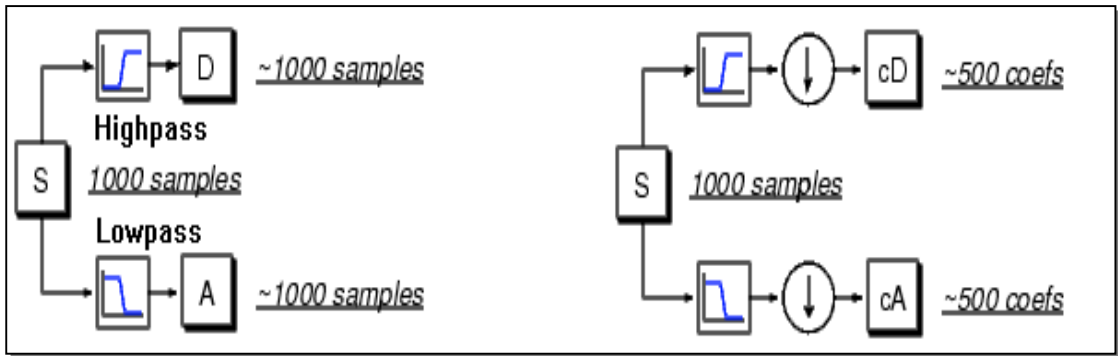
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของมาเธอร์เวฟเลทและการแปลงเวฟเลท (Motard และ Joseph ,1994)

จากรูปที่ 2.13 แกนนอนคือช่วงเวลาส่วนแกนตั้งคือความถี่ รูป(a)แสดงให้เห็นถึงลักษณะของมาเธอร์เวฟเลทในตระกูล Mexican hat ส่วนรูป(b)เป็นการนำมาเธอร์เวฟเลทไปหัดเข้าเพื่อให้ได้คลื่นที่มีความถี่สูง ส่วนการยืดขยายมาเธอร์เวฟเลทเพื่อให้ได้คลื่นที่มีความถี่ต่ำแสดงในรูป(c) และการเลื่อนตำแหน่งการเกิดของคลื่นเวฟเลทไปตามแกนเวลาเพื่อให้ได้ลักษณะของคลื่นที่ต้องการพิจารณานั้นแสดงในรูป(d) ดังนั้นการแปลงเวฟเลทก็คือการเปลี่ยนรูปของมาเธอร์เวฟเลทให้มีรูปแบบต่างๆตามค่าพารามิเตอร์ a และ b นั้นเอง ซึ่งลักษณะของมาเธอร์เวฟเลทจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน

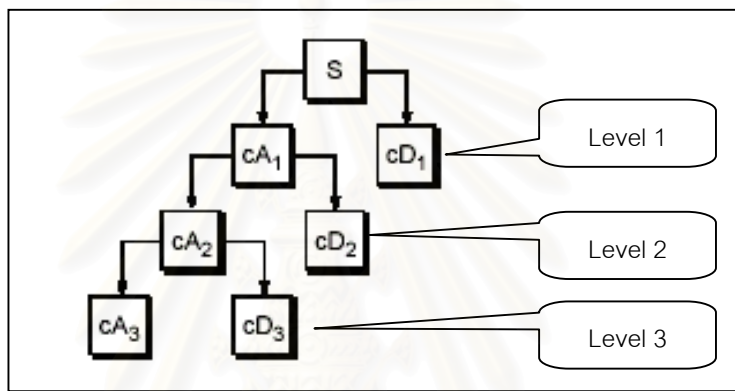
### 2.8.3 การแปลงเวฟเลทแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis)

จากกระบวนการกระจายชิ้นส่วนที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.8.2 นั้นเรียกว่า การกระจายเวฟเลท (Wavelet Decomposition) ในทำนองเดียวกัน การนำชิ้นส่วนประกอบย่อยๆ มาเรียงต่อกันเพื่อประกอบเป็นสัญญาณเดิมเรียกว่า การแปลงกลับเวฟเลท (Wavelet Reconstruction) และเพื่อให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์หาลักษณะของคลื่นหลายวิธีจึงเลือกใช้วิธีการแปลงเวฟเลทแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis) ซึ่งมีหลักการดังนี้

1) ทำการกระจายเวฟเลท (Wavelet Decomposition) โดยผ่านสัญญาณเข้าตัวกรองสัญญาณ (filter) เพื่อทำการแยกสัญญาณที่มีความถี่สูงและความถี่ต่ำออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของข้อมูลละเอียด (Detail: D) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองแบบไฮพาส (High-Pass Filter: HPF) หรือสัญญาณที่มีความถี่สูง และส่วนของข้อมูลหยาบหรือค่าประมาณ (Approximation: A) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองแบบโลว์พาส (Low-Pass Filter: LPF) หรือสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยใช้กระบวนการ Down-Sampling เพื่อให้สัญญาณมีขนาดลดลงครึ่งหนึ่ง ผลลัพธ์ของสัญญาณที่ผ่านกระบวนการ Down-Sampling คือ สัมประสิทธิ์ของรายละเอียด (cD) และสัมประสิทธิ์ของค่าประมาณ (cA) ซึ่งมีจำนวนสัมประสิทธิ์ลดลงครึ่งหนึ่งและถือเป็นการกระจายเวฟเลทในระดับที่ 1 หากผลการกระจายในระดับที่ 1 ยังไม่ตรงตามความต้องการ ก็สามารถที่จะทำการกระจายต่อในระดับที่ 2 โดยนำส่วนค่าประมาณไปทำการกระจายซ้ำอีกจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



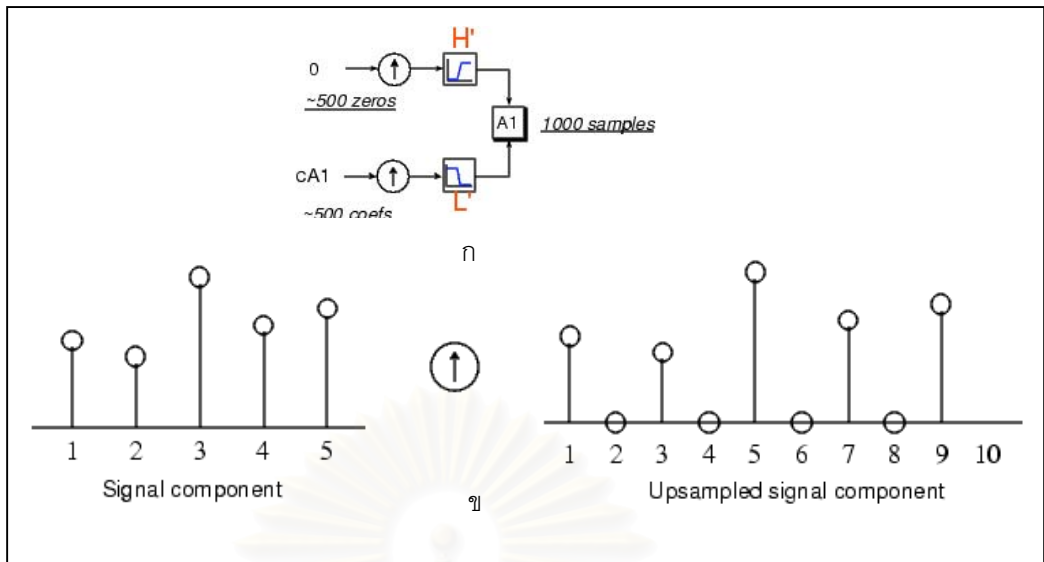
รูปที่ 2.14 แสดงการกระจายเวฟเลตในระดับที่ 1 (Misiti, M. และคณะ 2000)



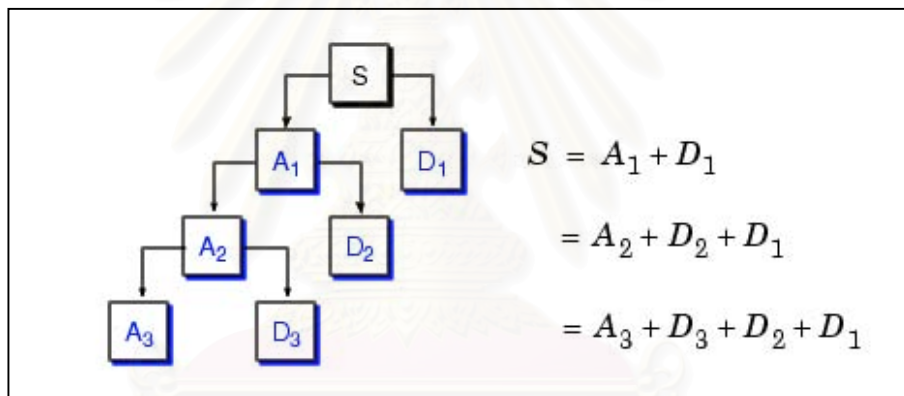
รูปที่ 2.15 แสดงการกระจายเวฟเลตแบบหลายระดับความละเอียด (Misiti, M. และคณะ 2000)

2) การแปลงกลับเวฟเลต (Wavelet Reconstruction) เป็นขั้นตอนการสร้างข้อมูลกลับเพื่อให้ได้สัญญาณที่ผ่านการกรองโดยมีจำนวนข้อมูลเท่าเดิมและไม่มีการสูญเสียสัมประสิทธิ์ไป ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ก. โดยการนำสัมประสิทธิ์เวฟเลตไปทำการสังเคราะห์ผ่านขบวนการ Up-Sampling หรือการทำให้องค์ประกอบของสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้นโดยการแทรกสัญญาณที่เป็นศูนย์ลงไประหว่างช่องว่างของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.16 ข. จำนวนครั้งในขบวนการ Up-Sampling จะมีค่าเท่ากับจำนวนครั้งในการกระจายเวฟเลตด้วย ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งเป็นตัวอย่างการแปลงกลับเวฟเลตแบบหลายระดับความละเอียดจากการกระจายเวฟเลตในระดับที่ 3 สามารถเขียนสมการได้เป็น  $Singal = A_3 + D_1 + D_2 + D_3$  ดังรูปที่ 2.17





รูปที่ 2.16 แสดงขั้นตอนการแปลงกลับเวฟเลข (Misiti, M. และคณะ 2000)



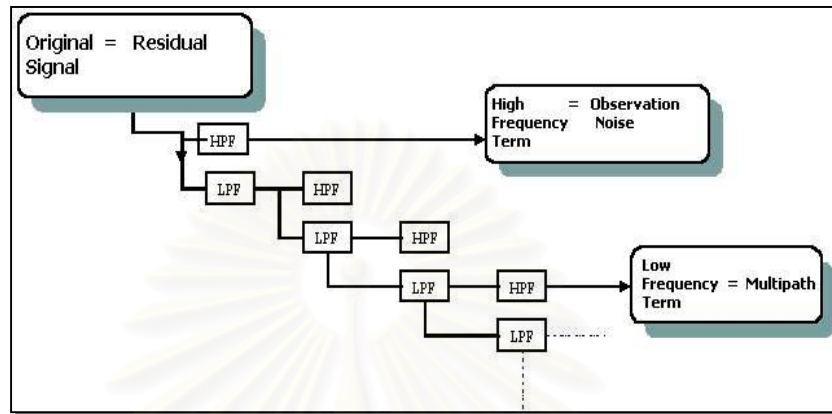
รูปที่ 2.17 แสดงองค์ประกอบของสัญญาณหลังจากการแปลงกลับเวฟเลข

(Misiti, M. และคณะ 2000)

## 2.9 การประยุกต์ใช้เวฟเลขกับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

จากการศึกษาของ Fu และ Rizos (1997) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เช่น คลื่นหลายวิถีและการแพร่กระจายของคลื่นในชั้นไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีพฤติกรรมเหมือนกับสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ต่ำ (Low-Frequency Noise) ส่วนสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดนั้น จะมีพฤติกรรมเหมือนกับสัญญาณรบกวนในย่านความถี่สูง (High-Frequency Noise) สัญญาณที่มีคลื่นหลายวิถีรวมอยู่ด้วยเช่น ค่าเศษเหลือจากการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด ของค่าต่างแบบ Double Difference ซึ่งมีคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งรวมอยู่ด้วยนั้น จะนำมาผ่านการแปลงเวฟเลขแบบหลายระดับความละเอียด

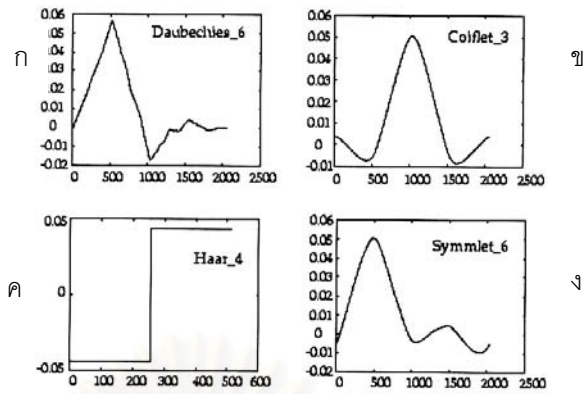
โดยที่แต่ละระดับความละเอียดจะแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนซึ่งเปรียบเสมือนผ่านการกรองแบบไฮพาส (High-Pass Filter: HPF) และการกรองแบบโลว์พาส (Low-Pass Filter: LPF) ส่วนที่ผ่านการกรองแบบไฮพาส คือข้อมูลที่มีความถี่สูงหรือสัญญาณรบกวน อีกส่วนหนึ่งผ่านการกรองแบบโลว์พาส คือข้อมูลความถี่ต่ำหรือคลื่นหลายวิถี ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การกรองสัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด  
(ปรับปรุงจาก Satirapod et al, 2001)

ในขั้นตอนการกรองสัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดนั้น ตระกูลของเวฟเลท (Wavelet Family) ที่เป็นที่รู้จักและนิยมนำมาใช้ในการกรองสัญญาณประกอบด้วย Daubechies (dbN) ,Coiflet(coifN) ,Haar(haar) และ Symlets(symN) เนื่องจากเวฟเลททั้ง 4 ตระกูลนี้มีคุณสมบัติครอบคลุมการประมวลผลสัญญาณมากกว่าตระกูลอื่นๆ โดยมีลักษณะของเวฟเลทฟังก์ชันที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.19 โดยที่ Haar เป็นเวฟเลทที่คิดค้นขึ้นมาเป็นตระกูลแรกและมีเวฟเลทฟังก์ชันที่สมมาตร (ดูรูป 2.19ค.) จากนั้นจึงพัฒนามาเป็น Daubechies, Coiflet และ Symlets ซึ่งทั้งสามตระกูลหลังนี้มีเวฟเลทฟังก์ชันที่มีความสมมาตรน้อยกว่า (ดูรูป 2.19ก. 2.19ข. และ 2.19ง.) ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องเลือกตระกูลเวฟเลทให้เหมาะสมกับสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เวฟเลทตระกูล Symlet ในการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมเนื่องจากให้ผลลัพธ์จากการกรองแบบหลายระดับความละเอียดเป็นที่น่าพอใจกว่าเวฟเลทตระกูลอื่น (รจนา คุณพูล และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546) ผลการวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้เวฟเลทตระกูลอื่นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.





รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของตระกูลเวฟเลต (เจาะฐา ตีรวิทยานุรักษ์. 2542)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

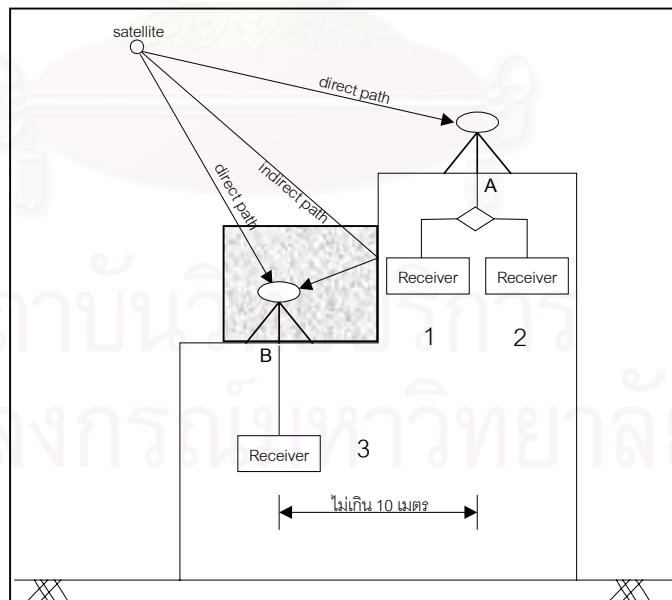
### บทที่ 3

## การปฏิบัติงานสนาม

ในงานสำรวจรังวัดทุกชนิด ก่อนที่จะออกปฏิบัติงานสนาม ควรจะมีการวางแผนปฏิบัติงานเสมอ เพื่อให้งานสำเร็จลงตามเป้าหมายที่วางไว้รวมถึงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายด้วย หลังจากวางแผนปฏิบัติงานเรียบร้อยแล้วจึงจะเริ่มงานสนามต่อไป ขั้นตอนการวางแผนปฏิบัติงานสนามของงานวิจัยนี้ มีดังนี้

### 3.1 การวางแผนปฏิบัติงานเบื้องต้น

คือการสำรวจพื้นที่ที่จะปฏิบัติงานโดยสังเขป ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ดาวฟ้าอาคารสูงเป็นจุดรับสัญญาณเพื่อให้สิ่งแวดลอมรอบข้างปราศจากพื้นผิวที่มีการสะท้อนของคลื่นหรือสาเหตุอื่นที่จะทำให้เกิดคลื่นหลายวิถีได้ดังเช่นจุด A ในรูปที่ 3.1 และในขณะเดียวกันก็ต้องรับสัญญาณบริเวณใกล้เคียงกันในรัศมี 10 เมตรซึ่งจะต้องมีการเกิดคลื่นหลายวิถีด้วย(จุดB) ซึ่งบริเวณที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบที่ต้องการที่สุดคือ บริเวณดาวฟ้าของอาคารวิทยนิเวศน์ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาคารสูง 14 ชั้น



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส โดยแบ่งออกเป็นสองชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 วางเครื่องรับไว้ที่จุด A (ดังรูปที่ 3.1) ด้วยเครื่องรับ 2 เครื่องและใช้เสาอากาศร่วมกัน โดยต่อกล่องแยกสัญญาณเสาอากาศ (Antenna Splitter) เข้ากับเสาอากาศ 1 อันจากนั้นจึงต่อสายสัญญาณเข้าเครื่องรับสัญญาณ 2 เครื่อง คือเครื่องรับหมายเลข 1 และ 2

ชุดที่ 2 วางเครื่องรับไว้ที่จุด B จำนวน 1 เครื่อง (เครื่องรับหมายเลข 3) และใช้เสาอากาศ 1 อัน

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ชัดว่า ตำแหน่งจุด A จะอยู่ในบริเวณที่ไม่มีการเกิดคลื่นหลายวิถี และกำหนดให้เป็นสถานีฐาน (Base Station) ส่วนตำแหน่งจุด B จะเป็นจุดที่มีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นเนื่องจากติดตั้งใกล้กับกำแพงคอนกรีต

### 3.2 การเตรียมการเพื่อปฏิบัติงานสนาม

เนื่องจากในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการรังวัดแบบสถิตที่มีเส้นฐานสั้น และจุดปลายของเส้นฐานทั้งสองจุดสามารถมองเห็นกันและใกล้กัน ดังนั้นจึงตัดปัญหาเรื่องการเดินทางออกไปได้ แต่จะต้องทำการรังวัดเป็นเวลานานอย่างน้อย 72 ชั่วโมง หรือ 3 วัน ดังนั้นการเตรียมความพร้อมทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์จึงเป็นสิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรตรวจสอบหน่วยความจำของเครื่องรับสัญญาณทุกครั้งก่อนออกปฏิบัติงาน

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการรังวัดดาวเทียม มีดังนี้

- |                                                                                                                                                                                                                                              |       |   |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|---------|
| 1. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบสองความถี่                                                                                                                                                                                              | จำนวน | 3 | เครื่อง |
| ยี่ห้อ LEICA รุ่น System 500                                                                                                                                                                                                                 |       |   |         |
| 2. ขาดังกล้อง                                                                                                                                                                                                                                | จำนวน | 2 | ชุด     |
| 3. สายต่อเสาอากาศกับเครื่องรับสัญญาณยาว 10 ม.                                                                                                                                                                                                | จำนวน | 2 | เส้น    |
| 4. Antenna Splitter                                                                                                                                                                                                                          | จำนวน | 1 | ชุด     |
| 5. ขาทราย                                                                                                                                                                                                                                    | จำนวน | 2 | ชุด     |
| 6. แบตเตอรี่แบบต่อภายนอก                                                                                                                                                                                                                     |       |   |         |
| 7. อุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น เช่น ไฟฉาย สายไฟพร้อมเต้าเสียบ ถุงทรายพร้อมเชือกเพื่อวางทับขากล้องให้มีน้ำหนักเพื่อต้านแรงลม เชือกหรือลวดเพื่อใช้ผูกขาดังกล้องยึดติดไว้กับตัวอาคาร เพื่อไม่ให้ล้มหากมีลมพัดแรง เนื่องจากรับการทำงานบนดาดฟ้าอาคารสูง |       |   |         |

### 3.3 การปฏิบัติงานสนาม

ในขั้นตอนนี้เป็นการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสตามตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสทั้งหมด 2 ครั้งโดยกำหนดให้ใช้ค่าความถี่ในการรับข้อมูล (Sampling Rate) ต่างกันเพื่อให้เห็นถึงลักษณะของคลื่นหลายวิถีเมื่อใช้ข้อมูลที่ม้อัตราถี่แตกต่างกันทั้งสองชุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.3.1. ข้อมูลพ.ศ.2545

ทำการรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน โดยเริ่มจากวันที่ 25 ตุลาคม 2545 เวลา 14:00 น. ถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2545 เวลา 14:00 น. การรับสัญญาณดาวเทียมในครั้งนี้ กำหนดให้รับสัญญาณทุกๆ 15 วินาที (Sampling Rate=15 second) ตัดสัญญาณที่ต่ำกว่า 10 องศาออกไปเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนจากการหักเหในชั้นบรรยากาศ และกำหนดให้จุด B ซึ่งวางเครื่องรับหมายเลข 3 นั้น อยู่ห่างจากกำแพงคอนกรีต 1.50 ม. รายละเอียดการบันทึกสัญญาณดาวเทียมของเครื่องรับแต่ละเครื่องแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ถึง 3.3

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 25-31 ต.ค. 2545 ของเครื่องรับหมายเลข 1

ลำดับ	ชนิดของข้อมูล	เริ่ม		สิ้นสุด	
		วันที่	เวลา	วันที่	เวลา
1	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	25/10/02	6:37:45	26/10/02	6:38:45
2	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	26/10/02	6:39:00	27/10/02	7:05:00
3	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	27/10/02	7:05:15	28/10/02	7:00:15
4	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	28/10/02	7:00:30	29/10/02	7:00:30
5	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	29/10/02	7:00:45	30/10/02	7:00:30
6	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	30/10/02	7:00:45	31/10/02	7:01:45

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 25-31 ต.ค. 2545 ของเครื่องรับหมายเลข 2

ลำดับ	ชนิดของข้อมูล	เริ่ม		สิ้นสุด	
		วันที่	เวลา	วันที่	เวลา
1	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	25/10/02	6:37:45	26/10/02	6:38:45
2	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	26/10/02	6:39:00	27/10/02	7:05:00
3	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	27/10/02	7:05:15	28/10/02	7:00:15
4	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	28/10/02	7:00:30	29/10/02	7:00:30
5	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	29/10/02	7:00:45	30/10/02	7:00:30
6	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	30/10/02	7:00:45	31/10/02	7:01:45

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 25-31 ต.ค. 2545  
ของเครื่องรับหมายเลข 3

ลำดับ	ชนิดของข้อมูล	เริ่ม		สิ้นสุด	
		วันที่	เวลา	วันที่	เวลา
1	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	25/10/02	6:37:45	26/10/02	6:38:45
2	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	26/10/02	6:39:00	27/10/02	7:05:00
3	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	27/10/02	7:05:15	28/10/02	7:00:15
4	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	28/10/02	7:00:30	29/10/02	7:00:15
5	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	29/10/02	7:00:30	30/10/02	7:00:30
6	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	30/10/02	7:00:45	31/10/02	7:01:30

หมายเหตุ วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT

### 3.3.2 ข้อมูลพ.ศ.2546

ทำการรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องเป็นเวลา3วันโดยเริ่มจากวันที่ 24 ตุลาคม 2546 เวลา14:00 น. ถึงวันที่ 26 ตุลาคม 2546 เวลา 14:00 น. การรับสัญญาณดาวเทียมในครั้งนี้ กำหนดให้รับสัญญาณทุกๆ 1 วินาที (Sampling Rate=1 second) ตัดสัญญาณที่ต่ำกว่า 10 องศาออกไป และกำหนดให้จุด B ซึ่งวางเครื่องรับหมายเลข 3 นั้น อยู่ห่างจากกำแพงคอนกรีต 1.00 ม. รายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมของเครื่องรับแต่ละเครื่องแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ถึง 3.6

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 24-26 ต.ค. 2546  
ของเครื่องรับหมายเลข 1

ลำดับ	ชนิดของข้อมูล	เริ่ม		สิ้นสุด	
		วันที่	เวลา	วันที่	เวลา
1	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/24/03	07:53:03	10/24/03	20:12:04
2	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/25/03	00:58:24	10/26/03	00:58:14
3	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/26/03	01:12:07	10/27/02	01:58:57

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 24-26 ต.ค. 2546  
ของเครื่องรับหมายเลข 2

ลำดับ	ชนิดของข้อมูล	เริ่ม		สิ้นสุด	
		วันที่	เวลา	วันที่	เวลา
1	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/24/03	07:53:03	10/24/03	21:10:50
2	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/24/03	22:55:45	10/26/03	00:58:25
3	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/26/03	01:12:08	10/27/03	04:13:06

ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวันที่ 24-26 ต.ค. 2546  
ของเครื่องรับหมายเลข 3

ลำดับ	ชนิดของข้อมูล	เริ่ม		สิ้นสุด	
		วันที่	เวลา	วันที่	เวลา
1	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/24/03	04:36:39	10/24/03	21:10:54
2	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/24/03	22:55:47	10/26/03	00:58:57
3	$P_1 \varphi_1 P_2 \varphi_2$	10/26/03	01:12:06	10/27/03	04:13:07

หมายเหตุ วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT

ตำแหน่งที่วางเสาอากาศเพื่อรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสบนดาดฟ้าอาคารวิทยนิเวศน์  
แสดงในรูปที่ 3.2 ถึงรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 แสดงการวางอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS บนอาคารวิทยนิเวศน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.3 แสดงการวางเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่จุด A



รูปที่ 3.4 แสดงการวางเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่จุด B

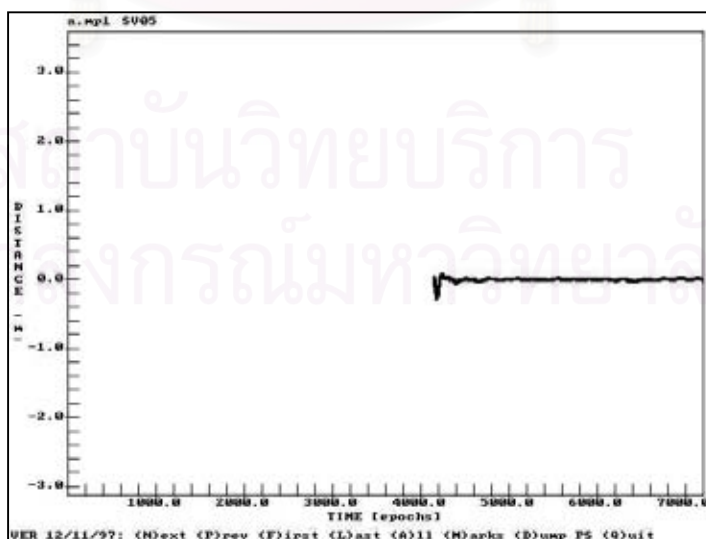
## บทที่ 4

### การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากได้ทำการเก็บข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแล้ว จะต้องนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการประมวลผลเพื่อคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สนใจ โดยใช้ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการประมวลผล โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

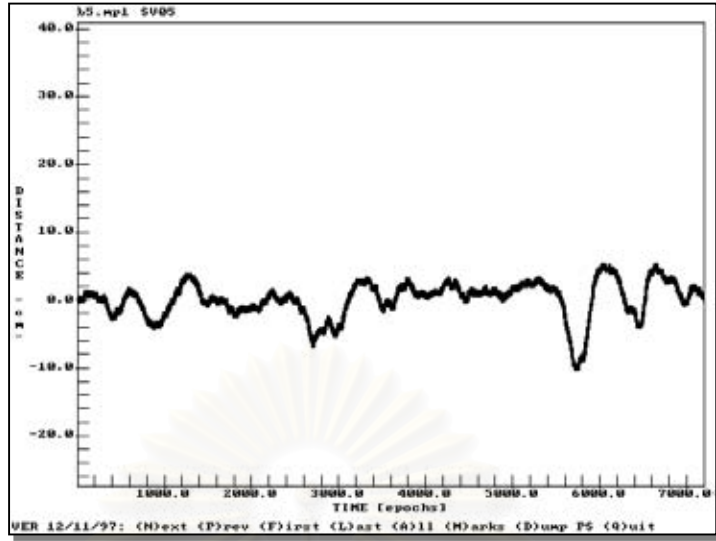
#### 4.1 ตรวจสอบข้อมูล

ก่อนที่จะนำข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสไปประมวลผลเพื่อหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จำเป็นต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเพื่อค้นหาช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีอย่างคร่าวๆของข้อมูลในแต่ละวันเพื่อจะได้เลือกช่วงเวลาในการประมวลผลให้ตรงกับช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถี โดยใช้ซอฟต์แวร์ TEQC เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบคุณภาพ (UNAVCO , 2003) ข้อมูลที่จะนำมาตรวจสอบคุณภาพต้องจัดให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลจีพีเอสซึ่งเรียกว่า RINEX (Receiver Independent Exchange Format) ก่อน จึงจะสามารถนำข้อมูลไปตรวจสอบคุณภาพได้ ซอฟต์แวร์ TEQC เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส (DOS) ซึ่งทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลดาวเทียมโดยสร้างไฟล์ผลลัพธ์ที่มีขนาดของคลื่นหลายวิถีในรูปแบบของไฟล์นามสกุล mp1 (XXX.mp1) ซึ่งสามารถแสดงขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ในรูปแบบกราฟเส้นโดยแยกตามหมายเลขดาวเทียม ดังแสดงในรูป 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ จากดาวเทียม

หมายเลข PRN05 (ที่จุด A)



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชูโดเรนท์ จากดาวเทียม หมายเลข PRN05 (ที่จุด B)

จากรูป แกนนอนแสดงช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีมีหน่วยเป็น epoch รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชูโดเรนท์ จากดาวเทียมหมายเลข PRN05 ในวันที่ 24 ต.ค. 2546 เมื่อวางเสาอากาศไว้ที่จุด A (ข้อมูลชุดที่ 1) แกนตั้งแสดงขนาดของคลื่นหลายวิถี มีหน่วยเป็นเมตร และรูปที่ 4.2 แสดงขนาดของคลื่นหลายวิถีจากดาวเทียมดวงเดียวกัน เมื่อวางเสาอากาศไว้ที่จุด B (ข้อมูลชุดที่ 2) โดยแกนตั้งแสดงขนาดของคลื่นหลายวิถี มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบหาช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ของข้อมูลทั้งหมด ตัวอย่างของผลจากการตรวจสอบข้อมูลมีดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ในปี พ.ศ.2545 ของเครื่องรับ หมายเลข 3 (วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT)

หมายเลขดาว เทียม	ช่วงเวลา ที่เกิดคลื่น หลายวิถี	วันที่					
		25 ต.ค. 45	26 ต.ค. 45	27 ต.ค. 45	28 ต.ค. 45	29 ต.ค. 45	30 ต.ค. 45
PRN02	เวลาเริ่ม	-	-	08:20:15	08:15:30	08:03:01	08:03:16
	สิ้นสุด	-	-	9:10:15	09:05:30	08:53:01	08:40:46
PRN07	เวลาเริ่ม	-	11:39:00	11:40:14	11:53:29	11:23:00	10:33:16
	สิ้นสุด	-	12:29:00	12:30:14	12:50:29	12:25:30	13:03:16

ตารางที่ 4.1(ต่อ) แสดงช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ในปี พ.ศ.2545 ของ  
เครื่องรับหมายเลข 3 (วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT)

หมายเลขดาว เทียม	ช่วงเวลา ที่เกิดคลื่น หลายวิถี	วันที่					
		25 ต.ค. 45	26 ต.ค. 45	27 ต.ค. 45	28 ต.ค. 45	29 ต.ค. 45	30 ต.ค. 45
PRN14	เวลาเริ่ม	0:07:45	0:09:00	22:55:14	23:15:30	22:50:29	23:03:16
	สิ้นสุด	0:32:45	0:34:00	0:53:14	0:43:00	0:42:59	02:35:45
PRN28	เวลาเริ่ม	11:47:45	11:39:00	11:15:16	11:10:31	11:10:31	-
	สิ้นสุด	12:02:45	12:29:00	12:05:16	11:48:01	11:48:01	-
PRN30	เวลาเริ่ม	18:42:44	13:34:01	18:32:44	18:15:30	18:27:53	17:50:44
	สิ้นสุด	19:32:44	19:45:41	20:25:14	20:08:00	20:07:59	18:53:14

ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ของปีพ.ศ. 2546 ของเครื่องรับ  
หมายเลข 3(วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT)

หมายเลขดาว เทียม	ช่วงเวลา ที่เกิดคลื่น หลายวิถี	วันที่		
		24 ต.ค. 46	25 ต.ค. 46	26 ต.ค. 46
PRN05	เวลาเริ่ม	17:30:00	17:30:00	17:30:00
	สิ้นสุด	18:00:00	18:00:00	18:00:00
PRN07	เวลาเริ่ม	10:00:00	10:00:00	10:00:00
	สิ้นสุด	10:50:00	10:50:00	10:50:00
PRN10	เวลาเริ่ม	17:30:00	17:30:00	17:30:00
	สิ้นสุด	18:00:00	18:00:00	18:00:00
PRN27	เวลาเริ่ม	09:14:00	09:14:00	09:14:00
	สิ้นสุด	10:00:00	10:00:00	10:00:00

เมื่อตรวจสอบหาช่วงเวลาที่เกิดคลื่นหลายวิถีอย่างคร่าวๆ ได้แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อหา  
ลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลทั้งสองประเภท ต่อไป

## 4.2 การประมวลผลเพื่อหาลักษณะของคลื่นหลายวิถี

สำหรับงานวิจัยนี้ได้จัดเตรียมข้อมูลจีพีเอสไว้ 2 ชุด (ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1) คือ

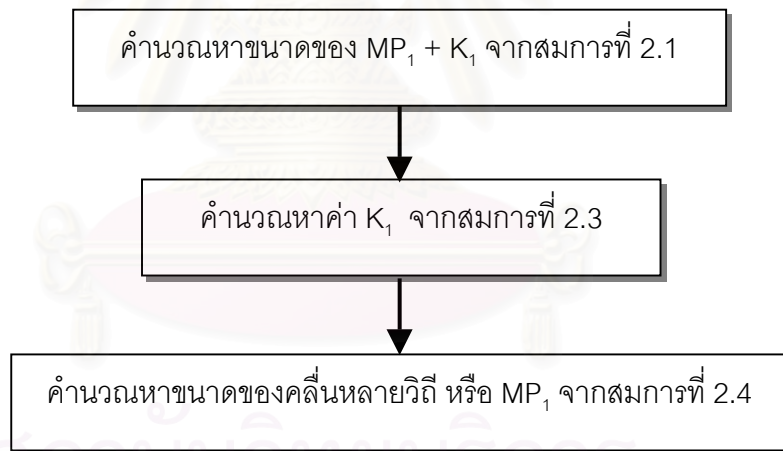
ข้อมูลชุดที่ 1 ได้จากเครื่องรับหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ซึ่งใช้เสาอากาศอันเดียวกัน และวางอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีได้น้อยหรือไม่มีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นเลย

ข้อมูลชุดที่ 2 ได้จากเครื่องรับหมายเลข 3 ซึ่งวางเสาอากาศไว้ในตำแหน่งที่มีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีในข้อมูลจีพีเอสได้ เนื่องจากสัญญาณไปกระทบกับพื้นผิวอื่น ก่อนที่จะเดินทางเข้ามายังเสาอากาศ

เนื่องจากคลื่นหลายวิถีสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งข้อมูลชุดโคเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ดังนั้นการคำนวณหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีจึงต้องทำการคำนวณกับข้อมูลทั้งสองชนิด

### 4.2.1 การหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโคเรนจ์

ลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโคเรนจ์นั้นพิจารณาได้จากขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลทั้งสองชุด ซึ่งได้จากการนำข้อมูลจีพีเอสในรูปแบบ RINEX มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองจากโปรแกรม MATLAB ตามสมการที่ 2.1 ถึง 2.4 ดังแผนผังในรูปที่ 4.3 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโคเรนจ์

ขั้นตอนที่ 1 นำค่า  $P_1$ ,  $\phi_1$  และ  $\phi_2$  ที่อ่านได้จากข้อมูลจีพีเอสไปทำการคำนวณหาขนาดของ  $MP_1 + K_1$  โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสในช่วงเวลายาวนาน อย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า  $K_1$  ได้ ตามสมการที่ 2.2 ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.1

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาขนาดของ  $K_1$  จากค่าเฉลี่ยของขนาด  $MP_1 + K_1$  ทั้งหมดที่คำนวณไว้ในขั้นตอนที่ 1



ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นจึงนำค่า  $K_1$  ไปลบออกจากขนาดของ  $MP_1 + K_1$  ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 1 ผลต่างที่ได้จึงเหลือเพียงขนาดของคลื่นหลายวิถีหรือ  $MP_1$  และสัญญาณรบกวนนั่นเอง ในขั้นตอนนี้จะเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดคลื่นหลายวิถีเท่านั้น

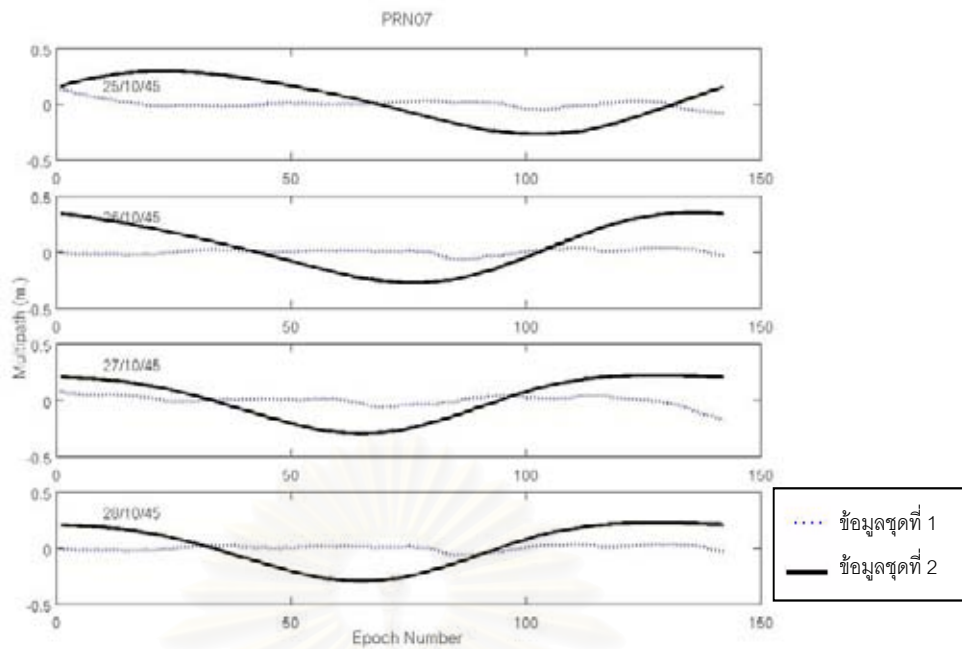
เนื่องจากข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลที่ปราศจากคลื่นหลายวิถี ดังนั้นขนาดของคลื่นหลายวิถีที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3 จากข้อมูลชุดนี้จะมีขนาดใกล้เคียงหรือในระดับเดียวกับสัญญาณรบกวน(Noise) ดังนั้นลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจีพีเอสจึงหาได้จากขนาดของคลื่นหลายวิถีจากข้อมูลชุดที่ 2 ที่แตกต่างออกไปจากข้อมูลชุดที่ 1 นั่นเอง เพื่อทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งคู่ การคำนวณหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดใดชุดหนึ่งจึงต้องทำการพิจารณากับข้อมูลทั้งสองชุด และเนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการเก็บข้อมูลจีพีเอส 2 ช่วงเวลา คือ ปีพ.ศ. 2545 และ ปีพ.ศ. 2546 จึงทำการคำนวณหาขนาดของคลื่นหลายวิถี( $MP_1$ ) กับข้อมูลทั้งสองปี ตามช่วงเวลาในตารางที่ 4.3 โดยข้อมูลในแต่ละวันจะเลือกใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่ตรงกัน และมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงเวลาที่นำข้อมูลมาคำนวณตามสมการที่ 2.1 และ 2.4 (วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT)

วันที่	หมายเลขดาวเทียม	ช่วงข้อมูลที่คำนวณ $MP_1 + K_1$ (ขั้นตอนที่ 1)		ช่วงข้อมูลที่คำนวณ $MP_1$ (ขั้นตอนที่ 3)	
		เวลาเริ่ม	เวลาสิ้นสุด	เวลาเริ่ม	เวลาสิ้นสุด
25-28 ต.ค.45	PRN07	11:00:00	13:00:00	11:47:45	12:23:00
24-26 ต.ค.46	PRN05	16:00:00	18:00:00	17:30:00	18:00:00

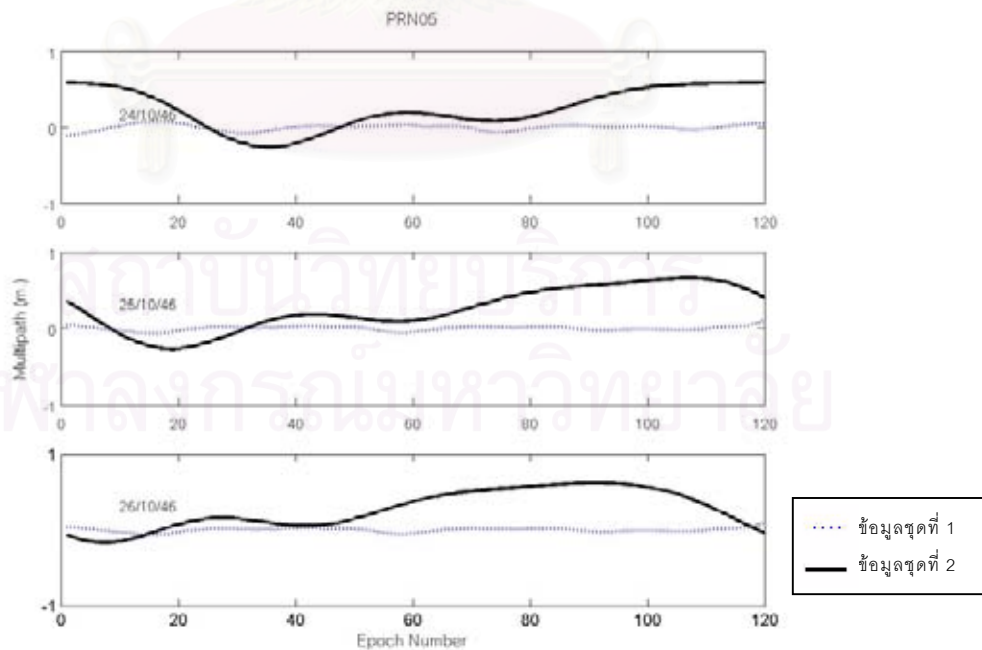
สำหรับข้อมูลในปีพ.ศ.2545 พิจารณาจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นเกิดจากดาวเทียมจีพีเอสมีทั้งหมด 5 ดวง ในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป จากการตรวจสอบขนาดของคลื่นหลายวิถีโดยใช้ซอฟต์แวร์ TEQC นั้น ดาวเทียม PRN07 จะมีขนาดใหญ่กว่าดาวเทียมดวงอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาที่ดาวเทียม PRN07 โดยใช้ข้อมูลในการคำนวณเป็นเวลานาน 35 นาที 15 วินาที และมีอัตราถี่ของข้อมูล 15 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่ง เป็นขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นจากดาวเทียม PRN07 จากรูป เส้นประคือขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดที่ 1 และเส้นทึบคือขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดที่ 2 แกนตั้งคือขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดที่ 2 มีหน่วยเป็น เมตร และแกนนอนคือระยะเวลาที่ทำการประมวลผล





รูปที่ 4.4 แสดงขนาดและลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์  
ในข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 จากดาวเทียม PRN07

ส่วนข้อมูลปี 2546 พิจารณาจากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นเกิดจากดาวเทียมทั้งหมด 4 ดวง แต่เลือกพิจารณาดาวเทียมหมายเลข PRN05 ซึ่งมีขนาดของคลื่นกลายวิถีใหญ่กว่าดาวเทียมดวงอื่น โดยใช้ข้อมูลในการคำนวณเป็นเวลานาน 30 นาที และมีอัตราถี่ข้อมูล 1 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงขนาดและลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์  
ในข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 จากดาวเทียม PRN05

จากรูปจะเห็นได้ว่าขนาดของคลื่นหลายวิถีในข้อมูลชุดที่ 2 (เส้นทึบ) จะมีขนาดใหญ่กว่าข้อมูลชุดที่ 1 (เส้นประ) และมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกันในข้อมูลแต่ละวัน ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเกิดคลื่นหลายวิถีในข้อมูลชุดโดเรเนจกับข้อมูลชุดที่ 2 เมื่อพิจารณาขนาดของคลื่นหลายวิถี จะเห็นได้ว่าคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรเนจจากข้อมูล พ.ศ. 2546 นั้น มีขนาดใหญ่กว่าข้อมูลในปีพ.ศ. 2545

เพื่อทำการแยกคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส จึงต้องนำขนาดของคลื่นหลายวิถีในข้อมูลชุดโดเรเนจ ( $MP_1$ ) จากข้อมูลทั้งสองชุดไปทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเพื่อหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดที่ 2 เพียงอย่างเดียวโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลท ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.3

#### 4.2.2 การหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

สำหรับคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นจะพิจารณาจากค่าเศษเหลือของค่าต่างครั้งที่สอง จากการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด ในขั้นตอนการประมวลผลเส้นฐาน ได้ใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลเส้นฐาน SNAP ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย มหาวิทยาลัยนิวเซาท์เวลส์ นครซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย การประมวลผลจะแบ่งออกเป็น 2 เส้นฐาน คือ

เส้นฐาน 1 จุดปลายของเส้นฐานทั้งสองอยู่ที่จุด A โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องรับหมายเลข 1 และ 2 มาประมวลผลร่วมกัน ซึ่งเส้นฐานดังกล่าวก็คือเส้นฐานที่มีความยาวเท่ากับศูนย์

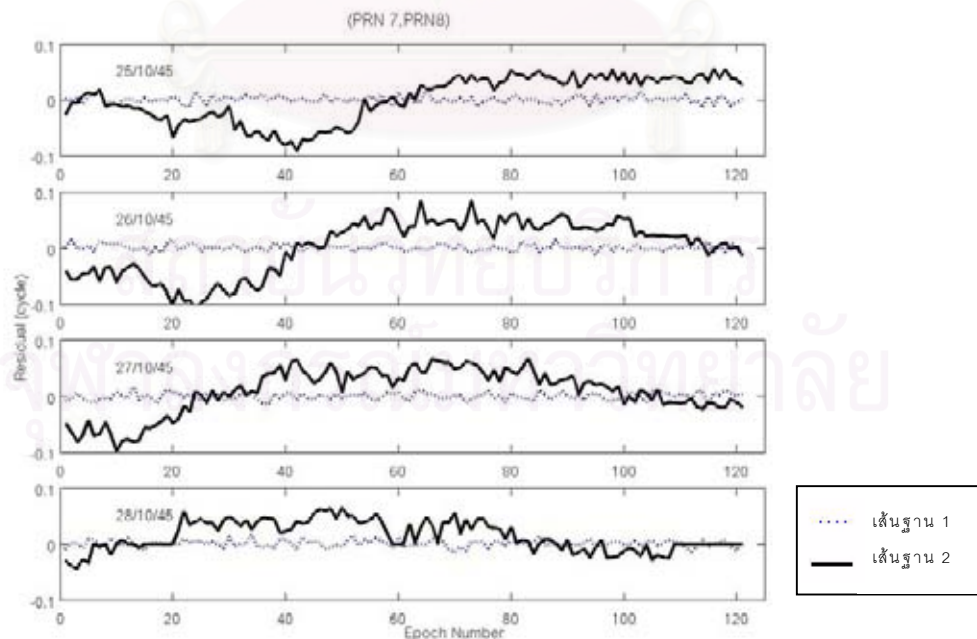
เส้นฐาน 2 จุดปลายของเส้นฐานอยู่ที่จุด A และ B โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องรับหมายเลข 1 และ 3 มาประมวลผลร่วมกัน ซึ่งเส้นฐานดังกล่าวจะมีความยาวประมาณ 8 เมตร และเป็นเส้นฐานขนาดสั้น

การประมวลผลเส้นฐานเพื่อให้ได้ค่าเศษเหลือนั้นจะเลือกใช้ข้อมูลจีพีเอสในช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดคลื่นหลายวิดิดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งมีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นกับคู่ดาวเทียมหลายคู่ สำหรับงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาค่าเศษเหลือจากคู่ดาวเทียมทั้งหมด 6 คู่ดาว โดยข้อมูลในแต่ละวันจะเลือกใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่ตรงกัน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาของข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ใช้ประมวลผลพื้นฐาน (วันที่และเวลาตามระบบเวลาUT)

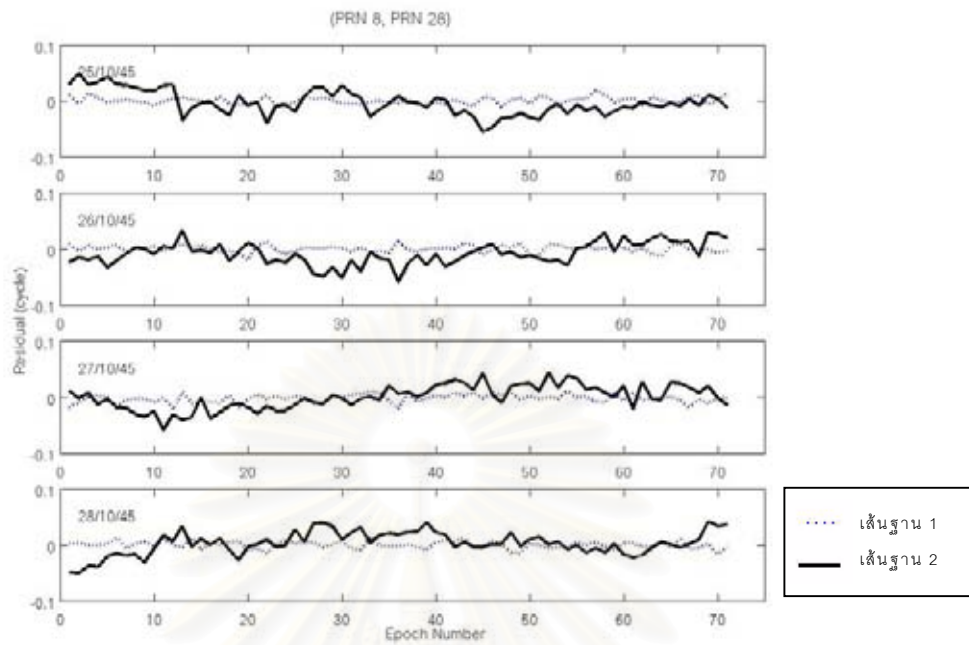
วันที่	คู่ดาวเทียม	เวลาเริ่ม	เวลาสิ้นสุด
25 – 28 ตุลาคม 2545	(PRN7,PRN8)	11:53:00	12:23:00
	(PRN8,PRN28)	11:47:45	12:05:15
	(PRN31,PRN2)	08:20:30	08:53:00
24 –26 ตุลาคม 2546	(PRN27,PRN28)	09:14:00	10:00:00
	(PRN28,PRN7)	13:00:00	13:24:46
	(PRN29,PRN10)	17:30:00	18:00:00

สำหรับข้อมูลในปีพ.ศ.2545 พิจารณาคู่ดาวเทียม (PRN7,PRN8), (PRN8,PRN28) และ (PRN31,PRN2) ส่วนข้อมูลในปีพ.ศ.2546 พิจารณาคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28), (PRN28,PRN7) และ (PRN29,PRN10) รูปแบบของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสมีลักษณะดังรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.11 จากรูปเส้นประคือค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 1 และเส้นทึบคือค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 2 แกนตั้งคือ ขนาดของค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 2 และแกนนอนคือระยะเวลาที่ทำการประมวลผล

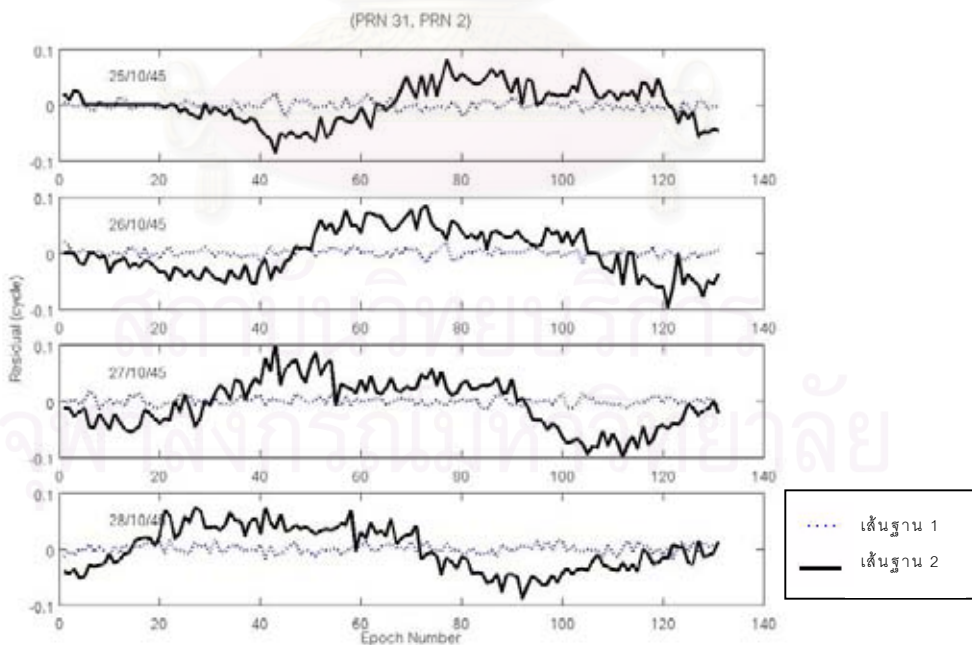


รูปที่ 4.6 แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN7,PRN8)

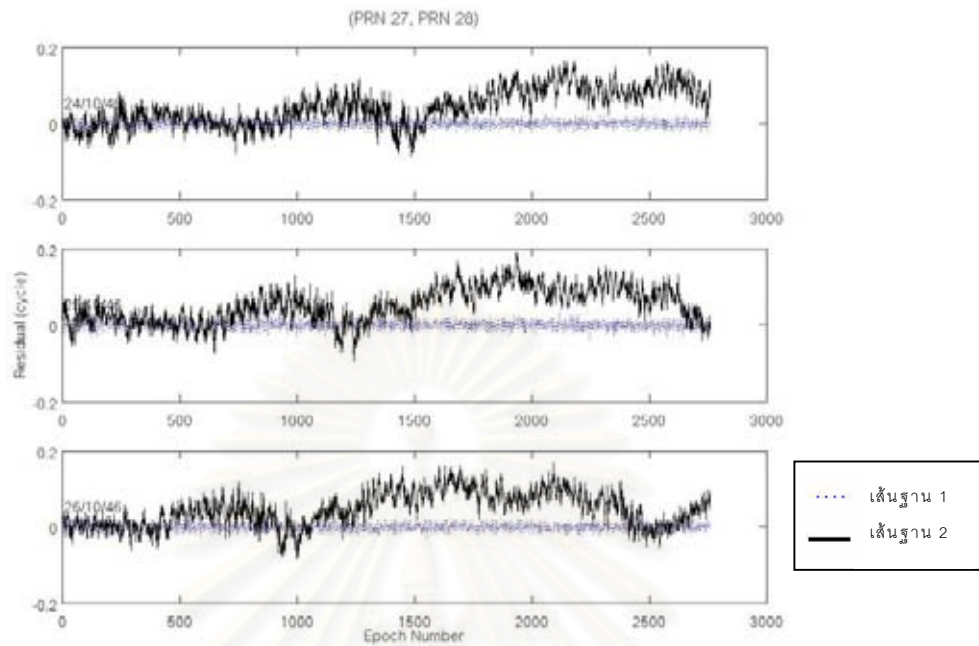
ข้อมูล พ.ศ. 2545



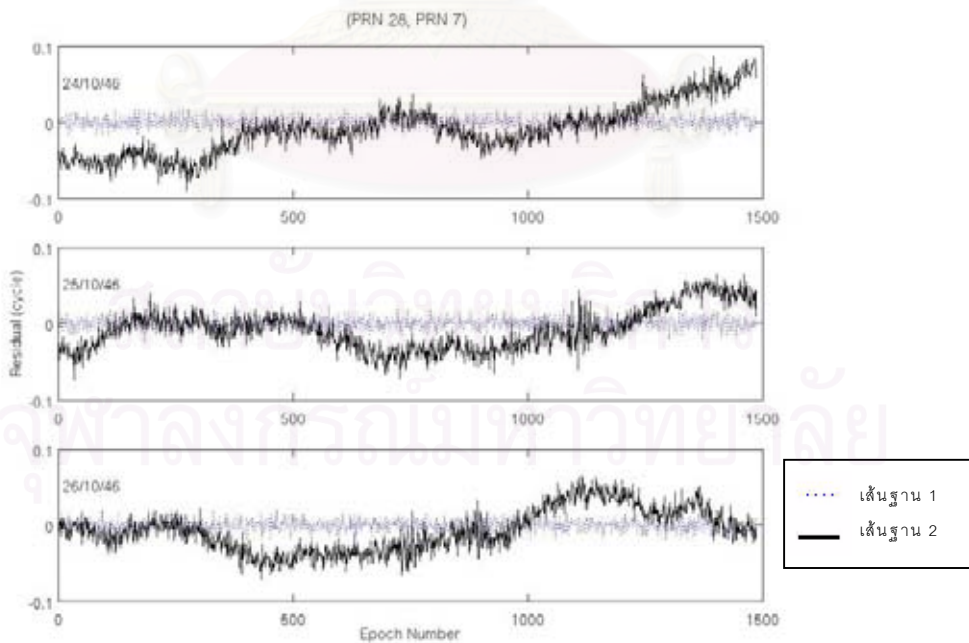
รูปที่ 4.7 แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN8,PRN28)  
ข้อมูล พ.ศ. 2545



รูปที่ 4.8 แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2)  
ข้อมูล พ.ศ. 2545

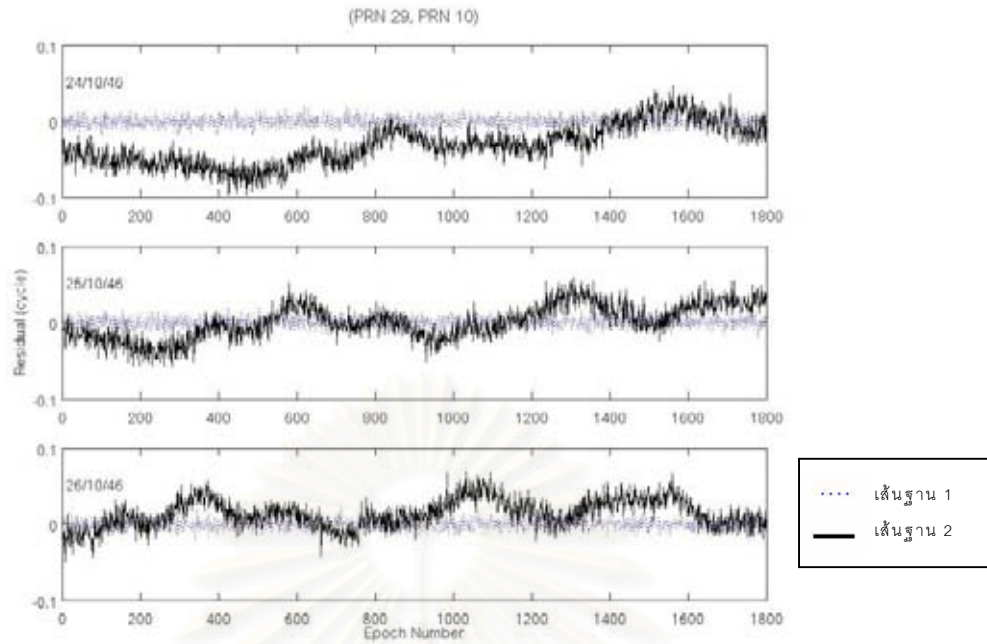


รูปที่ 4.9 แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28)  
ข้อมูล พ.ศ. 2546



รูปที่ 4.10 แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN28,PRN7)  
ข้อมูล พ.ศ. 2546





รูปที่ 4.11 แสดงคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จากคู่ดาวเทียม (PRN29,PRN10)  
ข้อมูล พ.ศ. 2546

จากรูปจะเห็นได้ว่าสำหรับค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 1 (เส้นประ) ซึ่งมีความยาวเส้นฐานเท่ากับศูนย์ ส่งผลให้สามารถขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆออกไป ดังนั้นค่าเศษเหลือของเส้นฐานที่มีความยาวเป็นศูนย์จึงมีค่าใกล้ศูนย์หรืออยู่ในระดับเดียวกับสัญญาณรบกวน ส่วนค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 2 (เส้นทึบ) มีขนาดใหญ่กว่าเส้นฐาน 1 มาก และมีการเปลี่ยนแปลงที่มีรูปแบบเดียวกันในแต่ละวัน ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเกิดคลื่นหลายวิถีในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ดังนั้นสามารถตรวจหาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับเส้นฐาน 2 ได้ จากความแตกต่างของค่าเศษเหลือจากเส้นฐานทั้งคู่ ขั้นตอนต่อไป ต้องทำการแยกคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งออกจากค่าเศษเหลือ และขจัดออกไปจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลท

#### 4.3 การขจัดคลื่นหลายวิถีด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลท

เนื่องจากคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นนั้นเป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ส่วนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัดเป็นสัญญาณในย่านความถี่สูง ดังนั้นเพื่อทำการแยกคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ในงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทแยกคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนออกจากกัน และเนื่องจากคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดเรดาร์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจึงต้องทำการกรองข้อมูลทั้งสองชนิด ซึ่งมีรายละเอียดและลำดับขั้นตอนดังนี้



## กำหนดให้

สัญญา 1 ได้แก่ ขนาดของ  $MP_1$  ในข้อมูลชุดที่ 1 เมื่อพิจารณาข้อมูลชุดโดเรนท์ หรือ ค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 1 เมื่อพิจารณาข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

สัญญา 2 ได้แก่ ขนาดของ  $MP_1$  ในข้อมูลชุดที่ 2 เมื่อพิจารณาข้อมูลชุดโดเรนท์ หรือ ค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 2 เมื่อพิจารณาข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

เนื่องจากสัญญา 1 ได้จากข้อมูลชุดที่ 1 ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่มีเส้นฐานเป็นศูนย์ ดังนั้น สัญญา 1 จึงเป็นข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดเพียงอย่างเดียว ส่วนสัญญา 2 ได้จากข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งทำการวางเสาอากาศไว้ใกล้กับกำแพงคอนกรีตจึงมีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีได้ ดังนั้นสัญญา 2 จึงเป็นข้อมูลที่มีทั้งสัญญาณรบกวนและคลื่นหลายวิถีเมื่อใช้เวฟเลทกรอง สัญญา 2 ข้อมูลจะถูกแยกออกเป็นเทอมของสัญญาณในย่านความถี่สูง (สัญญาณรบกวน) ซึ่งพฤติกรรมของสัญญาณรบกวนจะมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) และเทอมของสัญญาณในย่านความถี่ต่ำ (คลื่นหลายวิถี) หากเทอมของสัญญาณในย่านความถี่สูงที่แยกออกมาได้จากการกรองสัญญา 2 คือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดเหมือนกับที่เกิดขึ้นกับ สัญญา 1 แล้ว ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนทั้งสองชุดจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น เทอมของสัญญาณในย่านความถี่ต่ำที่แยกออกมาจากการกรองสัญญา 2 ด้วยเวฟเลท ก็คือคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลดาวเทียมจีพีเอส

### ขั้นตอนการกรองสัญญาณด้วยเวฟเลท

1) ทำการกรองสัญญา 2 ด้วยเวฟเลทเพื่อแยกสัญญาณรบกวนและคลื่นหลายวิถีออกจากกัน ส่วนสัญญา 1 ไม่ต้องทำการกรอง เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนเพียงอย่างเดียว ในการกรองครั้งนี้ถือเป็นการกรองในระดับที่ 1

2) คำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญาณทั้งสองชุด เพื่อทดสอบว่าเทอมของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในสัญญา 2 ( $Noise_2$ ) คือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัด เหมือนกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดในสัญญา 1 ( $Noise_1$ ) หรือไม่ โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญา 1 คือ  $\sigma_1$  และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญา 2 คือ  $\sigma_2$

3) เปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง  $\sigma_1$  และ  $\sigma_2$  โดยใช้การทดสอบสถิติ F-Test แบบสองทาง ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เหมาะสมกับการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวนของสองประชากร โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสองชุด ได้แก่  $Noise_1$  และ  $Noise_2$  นั้นเป็นกลุ่มประชากรที่มีการกระจายตัวแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) โดยตั้งสมมุติฐานเพื่อการทดสอบดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad ; \text{Noise}_2 \text{ คือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัด}$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad ; \text{Noise}_2 \text{ ไม่ใช่สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัด}$$

หากผลการทดสอบพบว่าไม่ปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  แสดงว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญาณทั้งสองชุดมีความคล้ายคลึงกันหรือมีพฤติกรรมเหมือนกัน ดังนั้น  $\text{Noise}_2$  จึงเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัด และเทอมของสัญญาณในย่านความถี่ต่ำที่คลาดว่าเป็นคลื่นหลายวิถีที่แยกออกจากการกรองสัญญาณ 2 ก็คือคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดที่ 2 จริง ซึ่งก็หมายความว่าได้ทำการแยกคลื่นหลายวิถีออกจากสัญญาณ 2 สำเร็จ หากผลทดสอบพบว่าปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  แสดงว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญาณทั้งสองชุดไม่มีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งก็หมายความว่ายังมีคลื่นหลายวิถีปนอยู่ในสัญญาณ 2 จึงต้องทำการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 2 และทำการทดสอบทางสถิติอีกครั้ง หากพบว่าผลการทดสอบสมมติฐานยังปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  จะต้องทำการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่อไปจนกว่าจะไม่ปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (ทำการกรองจนกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $\text{Noise}_2$  จะเท่ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ  $\text{Noise}_1$ )

4) เมื่อผลการทดสอบทางสถิติไม่ปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  แล้วให้ทำการขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปจากสัญญาณ 2 โดยนำเทอมของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำไปลบออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จากเครื่องรับ ดังนั้นจึงเหลือเพียงข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ปราศจากคลื่นหลายวิถี

ในขั้นตอนการกรองด้วยเวฟเลทนี้จะใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นเองสำหรับงานวิจัยโดยใช้โปรแกรม MATLAB ทำการกรองข้อมูลในแต่ละวันโดยแยกตามชนิดของข้อมูลและหมายเลขดาวเทียม ดังนี้

#### 4.3.1 การขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์

หลังจากทำการคำนวณหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ ( $MP_1$ ) กับข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 2 แล้วจะต้องนำผลที่ได้ไปทำการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ตามขั้นตอนข้างต้น และทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติของข้อมูลโดยทำการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากข้อมูลทั้งสองชุด โดยตัดช่วงข้อมูลทุก 5 นาที สำหรับข้อมูลที่ใช้อัตราถี่ในการคำนวณ 15 วินาที และตัดข้อมูลทุก 2 นาที สำหรับข้อมูลที่ใช้อัตราถี่ในการคำนวณ 1 วินาที ซึ่งเป็นข้อมูลใน พ.ศ.2546 สำหรับการทดสอบสมมติฐานได้ทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ( $\alpha=5\%$  หรือระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์) โดยแยกข้อมูลตามหมายเลขดาวเทียม ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของดาวเทียม PRN07

อัตราที่ข้อมูล 15 วินาที (จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์)

วันที่	จำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท				
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
25 ต.ค.45	1	1	2	3	5
26 ต.ค.45	0	1	2	3	6
27 ต.ค.45	1	1	1	3	5
28 ต.ค.45	0	1	2	3	6

มีทั้งหมด 6 ช่วงข้อมูล (1ช่วงข้อมูลมี 20 epoch)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ ของดาวเทียม PRN05

อัตราที่ข้อมูล 15 วินาที (จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์)

วันที่	จำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท				
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
24 ต.ค.46	0	1	1	4	1
25 ต.ค.46	0	0	1	3	2
26 ต.ค.46	0	1	2	5	1

มีทั้งหมด 7 ช่วงข้อมูล (1ช่วงข้อมูลมี 20 epoch)

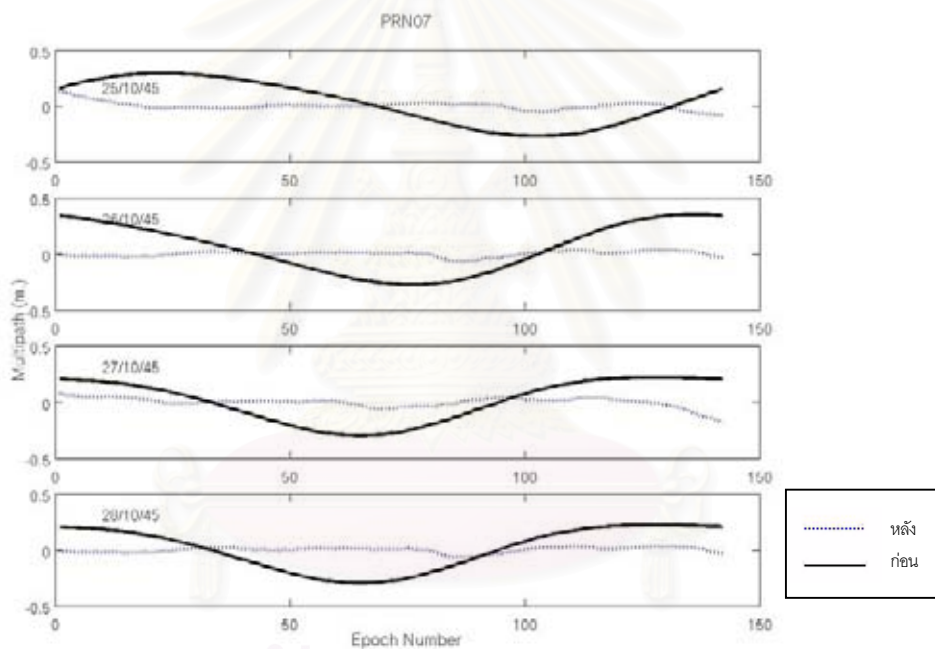
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ ของดาวเทียม PRN05

อัตราที่ข้อมูล 1 วินาที (จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์)

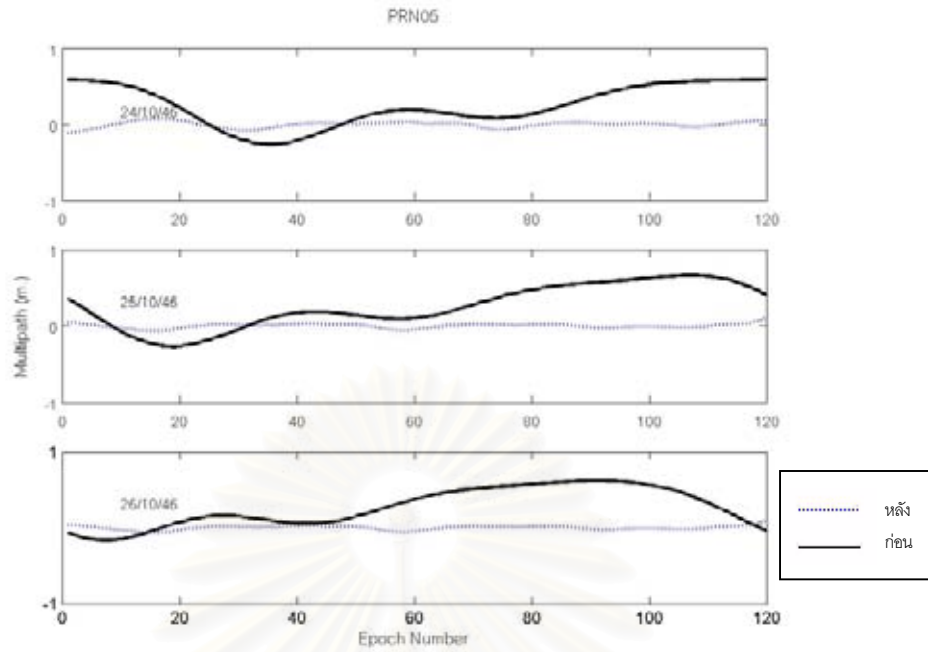
วันที่	จำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท						
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7
24 ต.ค.46	0	0	0	0	0	2	3
25 ต.ค.46	0	0	0	0	0	0	3
26 ต.ค.46	0	0	0	0	0	0	2

มีทั้งหมด 15 ช่วงข้อมูล (1 ช่วงข้อมูลมี 120 epoch)

จากตารางที่ 4.5 ถึง 4.7 แสดงให้เห็นว่าสำหรับข้อมูลที่มีอัตราถึ 15 วินาทีซึ่งได้แก่ข้อมูลจากPRN07 นั้น การแปลงเวฟเลทในระดับที่ 5 ให้ผลดีที่สุด ดังนั้นจึงสามารถแยกคลื่นหลายวิถีออกจากสัญญาณรบกวนได้จากการกรองในระดับที่ 5 และข้อมูลจากPRN05 การแปลงเวฟเลทในระดับที่ 4 ให้ผลดีที่สุด ส่วนข้อมูลจากPRN05 ที่มีอัตราถึ 1 วินาทีนั้น ไม่สามารถขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปได้จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับเดียวกับข้อมูลที่มีอัตราถึ 15 วินาที ตัวอย่างของผลจากการขจัดคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสโดยใช้อัตราถึข้อมูล 15 วินาที แสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 จากรูป เส้นที่บแสดงลักษณะของข้อมูลก่อนทำการกรองด้วยเวฟเลท และเส้นประแสดงลักษณะของข้อมูลหลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปแล้ว ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติและส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากเดิมเป็นอย่างมาก ดังตารางที่ 4.8 ถึง 4.10



รูปที่ 4.12 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลทระดับที่ 5 จากดาวเทียมหมายเลข PRN07 ระหว่างวันที่ 25-28 ตุลาคม 2545



รูปที่ 4.13 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลทระดับที่ 4 จากดาวเทียมหมายเลข PRN05 ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2546

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม PRN07 ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์

วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (m.)						
	ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี				
	สัญญาณ 1	สัญญาณ 2	สัญญาณ 2				
			Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
25 ต.ค.45	0.0357	0.2056	0.0070	0.0015	0.0163	0.0256	0.0353
26 ต.ค.45	0.0364	0.2250	0.0017	0.0029	0.0045	0.0095	0.0235
27 ต.ค.45	0.0222	0.1981	0.0080	0.0129	0.0189	0.0272	0.0434
28 ต.ค.45	0.0202	0.1559	0.0104	0.0170	0.0247	0.0354	0.0562

อัตราถี่ข้อมูล 15 วินาที



ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม PRN05 ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์

วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (m.)						
	ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี				
	สัญญาณ	สัญญาณ	สัญญาณ 2				
	1	2	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
24 ต.ค.46	0.0426	0.2800	0.0059	0.0096	0.0153	0.0399	0.1240
25 ต.ค.46	0.0498	0.2957	0.0030	0.0044	0.0074	0.0285	0.1256
26 ต.ค.46	0.0481	0.2672	0.0172	0.0277	0.0412	0.0629	0.1202

อัตราที่ข้อมูล 15 วินาที

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลดาวเทียม PRN05 ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์

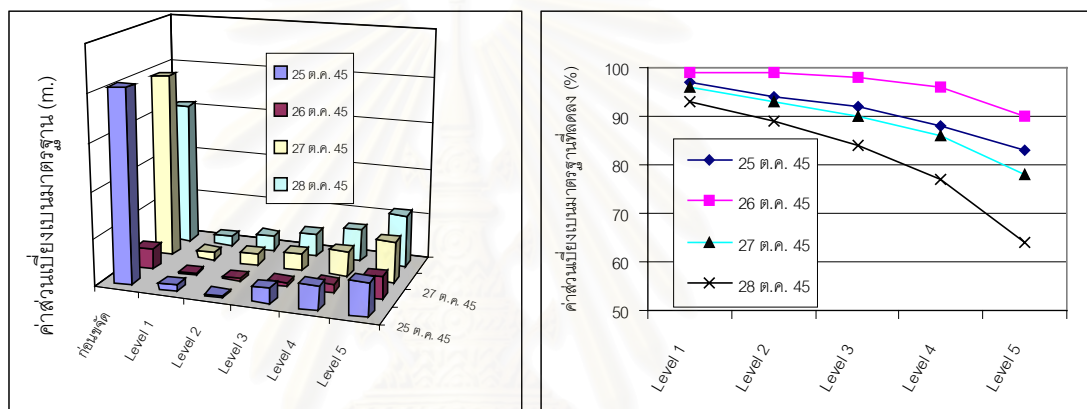
วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (m.)						
	ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี				
	สัญญาณ	สัญญาณ	สัญญาณ 2				
	1	2	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
24 ต.ค.46	0.0424	0.2798	0.0019	0.0027	0.0037	0.0050	0.0069
25 ต.ค.46	0.0496	0.2950	0.0013	0.0018	0.0023	0.0029	0.0038
26 ต.ค.46	0.0478	0.2635	0.0045	0.0072	0.0104	0.0147	0.0208

อัตราที่ข้อมูล 1 วินาที

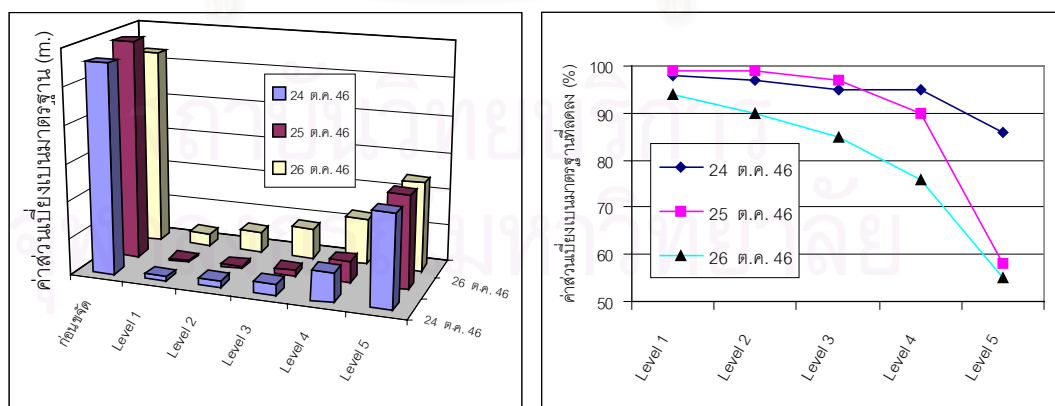
จากตารางที่ 4.8 ถึง 4.9 แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์โดยใช้อัตราที่ในการคำนวณ 15 วินาที แสดงให้เห็นว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ 2 หลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีแล้วโดยผ่านการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 4 หรือ 5 จะใกล้เคียงกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ 1 ซึ่งถือว่าไม่ปฏิเสธผลการทดสอบตามสมมุติฐานข้างต้นในการกรองด้วยเวฟเลทในระดับนี้ และจะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ 2 หลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปจากการกรองในระดับที่ 1 (Level 1) นั้น มีค่าลดลงไปมาก (ลดลงกว่าร้อยละ 94) แสดงให้เห็นว่าสามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดและคลื่นหลายวิถีออกไปจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจี



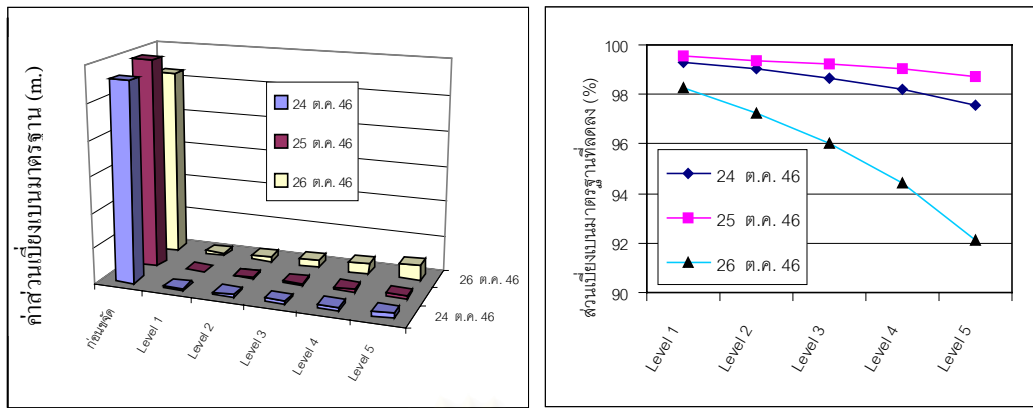
พีเอสได้ จากการกรองด้วยเวฟเลขในระดัที่ 1 ส่วนข้อมูลจากดาวเทียม PRN05 ที่ใช้ัอัตราที่ 1 วินาทีนั้น ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถจัดค้ลนหลายวิธีจากการกรองด้วยเวฟเลขในระดัเดียวกันกับข้อมูลที่มีอัตราที่ 15 วินาที แต่ผลจากตารางที่ 4.10 พบว่าสามารถจัดค้ลนสัญญาณรบกวนและค้ลนหลายวิธีออกไปจากข้อมูลจากการกรองด้วยเวฟเลขในระดัที่ 1 เหมือนกับข้อมูลที่มีอัตราที่ 15 วินาทีเช่นกัน ซึ่งถือว่าได้ผลการทดลองที่ดีกว่าสมมุติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ รูปที่ 4.14 ถึง 4.16 ซึ่งเป็นกราฟแสดงขนาดของค่าส่วนเบ้ียงเบนมาตรฐานก่อนและหลังจัดค้ลนหลายวิธีของสัญญาณ 2 จากข้อมูลในแต่ละวัน(รูปซ้ายมือ) และกราฟแสดงร้อยละของค่าส่วนเบ้ียงเบนมาตรฐานที่ลดลงไปหลังจากจัดค้ลนหลายวิธีออกไปจากสัญญาณ 2 จากการกรองด้วยเวฟเลขในระดัต่างๆ (รูปขวามือ)



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าส่วนเบ้ียงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลขในระดัต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม PRN07 (ัอัตราที่ข้อมูล 15 วินาที)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าส่วนเบ้ียงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลขในระดัต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม PRN05 (ัอัตราที่ข้อมูล 15 วินาที)



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากดาวเทียม PRN05 (อัตราถี่ข้อมูล 1 วินาที)

#### 4.3.2 การขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

เพื่อทำการแยกคลื่นหลายวิถีออกจากค่าเศษเหลือ จึงนำค่าเศษเหลือของเส้นฐาน ชุดที่ 2 มากรองด้วยเวฟเลทตามขั้นตอนข้างต้น และทำการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ( $\alpha=5\%$ ) โดยทำการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากข้อมูลทั้งสองชุด แยกข้อมูลตามหมายเลขของคู่ดาวเทียม โดยข้อมูล พ.ศ. 2545 ใช้อัตราถี่ข้อมูล 15 วินาที และข้อมูล พ.ศ. 2546 ใช้อัตราถี่ข้อมูล 1 วินาที เพื่อทำการทดสอบความแตกต่างจากผลลัพธ์ที่ได้เมื่อใช้ข้อมูลที่มีอัตราถี่ต่างกัน ดังนั้นแต่ละคู่ดาวเทียมจึงมีจำนวนช่วงข้อมูลทั้งหมดไม่เท่ากันเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการประมวลผลไม่เท่ากัน และเพื่อความกระชับของเนื้อหาวิทยานิพนธ์จึงขอยกตัวอย่างในหัวข้อนี้เพียง 2 คู่ดาวเทียม ส่วนรายละเอียดของคู่ดาวเทียมอื่นได้อธิบายไว้ในส่วนของภาคผนวก ก. ตัวอย่างของผลการทดสอบทางสถิติของแต่ละคู่ดาวเทียมแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2 )  
(จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง)

**ข้อมูล พ.ศ.2545**

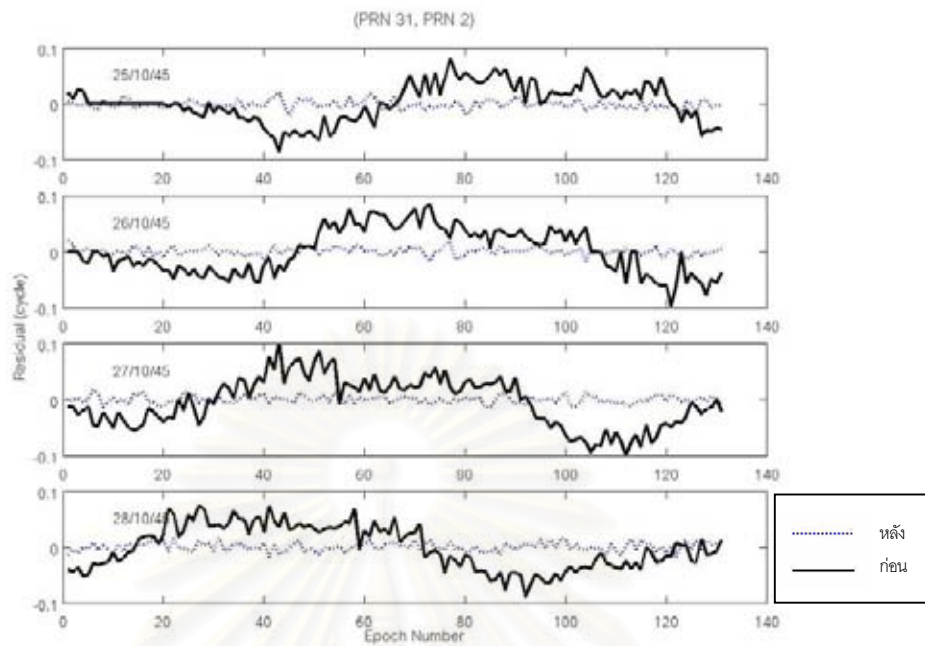
วันที่	จำนวนช่วงข้อมูลทั้งหมด	จำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท		
		Level 1	Level 2	Level 3
25 ต.ค.45	6	5	3	2
26 ต.ค.45	6	5	2	1
27 ต.ค.45	6	4	2	2
28 ต.ค.45	6	4	3	3

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติของคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28 )  
(จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง)

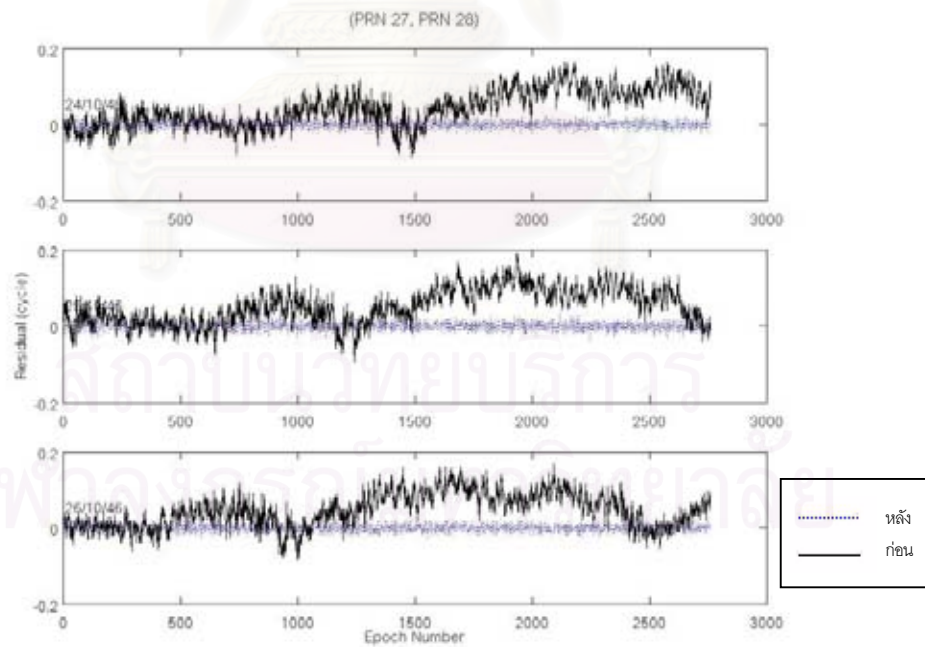
**ข้อมูล พ.ศ.2546**

วันที่	จำนวนช่วงข้อมูลทั้งหมด	จำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท		
		Level 1	Level 2	Level 3
24 ต.ค.46	9	5	0	0
25 ต.ค.46	9	6	0	0
26 ต.ค.46	9	6	0	0

จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลทในระดับที่ 1 ให้ผลดีที่สุด ดังนั้นจึงสามารถแยกคลื่นหลายวิถีออกจากค่าเศษเหลือได้ในระดับที่ 1 ทั้งข้อมูลที่มีอัตราที่ 1 วินาทีและ 15 วินาที ผลจากการขจัดคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 เส้นที่บแสดงลักษณะของข้อมูลก่อนทำการกรองด้วยเวฟเลท และเส้นประแสดงลักษณะของข้อมูลหลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปแล้ว ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติและส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากเดิมเป็นอย่างมาก ดังตารางที่ 4.13 และ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถี



รูปที่ 4.17 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2) ระหว่างวันที่ 25-28 ตุลาคม 2545



รูปที่ 4.18 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม PRN 27-28 ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2546

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2) ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

**ข้อมูล พ.ศ. 2545**

วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (cycle)				
	ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี(สัญญาณ 2)		
	สัญญาณ1	สัญญาณ 2	Level 1	Level 2	Level 3
25 ตุลาคม 2545	0.0076	0.0340	0.0087	0.0112	0.0135
26 ตุลาคม 2545	0.0070	0.0410	0.0093	0.0125	0.0145
27 ตุลาคม 2545	0.0070	0.0442	0.0097	0.0126	0.0142
28 ตุลาคม 2545	0.0077	0.0391	0.0089	0.0122	0.0134

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28) ก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

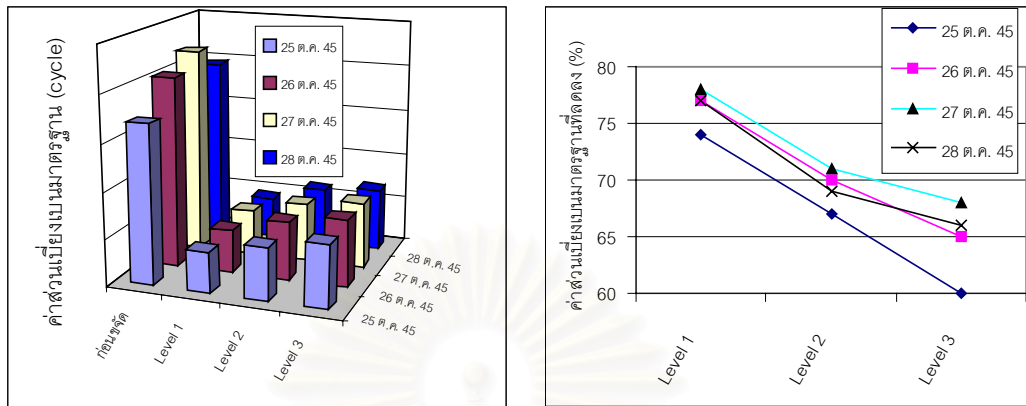
**ข้อมูล พ.ศ. 2546**

วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (cycle)				
	ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี(สัญญาณ 2)		
	สัญญาณ1	สัญญาณ 2	Level 1	Level 2	Level 3
24 ตุลาคม 2546	0.0094	0.0477	0.0100	0.0132	0.0151
25 ตุลาคม 2546	0.0104	0.0463	0.0100	0.0131	0.0148
26 ตุลาคม 2546	0.0097	0.0450	0.0100	0.0129	0.0149

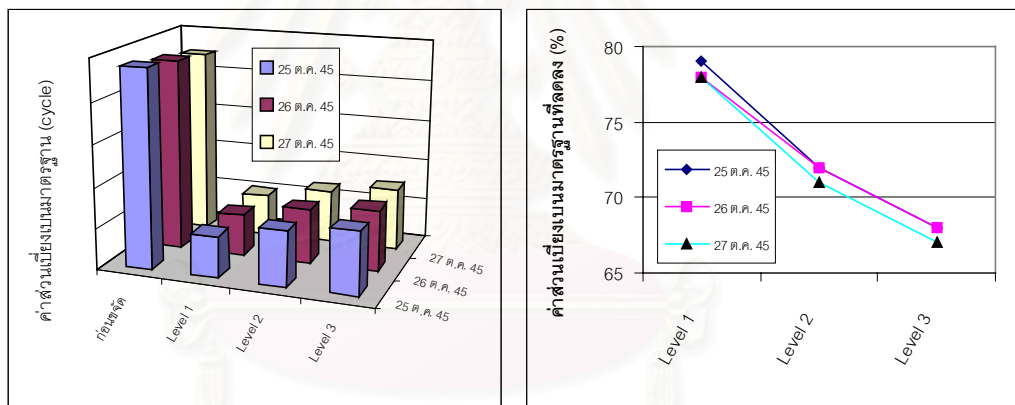
จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 จะเห็นได้ว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ 2 หลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีออกแล้วจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ 1 มากที่สุด และมีค่าลดลงไปกว่าร้อยละ 74 ซึ่งถือว่าสามารถขจัดสัญญาณรบกวนและขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปจากค่าเศษเหลือได้จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 รูปซ้ายมือ คือกราฟแสดงขนาดของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังขจัดคลื่นหลายวิถีของสัญญาณ 2 จากข้อมูลในแต่ละวัน และ



รูปขวามือ คือกราฟแสดงร้อยละของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงไปหลังจากขจัดคลื่นหลายวิธีออกไปจากสัญญาณ 2 จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากคู่ดาวเทียม (PRN31,PRN2)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากคู่ดาวเทียม (PRN27,PRN28)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เพื่อศึกษาถึงลักษณะของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูล และการศึกษาถึงผลจากการขจัดคลื่นหลายวิธีออกไปจากข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลท โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยอัตราที่ข้อมูล 1 วินาที และ 15 วินาที เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อใช้อัตราที่ข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลจากคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่งซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 ผลจากงานวิจัย

1. ลักษณะของคลื่นหลายวิธีทั้งที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์และที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกัน โดยคลื่นหลายวิธีของข้อมูลในวันที่สองจะเกิดขึ้นก่อนคลื่นหลายวิธีของข้อมูลในวันแรกประมาณ 4 นาที และมีรูปแบบเดียวกัน

2. ขนาดของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในปี พ.ศ.2546 มีขนาดใหญ่กว่าคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลในปีพ.ศ.2545 เนื่องจากข้อมูลในปีพ.ศ.2545 ได้ทำการวางเสาอากาศของเครื่องรับหมายเลข 3 ที่จุด B (ดังรูปที่ 3.1) ห่างจากกำแพงคอนกรีต 1.50 ม. ส่วนข้อมูลในปีพ.ศ.2546 จุด B ห่างจากกำแพงคอนกรีตเพียง 1.00 ม. ซึ่งทำให้คลื่นหลายวิธีมีขนาดใหญ่กว่า

3. สำหรับคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนจ์ เมื่อใช้ข้อมูลที่มีอัตราที่ต่างกันจะสามารถขจัดคลื่นหลายวิธีออกไปได้จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ต่างกันด้วย โดยข้อมูลที่มีอัตราที่ 15 วินาที จะสามารถขจัดคลื่นหลายวิธีออกไปได้จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 4 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถขจัดคลื่นหลายวิธีได้เร็วกว่าข้อมูลที่มีอัตราที่ 1 วินาที

4. สำหรับคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นจะสามารถขจัดออกไปได้จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ทั้งข้อมูลที่มีอัตราที่ 15 วินาที และ 1 วินาที ดังนั้นการเลือกใช้อัตราที่ของข้อมูลที่แตกต่างกันในการประมวลผลจึงไม่ส่งผลต่อการขจัดคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชนิดนี้

5. จากผลการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1 กับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง พบว่า สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการวัดและสามารถจัดคลื่นหลายวิถีออกไปได้ โดยพิจารณาได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงไปกว่าร้อยละ 74

## 5.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ทำให้เห็นถึงลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ของข้อมูลที่มีการรบกวนแบบสถิต โดยรูปแบบของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีความคล้ายคลึงกันเมื่อเทียบกับช่วงเวลาใกล้เคียงกัน แต่คลื่นหลายวิถีในวันถัดไปจะเกิดขึ้นเร็วกว่าวันแรกประมาณ 4 นาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานักวิจัยท่านอื่น เช่น Han และ Rizos (1997)

2. วิธีการแปลงเวฟเลทสามารถใช้จัดคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้ และยังสามารถลดขนาดของสัญญาณรบกวน(Denoise)ที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. สำหรับงานร้งวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสหลายๆ งาน เช่น การสำรวจรังวัดบริเวณเหมืองแร่แบบเปิด หรือการติดตามเฝ้าระวังภัยธรรมชาติเช่น การเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของหน้าดินหรือการทรุดตัวของดิน และการเฝ้าระวังภูเขาไฟ ซึ่งต้องวางเสาอากาศไว้บริเวณเชิงเขาเนื่องจากไม่สามารถวางไว้บนจุดยอดเขาได้ รวมถึงการเปิดรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสของสถานีฐาน ในช่วงที่สิ่งแวดล้อมรอบเสาอากาศมีการเปลี่ยนแปลง เช่นมีหิมะปกคลุมพื้นที่โดยรอบหรือมีน้ำท่วมขังเป็นต้น สิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดคลื่นหลายวิถีขึ้นในข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้ ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานรังวัดข้างต้น เพื่อตรวจสอบหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นและกำจัดออกไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากขึ้น

## 5.3 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ต้องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสต่อเนื่องกันเป็นเวลานานอย่างน้อย 3 วันดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากเครื่องมือ เช่น

1. หน่วยความจำของเครื่องรับสัญญาณมีไม่เพียงพอที่จะบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจึงต้องมีการหยุดรับสัญญาณเป็นบางช่วงเพื่อเปลี่ยนแผ่นบันทึกข้อมูล (Memory Card) และต้องเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้ข้อมูลขาดช่วงเป็นเวลานาน

2. มีแบตเตอรี่ที่ใช้กับเครื่องรับสัญญาณข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสบางอันเริ่มเสื่อมสภาพลง ทำให้มีระยะเวลาใช้งานสั้นลงและไม่สามารถทำนายระยะเวลาใช้งานได้ ส่งผลให้บางครั้งหากเปลี่ยนแบตเตอรี่ไม่ทันข้อมูลจะขาดหายไปบางช่วงจึงทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการรับสัญญาณ

3. เนื่องจากสถานที่รับสัญญาณอยู่บนดาวฟ้าอาคารสูงซึ่งมีลมพัดแรงจึงต้องเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิดเพื่อไม่ให้เครื่องรับสัญญาณเกิดความเสียหาย

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และทำการขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปเพื่อให้เหลือเพียงข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงขั้นตอนการนำข้อมูลหลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปแล้ว ไปทำการประมวลผลเพื่อทำการเปรียบเทียบ ความยาวของเส้นฐานที่ได้จากข้อมูลก่อนทำการขจัดคลื่นหลายวิถีและหลังจากทำการขจัดคลื่นหลายวิถีแล้ว เพื่อให้เห็นถึงผลจากคลื่นหลายวิถีที่มีต่อขนาดของความยาวเส้นฐาน หรือทำการศึกษาดังความแตกต่างของลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่สัญญาณเดินทางไปสู่สะท้อนพื้นผิวต่างชนิดกัน โดยกำหนดให้สิ่งแวดล้อมรอบๆบริเวณจุด B (ดังรูปที่ 3.1) มีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น เป็นพื้นผิวโลหะ ผนังคอนกรีต พื้นผิวน้ำ เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2544) การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจษฎา ตริวิธานุรักษ์. (2542) การเปรียบเทียบสมรรถนะการบีบอัดภาพระหว่างเทคนิค JPEG และเวฟเลท สำหรับภาพติดบัตรประจำตัว, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2545) ความรู้เบื้องต้นการรังวัดเพื่อตำแหน่งจากดาวเทียมจีพีเอส. เอกสารประกอบคำบรรยายโครงการฝึกอบรมการสำรวจรังวัดดาวเทียมจีพีเอส เสนอที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 13-17 พฤษภาคม 2545. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- พีระ เลี้ยวประเสริฐพร. (2544) การลดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเลตเพื่อใช้ในการประมาณพื้นผิวเชิงปริมาตร, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รจนา คุณพูล และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2546) การลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐานจีพีเอสด้วยการใช้เวฟเลท, การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ.

### ภาษาอังกฤษ

- EPA (2004). June Bugs Invade Links[Online]. Available from: <http://www.epa.gov/maia/html/junebug.htm>[2004, January 6]
- Fu, W.X. and Rizos, C. (1997). The applications of wavelets to GPS signal processing, 10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, Kansas City, Missouri, 16-19 September, 1385-1388.
- Ge, L., Han, S. and Rizos, C. (2002). GPS multipath change detection at permanent GPS stations, Survey Review, 36(283), 306-322.
- GeoPlane Services. (2004). What is GPS[Online]. Available from: <http://www.geoplane.com/gps.html/images/gps5.jpg>[2004, January 6]



- Han, S. and Rizos, C. (1997). Multipath effects on GPS in mine environment, 10th International Congress on the International Society for Mine Surveying, Fremantle, Australia, 2-6 November, 447-457.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtengger, H. and Collins, J. (2001). GPS Theory and Practice, 5<sup>th</sup> edition, Springer-Verlag, New York, 389pp.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. and Poggi J. (2000). Wavelet Toolbox User's Guide [Computer Program]. The Mathworks, Inc. [2002, October 20].
- Motard, R. and Joseph, B. (1994). Wavelet applications in chemical engineering, Massachusetts :Kluwer Academic Publishers, 323pp.
- Ordnance Survey (2004). FREE&FUN. Mobile GIS (1)[Online]. Available from: [http://www.ordnancesurvey.co.uk/images/user\\_image/misc/gis\\_files/section\\_6\\_6\\_2\\_GPS\\_sat.jpg&img](http://www.ordnancesurvey.co.uk/images/user_image/misc/gis_files/section_6_6_2_GPS_sat.jpg&img) [2004, January 6]
- Rizos, C. (1997). Principles and practice of GPS surveying, Monograph 17, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, 555pp.
- Satirapod, C., Ogaja, C., Wang, J. and Rizos, C. (2001). An Approach to GPS analysis incorporating Wavelet Decomposition. Artificial Satellites, 36(2), 27-35.
- Satirapod C., Khoonphool R., and Rizos C. (2003). Multipath Mitigation of Permanent GPS Station Using Wavelets, The International Symposium on GPS/GNSS 2003, Tokyo, Japan, 15-18 November
- UNAVCO (2002). TEQC. The Toolkit for GPS/GLONASS Data[Online]. Available from: [http://www.unavco.ucar.edu/data\\_support/software/visualization/qcview.html](http://www.unavco.ucar.edu/data_support/software/visualization/qcview.html) [2002, October 15]



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

**ผลการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง  
ของคู่ดาวเทียม (PRN7,PRN8), (PRN8,PRN28), (PRN27,PRN28) และ (PRN29,PRN10)**

จากตารางที่ 4.4 คู่ดาวเทียมที่ทำให้เกิดคลื่นหลายวิถีกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้น มีทั้งหมด 6 คู่ดาวเทียม แต่ในส่วนของหัวข้อ 4.3.1 “การขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง” ได้แสดงเป็นตัวอย่างเพียง 2 คู่ดาวเทียม ดังนั้นในส่วนนี้จึงขอกล่าวถึงผลจากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับดาวเทียมคู่อื่น ๆ ดังนี้

**1. ผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ**

จากการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณทั้งสองชุดโดยตัดช่วงข้อมูลทุก 5 นาทีมาทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยข้อมูลในปี พ.ศ. 2545 ใช้อัตราที่ข้อมูล 15 วินาที ส่วนข้อมูล พ.ศ. 2546 ใช้อัตราที่ข้อมูล 1 วินาที ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ก.1

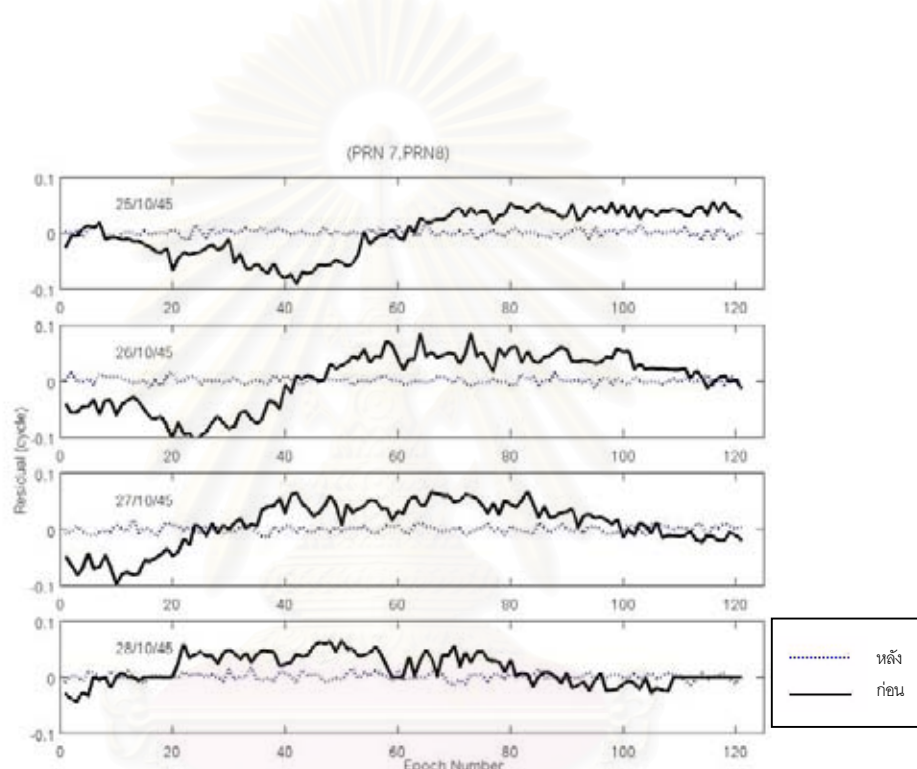
ตารางที่ ก.1 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ

หมายเลขดาวเทียม	วันที่	จำนวนช่วงข้อมูลทั้งหมด	จำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานตามระดับการกรองด้วยเวฟเลท		
			Level 1	Level 2	Level 3
(PRN7, PRN8)	25 ต.ค.45	6	6	5	4
	26 ต.ค.45	6	4	3	1
	27 ต.ค.45	6	6	3	1
	28 ต.ค.45	6	5	4	2
(PRN8, PRN28)	25 ต.ค.45	3	3	1	1
	26 ต.ค.45	3	2	1	0
	27 ต.ค.45	3	3	2	2
	28 ต.ค.45	3	3	2	1
(PRN28, PRN7)	24 ต.ค.46	4	0	4	0
	25 ต.ค.46	4	0	2	0
	26 ต.ค.46	4	1	3	1
(PRN29, PRN10)	24 ต.ค.46	6	5	0	0
	25 ต.ค.46	6	5	0	0
	26 ต.ค.46	6	6	0	0

จากตาราง จะเห็นได้ว่า การแปลงเวฟเลทในระดับที่ 1 ให้ผลดีที่สุด หรือ สามารถแยกคลื่นหลายวิธีออกจากค่าเศษเหลือได้จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1

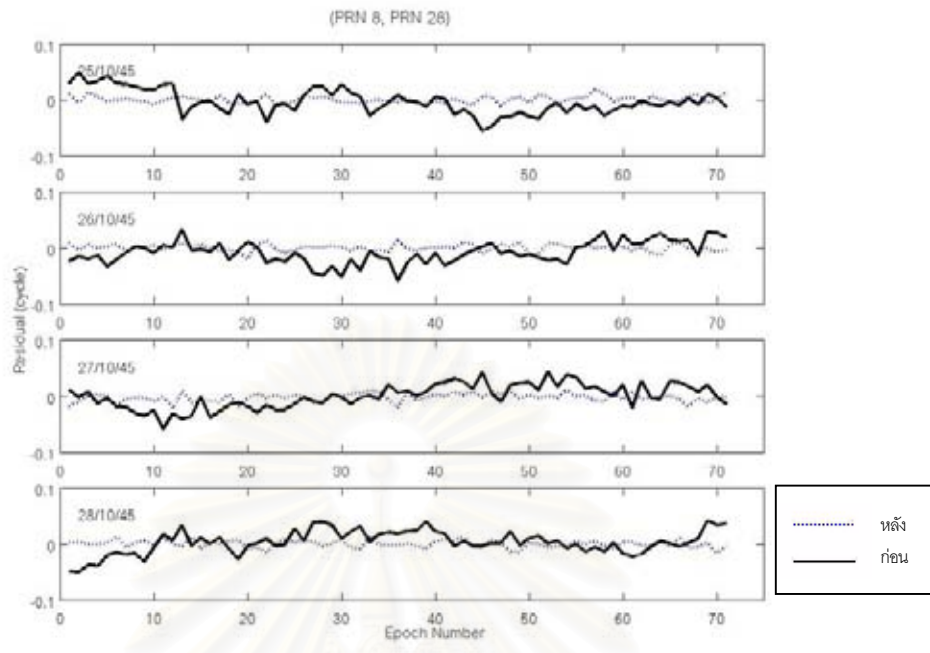
## 2. ลักษณะของค่าเศษเหลือก่อนและหลังขจัดคลื่นหลายวิธี

ผลจากการขจัดคลื่นหลายวิธีออกจากค่าเศษเหลือของเส้นฐาน 2 แสดงในรูปแบบที่ ก.1 ถึง ก.4 จากรูป เส้นทึบแสดงข้อมูลก่อนทำการกรองด้วยเวฟเลท และเส้นประแสดงข้อมูลหลังจากขจัดคลื่นหลายวิธีออกไปแล้ว ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ

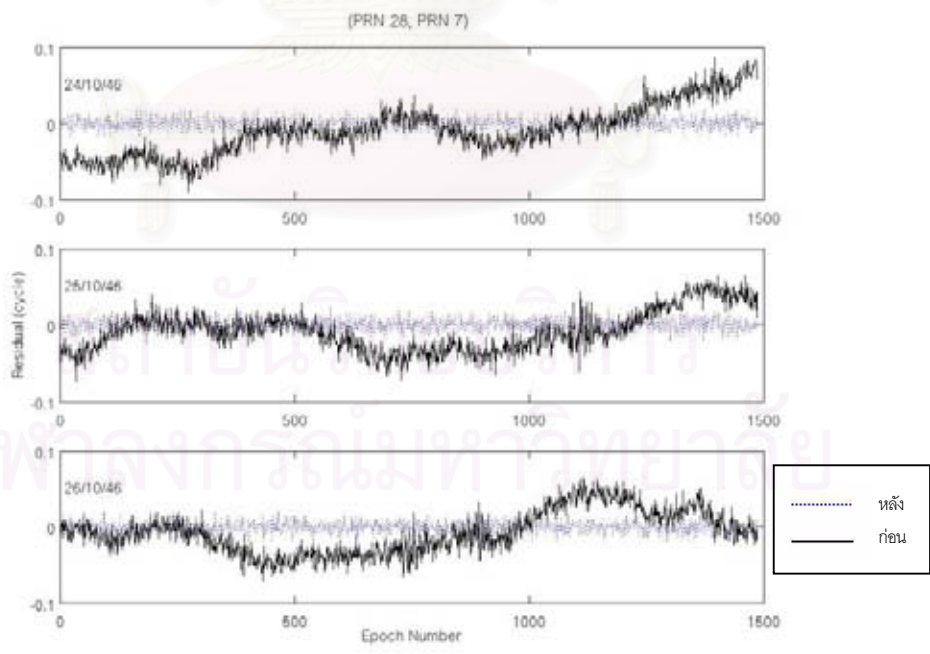


รูปที่ ก.1 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN7, PRN8) ระหว่างวันที่ 25-28 ตุลาคม 2545

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

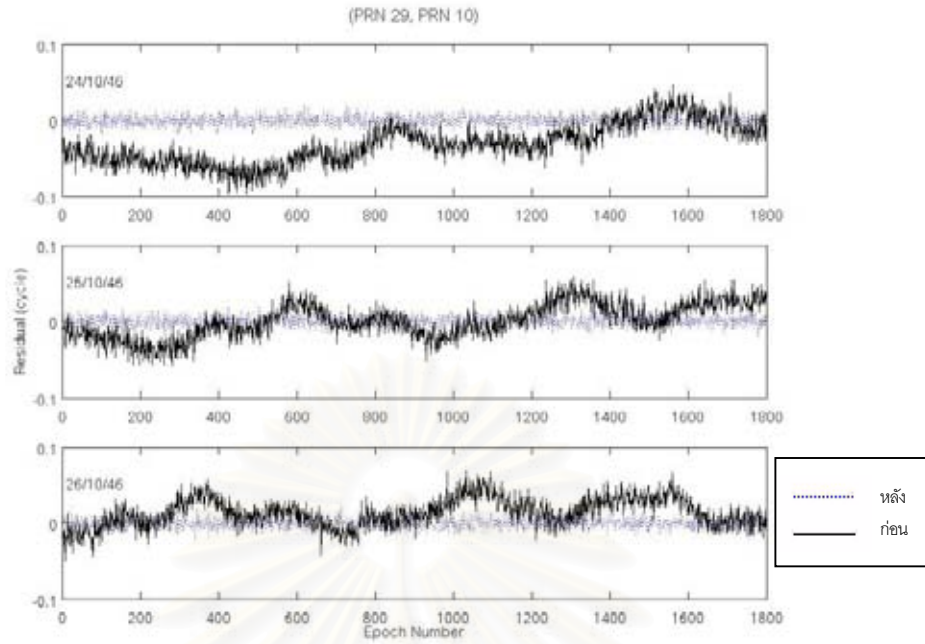


รูปที่ ก.2 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN8,PRN28) ระหว่างวันที่ 25-28 ตุลาคม 2545



รูปที่ ก.3 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN28,PRN7) ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2546





รูปที่ ก.4 แสดงผลจากการกรองข้อมูลด้วยเวฟเลท จากคู่ดาวเทียม (PRN29,PRN10) ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2546

### 3. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเศษเหลือจากเส้นฐาน 2 ก่อนและหลังขจัดคลื่นหลายวิถี

หลังจากทำการขจัดคลื่นหลายวิถีออกจากค่าเศษเหลือแล้ว ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากเดิมเป็นอย่างมาก ดังแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลก่อนและหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถี

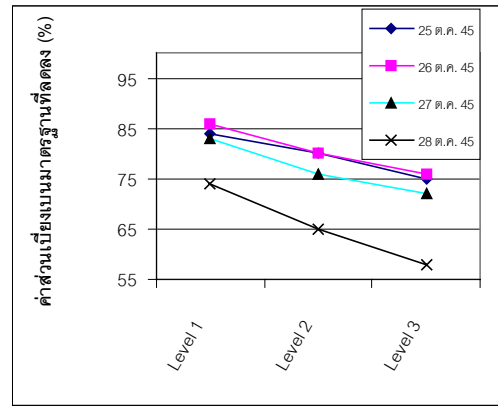
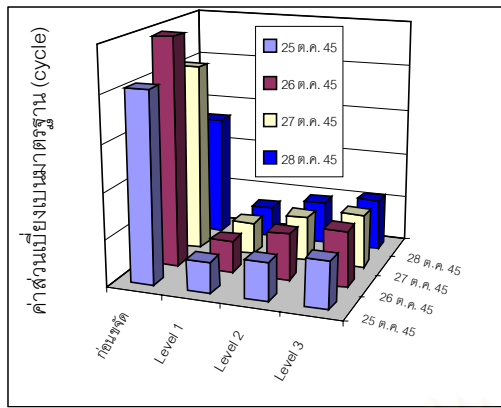
หมายเลขดาวเทียม	วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (cycle)				
		ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี (สัญญาณ 2)		
		สัญญาณ 1	สัญญาณ 2	Level 1	Level 2	Level 3
(PRN7, PRN8)	25 ต.ค.45	0.00062	0.0410	0.0067	0.0082	0.0102
	26 ต.ค.45	0.0058	0.0494	0.0069	0.0100	0.0121
	27 ต.ค.45	0.0064	0.0409	0.0070	0.0097	0.0116
	28 ต.ค.45	0.0064	0.0262	0.0067	0.0092	0.0111

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลก่อนและหลังทำการ  
 ขจัดคลื่นหลายวิถี

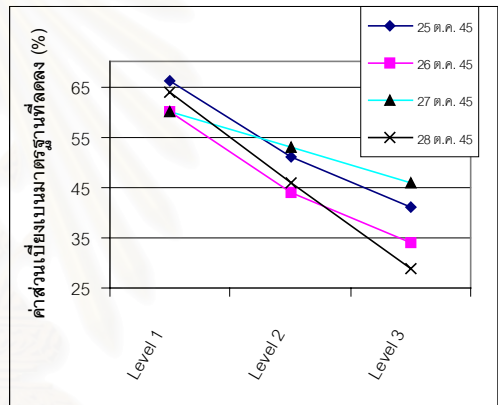
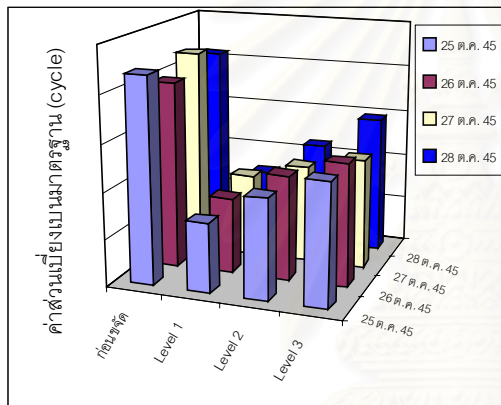
หมายเลข ดาวเทียม	วันที่	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (cycle)				
		ก่อนขจัดคลื่นหลายวิถี		หลังขจัดคลื่นหลายวิถี (สัญญาณ 2)		
		สัญญาณ 1	สัญญาณ 2	Level 1	Level 2	Level 3
(PRN8, PRN28)	25 ต.ค.45	0.0065	0.0220	0.0074	0.0107	0.0130
	26 ต.ค.45	0.0066	0.0199	0.0081	0.0112	0.0131
	27 ต.ค.45	0.0077	0.0219	0.0088	0.0104	0.0118
	28 ต.ค.45	0.0067	0.0208	0.0075	0.0112	0.0147
(PRN28,P RN7)	24 ต.ค.46	0.0071	0.0334	0.0060	0.0077	0.0088
	25 ต.ค.46	0.0073	0.0269	0.0064	0.0085	0.0096
	26 ต.ค.46	0.0072	0.0280	0.0066	0.0084	0.0094
(PRN29, PRN10)	24 ต.ค.46	0.0064	0.0265	0.0063	0.0083	0.0093
	25 ต.ค.46	0.0065	0.0222	0.0062	0.0082	0.0092
	26 ต.ค.46	0.0064	0.0188	0.0064	0.0084	0.0094

จากตารางค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีแล้วมีค่าลดลงมาก ดัง  
 แสดงในรูปที่ ก.5 ถึง ก.8 รูปซ้ายมือ คือกราฟแสดงขนาดของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและ  
 หลังขจัดคลื่นหลายวิถีของสัญญาณ 2 จากข้อมูลในแต่ละวัน และรูปขวามือ คือกราฟแสดงร้อยละ  
 ของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงไปหลังจากการขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปจากสัญญาณ 2  
 จากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ

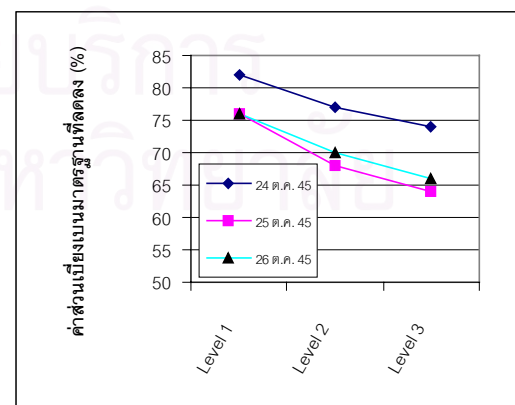
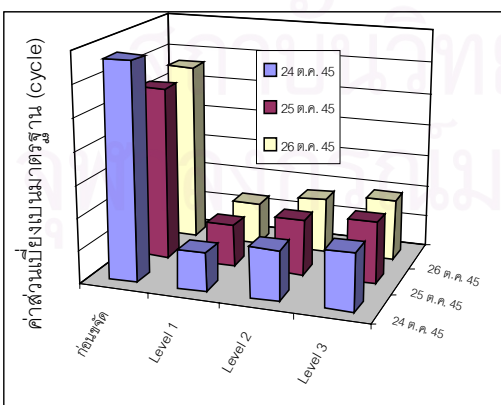
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



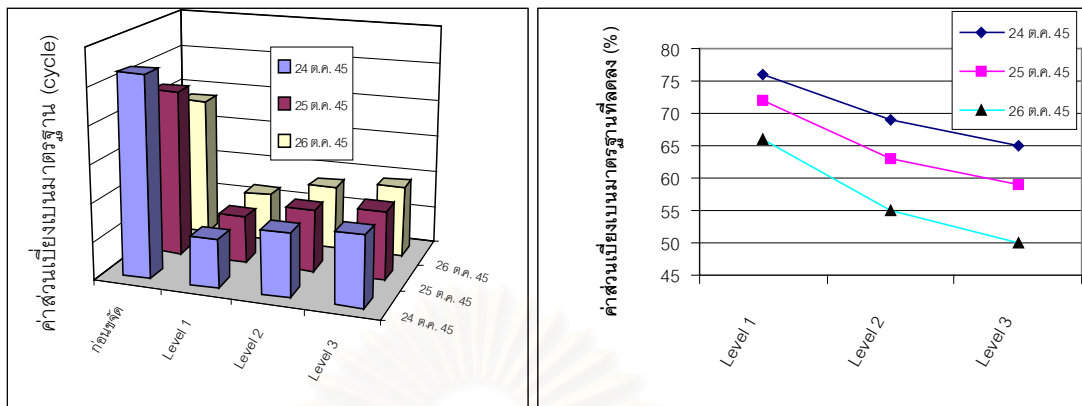
รูปที่ ก.5 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากคู่ดาวเทียม (PRN8,PRN7)



รูปที่ ก. 6 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากคู่ดาวเทียม (PRN8,PRN28)



รูปที่ ก. 7 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากคู่ดาวเทียม (PRN28,PRN7)



รูปที่ ก. 8 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับต่างๆ ของสัญญาณ 2 จากคู่ดาวเทียม (PRN29,PRN10)

## ภาคผนวก ข.

### การขจัดคลื่นหลายวิถีโดยใช้เวฟเลทตระกูล Daubechies

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทเพื่อขจัดคลื่นหลายวิถีออกจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งใช้เวฟเลทในตระกูล Symlets เนื่องจากให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจกว่าเวฟเลทตระกูลอื่น ดังนั้นในส่วนของหัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึงผลการทดลองขจัดคลื่นหลายวิถีด้วยเวฟเลท โดยใช้เวฟเลทตระกูล Daubechies เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองของเวฟเลททั้งสองตระกูล ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นเองโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังแผนผังการทำงานในรูปที่ ข.1 และมีรายละเอียดดังนี้

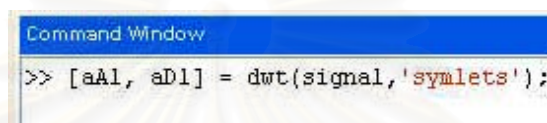


รูปที่ ข.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองโดยใช้โปรแกรม MATLAB



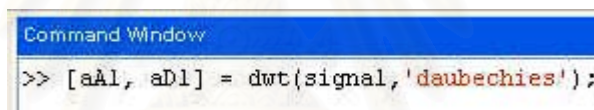
1.เป็นขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลซึ่งก็คือสัญญาณ 1 และสัญญาณ 2 ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 โดยแยกข้อมูลในแต่ละวันมาทำการประมวลผล

2.ทำการแปลงเวฟเลท โดยนำสัญญาณ 2 ไปทำการกรองด้วยเวฟเลทเพื่อแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการเลือกใช้ตระกูลของเวฟเลทที่ต้องการศึกษา เช่นหากต้องการใช้เวฟเลทในตระกูล Symlets ในขั้นตอนนี้ก็ต้องสร้างคำสั่งให้ใช้เวฟเลทในตระกูล Symlets เป็นตัวกรองสัญญาณ แต่หากต้องการเปลี่ยนเป็นเวฟเลทในตระกูลอื่น เช่น Daubechies ก็ต้องสร้างคำสั่งให้ใช้เวฟเลทในตระกูล Daubechies เป็นตัวกรองสัญญาณ ตัวอย่างการใช้คำสั่งใน Wavelet toolbox ของโปรแกรม MATLAB ดังแสดงในรูปที่ ข. 2 และ ข. 3



```
Command Window
>> [aA1, aD1] = dwt(signal, 'symlets');
```

รูปที่ ข.2 แสดงตัวอย่างการใช้ตัวกรองเวฟเลทในตระกูล Symlets



```
Command Window
>> [aA1, aD1] = dwt(signal, 'daubechies');
```

รูปที่ ข.3 แสดงตัวอย่างการใช้ตัวกรองเวฟเลทในตระกูล Daubechies

จากรูปที่ ข.2 แสดงตัวอย่างการใช้คำสั่งในการแปลงเวฟเลทโดยใช้เวฟเลทในตระกูล Symlets เป็นตัวกรองสัญญาณ โดยทำการแบ่งสัญญาณออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของสัญญาณในย่านความถี่ต่ำ(aA1) และส่วนของสัญญาณในย่านความถี่สูง(aD1) โดยสั่งให้ทำการแปลงเวฟเลท (dwt) กับข้อมูลนำเข้าที่มีชื่อว่า signal ด้วยตัวกรองสัญญาณชื่อ 'symlets' และในทำนองเดียวกัน สำหรับรูปที่ ข.3 เป็นตัวอย่างการใช้คำสั่งในการแปลงเวฟเลทของสัญญาณนำเข้า signal ด้วยตัวกรองสัญญาณชื่อ 'daubechise'

3.ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการกรองด้วยเวฟเลท ซึ่งก็คือสัญญาณที่อยู่ในย่านความถี่สูงหรือเทอมของสัญญาณรบกวน ( $Noise_2$ ) และสัญญาณที่อยู่ในย่านความถี่ต่ำหรือเทอมที่คาดว่า เป็นคลื่นหลายวิถี

4.เพื่อทำการตัดช่วงข้อมูลมาทำการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ ดังนั้นจึงต้องกำหนด ช่วงความยาวของข้อมูลแต่ละช่วง(จำนวน epoch) โดยกำหนดช่วงความยาวของข้อมูลจากขั้นตอนที่ 3 และจากสัญญาณ 1 ซึ่งไม่ได้ผ่านการแปลงเวฟเลท ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการตัด

ข้อมูลออกเป็นช่วงๆ ตามความยาวที่เรากำหนด รวมถึงนับจำนวนช่วงข้อมูลที่มีทั้งหมดจากข้อมูลใน 1 วัน และทำการคำนวณเขตปฏิเสธสมมุติฐาน F-Test ตามความยาวของข้อมูลที่เรากำหนดด้วย

5. คำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณในย่านความถี่สูงของแต่ละช่วงข้อมูลที่ตัดช่วงไว้ในขั้นตอนที่ 4 โดย  $\sigma_1$  คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญาณ 1 และ  $\sigma_2$  คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนจากสัญญาณ 2

6. ทำการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของสัญญาณรบกวนจากข้อมูลทั้งสองชุด (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3) โดยทดสอบทีละช่วงข้อมูล

7. ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาเฉพาะช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน  $H_0$  โดยทำการนับจำนวนรวมของช่วงข้อมูลที่เกิดการทดสอบไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน  $H_0$  เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าผลการแปลงเวฟเลทในครั้งนี้สามารถขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปจากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้หรือยัง โดยพิจารณาจากสัดส่วนระหว่างจำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน  $H_0$  และจำนวนช่วงข้อมูลทั้งหมด หากจำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน  $H_0$  มีจำนวนเกินครึ่ง (มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) จะถือว่าสามารถขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปจากข้อมูลได้สำเร็จ

จากขั้นตอนข้างต้นถือเป็นการกรองด้วยเวฟเลทในระดับที่ 1 และเพื่อเป็นการตัดสินใจว่าผลจากการกรองด้วยเวฟเลทในระดับใดให้ผลดีที่สุด ดังนั้นจึงต้องพิจารณาผลจากการแปลงเวฟเลทในระดับต่างๆ หากผลการแปลงเวฟเลทในระดับใดมีสัดส่วนจำนวนช่วงข้อมูลที่ไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน  $H_0$  กับจำนวนช่วงข้อมูลทั้งหมดมากกว่าจะถือว่าการแปลงเวฟเลทในระดับนั้นให้ผลดีที่สุด

ผลจากการทดสอบสมมุติฐานตามขั้นตอนการขจัดคลื่นหลายวิถีด้วยเวฟเลทที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 นั้น ปรากฏว่า เมื่อใช้เวฟเลทตระกูล Daubechies ในการกรองข้อมูล จะได้ผลการทดสอบสมมุติฐานที่ไม่แตกต่างกับเมื่อใช้เวฟเลทตระกูล Symlets และเมื่อพิจารณาที่ระดับการกรองเวฟเลทที่มีการไม่ปฏิเสธสมมุติฐานนั้น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลหลังจากขจัดคลื่นหลายวิถีออกไปแล้วโดยใช้เวฟเลทตระกูล Symlets จะมีค่าลดลงมากกว่าการกรองด้วยเวฟเลทตระกูล Daubechies ดังแสดงในตารางที่ ข.1 และ ข. 2

ตารางที่ ข.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีแล้ว โดยใช้เวฟเลทตระกูล Symlets และ Daubechies จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดโดเรนท์

ดาว เทียม	วันที่	Symlets			Daubechies		
		ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (m.)		ค่าส่วนเบี่ยง เบนมาตรฐาน ที่ลดลง(%)	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน(m.)		ค่าส่วนเบี่ยง เบนมาตรฐาน ที่ลดลง (%)
		ก่อนขจัด	หลังขจัด		ก่อนขจัด	หลังขจัด	
PRN 07	25 ต.ค.45	0.2056	0.0358	83	0.2056	0.0353	83
	26 ต.ค.45	0.3350	0.0235	93	0.3350	0.0235	93
	27 ต.ค.45	0.1981	0.0434	78	0.1981	0.0434	78
	28 ต.ค.45	0.1559	0.0354	77	0.1559	0.0562	64
PRN 05	24 ต.ค.46	0.2800	0.0399	86	0.2800	0.0399	86
	25 ต.ค.46	0.2957	0.0258	91	0.2957	0.0285	90
	26 ต.ค.46	0.2672	0.0629	76	0.2672	0.0629	76

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลหลังทำการขจัดคลื่นหลายวิถีแล้ว โดยใช้เวฟเลทตระกูล Symlets และ Daubechies จากการขจัดคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

คู่ดาวเทียม	วันที่	Symlets			Daubechies		
		ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (m.)		ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลง (%)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (m.)		ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลง (%)
		ก่อนขจัด	หลังขจัด		ก่อนขจัด	หลังขจัด	
PRN7 และ PRN8	25 ต.ค.45	0.0410	0.0067	84	0.0410	0.0067	84
	26 ต.ค.45	0.0494	0.0069	86	0.0494	0.0420	15
	27 ต.ค.45	0.0409	0.0070	83	0.0409	0.0070	83
	28 ต.ค.45	0.0262	0.0067	74	0.0262	0.0067	74
PRN8 และ PRN28	25 ต.ค.45	0.0220	0.0074	66	0.0220	0.0074	66
	26 ต.ค.45	0.0199	0.0060	70	0.0199	0.0081	59
	27 ต.ค.45	0.0219	0.0065	70	0.0219	0.0088	60
	28 ต.ค.45	0.0208	0.0070	66	0.0208	0.0075	64
PRN31 และ PRN2	25 ต.ค.45	0.0340	0.0087	74	0.0340	0.0087	74
	26 ต.ค.45	0.0410	0.0093	77	0.0410	0.0093	77
	27 ต.ค.45	0.0442	0.0097	78	0.0442	0.0097	78
	28 ต.ค.45	0.0391	0.0089	77	0.0391	0.0089	77
PRN27 และ PRN28	24 ต.ค.46	0.0477	0.0100	79	0.0477	0.0100	79
	25 ต.ค.46	0.0463	0.0100	78	0.0463	0.0100	78
	26 ต.ค.46	0.0450	0.0100	78	0.0450	0.0100	78
PRN28 และ PRN7	24 ต.ค.46	0.0334	0.0060	82	0.0334	0.0060	82
	25 ต.ค.46	0.0269	0.0064	76	0.0269	0.0064	76
	26 ต.ค.46	0.0280	0.0066	76	0.0280	0.0066	76
PRN29 และ PRN10	24 ต.ค.46	0.0265	0.0063	76	0.0265	0.0063	76
	25 ต.ค.46	0.0222	0.0062	72	0.0222	0.0062	72
	26 ต.ค.46	0.0188	0.0064	66	0.0188	0.0064	66

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางรจนา คุณพูล เกิดเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2517 ที่จังหวัด จันทบุรี สำเร็จการศึกษา ระดับ ปวส. สาขาวิชาช่างสำรวจ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2541 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2544 ปัจจุบัน รัับราชการเป็นอาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างสำรวจ คณะวิชาโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตภาคใต้

### ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. รจนา คุณพูล และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. การลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐานจีพีเอสด้วยการใช้เวฟเลต, การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซา เดอร์ กรุงเทพฯ.18 – 20 พฤษภาคม 2546
2. Satirapod C., Khoonphool R., and Rizos C. Multipath Mitigation of Permanent GPS Station Using Wavelets, The International Symposium on GPS/GNSS 2003, Tokyo, Japan, 15-18 November 2003

### การบรรยาย

1. รจนา คุณพูล และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. การลดผลจากคลื่นหลายวิถีที่สถานีฐานจีพีเอสด้วยการใช้เวฟเลต, การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซา เดอร์ กรุงเทพฯ.18 – 20 พฤษภาคม 2546

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย