

การวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกขณะเกิดแผ่นดินไหว ด้วยเทคนิค DInSAR
เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย

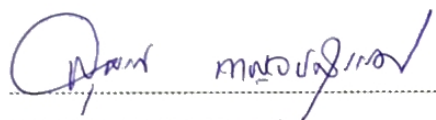
อรรถวุฒิ นารฤกุลพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์
คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ อรรถวุฒิ นารอดกุลพัฒน์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

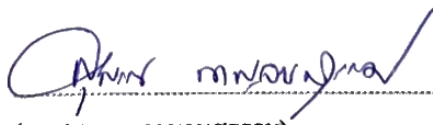
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ปีตมา พอดี)

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์
(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

วันที่ 7 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นตามความคาดหวังของผู้เขียนได้ ด้วยความเมตตากรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณยิ่งทั้งสามท่าน ท่านแรก กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.แก่นวาลฉวี ที่เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนคำแนะนำทางวิชาการที่ดีเสมอมา ท่านที่สอง ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม สำหรับคำแนะนำทางวิชาการและที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ จนเกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ท่านที่สาม ดร.ปัทมา พอดี ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาทางด้านเทคนิคตั้งแต่เริ่มแรก และได้ชี้แนะแนวความคิดตลอดจนก่อให้เกิดประสบการณ์อันมีค่า จนทำให้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อันได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรัชจรกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข กรรมการสอบ ที่กรุณาให้ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร.อนุเผ่า ออบแพทย์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลและคำแนะนำในการประมวลผล ตลอดจนช่วยเหลือคอยแนะนำการเขียนบทความวิชาการ และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT-2 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณพ่อพัฒนภูมิ และคุณแม่พิมพ์มณี นารถกุลพัฒน์ ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้ศึกษาค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อรรถวุฒิ นารถกุลพัฒน์

56910225: สาขาวิชา: ภูมิสารสนเทศศาสตร์; วท.ม. (ภูมิสารสนเทศศาสตร์)

คำสำคัญ: แผ่นดินไหวเชียงราย/ รอยเลื่อนพะเยา/ เทคนิค DInSAR/ RADARSAT-2

นายอรรถวุฒิ นารถกุลพัฒน์: การวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกขณะเกิดแผ่นดินไหวด้วยเทคนิค DInSAR เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย (Measuring Coseismic Displacement using DInSAR Techniques for 5 May 2014, Chiang Rai Province, Thailand.) คณะกรรมการผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: แก้ว นวลฉวี, Ph.D., สุพรรณ กาญจนสุธรรม, D.Tech.Sc., ปัทมา พอดี, วศ.ค., 67 หน้า. ปี พ.ศ. 2560

งานวิจัยนี้ ศึกษาศักยภาพและข้อจำกัดการใช้เทคนิค Differential InSAR และการคำนวณการกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณรอยเลื่อนที่เคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวเชียงรายขนาด Mw 6.3 ที่อำเภอพาน เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 โดยการประมวลผลด้วยเทคนิค DInSAR ข้อมูลที่นำมาใช้ คือ ภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ในแนวโคจรขาขึ้น ของวันที่ 11 กรกฎาคม ค.ศ.2012 และวันที่ 14 พฤษภาคม ค.ศ.2014 โดยนำแบบจำลองความสูงเชิงเลข (SRTM DEM) มาใช้ร่วมด้วยเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่มาจากภูมิประเทศ ผลการศึกษา พบว่ารูปแบบการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนพะเยานั้น ไม่ชัดเจน เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุพบปัจจัย 3 ประการ คือ 1. ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการบันทึกภาพระหว่างสองช่วงเวลามีระยะห่างมากไปโดยมีระยะห่างกันถึง 672 วัน 2. ค่า Signal to Noise Ratio มีขนาดใหญ่กว่าค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน เนื่องจากไม่สามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่ปะปนมาใน Interferometric Phase ให้เหลือจนกระทั่งเห็นค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นดินได้ 3. ค่าสหสัมพันธ์ในภาพมีค่าต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรอยเลื่อนพะเยามีค่าเพียง 0.1278 เนื่องจากมีพืชพรรณปกคลุม ในขณะที่ค่าสหสัมพันธ์สูงสุดคือ 0.8136 ซึ่งอยู่บริเวณเมืองเชียงราย เนื่องจากมีพื้นที่โล่งทำให้ค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ดี

การประมวลผล Coulomb Stress Change โดยใช้ข้อมูลจาก GlobalCMT พบว่ามีการส่งถ่ายแรงจากรอยเลื่อนพะเยาในแนวเหนือ-ใต้ มีเพิ่มขึ้นของแรงเค้น โดยมีค่า 1.465 บาร์ ในขณะที่แนวตะวันออก-ตะวันตกของรอยเลื่อนที่ทำการเคลื่อนตัวพบค่าแรงเค้นที่ลดลง โดยมีค่า -1.439 บาร์

56910225: MAJOR: GEOINFORMATICS; M.Sc. (GEOINFORMATICS)

KEYWORD: CHAING RAI EARTHQUAKE/ PHAYAO FAULT/ DINSAR/
RADARSAT-2

ATTAWUT NARDKULPAT: MEASURING COSEISMIC DISPLACEMENT
USING DINSAR TECHNIQUES FOR 5 MAY 2014, CHIANG RAI PROVINCE, THAILAND
ADVISORY COMMITTEE: KAEW NUALCHAWEE, Ph.D., SUPAN
KARNCHANASUTHAM, D.Tech.Sc., PATTAMA PHODEE, Ph.D., 67 P. 2017.

The purpose of this study was to examine the Mw 6.3 earthquake coseismic motion at Pan District, Chiang Rai Province on May 5, 2014 by using Differential InSAR technique. Two RADARSAT-2 ascending images on July 11, 2012 and May 14, 2014 were used as the input data. SRTM DEM was also used together to remove topographic error. The DInSAR analysis result could not showed clearly coseismic displacement around the Phayao fault area. This may be because 3 factors, 1). The temporal decorrelation between two images was wide interval which up to 672 days. 2). Signal to Noise Ratio was greater than land deformation because it could not be reduced other involved errors in Interferometric phase. 3). Coherence was low, especially in Phayao fault, was 0.127818 due to dense vegetation while the highest coherence was 0.8136, which was located in the city of Chiang Rai with an open area, so there was good backscatter

While the Mw 6.3 earthquake coseismic motion at Pan District, Chiang Rai Province on May 5, 2014. We calculate the coseismic coulomb stress change using data from GlobalCMT. The Increasing stress of 1.465 bars in north-south and decreasing -1.439 bars in east-west of Phayao Fault.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
ขอบเขตการศึกษา.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย.....	9
ประเภทของรอยเลื่อน.....	12
แรงเครียด (Strain) และแรงเค้น (Stress).....	13
วัฏจักรแผ่นดินไหว (Seismic Cycle).....	14
พื้นที่ศึกษาและรายละเอียดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเชียงราย.....	16
คุณลักษณะของรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา.....	17
หลักการถ่ายภาพในระบบ RADAR และ ภาพถ่ายระบบ SAR.....	17
หลักการทำงานของ InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar).....	20
Interferogram.....	21
ค่า Coherence.....	22
เทคนิค Differential Interferometry.....	23
Coulomb Stress Transfer.....	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
ข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการศึกษา.....	28
วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
การประมวลผลด้วยเทคนิค Differential InSAR.....	28
การคำนวณหา Coulomb Stress Change.....	31
4 ผลการวิจัย.....	32
ผลของการประมวลผลด้วยเทคนิค 2-pass DInSAR ในการติดตามเหตุการณ์ แผ่นดินไหวเชียงราย Mw 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557.....	32
ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณโคจรอบของรอยเลื่อน พะเยาหลังเกิดแผ่นดินไหวเชียงราย Mw 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557.....	43
5 อภิปรายและสรุปผล.....	47
สรุปผลการศึกษา.....	47
อภิปรายผลการศึกษา.....	47
ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 สถิติการเกิดแผ่นดินไหวที่มีศูนย์กลางในประเทศไทย.....	2
2-1 การเปรียบเทียบตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวกับหน่วยงานต่างประเทศ.....	16
2-2 ดาวเทียมในระบบเรดาร์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน.....	20
4-1 ค่าพารามิเตอร์ Perpendicular Baseline, Parallel Baseline และระยะห่างของภาพที่นำมาวิเคราะห์.....	32
4-2 แสดงค่าสถิติของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล.....	42
4-3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ Coulomb Stress Change.....	44

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 พื้นที่ศึกษาบริเวณที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2.....	5
1-2 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
2-1 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย 13 กลุ่ม.....	11
2-2 มุมในแนวระดับ มุมเท และมุมเรค บนรอยเลื่อน.....	12
2-3 รอยเลื่อนปกติ (Normal Fault).....	12
2-4 รอยเลื่อนย้อน (Thrust Fault).....	13
2-5 รอยเลื่อนแนวระดับหรือรอยเลื่อนด้านข้าง (Strike-slip Fault).....	13
2-6 ช่วงเวลาการเคลื่อนตัวของตัวตามทฤษฎี Reid's Elastic Rebound Theory.....	15
2-7 การบินถ่ายภาพในระบบ RADAR.....	18
2-8 แนว Range และ Azimuth ของภาพระบบ SAR ดัดแปลงข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).....	19
2-9 ลักษณะเรขาคณิตของ InSAR ณ เวลาที่ต่างกัน.....	21
2-10 การบิดเบือนจากภูมิประเทศ ในการบันทึกภาพระบบ RADAR.....	23
3-1 ขั้นตอนการทำงานเทคนิค DInSAR ตามลำดับการทำงานของโปรแกรม DORIS.....	29
4-1 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 (ซ้าย) วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 (ขวา) 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ผ่านการประมวลผล Co-registration.....	33
4-2 ข้อมูล Interferogram โดยมีอยู่ในระหว่าง $-\pi$ ถึง $+\pi$ โดยในกรอบ คือ พื้นที่เมือง.....	35
4-3 ข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข SRTM บริเวณพื้นที่ศึกษา.....	36
4-4 ข้อมูลค่า Coherence หลังการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจาก ภูมิประเทศ โดยใน กรอบ คือ พื้นที่เมือง.....	36
4-5 ข้อมูล Interferogram หลังการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ.....	37
4-6 ข้อมูล Interferogram หลังการประมวลผล Phase Filter.....	38
4-7 ข้อมูล Interferogram หลังการประมวลผล Multilook ตัวเมืองเชียงรายเห็นรูปแบบชัดเจนขึ้น ดังในกรอบสี่เหลี่ยม.....	39
4-8 ข้อมูลค่า Coherence หลังการประมวลผล Multilook จะเห็นความชัดเจนบริเวณที่มีค่า Coherence สูง (สีขาว) โดยเฉพาะบริเวณเมืองเชียงราย ดังในกรอบ สี่เหลี่ยม.....	39
4-9 ข้อมูล Interferogram หลังการประมวลผล Phase Unwrapped.....	40
4-10 ข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน (Displacement).....	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-11 ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิค DInSAR ประมวลผลด้วยข้อมูลดาวเทียม RADARSAT-2 ซ้ด้นทับกับข้อมูล LANDSAT 8 OLI วันที่ 3 เมษายน พ.ศ.2557 Band 4 3 2 (R G B)..	42
4-12 ค่า Coherence จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2.....	43
4-13 การเคลื่อนตัวรอยเลื่อนพะเยา ในเหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557.	44
4-14 Coulomb Stress Change บริเวณรอยเลื่อนพะเยา หลังแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557.....	45
4-15 Coulomb Stress Change บริเวณรอยเลื่อนพะเยา หลังแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557.....	46
5-1 ผลลัพธ์จากการประมวล Interferogram (a) Interferogram บริเวณ Lushan ประเทศ จีน (b) Interferogram บริเวณ Lorca ประเทศสเปน.....	48
5-2 เปรียบเทียบระหว่างค่า Coherence กับภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณเมืองเชียงราย (a) ค่า Coherence (b) ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2557 Band 4 3 2 (R G B)	50
5-3 เปรียบเทียบระหว่างค่า Coherence กับภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณจุดเกิด แผ่นดินไหว (a) ค่า Coherence (b) ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2557 Band 4 3 2 (R G B)	50

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ซึ่งล้อมรอบด้วยแผ่นเปลือกโลกอีก 2 แผ่น คือ แผ่นเปลือกโลกอินเดีย – ออสเตรเลีย (Indian – Australian Plate) และแผ่นมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific Plate) ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ในเขตที่ค่อนข้างปลอดภัยแผ่นดินไหว แต่จากบันทึกทางประวัติศาสตร์ เคยปรากฏเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ในประเทศไทยหลายครั้ง โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันตกซึ่งประกอบด้วยกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังเป็นจำนวนมาก (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) แม้ว่าการเกิดแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทยนั้นยังไม่รุนแรงเท่ากับบริเวณพื้นที่ที่เป็นรอยต่อของเปลือกโลกหรือวงแหวนแห่งไฟ (Ring of Fire) แต่ในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา พบว่า มีสถิติการเกิดแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในประเทศไทยที่สำคัญจำนวนทั้งสิ้น 9 ครั้ง ดังตารางที่ 1-1 ซึ่งเป็นแผ่นดินไหวขนาดตั้งแต่ M_w 5.0 – 6.3 แบ่งเป็นภาคเหนือ 5 ครั้ง ภาคตะวันตก 4 ครั้ง จะสังเกตได้ว่าภาคเหนือจะมีการเกิดแผ่นดินไหวบ่อยกว่าภาคตะวันตก เนื่องจากการเกิดแผ่นดินไหวจากประเทศเพื่อนบ้านได้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) สำหรับแผ่นดินไหวที่มีมากกว่า M_w 6.0 ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณรอยเลื่อนในประเทศข้างเคียง ซึ่งทำให้ประเทศไทยได้รับความเสียหายตามไปด้วย เช่น แผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามันขนาด $M_w = 9.0$ เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 (สันติภัยหลบลี และ สันตวัฒน์ สุขรังษี, 2557) แผ่นดินไหวในประเทศลาวขนาด $M_w = 6.3$ เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 (ทีมวิชาการธรณีไทย, 2550) แผ่นดินไหว Tarlay ขนาด $M_w = 6.8$ เมื่อวันที่ 24 มีนาคม ค.ศ. 2011 ในประเทศเมียนมาร์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) ดังนั้นการศึกษากการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยจึงไม่ใช่เรื่องที่ไกลตัวอีกต่อไป เนื่องจากจากข้อมูลสถิติการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดกลางขึ้นไปมีความถี่เพิ่มมากขึ้น

เหตุการณ์แผ่นดินไหวในวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ละติจูด 19.685 N ลองจิจูด 99.687 E ขนาดแผ่นดินไหว M_w 6.3 ความลึกจากผิวดิน 7 กิโลเมตร แผ่นดินไหวครั้งนี้จัดเป็นแผ่นดินไหวระดับต้น (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) ประชาชนสามารถรับรู้ถึงแรงสั่นไหวได้ในหลายพื้นที่ของภาคเหนือ โดยเฉพาะบริเวณจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง น่าน พะเยา รวมถึงจังหวัดเลยและหนองคายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมไปถึงผู้ที่อยู่บนอาคารสูงหลายแห่งในเขตกรุงเทพฯ ก็สามารถรับรู้ได้ถึง

แรงสั่นไหว เนื่องจากชั้นดินใต้กรุงเทพฯ เป็นชั้นดินอ่อนซึ่งมีคุณลักษณะในการขยายแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้นถึง 3 – 4 เท่า (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557) รอยเลื่อนที่เป็นต้นเหตุในครั้งนี้ คือ รอยเลื่อนพะเยา วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ พบการเคลื่อนตัวในแนวระดับโดยเลื่อนไปทางขวา (Right Lateral Strike-slip) (สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล, 2557)

ตารางที่ 1-1 สถิติการเกิดแผ่นดินไหวที่มีศูนย์กลางในประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

วัน-เดือน-ปี พ.ศ	ขนาด (M_w)	ศูนย์กลางแผ่นดินไหว	บริเวณที่ประเทศไทยได้รับผลกระทบ
17 ก.พ. 2518	5.6	อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก	ภาคเหนือและภาคกลาง
15 เม.ย. 2526	5.5	อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	รู้สึกแผ่นดินไหวชัดเจนในกรุงเทพฯ
22 เม.ย. 2526	5.9	อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	ภาคตะวันตกและภาคกลาง
22 เม.ย. 2526	5.2	อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	รู้สึกแผ่นดินไหวตลอดภาคกลาง และภาคเหนือ ส่วนอาคารในกรุงเทพฯ เสียหายเล็กน้อย
11 ก.ย. 2537	5.1	อำเภอยางชุมน้อย จังหวัด ศรีสะเกษ	จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่
9 ธ.ค. 2538	5.1	อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่	รับรู้แรงสั่นสะเทือนได้ในจังหวัดทางภาคเหนือ
21 ธ.ค. 2538	5.2	อำเภอพร้าว จังหวัด เชียงใหม่	รับรู้แรงสั่นสะเทือนได้ที่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา และแม่ฮ่องสอน
13 ธ.ค. 2549	5.1	อำเภอแม่ริม จังหวัด เชียงใหม่	สิ่งปลูกสร้างเกิดรอยร้าวหลายแห่งใน อำเภอแม่ ริม อำเภอสันทราย และ อำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่
5 พ.ค. 2557	6.3	อำเภอยางชุมน้อย จังหวัด ศรีสะเกษ	สิ่งปลูกสร้างในจังหวัดทางภาคเหนือได้รับความเสียหายและรับรู้แรงสั่นสะเทือนได้ใน จังหวัดทางภาคกลาง

การสำรวจภาคสนามเพื่อหาการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนนั้นอาจใช้ระยะเวลาและงบประมาณมากกว่า เนื่องจากต้องใช้กำลังคนชุดรอสำรวจ เพื่อดูแลลักษณะการวางตัวของลำดับชั้นตะกอนดินและลักษณะการวางตัวของรอยเลื่อน และเป็นการหาอายุตัวอย่างตะกอนด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน เมื่อได้อายุแล้วก็จะประเมินหาขนาดของแผ่นดินไหวและหาอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2547) อีกทั้งการชุดรอสำรวจมีโอกาสที่จะไม่พบลักษณะการวางตัวของรอยเลื่อน โดยตรง บางครั้งข้อมูลที่ได้ก็อาจไม่เพียงพอต่อการหาข้อสรุป จากการวิเคราะห์สภาพพื้นที่โดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัดเชียงรายซึ่งเป็นจุดที่รอยเลื่อนพาดผ่านพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ยากต่อการเข้าถึงเพราะปกคลุมไปด้วยป่าและเป็นภูเขา อีกทั้งขาดแคลนสถานี GPS ที่รังวัดแบบต่อเนื่อง (Continuous GPS Station, CGPS) ที่ใช้สำหรับการตรวจจับและติดตามการเคลื่อนตัว ดังนั้น เทคนิค DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) เป็นเทคนิคอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกได้เป็นบริเวณกว้างและใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตรถึงมิลลิเมตร (ปวัน ภิรมย์ทอง อธิธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ และอนุเผ่า ออบแพทย์, 2558)

Differential InSAR เป็นการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อหาผลต่างของเฟส ซึ่งภาพถ่ายจะต้องบันทึกในตำแหน่งเดียวกันแต่คนละช่วงเวลา สามารถคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนโลก ให้ความละเอียดในระดับมิลลิเมตร (Hyung Sup Jung et al, 2013) สามารถติดตามการเคลื่อนตัวพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ เช่น การติดตามการทรุดตัวในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล (Aobpaet et al, 2013) การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน การเคลื่อนตัวบริเวณปากปล่องภูเขาไฟ การตรวจหาพื้นที่ดินถล่ม (Xiaobing Zhou et al, 2009)

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิค 2-pass DInSAR โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 จำนวน 2 ภาพ โดยเลือกช่วงเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว คือ ภาพของวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ.2555 และหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 สาเหตุที่ต้องเลือกคู่นี้เนื่องจาก ภาพก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวจะต้องเป็นข้อมูลที่มี Beam Mode หรือมุมมองและแนวการถ่ายในลักษณะเดียวกัน โดยนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นดินบริเวณรอยเลื่อนพะเยาอันเป็นผลมาจากแผ่นดินไหวเชียงรายเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ผลลัพธ์จะแสดงผลในรูปแบบแผนที่การเคลื่อนตัวของแผ่นดิน พร้อมทั้งอธิบายข้อจำกัดในการใช้เทคนิค DInSAR เมื่อนำมาประยุกต์กับการหาการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ของพื้นที่เขตร้อน (Tropical Zone) อย่างประเทศไทย

นอกจากการศึกษาเทคนิค 2-pass DInSAR แล้ว ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณโดยรอบของรอยเลื่อนพะเยา โดยนำข้อมูลพารามิเตอร์ของรอยเลื่อน อาทิ ค่า Strike

ค่า Dip และค่า Rake ไปสู่การคำนวณการกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณโดยรอบของรอยเลื่อนพะเยา ด้วยวิธี Coulomb Stress Change (Shinji Toda et al, 2001) เพื่อดูแนวโน้มการกระจายตัวของแรงเค้นว่ามีทิศทางและความแรงไปบริเวณใด ใกล้กับรอยเลื่อนใด ซึ่งรอยเลื่อนบริเวณรอบ ๆ ตำแหน่งของการเกิดแผ่นดินไหวเชียงรายนั้นอาจจะมีการเพิ่มขึ้นของแรงเค้น เพื่อเป็นข้อมูลที่ช่วยการประมาณความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวครั้งต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเทคนิค 2-pass DInSAR ในการติดตามเหตุการณ์แผ่นดินไหวเชียงราย M_w 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557
2. เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณโดยรอบของรอยเลื่อนพะเยาหลังเกิดแผ่นดินไหวเชียงราย M_w 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

ขอบเขตการศึกษา

1. ขอบเขตพื้นที่และข้อมูลศึกษา

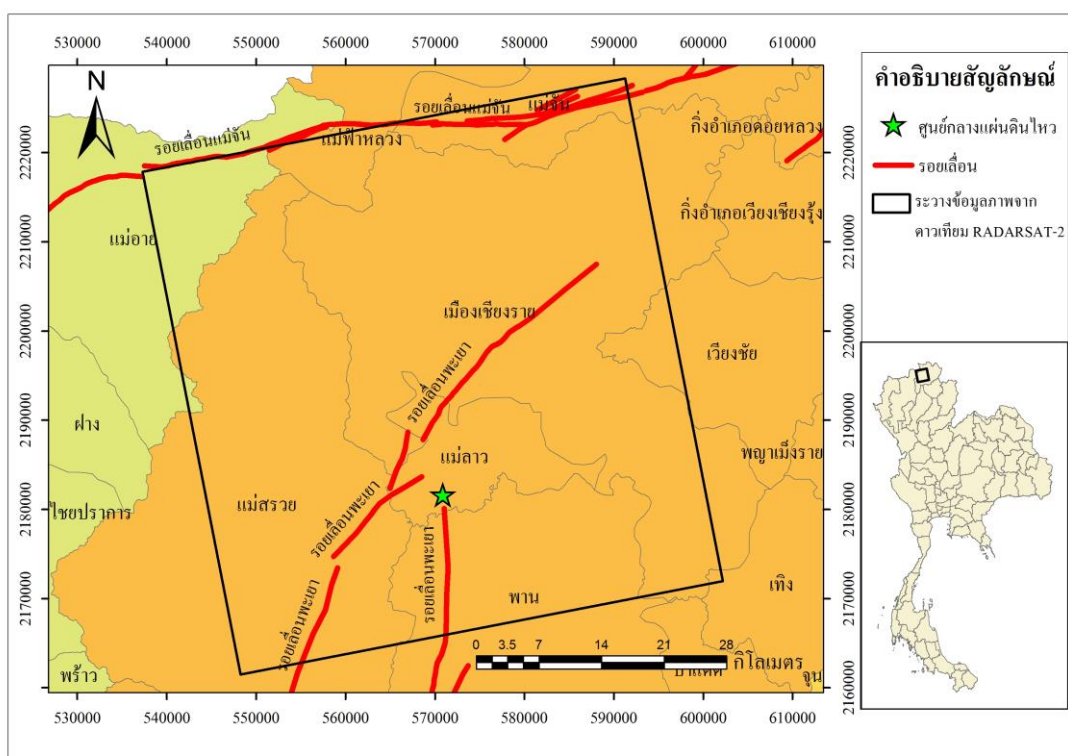
พื้นที่ศึกษารอบคลุมพื้นที่ 50 x 50 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมอำเภอพาน แม่สรวย แม่ลาว เวียงชัย แม่จัน แม่ฟ้าหลวง และเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย และอำเภอแม่อาว จังหวัดเชียงใหม่ รวมถึงกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา ประกอบไปด้วยรอยเลื่อนย่อยไม่น้อยกว่า 17 รอยเลื่อนวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ รวมความยาวประมาณ 90 กิโลเมตร (สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล, 2557) ดังแสดงในภาพที่ 1-1

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา คือ ภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ประเภท SLC โดยมีช่วงคลื่น C-band มีความยาวคลื่น 5.6 เซนติเมตร วงโคจรในโหมด Fine (F4F) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 50 x 50 ตารางกิโลเมตร ในแนวการโคจรของดาวเทียมแบบขาขึ้น (Ascending) มีความละเอียดของภาพในแนว Range และ Azimuth อยู่ที่ 5.2 x 7.7 เมตร (MDA, 2016) ข้อมูลภาพได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

2. ขอบเขตวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว ขนาด M_w 6.3 บริเวณอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ในวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ละติจูด 19.685 N ลองจิจูด 99.687 E ความลึกจากผิวดิน 7 กิโลเมตร โดยใช้เทคนิค DInSAR แบบ 2-pass DInSAR โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของแผ่นดิน โดยเทคนิคนี้สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวได้เป็นบริเวณกว้างและใช้เวลาการวิเคราะห์ที่น้อยกว่าการ

สำรวจภาคสนาม โดยมีความถูกต้องในระดับเซนติเมตรถึงมิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์การ
 ส่งผ่านของแรงเค้นด้วยวิธี Coulomb Stress Change เพื่อทำการจำลองการส่งผ่านแรงและทำให้
 ทราบถึงรอยเลื่อนที่มีโอกาสได้รับแรงเค้นเพิ่มจากแผ่นดินไหวเชียงราย



ภาพที่ 1-1 พื้นที่ศึกษาบริเวณที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบเทคนิค 2-pass DInSAR ในการติดตามเหตุการณ์แผ่นดินไหวเชียงราย M_w 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557
2. ทราบการกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณโดยรอบของรอยเลื่อนพะเยาหลังเกิดแผ่นดินไหวเชียงรายเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

นิยามศัพท์เฉพาะ

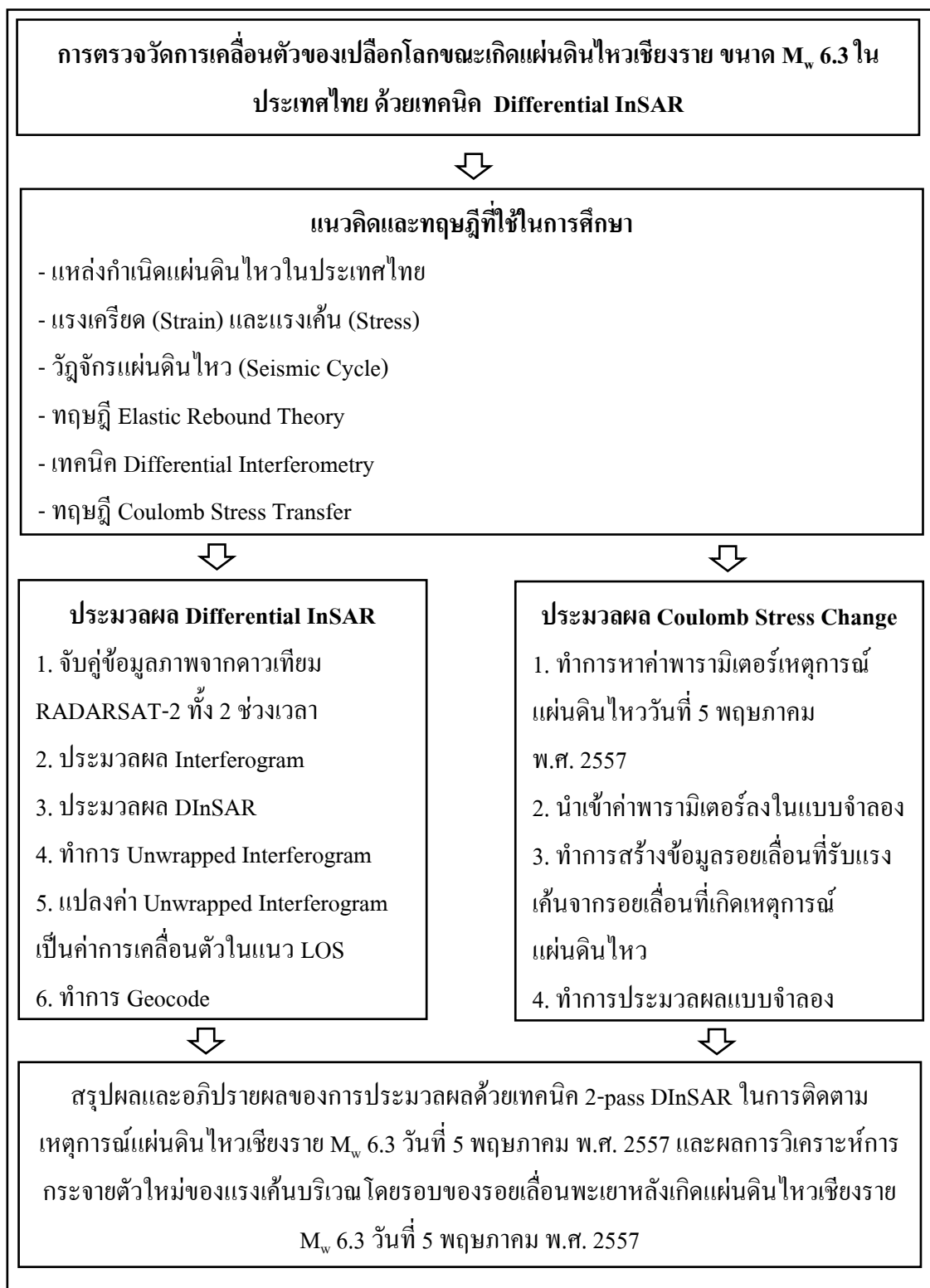
1. M_w (Moment Magnitude Scale) หมายถึง หน่วยที่นักวิทยาศาสตร์แผ่นดินไหวใช้เพื่อวัดขนาดของแผ่นดินไหวในแง่ของพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา
2. รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) หมายถึง รอยเลื่อนที่พบหลักฐานว่าเคยเกิดการเลื่อนหรือขยับตัวมาแล้วในช่วง 11,000 ปี จะจัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งมักจะพบอยู่ในพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้ง หรือตามแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลก
3. Coseismic Motion หมายถึง ช่วงเวลาที่แผ่นเปลือกโลกปล่อยพลัง เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว แผ่นเปลือกโลกทั้งสองเกิดการเลื่อนไถล (Slipped) ไปในทิศตรงกันข้าม
4. แรงเครียด (Strain) หมายถึง แรงที่เกิดจากบีบอัดภายนอกมากกระทำ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด หรือตำแหน่ง แรงเครียดจะหายไปเมื่อหยุดแรงกระทำ
5. แรงเค้น (Stress) หมายถึง แรงภายนอกที่กระทำต่อพื้นที่ผิว ณ จุดใด ๆ ที่พื้นผิววัตถุ
6. RADAR (Radio Detection And Ranging) หมายถึง ระบบการตรวจวัดที่ต้องมีแหล่งของพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้น และส่งสัญญาณในช่วงคลื่นไมโครเวฟไปยังวัตถุเป้าหมายแล้ววัดความเข้มขึ้นของพลังงานที่กระจัดกระจายกลับ (Backscatter) ไปสู่เครื่องรับรู้
7. SAR (Synthetic Aperture Radar) หมายถึง ระบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ อาศัยการเคลื่อนที่ของตัวยาน (Doppler Effect) สร้างเป็นจันรับและส่งสัญญาณสมมติ ทำให้ได้รายละเอียดข้อมูลที่สูง แม้จะบินสูงจากพื้นโลกมาก ๆ
8. DInSAR (Differential Interferometry SAR) หมายถึง เทคนิคทางเรดาร์ชนิด ที่ทำการวัดระยะหรือวัดการเปลี่ยนแปลงของระยะทางระหว่างวัตถุถึงเสาอากาศเรดาร์ ณ ช่วงเวลาหนึ่งกับอีกช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบโดยใช้จำนวนลูกคลื่น (Phase) มาคำนวณเพื่อหาระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป DInSAR มีหลากหลายเทคนิค ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่นำมาประมวลผล เช่น 2-pass Differential InSAR หรือ 2-pass DInSAR เป็นการนำข้อมูล 2 ช่วงเวลาและข้อมูล DEM จากภายนอกนำมาประมวลผล 3-pass DInSAR เป็นการนำข้อมูล 3 ช่วงเวลา โดยมีการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง DEM แล้วจึงประมวลผล และ Time-Series InSAR เป็นการนำข้อมูลมากกว่า 3 ช่วงเวลามาประมวลผล
9. Coherence หมายถึง ความสัมพันธ์ของเฟสสองช่วงเวลา จะมีค่าอยู่ในระหว่าง 0 ถึง 1 หากภาพก่อนและหลัง
10. Coulomb Stress Change หมายถึง การวิเคราะห์การกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นที่เกิดจากรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหว

11. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) หมายถึง แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากข้อมูลเรดาร์ที่ทำการถ่ายจากกระสวยอวกาศ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกขณะเกิดแผ่นดินไหวเชียงราย ขนาด M_w 6.3 ในประเทศไทย ด้วยเทคนิค Differential InSAR พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่อำเภอพาน แม่สรวย แม่ลาว เวียงชัย แม่จัน แม่ฟ้าหลวง และเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย และอำเภอแม่อาว จังหวัดเชียงใหม่ ข้อมูลที่นำมาใช้ คือ ข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT-2 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ซึ่งมีรายละเอียดของภาพ คือ ภาพประเภท SLC (Single Look Complex) ช่วงคลื่นแบนด์ C มีความยาวคลื่น 5.6 เซนติเมตร มีความถี่ 5.3 GHz บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิมทุก ๆ 24 วัน ในแนวการโคจรของดาวเทียม ขาลง โหมด Fine (F4F) สำหรับช่วงเวลาที่นำภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 มาวิเคราะห์ คือ วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 และวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ครอบคลุมเหตุการณ์แผ่นดินไหววัน 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งการประมวลผล เป็น 2 ส่วน คือ การประมวลผล Differential InSAR แบ่งเป็น 6 ขั้นตอนย่อย และการประมวลผล Coulomb Stress Change แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนย่อย จากนั้นนำผลทั้งสองส่วน มาสรุปผลและอภิปรายผล ดังในภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ครอบคลุมประเด็นศึกษาต่าง ๆ โดยแบ่งหัวข้อดังต่อไปนี้ คือ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ประเภทของรอยเลื่อน แรงเครียด (Strain) และแรงเค้น (Stress) วัฏจักรแผ่นดินไหว (Seismic Cycle) พื้นที่ศึกษา และรายละเอียดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเชิงราย คุณลักษณะของรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา หลักการถ่ายภาพระบบ RADAR และถ่ายภาพระบบ SAR หลักการทำงานของ InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) Interferogram ค่า Coherence เทคนิค Differential Interferometry Coulomb Stress Transfer และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

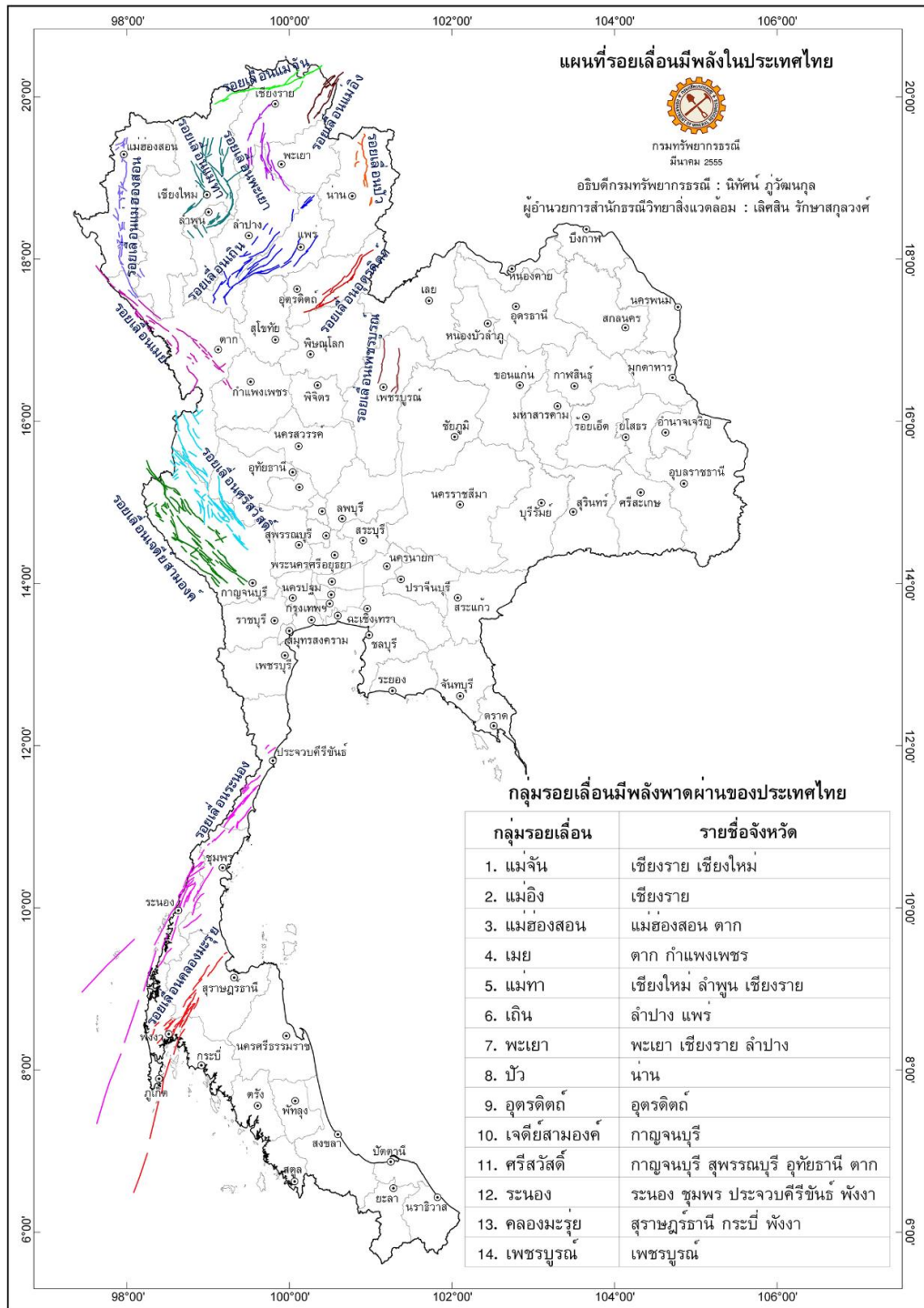
แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย

ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่บนแผ่นเปลือกโลก 4 แผ่น ประกอบด้วย แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasia Plate) แผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian Plate หรือ Indo-Australian Plate) แผ่นเปลือกโลกทะเลฟิลิปปินส์ (Philippines Sea Plate) และแผ่นเปลือกโลกแปซิฟิก (Pacific Plate) และยังอยู่ในช่วงรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก (Plate Boundary) ในช่วงอายุทางธรณีกาล (Late Cenozoic) พบว่า ประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง เป็นส่วนใต้สุดของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียที่แทบจะหยุดนิ่ง แต่แผ่นเปลือกโลกอินเดียเคลื่อนที่ในทิศเหนือและชนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ส่งผลให้ขอบของแผ่นเปลือกโลกเกิดร่องลึก (Trench) การเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องนี้ ส่งผลให้เกิดรอยเลื่อนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จำนวนมาก เช่น รอยเลื่อนสะกาย รอยเลื่อนแม่น้ำแดง และรอยเลื่อนบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ปัจจุบันรอยเลื่อนเหล่านี้จัดเป็นรอยเลื่อนมีพลัง (รอยเลื่อนที่พบหลักฐานการเคลื่อนตัวในช่วง 10,000 ปี (สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล, 2557) ที่มีการเคลื่อนที่และเป็นต้นเหตุในการเกิดแผ่นดินไหว (วิระชาติ วิเวกวิน สุวิทย์ โคสุวรรณ และปรีชา สายทอง, 2557)

รอยเลื่อนที่มีพลังเหล่านี้ มีโอกาสที่จะก่อให้เกิดแผ่นดินไหว ซึ่งมีหลายเหตุการณ์ในอดีตที่สร้างความเสียหายต่อชีวิตประชาชน บ้านเรือน โครงสร้างสาธารณูปโภคต่าง ๆ ในปัจจุบันกรมทรัพยากรธรณีแบ่งกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย ออกเป็น 14 กลุ่ม โดยให้คำจำกัดความคำว่า รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) คือ รอยเลื่อนบนเปลือกโลกที่มีหลักฐานทางธรณีวิทยาว่ายังมีการเคลื่อนตัวในช่วงธรณีกาลสมัยโฮโลซีน (Holocene) หรือประมาณ 11,000 ปีที่แล้ว ส่วนมากตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลังจะอยู่บริเวณภาคเหนือและด้านตะวันตกของประเทศ บางส่วนเป็นรอย

เลื่อนต่อเนื่องมาจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ต่อเนื่องมาจากกลุ่มรอยเลื่อนสะเทียงในประเทศเมียนมาร์ กลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน ต่อเนื่องมาจากกลุ่มรอยเลื่อนน้ำมา (Tar Lay) ประเทศเมียนมาร์และลาว ดังแสดงในภาพที่ 2-1 (กรมทรัพยากรธรณี, 2555) รอยเลื่อนในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการวางตัวต่อเนื่องจากประเทศเมียนมาร์และประเทศลาว โดยรอยเลื่อนที่มีพลังและยังมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวในรอบ 40 ปีที่ผ่านมาจะอยู่บริเวณภาคตะวันตก และภาคเหนือของประเทศไทย ปัจจุบันรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทยเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง (วิระชาติ วิเวกวิน และคณะ, 2557) ซึ่งแสดงถึงว่าเปลือกโลกมีการเคลื่อนตัวและขยับตัวปลดปล่อยพลังงานมาเป็นระยะๆ คาบอุบัติซ้ำในบริเวณรอยเลื่อนมีพลังมีโอกาสเกิดในช่วงระยะเวลาที่ห่างกันอาจจะนานหลายร้อยปีหรือเป็นสิบปี เช่น กลุ่มประเทศที่อยู่ตามแนววงแหวนภูเขาไฟ (Ring of Fire) อย่างประเทศไต้หวัน ในระหว่างปี พ.ศ. 2444 ถึงปี พ.ศ. 2543 เกิดแผ่นดินไหวใหญ่ 91 ครั้ง และจนถึงปี พ.ศ. 2559 เกิดขึ้น 15 ครั้ง โดยปี พ.ศ. 2556 เกิดขึ้น 6 ครั้ง แต่ไม่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี พ.ศ. 2557 ประเทศญี่ปุ่นก็มีจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่มากมาย แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2557 ไม่มีเหตุการณ์แผ่นดินไหว เกิดขึ้นอีกครั้งในปี พ.ศ. 2558 จำนวน 1 ครั้ง และ พ.ศ. 2559 จำนวน 3 ครั้ง (USGS, 2016) สำหรับประเทศไทย นักธรณีวิทยาได้ทำการสำรวจและศึกษารอยเลื่อนมีพลังแล้วในหลายกลุ่มรอยเลื่อน พบว่า หลายกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังมีศักยภาพทำให้เกิดแผ่นดินไหวในระดับขนาดเล็ก (M_w 1 – 3.9) จนถึงขนาดปานกลาง (M_w 4.0 – 4.9) (USGS, 1989) แต่คาบอุบัติซ้ำค่อนข้างยาวนานหลายร้อยหรือหลายพันปี

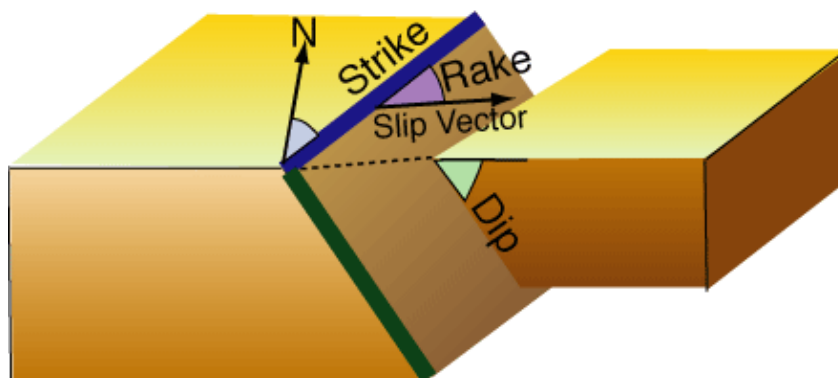
นอกจากแผ่นดินไหวที่มีศูนย์กลางในประเทศที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยแผ่นดินไหวขนาดปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ตั้งแต่ M_w 6.0 ขึ้นไป ซึ่งมีศูนย์กลางตามแนวแผ่นดินไหวของโลกในประเทศเมียนมาร์ ทะเลอันดามัน หมู่เกาะนิโคบาร์ หรือแนวรอยเลื่อนมีพลังนอกประเทศบริเวณประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตอนใต้ของประเทศจีน เป็นต้น อาจส่งความสั่นสะเทือนรุนแรงมายังประเทศไทยได้ ผู้อาศัยบนอาคารสูงหลายแห่งในกรุงเทพฯ รู้สึกถึงการสั่นสะเทือนได้ดีเนื่องจาก อาคารและสิ่งก่อสร้างส่วนมากในกรุงเทพฯ สร้างบนดินอ่อนซึ่งมีคุณสมบัติโยกไหวได้ง่าย ในกรณีของแผ่นดินไหวใหญ่ที่อยู่ไกลออกไป



รูปที่ 2-1 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย 13 กลุ่ม (กรมทรัพยากรธรณี, 2555)

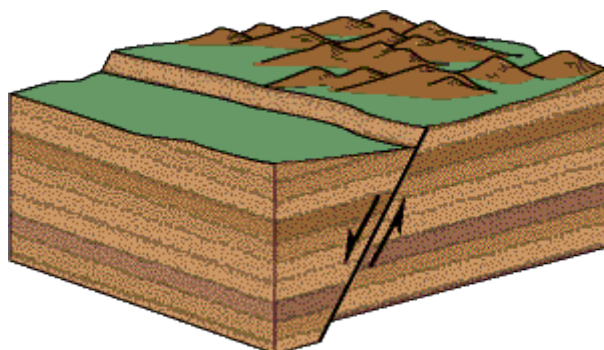
ประเภทของรอยเลื่อน

โดยทั่วไปการแบ่งชนิดของรอยเลื่อนสำหรับการศึกษาระดับปริญญาโทไป แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามวิธีการจำแนกของแอนเดอร์สัน (Anderson's Fault Classification) โดยอิงค่ามุมในแนวระดับ (Strike) คือ มุมของรอยเลื่อนในแนวระนาบเทียบกับทิศเหนือ มีค่า 0 องศา ถึง 360 องศา แนวมุมเท (Dip) คือ มุมของ Hanging-wall Block วัดจากระนาบพิวดิน มีค่า 0 องศา ถึง 90 องศา และมุมเรค (Rake) หรือมุม Slip คือ มุมการเคลื่อนของ Hanging-wall Block มีค่า -180 องศา ถึง 180 องศา (เพียงตา สาดรักษ์, 2559) ดังภาพที่ 2-2 สามารถแบ่งย่อยได้เป็น รอยเลื่อนปกติ (Normal Fault) ดังภาพที่ 2-3 รอยเลื่อนย้อน (Thrust Fault) ดังภาพที่ 2-4 รอยเลื่อนแนวระดับหรือรอยเลื่อนด้านข้าง (Strike-slip Fault) ดังภาพที่ 2-5



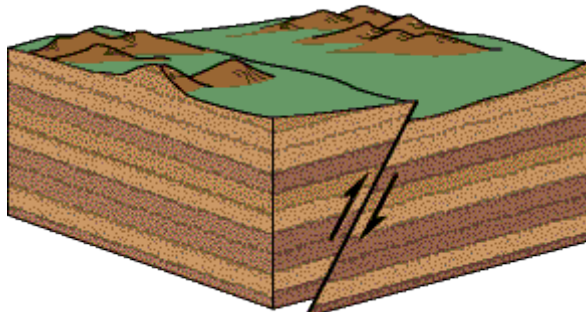
ภาพที่ 2-2 มุมในแนวระดับ มุมเท และมุมเรค บนรอยเลื่อน (Institute of Geophysics and Planetary Physics, 2016)

1. รอยเลื่อนปกติ (Normal Fault) คือ รอยเลื่อนที่มีมุมเทและชั้นหินอายุน้อยกว่าอยู่บนชั้นหินแก่กว่า



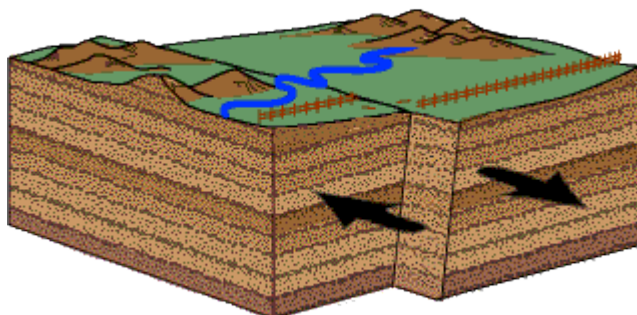
ภาพที่ 2-3 รอยเลื่อนปกติ (Normal Fault) (USGS, 2003)

2. รอยเลื่อนย้อน (Thrust Fault) คือ รอยเลื่อนที่พบชั้นหินอายุแก่กว่าอยู่บนชั้นหินที่มีอายุอ่อนกว่า



ภาพที่ 2-4 รอยเลื่อนย้อน (Thrust Fault) (USGS, 2003)

3. รอยเลื่อนแนวระดับหรือรอยเลื่อนด้านข้าง (Strike-slip Fault) คือ รอยเลื่อนที่เลื่อนไปตามแนวระดับ



ภาพที่ 2-5 รอยเลื่อนแนวระดับหรือรอยเลื่อนด้านข้าง (Strike-slip Fault) (USGS, 2003)

แรงเครียด (Strain) และแรงเค้น (Stress)

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีสาเหตุมาจากการปลดปล่อยพลังงานจากความเครียดที่สะสมไว้ในแผ่นเปลือกโลกอย่างทันทีทันใด แรงตัวแรกที่จะเห็นได้ชัดเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว คือ แรงเครียด (Strain) เป็นแรงที่เกิดจากปัจจัยภายนอกมากระทำ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด หรือตำแหน่ง แรงเครียดจะหายไปเมื่อหยุดแรงกระทำ สามารถแบ่งแรงเครียดออกเป็น 3 ลักษณะได้ดังนี้ (เพียงดา สาทรรักษ์, 2557)

1. แรงเครียดดึง (Tensile Strain) เกิดจากแรงดึงที่กระทำต่อวัตถุ
2. แรงเครียดอัด (Compressive Strain) เกิดจากแรงอัดกระทำต่อวัตถุ
3. แรงเครียดเฉือน (Shear Strain) เกิดจากแรงเฉือนที่ไปกระทำกับวัตถุ

แรงเค้น คือ แรงภายนอกที่กระทำต่อพื้นที่ผิว ณ จุดใด ๆ ที่พื้นผิววัตถุ แรงเค้นเป็นเวกเตอร์ มีขนาดและทิศทาง สามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ (เพียงดา สาทรรักษ์, 2557)

1. แรงเค้นดึง (Tensile Stress) เกิดจากแรงเค้น ไปดึงกระทำต่อวัตถุ ส่งผลให้วัตถุเกิดการยืด
2. แรงเค้นอัด (Compressive Stress) เกิดจากแรงเค้นอัดกับวัตถุ ส่งผลให้วัตถุหดสั้น
3. แรงเค้นเฉือน (Shear Stress) เกิดจากแรงเค้นเฉือนกระทำต่อวัตถุ ส่งผลให้วัตถุเปลี่ยนแปลงมุม

วัฏจักรแผ่นดินไหว (Seismic Cycle)

การเกิดแผ่นดินไหว ส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณขอบเขตแผ่นเปลือกโลก ในกรณีประเทศไทย จะเกิดแนวมหาสมุทรอินเดีย สุมาตราและประเทศเมียนมาร์ ขนาดของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของแนวรอยเลื่อน และระยะทางที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวหรือระยะขจัด (Displacement)

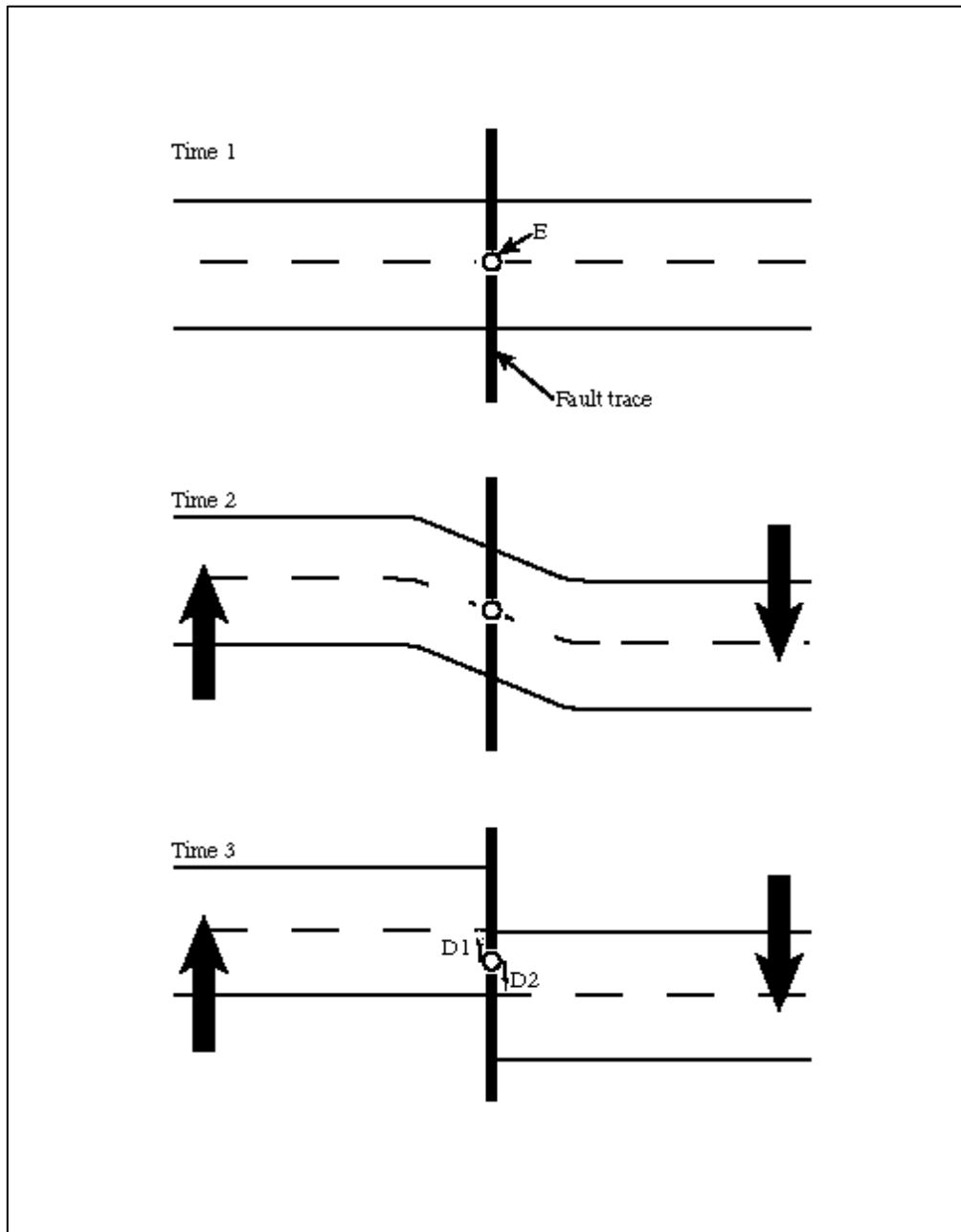
วัฏจักรแผ่นดินไหว (Seismic Cycle) แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1. การเคลื่อนตัวระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Interseismic Motion) มีระยะเวลานานที่สุด อาจจะใช้เวลาร้อยปีหรือพันปี 2. การเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว (Coseismic Motion) เป็นการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันใช้เวลาเพียง วินาทีถึงนาที 3. การเคลื่อนตัวหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Postseismic Motion) ใช้ช่วงเวลาประมาณเดือนหรืออาจจะหลายปี (ปีทมา พอดิ, 2556) (SEAMERGES, 2004)

การเคลื่อนตัวของแผ่นดินบริเวณรอยเลื่อนใช้ทฤษฎี Reid's Elastic Rebound Theory คิดค้นโดยศาสตราจารย์ด้านธรณีวิทยา Henry Fielding Reid มหาวิทยาลัย John Hopkins ทำการทดสอบทฤษฎีกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อน San Andreas เมือง San Francisco รัฐ California วันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2449 (State Earthquake Investigation Commission, 1969) โดยได้ข้อสรุปว่า เหตุการณ์แผ่นดินไหวเกี่ยวข้องกับทฤษฎี Elastic Rebound ที่ทำการสะสมแรงเค้น (Stress) ไว้ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว

ทฤษฎี Elastic Rebound Theory ว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ กล่าวคือ เมื่อแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นพยายามเคลื่อนไปในทิศทางตรงกันข้ามจะเกิดแรงเสียดทาน (Friction Force) เมื่อถึงจุดหนึ่งแรงเค้นที่สะสมในช่วงเวลาที่เกิดการเคลื่อนตัวจะมีแรงมากกว่าแรงเสียดทาน จนเกิดการปล่อยพลังงาน ดังภาพที่ 2-6 โดยแบ่งเหตุการณ์เป็น 3 ช่วงดังนี้

1. Time 1 อยู่ในสมมติฐานไม่มีแรงใด ๆ จากรอยเลื่อน โดยเส้นสีดำคือ รอยเลื่อนมีพลัง
2. Time 2 ช่วง Interseismic Motion แผ่นเปลือกโลกทั้งสองเคลื่อนตัวในทิศตรงกันข้าม ทำให้เกิดการสะสมแรงเค้น (Stress Accumulation) แต่มีแรงเสียดทานต้านไว้ทำให้ไม่เกิดการปล่อยพลังงาน แต่แผ่นเปลือกโลกเริ่มโค้งงอ

3. Time 3 ช่วง Coseismic Motion แผ่นเปลือกโลกปล่อยพลัง เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว แผ่นเปลือกโลกทั้งสองเกิดการเลื่อนไถล (Slipped) ไปในทิศตรงกันข้าม (ปีทมา พอดิ, 2556)



ภาพที่ 2-6 ช่วงเวลาการเคลื่อนตัวตามทฤษฎี Reid's Elastic Rebound Theory (Wikipedia, 2010)

เมื่อเกิดการปล่อยพลังงานเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวแล้ว แรงเค้นจะถูกลดขนาดลง โดยแผ่นเปลือกโลกทั้งสองแผ่นจะอยู่ตำแหน่งใหม่ เรียกช่วงนี้ว่า Postseismic Motion หากมีแรงมากระทำก็จะเริ่มสะสมแรงเค้นแล้วเข้าสู่ช่วง Coseismic Motion วนเป็นวัฏจักรต่อไป

พื้นที่ศึกษาและรายละเอียดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเชียงราย

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณจังหวัดเชียงรายครอบคลุมอำเภอเมืองเชียงราย อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย และอำเภอแม่ลาว

ในวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 18.08 น. เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ขนาด M_w 6.3 มีจุดศูนย์กลางบริเวณอำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ที่ละติจูด 19.756 องศาเหนือ ลองจิจูด 99.687 องศาตะวันออก ระดับความลึก 2 กิโลเมตร ดังในตารางที่ 2-1 พบเคลื่อนตัวในแนวระดับแบบเหลื่อมซ้าย (Left Lateral Strike-slip Fault) โดยเป็นแนวของรอยเลื่อนพะเยาส่วนเหนือ ในการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงตำแหน่งและขนาดตามกรมทรัพยากรธรณีเป็นหลัก พบการเคลื่อนตัวบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา มีความรุนแรงระดับ VIII ตามมาตราเมอร์คัลลี ประชาชนรู้สึกสั่นไหวบริเวณจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง น่าน พะเยา และจังหวัดหนองคายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรุงเทพฯ จะรู้สึกที่ตอมืออยู่บนอาคารสูง การเกิดแผ่นดินไหวในเหตุการณ์นี้รวมแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) 941 ครั้ง โดยแบ่งขนาด 5.0 – 5.9 จำนวน 8 ครั้ง ขนาด 4.0 -4.9 จำนวน 32 ครั้ง ขนาด 3.0 – 3.9 จำนวน 154 ครั้ง และขนาดน้อยกว่า 3.0 จำนวน 747 ครั้ง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวกับหน่วยงานต่างประเทศ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

แหล่งข้อมูล	ละติจูด	ลองจิจูด	ขนาด แผ่นดินไหว	ความลึก (กิโลเมตร)	ตำแหน่ง	หมายเหตุ
USGS	19.7026	99.6826	6.0	7	ตำบลธารทอง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย	ใช้ข้อมูล TMD บางสถานี
Geofon	19.71	99.79	6.2	7	ตำบลแม่ฮ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย	ใช้ข้อมูล TMD บางสถานี
TMD	19.756	99.687	6.3	2	ตำบลหมอกแก้ว อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย	ใช้ข้อมูล TMD ทุกสถานี

คุณลักษณะของรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา

การเกิดแผ่นดินไหวในครั้งนี้อยู่ที่เกิดจากกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา ประกอบไปด้วยรอยเลื่อนย่อย 2 รอยเลื่อน คือ 1. รอยเลื่อนย่อยแม่ลาว 2. รอยเลื่อนย่อยวังเหนือ กลุ่มรอยเลื่อนพะเยามีแนวการวางตัวต่างกัน และแยกออกจากกันชัดเจน และสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ (กรมอุตุฯ, 2557)

1. กลุ่มรอยเลื่อนพะเยา รอยเลื่อนย่อยแม่ลาวตอนเหนือ

มีการวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ พาดผ่านอำเภอเมือง อำเภอแม่ลาว และอำเภอแม่สรวยของจังหวัดเชียงราย ในบริเวณนี้เกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงขนาดปานกลาง บ่อยครั้งมากในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา

2. กลุ่มรอยเลื่อนพะเยา รอยเลื่อนย่อยวังเหนือตอนใต้

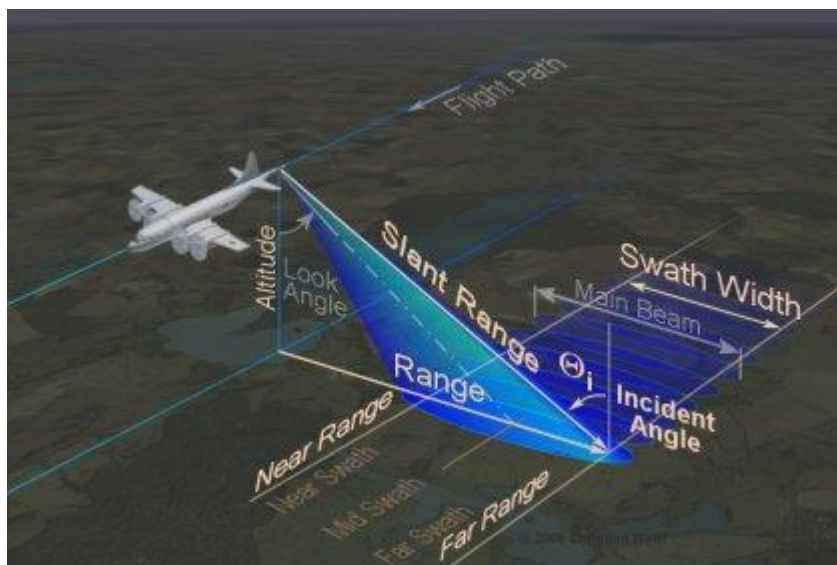
มีการวางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ก่อนมาทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตัดผ่านด้านทิศตะวันตกของขอบแอ่งพะเยาบริเวณเขตรอยต่อระหว่างอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง และอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ส่วนของรอยเลื่อนนี้มีประมาณ 35 กิโลเมตร แสดงลักษณะของผารอยเลื่อนหลายแนวและต่อเนื่องเป็นแนวตรง หันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทางน้ำสาขาต่าง ๆ ที่ตัดผ่านผารอยเลื่อนนี้แสดงรอยกัดเซาะลงไปเป็นแนวคิ่งลึกมากจนถึงชั้นหิน และฐานผารอยเลื่อนก็แสดงความชันมากจนเห็นได้ชัดเจน ซึ่งแสดงว่ายังคงมีพลังไม่หยุดนิ่ง โดยสอดคล้องกับกรณีที่เกิดแผ่นดินไหวจนทำให้เกิดความเสียหายมาก คือ เหตุการณ์วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2537 มีศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ที่อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

หลักการถ่ายภาพในระบบ RADAR และ ภาพถ่ายระบบ SAR

การถ่ายภาพในระบบ RADAR (Radio Detection And Ranging) เป็นการบันทึกข้อมูลแบบ Active โดยใช้ช่วงคลื่น Microwave (3 – 12.5 GHz) ระบบจะทำการสร้างสัญญาณและส่งสัญญาณ Microwave ออกไปยังเป้าหมายและรับค่าสัญญาณสะท้อนกลับ โดยระบบจะสลับหน้าที่ส่งและรับสัญญาณอย่างละครั้ง (Pulse) สัญญาณที่กลับมาจากการสะท้อนของเป้าหมายจะถูกบันทึกไว้ ในการบินถ่ายภาพในระบบ RADAR จะทำการถ่ายภาพทางด้านข้าง ดังภาพที่ 2-7 โดยจะตั้งฉากกับแนวบินถ่ายภาพ เรียกว่า Side Looking Airborne Radar (SLAR) ในกรณีระบบเรดาร์ (Real Aperture Radar) ขนาดรายละเอียดจุดภาพ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ 2-1 (David P. Lusch, 1999)

$$R_a = \lambda R/I \quad (2-1)$$

- I = ขนาดจานรับและส่งสัญญาณ RADAR
 R = ระยะทางจากจานรับและส่งสัญญาณถึงวัตถุเป้าหมาย (R)
 λ = ความยาวช่วงคลื่นที่ใช้



ภาพที่ 2-7 การบินถ่ายภาพในระบบ RADAR (Radartutorial, 2016)

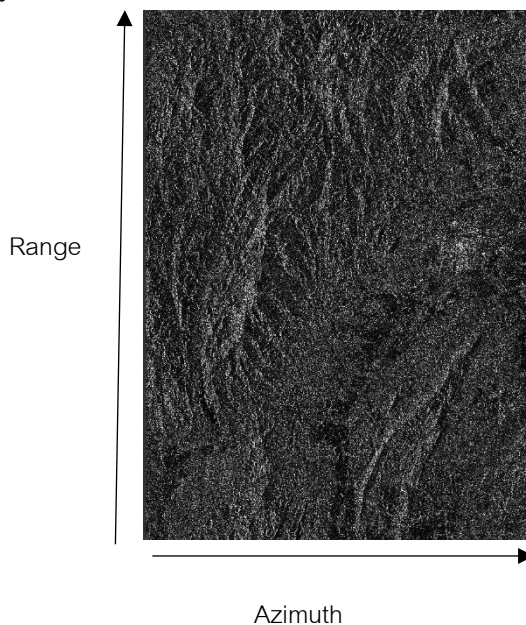
หากต้องการรายละเอียดข้อมูลสูง ต้องใช้จานรับและส่งสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ และต้องบินระดับต่ำ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาระบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar หรือ SAR) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวยาน (Doppler Effect) สร้างเป็นจานรับและส่งสัญญาณสมมติ ทำให้ได้รายละเอียดข้อมูลที่สูง แม้จะบินสูงจากพื้นโลกมาก ๆ โดยขนาดรายละเอียดข้อมูลคำนวณโดยใช้สมการ 2-2 (David P. Lusch, 1999)

$$R_a = I/2 \quad (2-2)$$

- I = ขนาดจานรับและส่งสัญญาณ RADAR
 R = ระยะทางจากจานรับและส่งสัญญาณถึงวัตถุเป้าหมาย (R)

ในปัจจุบันมีดาวเทียมระบบ RADAR SAR มากมาย ดังในตารางที่ 2-2 ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ความยาวช่วงคลื่น C-band (5.405 GHz) โหมด Fine

Beam (F4F) ในแนวการโคจรของดาวเทียมแบบขาขึ้น (Ascending) มีความละเอียดของภาพในแนว Range และ Azimuth อยู่ที่ 4.7 x 5.1 เมตร (MDA, 2016) ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 แนว Range และ Azimuth ของภาพระบบ SAR คัดแปลงข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

ข้อมูลที่ได้จากระบบ SAR จะจัดเก็บในรูปแบบภาพจำนวนเชิงซ้อน โดยมีรูปแบบอาร์เรย์สองมิติ ในแต่ละจุดภาพจะแทนด้วยรายละเอียดเชิงพื้นที่ตามแนว Range และ Azimuth ข้อมูลที่ได้จากระบบ SAR จะประกอบไปด้วย ข้อมูล 2 ชนิด คือ (Amarjargal Sharav, 2003)

1. ข้อมูลภาพ Amplitude คือ ข้อมูลภาพที่แสดงผลค่าการกระเจิงกลับ (Backscatter) ที่เกิดขึ้นซึ่งจะมีค่าต่างกันตามชนิดวัตถุ หากมีความสว่างมาก แปลว่ามีค่าการกระเจิงกลับค่อนข้างสูง จะเกิดขึ้นกับวัตถุที่ขรุขระ หากมีความสว่างต่ำค่อนข้างมืด แปลว่าค่าการกระเจิงกลับค่อนข้างน้อย หรือไม่มีเลย วัตถุที่จะเกิดเช่นนี้มักจะมีผิวนูน หรือพื้นที่แหล่งน้ำ

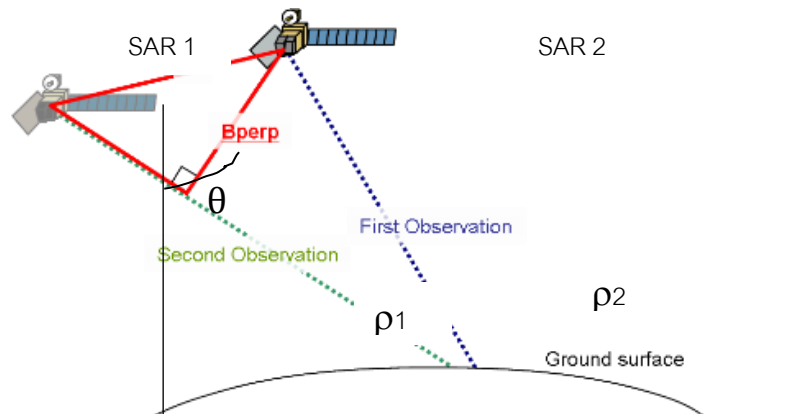
2. ข้อมูลภาพ Phase คือ ข้อมูลที่ภาพที่แสดงผลจำนวนลูกคลื่นที่กลับมายังตัวรับสัญญาณ ผลลัพธ์จะเป็นภาพที่แสดงผลแบบสุ่ม (Random Image) เป็นข้อมูลที่สำคัญในการประมวลผล Interferometry จากข้อมูลภาพระบบ SAR

ตารางที่ 2-2 ดาวเทียมในระบบเรดาร์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน (Xiaobing Zhou et al, 2009)

ความยาวคลื่น	ดาวเทียม	ระยะเวลาที่ ปฏิบัติการ (ปี ค.ศ.)	ประเทศที่ส่งขึ้น วงโคจร	บันทึกข้อมูลซ้ำ (วัน)
X	TerraSAR-X	2007 – ปัจจุบัน	DLR, เยอรมันนี	11
	Cosmo-Skymed	2007 – ปัจจุบัน	ASI, อิตาลี	16
C	ERS-1	1991 – 2001	ESA, ยุโรป	35
	ERS-2	1995 – 2011	ESA, ยุโรป	35
	Radarsat-1	1995 – 2013	CSA, แคนาดา	24
	Radarsat-2	2007 - ปัจจุบัน	CSA, แคนาดา	24
	Envisat	2007 - ปัจจุบัน	ESA, ยุโรป	35
	Sentinel-1	2014 – ปัจจุบัน	ESA, ยุโรป	12
L	JERS-1	1992 – 1998	NASDA,	44
	ALOS-PALSAR 1	2006 – 2010	JAXA,	46
	ALOS-PALSAR 2	2014 – ปัจจุบัน	JAXA,	14

หลักการการทำงานของ InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)

InSAR เป็นเทคนิคที่สามารถวัดระยะทาง ความสูงรวมถึงการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก หากใช้ค่าความต่างของเฟสระหว่างภาพ 2 ภาพ ซึ่งภาพทั้งสองนี้ต้องถูกบันทึกอยู่ในบริเวณเดียวกัน แต่แตกต่างกันแค่คนละช่วงเวลา (Massonet et al, 1998) ผลต่างของเฟส (Phase Differential) สามารถนำไปสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) และตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลก เช่น การทรุดตัว การเคลื่อนตัวของแผ่นดิน ดินถล่ม เป็นต้น โดยสามารถวัดความถูกต้องได้ถึงระดับมิลลิเมตร เหมาะกับการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่ ยากต่อการเข้าถึง เช่น ภูเขา ป่า เป็นต้น โดยมีรายละเอียดการทำงานดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ลักษณะเรขาคณิตของ InSAR ณ เวลาที่ต่างกัน (Geospatial Information Authority of Japan, 2004)

เมื่อ SAR 1 และ SAR 2 คือจุดที่เสาศาอากาศส่งสัญญาณและรับการสะท้อนกลับสัญญาณ

ρ_1 และ ρ_2 คือ ระยะห่างระหว่างวัตถุกับเสาศาอากาศรับสัญญาณ

B คือ Parallel Baseline หรือระยะห่างระหว่าง SAR 1 และ SAR 2

θ คือ Look Angle หรือมุมระหว่างระยะห่างระหว่างวัตถุกับเสารับสัญญาณ
เมื่อทำมุมกับแนวดิ่ง

B_{perp} คือ Perpendicular Baseline หรือระยะที่ตั้งฉากระหว่าง SAR 1 และ SAR 2

จากภาพที่ 2-9 เทคนิค InSAR นั้นจะใช้ข้อมูลของค่าต่างเฟสเพื่อคำนวณหาค่า Δr ความแตกต่างของระยะห่างระหว่างเสาศาอากาศรับสัญญาณ 2 ช่วงเวลา เนื่องจากระบบ SAR เป็นระบบที่ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) และเฟส (Phase) ของ Pulse ที่ส่งออกไปแต่ละครั้งจะเหมือนเดิม (Coherent System) ดังนั้น เมื่อตำแหน่งบนพื้นดินมีการเปลี่ยนแปลง ระยะห่างระหว่างวัตถุกับเสาศาอากาศรับสัญญาณจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ความแตกต่างนี้จะประมวลผลออกมาเป็น Interferogram (ESA, 2007)

Interferogram

Interferogram คือ รูปแบบของการแทรกสอดของข้อมูล 2 ชุด สร้างโดยการคูณไขว้ (Cross-multiplying) ของค่าจำนวนเชิงซ้อนสังยุค (Complex Conjugate) ของ Pixel ในการประมวลผลครั้งนี้ จะได้ข้อมูลในรูปแบบค่าดิจิทัลที่เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลง มีค่าระหว่าง $-\pi$ ถึง $+\pi$ (ESA, 2007) ดังสมการ 2-3 (Ferretti et al, 2011)

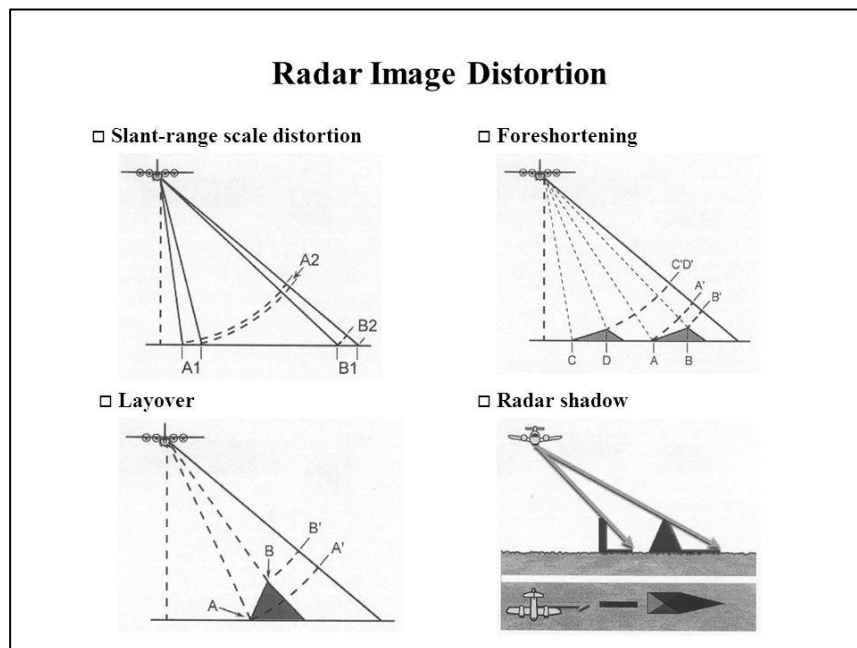
$$\Phi_{\text{inf}} = \Phi_{\text{flat}} + \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{disp}} + \Phi_{\text{delay}} + \Phi_{\text{noise}} \quad (2-3)$$

Φ_{inf}	คือ	ค่าความแตกต่างของเฟสที่สอดคล้องกับพื้นที่ (Interferometric Phase)
Φ_{flat}	คือ	เฟสที่คำนวณมาจากเรขาคณิตของภาพหรือบางครั้งเรียกว่า Orbital Phase
Φ_{topo}	คือ	ความคลาดเคลื่อนจากภูมิประเทศ (Topographic Distortion)
Φ_{disp}	คือ	การเคลื่อนตัวในแนวทิศทางของเรดาร์ (Displacement)
Φ_{delay}	คือ	ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Effect)
Φ_{noise}	คือ	สัญญาณรบกวน (Noise)

ค่า Coherence

ค่า Coherence คือ ความสัมพันธ์ของเฟสสองช่วงเวลา จะมีค่าอยู่ในระหว่าง 0 ถึง 1 หากภาพก่อนและหลัง มีค่าเฟสที่ใกล้เคียงกันจะมีค่า Coherence สูง หรือเข้าใกล้ 1 เช่น พื้นที่เมือง หากไม่มีการก่อสร้างเพิ่มเติมและความสูงเท่าเดิม ค่าเฟสทั้งสองช่วงเวลาจะมีค่า Coherence ที่สูง แต่ถ้าพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป เช่น พื้นที่เกษตรกรรม จะมีค่า Coherence น้อยหรือเข้าใกล้ 0 หรือไม่สัมพันธ์ (Decorrelation) ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) (ปีทมา พอดิ, 2556) ค่า Coherence นี้เป็นตัววัดคุณภาพของ Interferogram ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า Coherence ประกอบไปด้วย 4 ปัจจัย (Amarjargal Sharav, 2003) ดังนี้

1. วงโคจร ในการประมวลผล InSAR ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่วงโคจรดาวเทียมทั้งสองช่วงเวลาทำการบันทึกอยู่ตำแหน่งเดียวกัน แต่ในความเป็นจริงอาจจะมีการคลาดเคลื่อนของวงโคจร ทำให้มุมการส่งและรับสัญญาณมีการผิดพลาด เมื่อมุมเปลี่ยนความสูงของภูมิประเทศและพื้นผิวโลกส่งผลให้เกิดค่าไม่สัมพันธ์ที่เกิดจากภูมิประเทศ
2. ช่วงเวลาในการบันทึกภาพ ยิ่งช่วงเวลาที่ห่าง การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลกโดยเฉพาะการขยายเมือง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ ย่อมมีการเปลี่ยนแปลง เป็นส่วนสำคัญในการเกิดค่าไม่สัมพันธ์
3. การบิดเบือนจากภูมิประเทศ ในการรับและส่งสัญญาณระบบ Radar ส่งในแนวด้านข้างของตัวยาน ส่งผลให้เกิด Layover Shadow (พื้นที่ที่ไม่ถูกกระทบโดยคลื่น RADAR) และ Foreshortening (การซ้อนทับของวัตถุ) ดังภาพที่ 2-10 ซึ่งเป็นเรื่องปกติของภาพ SAR สามารถใช้ตัวกรอง (Filter) หรือการกันพื้นที่ (Masking) เพื่อเพิ่มคุณภาพของ Interferogram
4. ค่าผิดพลาดจากชั้นบรรยากาศ ช่วงคลื่น Microwave ทะลุผ่านชั้น Atmosphere (Ionosphere และ Troposphere) ซึ่งประกอบไปด้วย อิเล็กตรอนอิสระ ไอออนในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้เกิดการล่าช้าของสัญญาณ ส่งผลให้เกิดสัญญาณ (Noise) รบกวนไปทั่วทั้งภาพ



ภาพที่ 2-10 การบิดเบือนจากภูมิประเทศ ในการบันทึกภาพระบบ RADAR (Jeong-Hee Choi, 2015)

เทคนิค Differential Interferometry

Differential Interferometry หรือ DInSAR เป็นเทคนิคการสร้าง Interferogram โดยอาศัยหลักการจับคู่ภาพ อย่างน้อย 3 ภาพมาจับคู่ 2 คู่ ในการเลือกคู่ภาพนั้นต้องอยู่ช่วงก่อนและหลังเหตุการณ์ (Amarjargal Sharav, 2003)

1. 2-pass Interferogrametry ใช้ภาพจำนวน 2 ภาพ ประมวลผลร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ใช้ในกรณีที่มี DEM จากภายนอกเพื่อนำมาใช้งานอยู่แล้ว เช่น SRTM DEM, Aster DEM เป็นต้น

2. 3-pass Interferogrametry ใช้ภาพ 3 ภาพ เพื่อสร้าง Interferogram และอีก 1 ภาพใช้สร้างความสูงภูมิประเทศ (DEM) ใช้ในกรณีไม่มี DEM จากภายนอกและต้องการ DEM ที่มีความถูกต้องเพื่อนำมาใช้งานจริง

Coulomb Stress Transfer

Coulomb เป็นแบบจำลองที่แสดงผลภาพการเคลื่อนที่ของแผ่นดินและการเปลี่ยนแปลงแรงเค้น (Stress-change) พัฒนาโดย Shinji Toda, Ross S. Stein, Volkan Sevilgen และ Jian Lin โดย

ความร่วมมือระหว่างกรมการปกครอง (U.S. Department of the Interior) และสำนักสำรวจทางธรณีวิทยา (U.S. Geological Survey หรือ USGS) ปัจจุบันพัฒนาถึงเวอร์ชัน 3.3 (USGS, 2011)

แนวคิดของแบบจำลอง Coulomb หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Coulomb Stress Transfer ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า รอยเลื่อนที่เป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจะเรียกว่า Source Fault จะการเคลื่อนตัวและส่งต่อแรงเค้นไปยังพื้นที่โดยรอบ และรอยเลื่อนข้างเคียงรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหวจะเรียกว่า Receiver Fault จะรับแรงจากรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหว โดยที่ Receiver Fault จะไม่มีแรงเคลื่อนตัวใด ๆ ทั้งสิ้น โดยอาศัยทฤษฎี Coulomb Failure สมการที่ 2-4 (Shinji Toda et al, 2001)

$$\Delta\sigma_f = \Delta T_s + \mu' \Delta\sigma_n' \quad (2-4)$$

เมื่อ

$\Delta\sigma_f$ คือ การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเค้นของ Receiver Faults อันเนื่องมาจาก Slip ที่มาจากตัว Source Faults ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว

ΔT_s คือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแรงเค้นเฉือน (Shear Stress)

μ' คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของรอยเลื่อน

$\Delta\sigma_n'$ คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงเค้นปกติ (Normal Stress)

หากผลลัพธ์มีค่าเป็นบวก หมายความว่า รอยเลื่อนที่เป็น Receiver Faults มีการสะสมตัวของแรงเค้นมากขึ้น มีความเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหว หากผลลัพธ์มีค่าเป็นลบ หมายความว่า มีการลดลงของแรงเค้นของรอยเลื่อนที่เป็น Receiver Faults แต่ยังมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวแต่อาจจะเกิดขึ้นช้ากว่า (ปีทมา พอดี, 2556)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shewta Sharma et al (2016) ได้ศึกษาการประยุกต์ DInSAR ในการติดตามการเคลื่อนตัวหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว บริเวณตะวันออก (บริเวณเมือง Kathmandu) ของประเทศเนปาล ซึ่งเป็นพื้นที่ภูเขาสูง โดยใช้ข้อมูลภาพ SAR จากดาวเทียม Sentinel-1 ความถี่ในช่วง C-band ระบายโพลาไรเซชัน VV และใช้ข้อมูล SRTM DEM ในการลดค่าเฟส Error ที่เกิดจากภูมิประเทศ พบการเคลื่อนตัวของแผ่นดินในช่วง -28 ถึง 88 เซนติเมตร มีการยกตัวของแผ่นดินประมาณ 55 เซนติเมตร ใกล้กับจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากภูมิประเทศโดยใช้ข้อมูล SRTM DEM และพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ มีลักษณะเป็นภูเขาเช่นเดียวกับพื้นที่ในจังหวัดเชียงราย

YANG Chensheng et al (2010) ทำการศึกษาเหมืองถล่มด้วยเทคนิค DInSAR ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล SAR จากดาวเทียม ENVISAT ครอบคลุมพื้นที่เหมือง Shenmu ทางตอนเหนือของ

จังหวัด Shaanxi ซึ่งมีการทรุดตัวเกิดขึ้น โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ENVISAT ทั้ง 2 ภาพมีระยะเวลาห่างกัน 35 วัน Perpendicular Baseline 31 เมตร Ambiguous Height 306 เมตร เมื่อทำการประมวลผล 2 pass DInSAR พบการเคลื่อนตัวมากที่สุด 4.6 เซนติเมตร เกิดขึ้นเพราะค่าที่ไม่สหสัมพันธ์ (Decorrelation) มีขนาดใหญ่ จึงต้องทำการปรับแก้โดยการประมาณค่า โดยทดลองค่า - 6:1 พบการเคลื่อนตัวในแนวตั้งและค่าการทรุดตัวมากที่สุด 9.2 เซนติเมตร ในการวิจัยครั้งนี้ พบปัญหาที่เกิดจากระยะเวลาของข้อมูลทั้ง 2 ภาพ ที่ทำให้เกิดค่าที่ไม่สหสัมพันธ์ในการติดตามการทรุดตัวของเหมือง โดยแนะนำว่า ควรจะมีระยะเวลาน้อยกว่า 140 วัน ซึ่งในประเด็นนี้ พบค่าที่ไม่สหสัมพันธ์ที่เกิดจาก Temporal Baseline ซึ่งเกิดจากคู่ภาพมีระยะเวลาห่างกันมากเกินไป

HUANG Qi-huan et al (2008) ทำการศึกษาการติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นดินด้วยเทคนิค SBAS-DINSAR โดยอ้างอิงบน Prior Knowledge ได้ทำการทดลองที่เมือง Nanjing ประเทศจีน โดยใช้ข้อมูล SAR จากดาวเทียม ERS 2 จำนวน 2 ภาพ คือ วันที่ 19 สิงหาคม ค.ศ. 1996 และ วันที่ 10 เมษายน ค.ศ. 2000 ในแนวโคจรแบบขาลง มีระยะเวลาระหว่างภาพ 1,158 วัน ทำการประมวลผลด้วยวิธี SBAS-DInSAR Algorithm พบการเคลื่อนตัวบริเวณแม่น้ำ Yangtze และทางทิศตะวันตกของแม่น้ำ Qinhuai มีการทรุดตัวสูงสุดที่ 12 เซนติเมตร เมื่อนำมาเทียบการวัดระดับบนพื้นที่จริงมีความใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าถึงจะมีระยะห่างของคู่ภาพเกือบ 4 ปี แต่การใช้วิธี SBAS-DInSAR แบบมีกลุ่มตัวอย่าง สามารถประมวลผลออกมาได้

Shoji Takeuchi et al (2002) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบ การติดตามการทรุดตัวด้วยเทคนิค InSAR ระหว่าง C-band ข้อมูล SAR จากดาวเทียม ERS และ L-band ข้อมูล SAR จากดาวเทียม JERS-1 โดยมีพื้นที่ศึกษา 2 ลักษณะ คือ พื้นที่เมือง บริเวณที่ราบ Kanto และพื้นที่ชนบท บริเวณที่ราบ Saga ผลการศึกษาพบว่า ทั้ง C-band และ L-band สามารถตรวจจับการทรุดตัวได้ทั้งพื้นที่เมืองได้ดี แต่พื้นที่ชนบท C-band ตรวจจับการทรุดตัวได้ค่อนข้างยากกว่า L-band เนื่องจากช่วงคลื่นที่สั้นกว่าไม่สามารถทะลุพืชพรรณไปถึงพื้นดินได้ จะเห็นได้ว่าความยาวช่วงคลื่นกับลักษณะของพื้นที่ศึกษา มีผลต่อการประมวลผล InSAR

Hyung-Sup Jung, (2013) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการวัดการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Hector Mine ปี ค.ศ. 1999 โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-1 (Interferometric Wide-Swath Mode) ซึ่งเป็นข้อมูลดาวเทียมเรดาร์ซึ่งเริ่มปฏิบัติการในปี ค.ศ. 2014 โดยทำการจำลองข้อมูล Sentinel-1 IW Mode จากคู่ภาพ ERS InSAR โดยใช้เทคนิค Multiple-Aperture Interferometric SAR (MAI) ผลการศึกษาพบว่า ค่า RMS Error ระหว่างข้อมูล Sentinel-1 MAI และการใช้ GPS เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวอยู่ที่ 9.6 เซนติเมตร หรือ 0.5% ของ Azimuth Resolution ค่าความถูกต้องดีขึ้นเล็กน้อย เมื่อใช้ข้อมูลดาวเทียม ERS มาประกอบ

Itthi Trisirisatayawong et al (2011) ทำการศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวขนาด $6.8 M_w$ บริเวณรอยเลื่อน Tar Lay ประเทศเมียนมาร์ โดยประมวลผล 2-pass DInSAR จากข้อมูล ALOS โดยใช้ข้อมูลวงโคจร 2 แนว คือ Ascending และ Descending ทำการบันทึกก่อนและหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว พบการเคลื่อนตัวในแนว Strike-slip จากนั้นนำผลที่ได้เข้าสมการ Inversion เพื่อหา Parameter รอยเลื่อน นำเข้าแบบจำลอง Coulomb Stress ผลพบว่า แรงเค้นจากรอยเลื่อน Tar Lay ส่งผลมาถึงรอยเลื่อนบริเวณภาคเหนือในประเทศไทย ทำให้มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขึ้นได้ จะเห็นได้ว่าการใช้ข้อมูล ALOS ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่น L-band มีความสามารถในการทะลุพื้นที่ป่าไปถึงพื้นได้ และประมวลผล DInSAR ผลลัพธ์ออกมาได้อย่างชัดเจน

Kui Zhang et al (2014) ทำการศึกษา การติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวขนาด M_w 8.0 บริเวณ Wenchuan ประเทศจีน ด้วยเทคนิค DInSAR จากข้อมูล ALOS PALSAR และใช้ข้อมูล SRTM DEM ในการลดค่าเฟส Error ที่เกิดจากภูมิประเทศ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ DInSAR ที่ประมวลผลจากข้อมูล ENVISAT ASAR ScanSAR พบว่า Interferogram ที่ได้จากการประมวลผลด้วยข้อมูลจากดาวเทียม ENVISAT (C band) ได้รับผลกระทบจากค่าไม่สหสัมพันธ์ (Decorrelation) อย่างมากเมื่อเทียบกับ Interferogram ที่ประมวลผลด้วยข้อมูลจากดาวเทียม ALOS ที่มีช่วงคลื่นที่ยาวกว่า ผลลัพธ์ที่ได้เห็น Fringe ได้อย่างชัดเจน

Tamr ElGharbawi and Masayuki Tamura (2014) ได้ศึกษาการติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นดินกรณีสึกษาโตเกียว ญี่ปุ่น โดยใช้เทคนิค InSAR และ GPS ผลการวิจัยพบว่า การประมาณการเคลื่อนตัวของแผ่นดินหลายช่วงเวลา โดยใช้เทคนิค Small Number of Interferogram เมื่อทำการ Unwrapped เฟสและทำการวิเคราะห์ประมาณค่าจากการเคลื่อนตัวในพื้นที่ศึกษา และใช้ข้อมูลเครือข่ายสถานี GPS มาช่วยกรองเฟสเชิงพื้นที่เพื่อที่จะได้แผนที่อนุกรมเวลาการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน ในการทดลองนี้ใช้ข้อมูล Interferogram จำนวน 10 ช่วงเวลา บริเวณอ่าวโตเกียว โดยมีเหตุการณ์แผ่นดินไหว Tohoku ในปี ค.ศ. 2011 ท้ายที่สุดทำการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลอนุกรมเวลาการเคลื่อนตัวของแผ่นดินเปรียบเทียบกับเครือข่ายสถานี GPS กับข้อมูลที่ทำการกรองเฟสเชิงพื้นที่พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าที่ดีขึ้น โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับ 68.4 %

John Mathew et al (2015) ทำการศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นดินในช่วง Co-seismic จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Lushan ประเทศจีน วันที่ 20 เมษายน ค.ศ. 2013 โดยใช้เทคนิค Differential InSAR จากข้อมูลคู่ภาพ Radarsat-2 พบการเคลื่อนตัวจากรอยเลื่อน Longmenshan ในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งตรงกับแนว Line of Sight ของภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 มีการเคลื่อนตัวระหว่าง -

4.0 ถึง +3.0 เซนติเมตร งานวิจัยนี้คล้ายกับการศึกษาในครั้งนี้ จุดเกิดแผ่นดินไหวอยู่บริเวณภูเขาปกคลุมไปด้วยป่าไม้ โดยการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกอยู่ในแนว Line of Sight ทำประมวล DInSAR ได้ผลลัพธ์ที่ชัดเจน

โดยสรุป จากงานวิจัยที่ทำการทบทวน พบว่า การประมวลผล DInSAR ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข สามารถกำจัดค่าเฟส Error ที่เกิดจากภูมิประเทศได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะข้อมูลที่นำมาใช้จะอยู่ในช่วงคลื่นใดก็ตาม ระยะห่างของกลุ่มภาพที่นำมาใช้ประมวลผล DInSAR มีผลให้เกิดค่าไม่สหสัมพันธ์ ทำให้การประมวลผล DInSAR ไม่พบรูปแบบการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน ช่วงคลื่นกับลักษณะของพื้นที่ศึกษามีผลต่อการประมวล DInSAR และแนว Line of Sight ของภาพถ่ายจากดาวเทียม มีผลต่อการตรวจจับการเคลื่อนตัวของแผ่นดินอย่างมาก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผล Differential InSAR เป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT 2 จำนวน 2 ภาพ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ซึ่งมีรายละเอียดภาพ คือ ภาพประเภท SLC ในแนววงโคจรของดาวเทียมขาขึ้น (Ascending) โหมด Fine (F4) ช่วงคลื่น C-band ช่วงเวลาที่นำภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT 2 มาวิเคราะห์ คือ วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 และวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ครอบคลุมเหตุการณ์แผ่นดินไหว วัน 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ใช้ข้อมูล SRTM มีความละเอียด 90 เมตร อ้างอิงเพื่อนำมาลดความคลาดเคลื่อนจากภูมิประเทศในการประมวลผล Differential InSAR

ข้อมูลขอบเขตการปกครอง จาก กรมการปกครอง

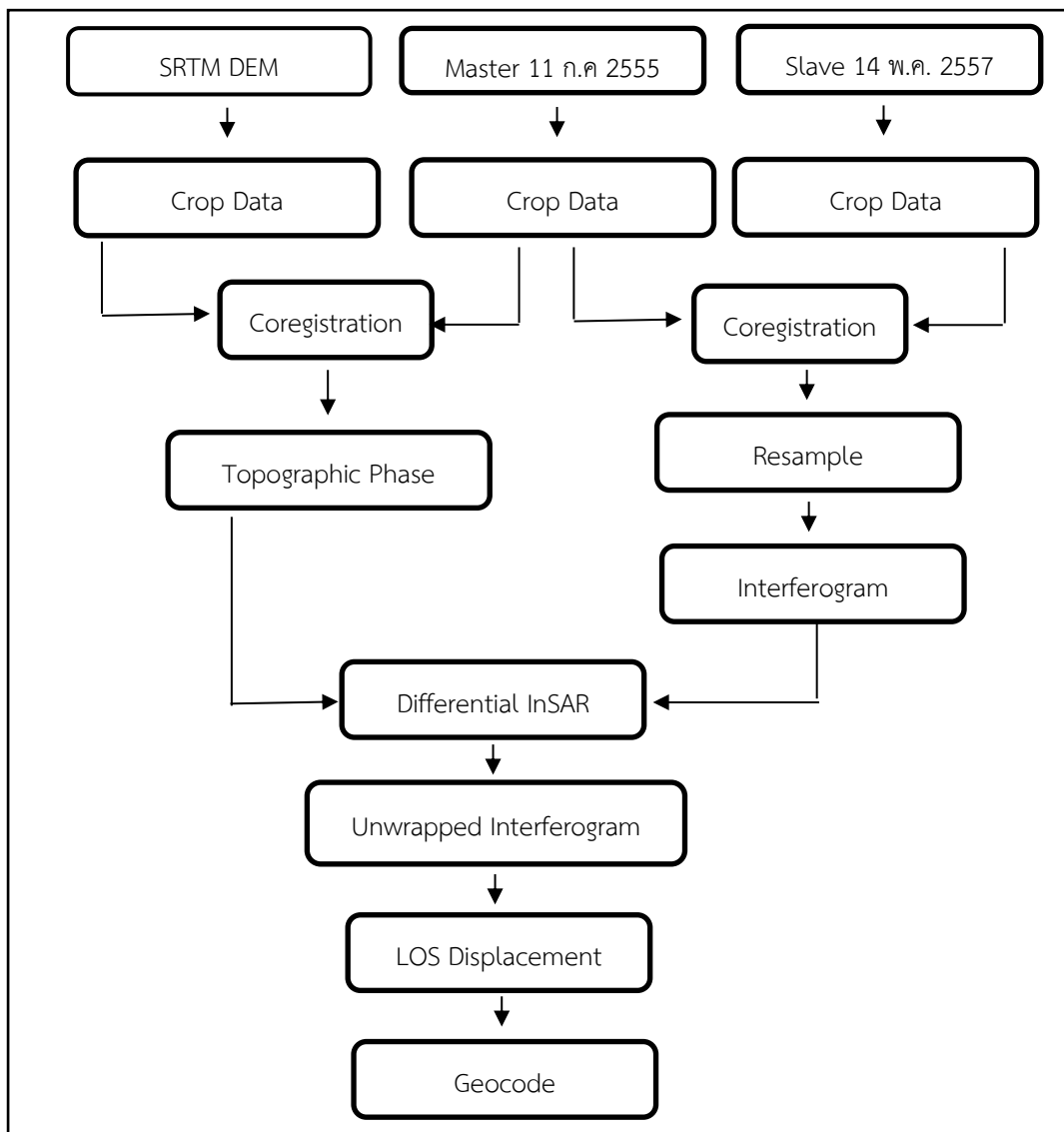
ในการประมวลผล Differential InSAR ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้ซอฟต์แวร์ DORIS (Delft Object-oriented Radar Interferometric Software) เวอร์ชัน 4.06 beta 2 พัฒนาโดย Delft University of Technology ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Kampes et al, 1999) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สเปค โดยมีขั้นตอนการประมวลผลดังแสดงในภาพที่ 3-1

การ Unwrapped Interferogram Phase ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Algorithm ของ SNAPHU (Chen and Zebker, 2012) พัฒนาโดย กลุ่มวิจัย RADAR มหาวิทยาลัย Stanford สหรัฐอเมริกา ชุดคำสั่งนี้เป็นชุดคำสั่งประเภท Open Source สามารถนำชุดคำสั่งไปพัฒนาต่อได้อย่างอิสระ แต่ทำงานได้เฉพาะระบบปฏิบัติการ Linux หรือ Unix เท่านั้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การประมวลผลด้วยเทคนิค Differential InSAR

ในการประมวลผล Differential InSAR คือ การหาความแตกต่างของพื้นผิวโลก โดยใช้ภาพอย่างน้อย 2 คู่ภาพ อาศัยพื้นฐานมาจากหลักการของ InSAR ค่าความแตกต่างของเฟสที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่นี้ เรียกว่า Interferometric Phase มีสัญญาณต่าง ๆ และค่าความผิดพลาดที่ปะปนมาดังสมการที่ 2-3 (Ferretti et al, 2011)



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการทำงานเทคนิค DInSAR ตามลำดับการทำงานของโปรแกรม DORIS
(Amarjargal Sharav, 2003)

โดยมีขั้นตอนการประมวลผล ดังภาพที่ 3-1 ดังนี้

1. การจับคู่ภาพ ระหว่างภาพ Master ภาพ Slave และ SRTM DEM โดยกำหนดภาพ Master เป็นข้อมูลในวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนเหตุการณ์แผ่นดินไหว และ ภาพ Slave เป็นข้อมูลวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เป็นช่วงหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา จากนั้นทำการตัดข้อมูล (Crop Data) เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดมีขนาดเท่ากัน

2. ทำการคำนวณค่าวงโคจรจากข้อมูล Orbital Data Records (ODR) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Getorb พัฒนาโดย DEOS เพื่อประมาณค่าในช่วงพิกัดวงโคจรของข้อมูลทั้งสองภาพ

3. จากนั้นทำการ Coregistration ข้อมูลทั้งสองช่วงเวลาและ DEM ให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ขั้นตอนแรกทำการคำนวณค่า Offset ระหว่างข้อมูลทั้งสองภาพ โดยใช้โมดูล Coarseorb จากนั้นจึงทำการ Coregistration โดยใช้โมดูล Coarsecorr คำนวณบนเมทริกซ์ของข้อมูลขนาด 32 x 32 Pixels จากนั้นปรับค่าข้อมูลทั้งสองภาพด้วยโมดูล FINE และขั้นตอนสุดท้ายนำข้อมูลทั้งสองภาพมาปรับด้วยสมการ Polynomial โดยการจับคู่ระหว่างภาพ Master และ DEM จะได้ Topographic Phase ซึ่งเป็นการจับคู่ระหว่างภาพก่อนเหตุการณ์กับภาพที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนของภูมิประเทศ และการจับคู่ระหว่างภาพ Master และภาพ Slave เป็นคู่ภาพที่สันนิษฐานว่ามีการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน

4. ทำการลดความละเอียดข้อมูล โดยใช้โมดูล RESAMPLE เพื่อลดสัญญาณรบกวน (Φ_{noise}) ทำให้ Interferogram มีความเสถียรเนื่องจาก Interferogram ประกอบไปด้วยผลรวมของสัญญาณเฟสและค่าความผิดพลาดต่าง ๆ ที่ปะปนมา จากนั้นใช้โมดูล INTERFERO เพื่อทำการประมวลผล Interferogram จากคู่ภาพ SAR

5. นำ Topographic Phase ประมวลผลเข้ากับ Interferogram เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากภูมิประเทศ (Φ_{topo}) ก็จะได้ Differential InSAR

6. ทำการ Unwrapped Interferogram จากข้อมูล Differential InSAR ซึ่งมีค่าระหว่าง $-\pi$ ถึง $+\pi$ โดยอาศัยอัลกอริทึม SNAPHU (C. W. Chen and H. A. Zebker, 2012) ที่มีหลักการทำงานโดยหาค่าต่างเฟสระหว่างจุดภาพภายใน Interferogram แล้วจึงหาผลรวมอีกครั้งเพื่อให้ได้เฟสที่ต่อเนื่องกัน

7. ทำการแปลงค่าเฟสที่ทำการ Unwrapped Interferogram เป็นค่าการเคลื่อนตัวในแนว line-of-sight (LOS) ดังสมการ 3-1 (ESA, 2007)

$$displ = \frac{\phi_{unw} \cdot \lambda}{-4\pi \cdot \cos \theta_{inc}} \quad (3-1)$$

Displ = อัตราการเคลื่อนตัว (เมตร)

ϕ_{unw} = เฟสที่ทำการ Unwrapped Interferogram

λ = Wavelength (ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูล RADARSAT-2 จะมีค่าเท่ากับ 5.6 เซนติเมตร)

θ_{inc} = Incident Angle

8. ทำการ Geocode เพื่อแปลงพิกัดจากระบบพิกัดของเรดาร์เป็นพิกัดภูมิศาสตร์เพื่อใช้งานในโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์

การคำนวณหา Coulomb Stress Change

นำค่าพารามิเตอร์เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557 โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด M_w ความลึกของจุดเกิดแผ่นดินไหว ค่ามุมของรอยเลื่อนประกอบไปด้วย มุม Strike มุม Dip และมุม Rake จาก The Global Centroid-Moment-Tensor (Global CMT) แทนค่าในแบบจำลอง โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของรอยเลื่อน (μ') = 0.4 ซึ่งงานวิจัยโดยส่วนใหญ่ใช้ค่านี้ในการประมวลผล (Toda et al, 2011 ; King et al, 1994) เพื่อทำการจำลองทิศทางของรอยเลื่อน การกระจายของแรงเค้น (Stress) จากรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหว และทราบถึงรอยเลื่อนที่ได้รับแรงเค้นหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำข้อมูล RADARSAT-2 ทั้งสองช่วงเวลา ทำการประมวลผล Differential Interferogram โดยใช้วิธี 2-pass DInSAR จากนั้นคำนวณ Coulomb Stress Change โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

1. ผลของการประมวลผลด้วยเทคนิค 2-pass DInSAR ในการติดตามเหตุการณ์แผ่นดินไหว เชียงราย M_w 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557
2. ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณ โดยรอบของรอยเลื่อนพะเยาหลังเกิดแผ่นดินไหวเชียงราย M_w 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

ผลของการประมวลผลด้วยเทคนิค 2-pass DInSAR ในการติดตามเหตุการณ์แผ่นดินไหวเชียงราย M_w 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

1. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ประเภท SLC

การประมวลผลด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ครอบคลุมพื้นที่รอยเลื่อนพะเยา ซึ่งเป็นรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหว โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 จำนวน 2 ภาพในวงจรรขาขึ้น (Ascending) คือ วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 และวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ครอบคลุมเหตุการณ์แผ่นดินไหว วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ขนาด M_w 6.3 โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ Perpendicular Baseline, Parallel Baseline และระยะห่างของภาพที่นำมาวิเคราะห์

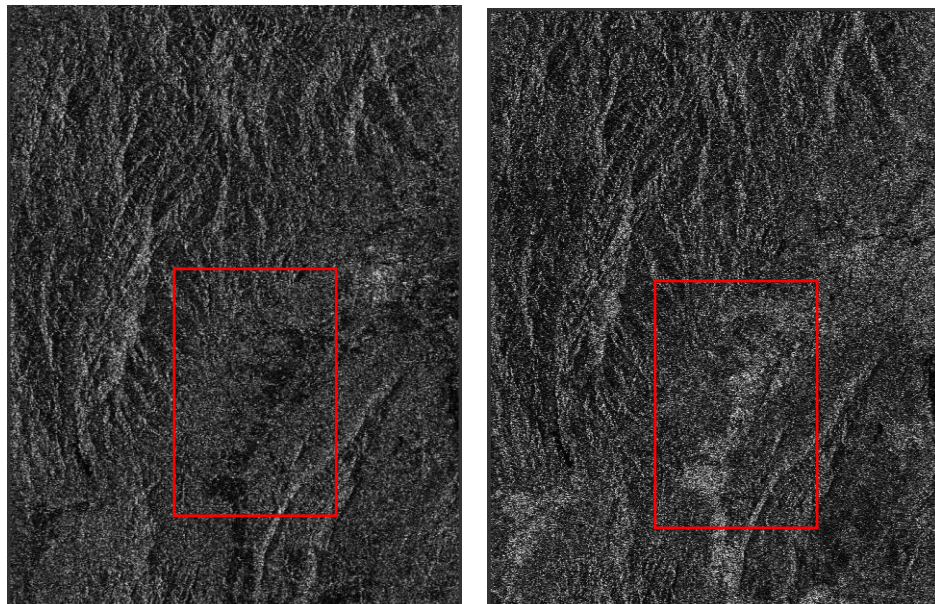
Master (วัน-เดือน-ปี พ.ศ.)	Slave (วัน-เดือน-ปี พ.ศ.)	Perpendicular Baseline B_{\perp} (m)	Parallel Baseline B_{\parallel} (m)	ระยะห่าง ของภาพ (วัน)
11 กรกฎาคม 2555	14 พฤษภาคม 2557	-144.58	-121.98	672

2. Co-registration

ทำการปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 ทั้งสองช่วงเวลาและตัดข้อมูล (Crop Data) ให้ทั้ง 2 ภาพมีขนาดเท่ากัน โดยกำหนดข้อมูลในวันที่ 11 กรกฎาคม ค.ศ. 2012 ซึ่งเป็นภาพก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเป็นภาพ Master และข้อมูลในวันที่ 14 พฤษภาคม ค.ศ. 2014 เป็นภาพ Slave ในการประมวลผล Co-registration ใช้ภาพ Master เป็นภาพอ้างอิงในการปรับแก้เชิงพิกัด ทำการคำนวณ Pixel ในแต่ละจุดของภาพ Master จากนั้นทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งของภาพ Slave โดยใช้สมการ 4-1 เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-1 (ESA, 2007) จะสังเกตเห็นได้ว่าพื้นที่ภาพซ้ายจะมีพื้นที่น้ำ ซึ่งมีค่า Backscatter ต่ำ จะเห็นเป็นสีดำ แต่พื้นที่จากภาพขวามีค่า backscatter ก่อนข้างสูงจะเห็นเป็นสีขาว โดยพื้นที่นี้คือพื้นที่น้ำขาว

$$S(l, p) = M(l, p) + \text{offset}(l, p) \quad (4-1)$$

S	=	ข้อมูลภาพ Slave
l	=	แถวของข้อมูลภาพ
p	=	ค่าใน Pixel ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2
M	=	ข้อมูลภาพ Master
Offset	=	ค่าระยะห่างแต่ละจุดระหว่างภาพ Master และ Slave



ภาพที่ 4-1 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 (ซ้าย) วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 (ขวา) 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ผ่านการประมวลผล Co-registration

3. Interferogram Generation

หลังจากที่ทำการ Co-registration ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2 เรียบร้อยแล้ว ต่อมาทำการประมวลผลสร้าง Interferogram จากข้อมูล RADARSAT-2 โดยทำการคูณไขว้จากข้อมูลทั้งสองในแต่ละ Pixel ทั้งสองภาพ ด้วยจำนวนเชิงซ้อน โดยใช้สมการ 4-2 (ESA, 2007)

$$I = M \cdot S^* \cdot R^* \quad (4-2)$$

โดย I = Interferogram, ที่อยู่ในรูปแบบจำนวนเชิงซ้อน
 M = จำนวนเชิงซ้อนจากภาพ Master
 S = จำนวนเชิงซ้อนจากภาพ Slave
 R = จำนวนเชิงซ้อนจากเฟสอ้างอิง
 * = จำนวนเชิงซ้อน (Complex Conjugated)

เมื่อทำการสร้าง Interferogram เรียบร้อยแล้ว ต่อมาทำการคำนวณข้อมูลเฟสใน Interferogram โดยใช้สมการ 4-3 (ESA, 2007)

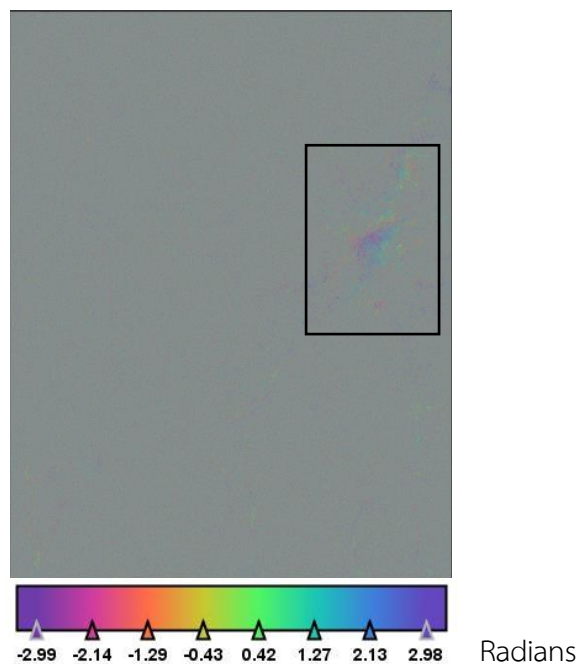
$$\phi_I = \phi_M - \phi_S \quad (4-3)$$

โดย ϕ_M = ค่าเฟสในภาพ Master
 ϕ_S = ค่าเฟสในภาพ Slave
 ϕ_I = ผลต่างค่าเฟสระหว่างค่าเฟสในภาพ Master กับค่าเฟสในภาพ Slave

เนื่องด้วยการบันทึกข้อมูลบนพื้นผิวโลก ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกในสัณฐานแบบ Ellipsoid และในการบันทึกข้อมูล การโคจรของดาวเทียมไม่ได้โคจรมาจุดเดิมแบบไม่มีการคลาดเคลื่อน จึงต้องประมวลผลที่เรียกว่า Interferogram Flattening โดยใช้ส่วนคลาดเคลื่อนที่เรียกว่า Parallel Baseline (B_{\parallel}) และ Perpendicular Baseline (B_{\perp}) โดยข้อมูลทั้งสองช่วงเวลามีค่า Parallel Baseline อยู่ที่ -121.98 m โดยใช้สมการ 4-4 (ESA, 2007) เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-2

$$\phi_I = \phi_M - \phi_S - \phi_{ref} \quad (4-4)$$

โดยที่ ϕ_I = ผลต่างค่าเฟสระหว่างค่าเฟสในภาพ Master กับค่าเฟสในภาพ Slave
 หลังจากหักค่าเฟสอ้างอิง ϕ_{ref}
 ϕ_{ref} = เฟสอ้างอิงที่ได้มาจากการนำค่า Parallel Baseline และ Perpendicular Baseline มาคำนวณปรับแก้ โดยเฟสนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า $\phi_{Orbit Error}$



ภาพที่ 4-2 ข้อมูล Interferogram โดยมีอยู่ในระหว่าง $-\pi$ ถึง $+\pi$ โดยในกรอบ คือ พื้นที่เมือง

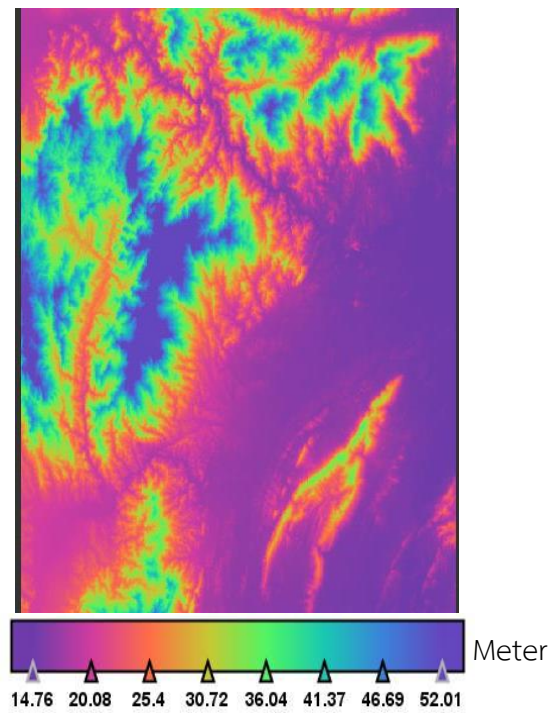
4. Topographic Phase Removal

ทำการปรับแก้ข้อมูลเฟส Interferogram ที่มีความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ เนื่องด้วยการบันทึกข้อมูลในระบบ RADAR SAR มีการเก็บในแนวเอียง ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดจากลักษณะภูมิประเทศ โดยเฉพาะภูเขา โดยใช้ข้อมูลความสูงเชิงเลข SRTM ดังภาพที่ 4-3 ที่มีรายละเอียด 90 เมตร เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับแก้ โดยใช้สมการที่ 4-5 (ESA, 2007) โดยพื้นที่สีน้ำเงินคือภูเขา พื้นที่สีม่วงคือพื้นที่ราบ พบว่ามีพื้นที่ต่ำสุด 14.28 เมตรและพื้นที่สูงสุด 74.08 เมตร เมื่อประมวลผลเสร็จสิ้น จะได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูล Coherence ดังภาพที่ 4-4 บริเวณเมืองเชียงใหม่ค่า Coherence ที่สูงกว่าพื้นที่โดยรอบจะเห็นเป็นสีขาว (ประมาณ 0.2) และค่า Coherence ที่ค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเฉลี่ย 0.13 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 และข้อมูล Interferogram ดังภาพที่ 4-5 ที่ทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว

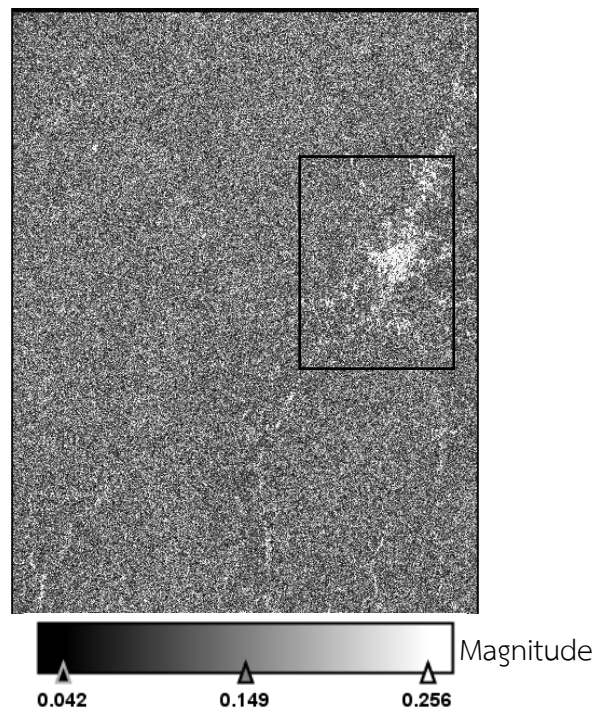
$$\phi_I = \phi_M - \phi_S - \phi_{ref} - \phi_{topo} \quad (4-5)$$

โดยที่ ϕ_I = ผลต่างค่าเฟสระหว่างค่าเฟสในภาพ Master กับค่าเฟสในภาพ Slave หลังจากหักค่าเฟสอ้างอิง ϕ_{ref} และหักค่าความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ ϕ_{topo}

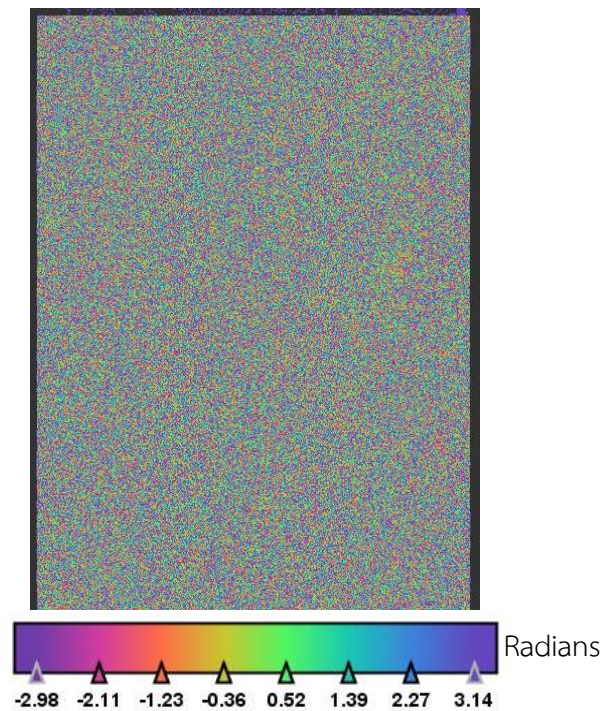
ϕ_{topo} = ข้อมูลความสูงเชิงเลข SRTM ใช้อ้างอิงในการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ



ภาพที่ 4-3 ข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข SRTM บริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 4-4 ข้อมูลค่า Coherence หลังการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ โดยในกรอบคือ พื้นที่เมือง



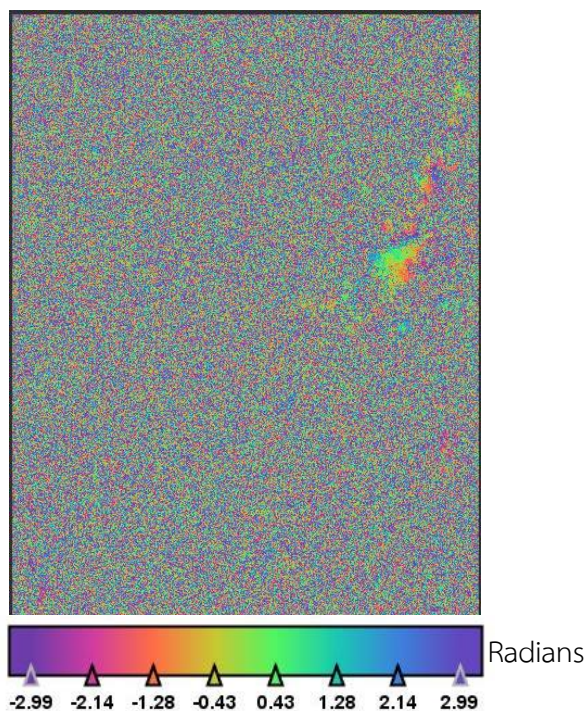
ภาพที่ 4-5 ข้อมูล Interferogram หลังการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ

5. Phase Filter

หลังจากการประมวลผลสร้างเฟส Interferogram ลำดับต่อมา ทำการประมวลผล Phase Filter เพื่อให้เฟส Interferogram ที่สร้างขึ้นมาจากผลต่างค่าเฟสระหว่างค่าเฟสในภาพ Master กับค่าเฟสในภาพ Slave หลังจากหาค่าเฟสอ้างอิง ϕ_{ref} และหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ ϕ_{topo} มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยใช้ Goldstein Filter ซึ่งเป็นที่นิยมในการกรองข้อมูล Interferogram (Richard M. Goldstein and Charles L. Werner, 1998) โดยใช้สมการ 4-6 เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-6

$$H(u, v) = \{|Z(u, v)|\}^\alpha \quad (4-6)$$

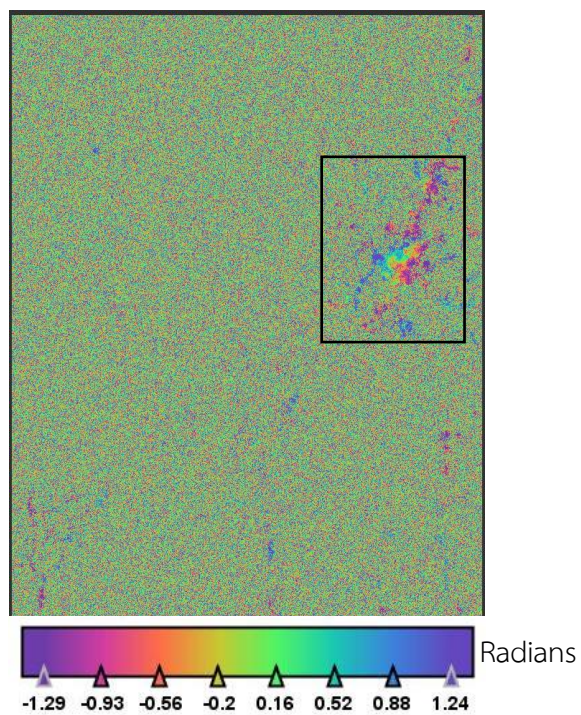
โดยที่ $H(u, v)$ = ข้อมูล Interferogram หลังจากผ่านการกรองข้อมูล
 $Z(u, v)$ = ข้อมูล Interferogram Phase
 u, v = ความถี่ของข้อมูล (ครั้ง)
 α = 1



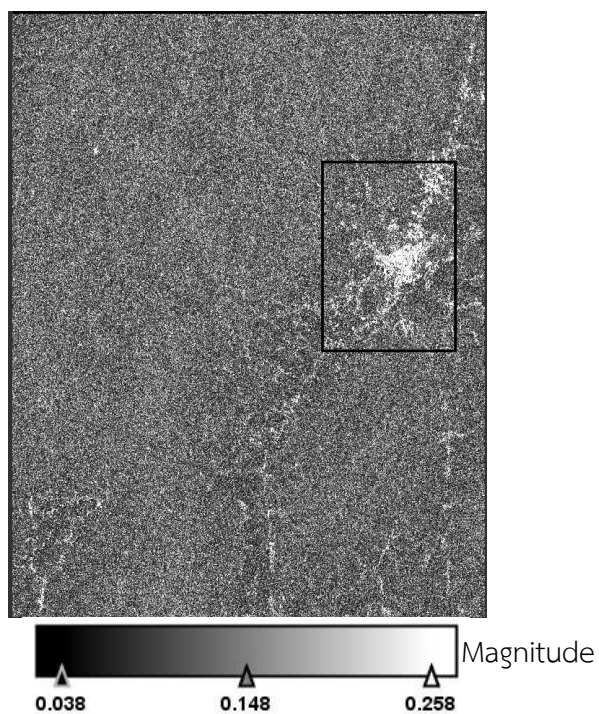
ภาพที่ 4-6 ข้อมูล Interferogram หลังการประมวลผล Phase Filter

6. Multilook

เทคนิค Multilook เป็นเทคนิคที่ใช้ลด Speckled Noise ในภาพ โดยการประมวลผลนำค่าเฉลี่ยของ Pixel ในแนว Range และ Azimuth ทำให้ Speckled Noise ลดลง แต่ก็ทำให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ในภาพมีขนาดลดลงด้วย โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขนาด Range และ Azimuth ไว้ที่ 4 x 4 ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ค่า Coherence เพิ่มมากขึ้น (Brian Brisco, 2015) จะได้ผลลัพธ์ ข้อมูล Interferogram (ดังภาพที่ 4-7) และข้อมูล Coherence (ดังภาพที่ 4-8)



ภาพที่ 4-7 ข้อมูล Interferogram หลังการประมวลผล Multilook ตัวเมืองเชียงรายเห็นรูปแบบชัด
ยิ่งขึ้น ดังในกรอบสี่เหลี่ยม

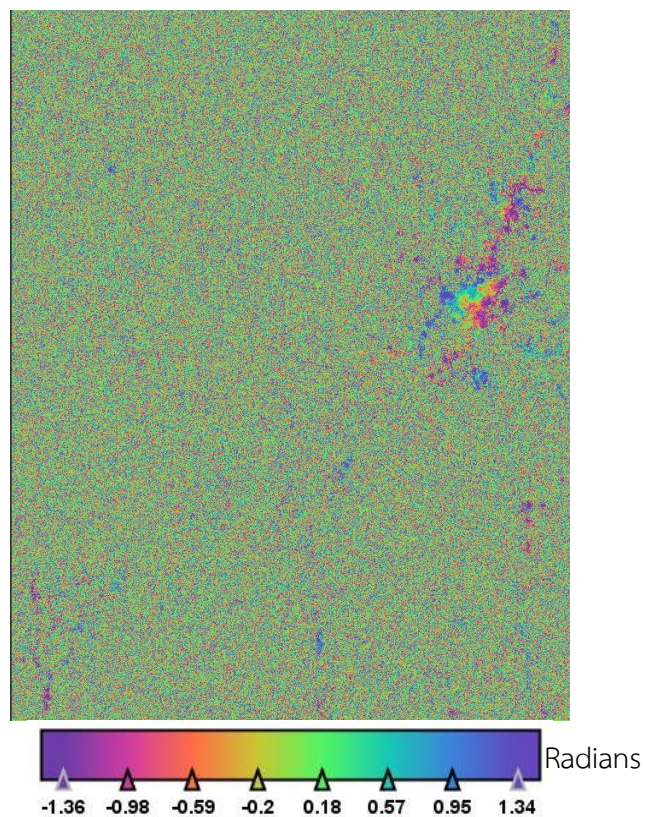


ภาพที่ 4-8 ข้อมูลค่า Coherence หลังการประมวลผล Multilook จะเห็นความชัดเจนบริเวณที่มีค่า
Coherence สูง (สีขาว) โดยเฉพาะบริเวณเมืองเชียงราย ดังในกรอบสี่เหลี่ยม

7. Unwrapped Interferogram

ค่าที่ได้จากการประมวลผล Interferogram จะอยู่ในช่วง $-\pi$ ถึง $+\pi$ ซึ่งค่าเหล่านี้จะไม่ต่อเนื่องกัน จึงต้องทำการ Unwrapped เพื่อให้ค่าเฟสระหว่างจุดภายใน Interferogram มีค่าเฟสเชิงมุมต่อเนื่องและสอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกที่เกิดขึ้นจริง

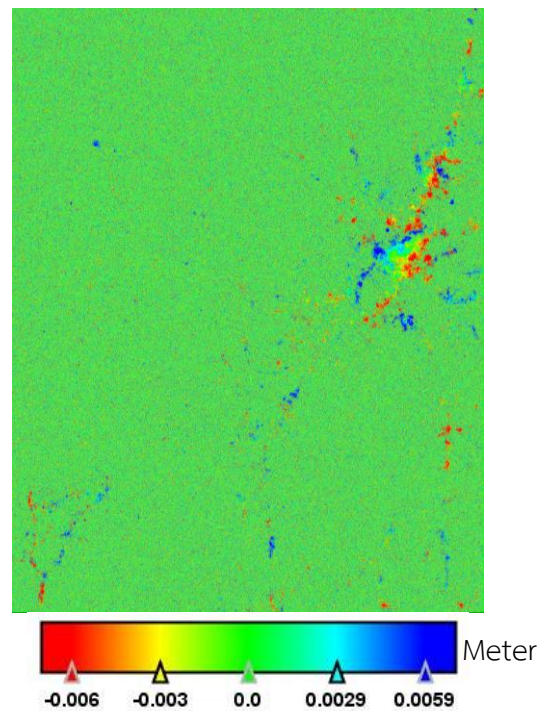
ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ Algorithm SNAPHU พัฒนาโดย Stanford Radar Interferometry Research Group มหาวิทยาลัย Stanford โดยมี Professor Howard Zebker เป็นหัวหน้ากลุ่มวิจัย จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 ข้อมูล Interferogram หลังการประมวลผล Phase Unwrapped

8. Phase to Displacement

เมื่อทำการ Unwrapped Phase เรียบร้อยแล้ว จึงนำมาแปลงค่าใน Interferogram เป็นอัตราการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน โดยใช้สมการ 3-1 โดยได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-10



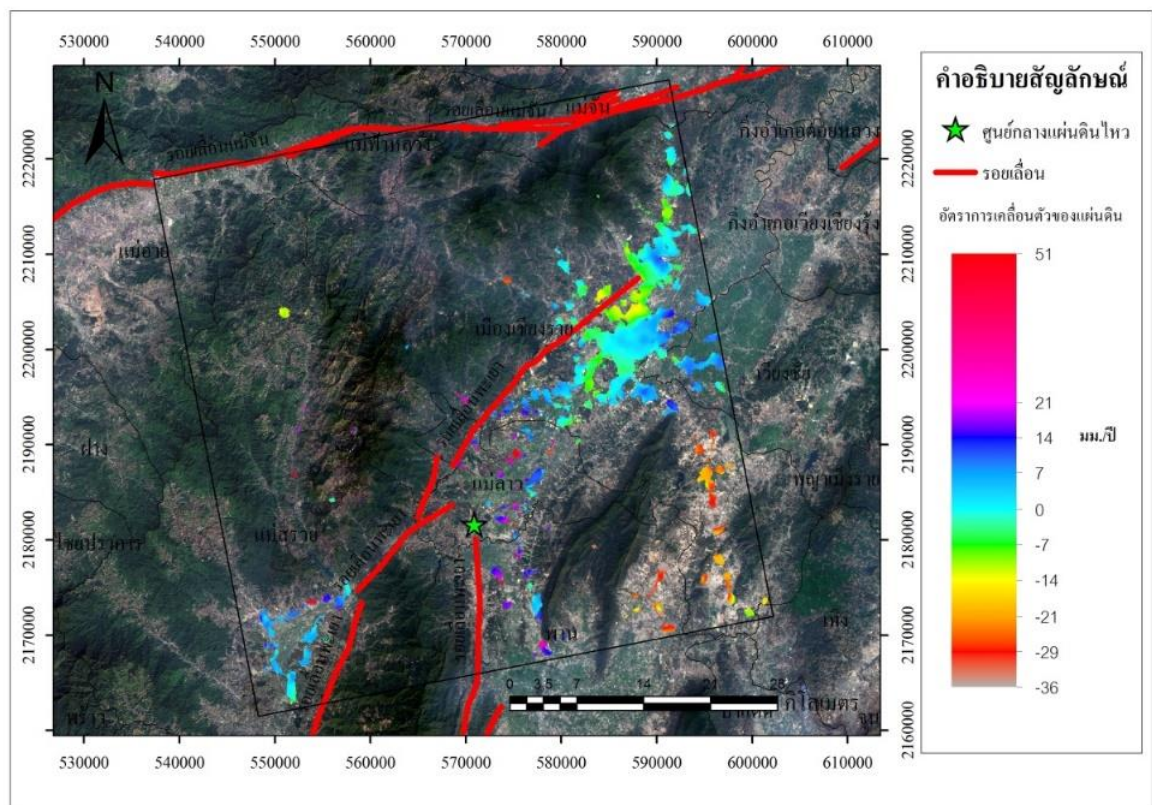
ภาพที่ 4-10 ข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน (Displacement)

9. Geocode

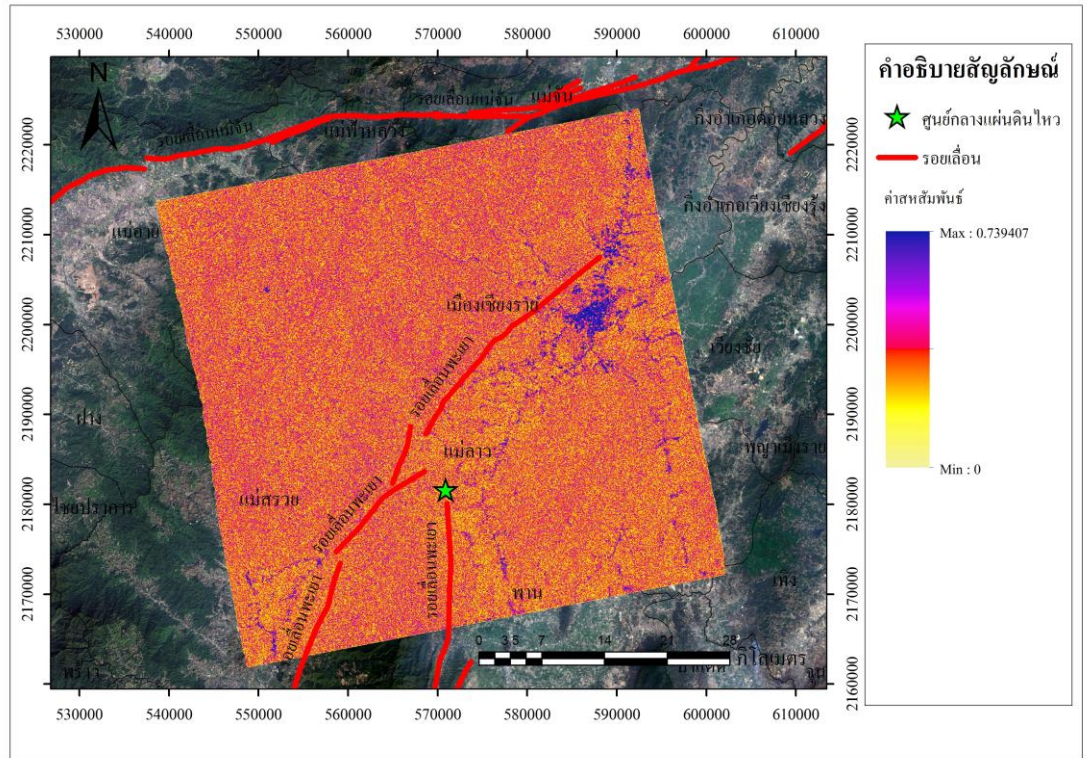
เมื่อทำการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย ทำการประมวลผล Geocode คือ การแปลงค่าพิกัดจากเดิมข้อมูลจะอยู่ในพิกัดเรคตาร์ ทำการแปลงเป็นพิกัดภูมิศาสตร์ WGS84 โดยใช้ข้อมูล SRTM เป็นข้อมูลอ้างอิงเชิงพิกัด เพื่อนำไปใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่อไปดังภาพที่ 4-11 ผลการประมวลผล DInSAR พบ Fringe บริเวณเมืองเชียงราย เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ภายในเมือง เช่น การสร้างอาคาร การถมที่ดินเพื่อเตรียมการก่อสร้าง การเจริญเติบโตของต้นไม้ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ไม่พบการเคลื่อนตัวบริเวณรอยเลื่อนและจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว และภาพที่ 4-12 จะสังเกตได้ว่าค่า Coherence ที่สูง (สีน้ำเงิน) จะอยู่บริเวณตัวเมืองเชียงรายเช่นเดียวกับรูปแบบการเคลื่อนตัว แต่บริเวณรอยเลื่อนและจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวมีค่า Coherence ที่น้อยและไม่เห็นการเคลื่อนตัวใด ๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ โดยค่า Coherence มีค่าเฉลี่ยเพียง 0.1278 Magnitude โดยข้อมูลค่าสถิติในแต่ละขั้นตอนการประมวลผล แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าสถิติของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

ข้อมูล	Min	Max	Mean	Sigma	Median
Wrapped Interferogram (Radians)	-3.1416	3.1416	-0.0039	1.8095	-0.126
Coherence (Magnitude)	0	0.7390	0.1278	0.0697	0.1195
Unwrapped Interferogram (Radians)	-8.7174	7.9449	-0.0037	0.6159	-0.0030
Displacement (เมตร)	-0.0360	0.0507	0.0001	0.0027	-0.0001



ภาพที่ 4-11 ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิค DInSAR ประมวลผลด้วยข้อมูลดาวเทียม RADARSAT-2
ซ้อนทับกับข้อมูล LANDSAT 8 OLI วันที่ 3 เมษายน พ.ศ.2557 Band 4 3 2 (R G B)



ภาพที่ 4-12 ค่า Coherence จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT-2

ผลการศึกษาในส่วนการประมวลผลด้วยเทคนิค DInSAR โดยใช้ข้อมูล RADARSAT-2 จำนวน 2 ภาพ 2 ช่วงเวลา คือ ก่อนเกิดเหตุการณ์และหลังเกิดเหตุการณ์ ไม่พบรูปแบบการเคลื่อนตัวบริเวณรอยเลื่อนที่ชัดเจน เกิดจากค่าไม่สหสัมพันธ์ (Decorrelation) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ เนื่องการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณรอยเลื่อนและจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว เป็นป่าและพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะข้าว ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี ประกอบกับระยะห่างทั้ง 2 ช่วงเวลาที่นำมาศึกษาห่างถึง 672 วัน ทำให้พื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนทำให้ค่า Coherence มีค่าน้อยจนไม่เห็นรูปแบบการเคลื่อนตัว

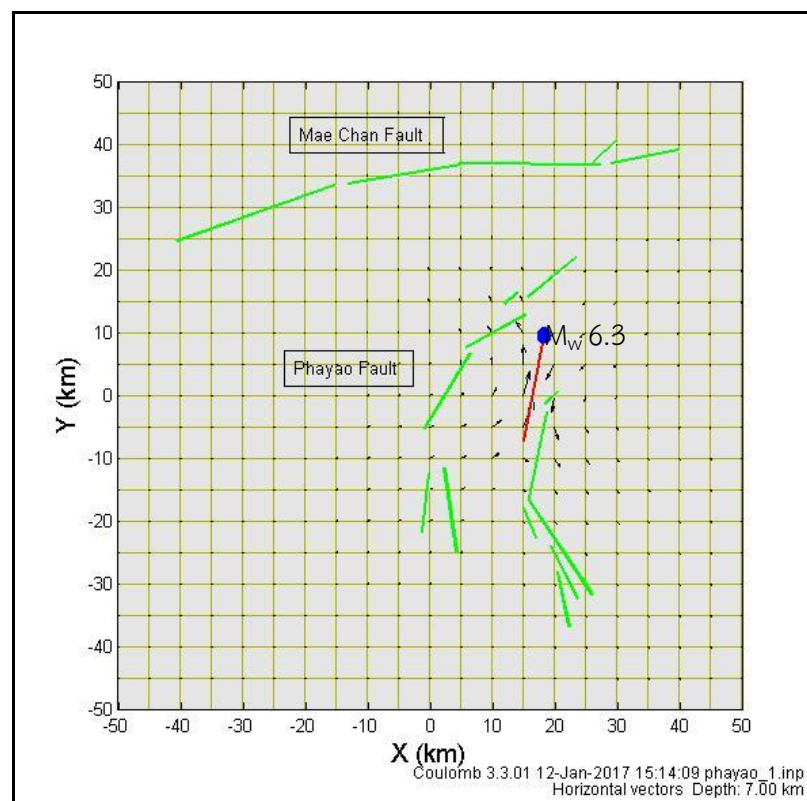
ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวใหม่ของแรงเค้นบริเวณโดยรอบของรอยเลื่อนพะเยาหลังเกิดแผ่นดินไหวเชียงราย Mw 6.3 วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557

ในการประมวลผล Coulomb Stress Change กำหนดให้ Source Fault มีพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 7 พารามิเตอร์ โดยมีการกำหนดดังตารางที่ 4-3 (Fenton C,H et al, 2003) (Global CMT, 2014)

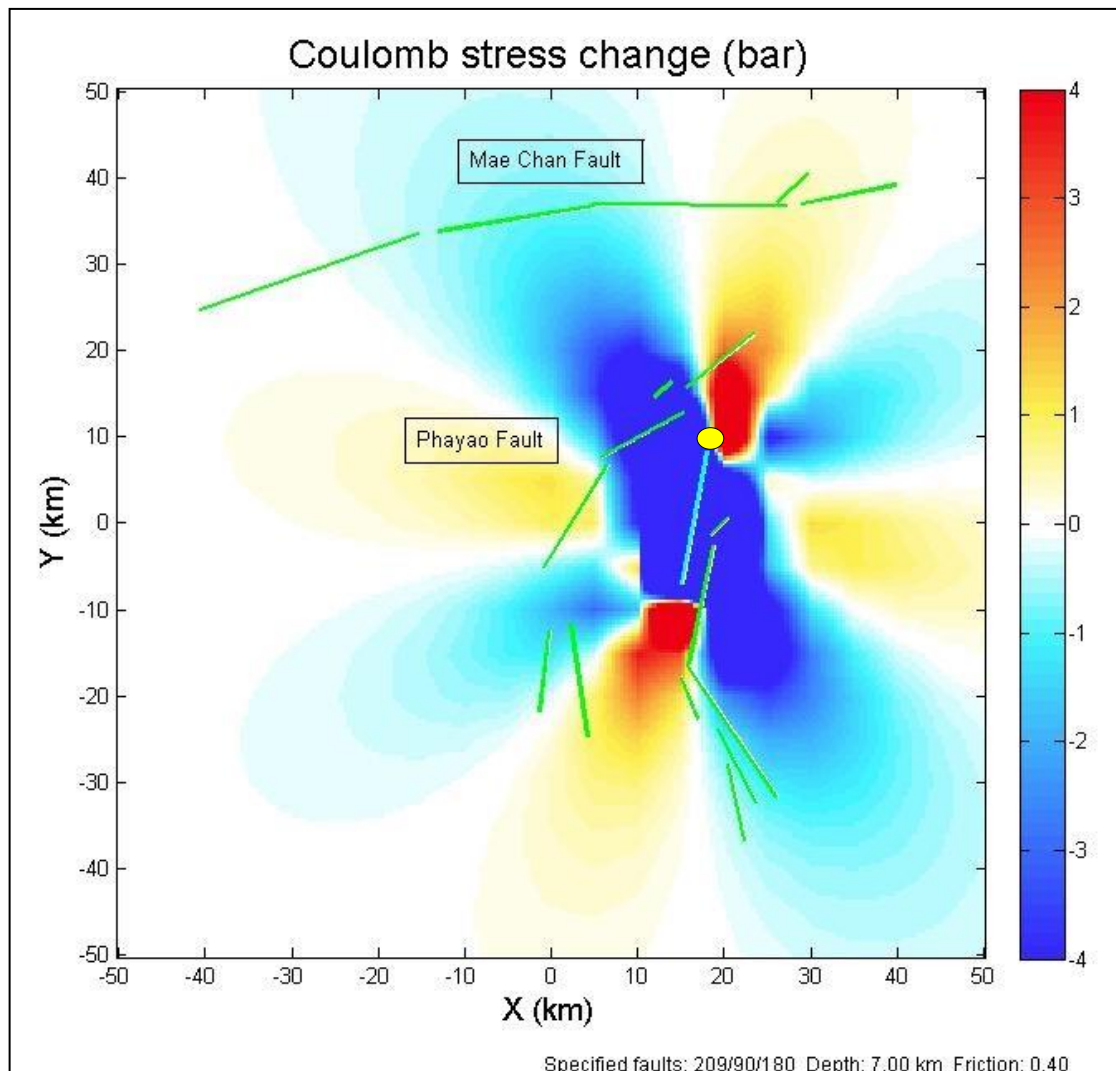
ตารางที่ 4-3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ Coulomb Stress Change

ความยาวรอยเลื่อน (กิโลเมตร)	M_w	ความลึกของรอยเลื่อน (กิโลเมตร)	Strike $^\circ$	Dip $^\circ$	Rake $^\circ$	Slip (เมตร)
28	6.3	7	175	90	180	171
ที่มา : Fenton C,H et al, 2003			Global CMT, 2014			

ผลลัพธ์ในการประมวลผล Coulomb Stress Change ดังภาพที่ 4-13 แสดงการเคลื่อนตัวแบบเลื่อนตามแนวระดับแบบเหลื่อมขวา (Right Lateral Strike Slip) โดยเส้นสีแดง คือ รอยเลื่อนที่กำหนดให้เป็น Source Fault จุดสีน้ำเงิน คือ จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว และลูกศร คือ ทิศทางการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกขณะเกิดแผ่นดินไหว

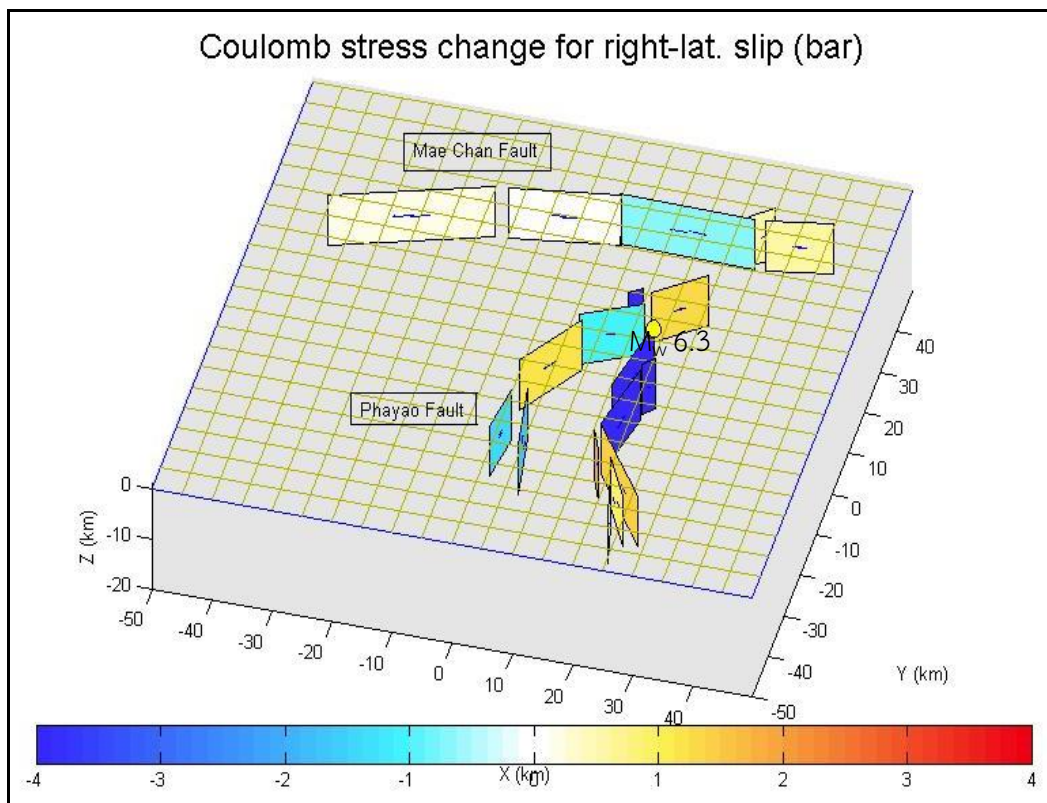


ภาพที่ 4-13 การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนพะเยา ในเหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557



ภาพที่ 4-14 Coulomb Stress Change บริเวณรอยเลื่อนพะเยา หลังแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557

เมื่อพิจารณาค่าแรงเค้นที่เปลี่ยนไปในแต่ละรอยเลื่อน ซึ่งทำให้วิเคราะห์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังภาพที่ 4-14 โดยเส้นสีแดง คือ รอยเลื่อนที่กำหนดให้เป็น Source Fault จุดสีเหลือง คือ จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว จะเห็นได้ว่าแรงเค้นที่เพิ่มขึ้นจะกระจายออกจากรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหวในแนวเหนือ-ใต้ โดยค่า Coulomb Stress Change มีหน่วยเป็นบาร์ (Bar) พบว่า รอยเลื่อนพะเยาส่วนที่อยู่ทางทิศเหนือ-ใต้ มีการเพิ่มขึ้นของแรงเค้น โดยมีค่า 1.465 บาร์ ในขณะที่ทางด้านตะวันออก-ตะวันตกของรอยเลื่อนที่ทำการเคลื่อนตัวพบค่าแรงเค้นที่ลดลง -1.439 บาร์ ดังภาพที่ 4-15 จำแนกการดูแรงเค้นในแต่ละรอยเลื่อน โดยสีฟ้า คือ แรงเค้นที่มีค่าติดลบ และสีแดง คือ แรงเค้นที่มีค่าเป็นบวก



ภาพ 4-15 Coulomb Stress Change บริเวณรอยเลื่อนพะเยา หลังแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

ผลการศึกษา Coulomb Stress Change พบว่ารอยเลื่อนพะเยาส่วนที่อยู่ทางทิศเหนือ-ใต้ มีการเพิ่มขึ้นของแรงเค้น โดยมีค่า 1.1 ถึง 2.2 บาร์ ในขณะที่ทางด้านตะวันออก-ตะวันตกของรอยเลื่อนที่ทำการเคลื่อนตัวพบค่าแรงเค้นที่ลดลง โดยมีค่าประมาณ - 1.1 ถึง 4 บาร์ รอยเลื่อนย่อยพะเยา ในแนวเหนือ-ใต้ ได้รับแรงเค้นที่มากขึ้น มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตจากรอยเลื่อนที่ได้รับแรงเค้น จนทำให้เกิดการสะสมที่มากขึ้น

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

สรุปผลการศึกษา

การใช้เทคนิค DInSAR ติดตามเหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนพะเยา โดยใช้ข้อมูล RADARSAT-2 จำนวน 2 ภาพ ผลปรากฏว่า ไม่พบรูปแบบการเคลื่อนตัวบริเวณรอยเลื่อน เนื่องจากสาเหตุทั้ง 3 ประการได้แก่ 1. ช่วงเวลาระหว่างภาพมีระยะเวลานานเกินไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัตถุหรือสภาพภูมิประเทศ ทำให้ค่า Coherence มีค่าต่ำ 2. คือ ค่า Signal Noise Ratio (SNR) มีค่ามากกว่าเฟสการเคลื่อนตัวในแนวทิศทางของเรดาร์ 3. คือค่าที่ไม่สหสัมพันธ์หรือ Decorrelation เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณเขตร้อนชื้นแถบศูนย์สูตร มีป่าปกคลุมโดยรอบ ข้อมูลที่นำมาใช้มาจากดาวเทียม RADARSAT-2 มีความยาวช่วงคลื่นในช่วง C-band จึงยากต่อการทะลุทะลวงไปถึงพื้นดินได้

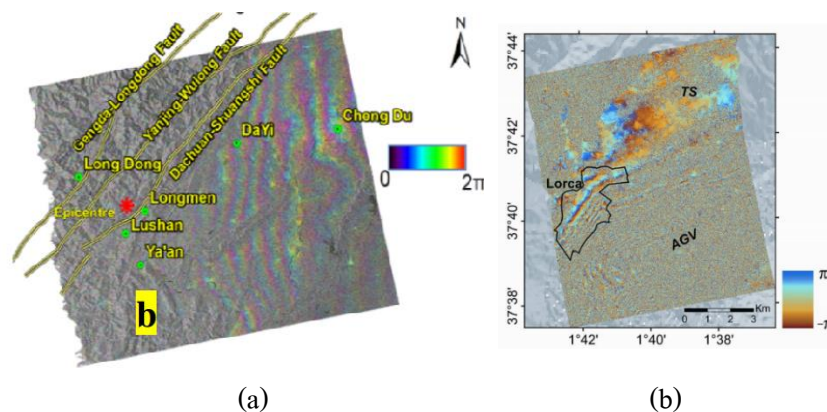
ในส่วนของประมวล Coulomb Stress Change พบการเพิ่มขึ้นของแรงเค้นบริเวณรอยเลื่อนพะเยาส่วนในแนวเหนือ-ใต้ โดยมีค่า 1.465 บาร์ ในขณะที่แนวตะวันออก-ตะวันตกของรอยเลื่อนที่ทำการเคลื่อนตัวพบค่าแรงเค้นที่ลดลง โดยมีค่า -1.439 บาร์ แต่ในการประมวลผลได้ทำการคำนวณจากการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 M_w เพียงเหตุการณ์เดียว แต่ในเหตุการณ์จริงพบว่า มีการเคลื่อนตัวมากกว่า 1,200 ครั้ง ทำให้การคาดการณ์การสะสมแรงเค้นในรอยเลื่อน ทราบเฉพาะการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 M_w ในวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 18.08 น. เท่านั้น

อภิปรายผลการศึกษา

ผลการประมวลผลด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT-2 โดยใช้จำนวน 2 ภาพ ในวงโคจรขาขึ้น เมื่อทำการให้ค่าพิกัดภาพ (Geocode) ให้อยู่ในระบบพิกัด UTM ไม่พบการเคลื่อนตัวบริเวณรอยเลื่อนจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว กล่าวคือ ผลลัพธ์ควรแสดงระดับความเข้มข้นของแรงที่ออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ซึ่งส่วนใหญ่จะแสดงผลมาในรูปแบบของ Fringe เป็นลักษณะของสี 1 cycle ของสี แสดงถึงการเคลื่อนตัวของแผ่นดินออกไปเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ใช้ในภาพ (ปีทมา พอดิ, 2556) ซึ่งสีที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของแรง โดยเน้นที่จุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวเป็นสำคัญ

ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิค DInSAR พบ Fringe บริเวณเมืองเชียงราย เป็นพื้นที่บริเวณนี้มีค่า Coherence ที่สูง ทำให้สามารถวัดการเคลื่อนตัวได้ ผลลัพธ์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนตัว

บริเวณเมืองเซียงรายประมาณ 2 ถึง -2 เซนติเมตร เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ภายในเมือง เช่น การสร้างอาคาร การถมที่ดินเพื่อเตรียมการก่อสร้าง การเจริญเติบโตของต้นไม้ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ ไม่พบการเกิด Fringe บริเวณจุดเกิดแผ่นดินไหว ตามปกติแล้วผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล DInSAR จะคล้ายกับงานวิจัยของ John Mathew et al, (2015) ที่ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Lushan ประเทศจีนด้วยเทคนิค DInSAR โดยใช้ข้อมูล RADARSAT-2 พบว่า แนวแผ่นดินไหวทอดตัวในแนวใต้ – ตะวันตก ผลลัพธ์พบการเคลื่อนตัวในแนว Line Of Sight (LOS) มีค่าระหว่าง -4.0 เซนติเมตร ถึง 3.0 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5-1 (a) และงานวิจัยของ Frontera et al, (2012) ทำการศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหว Lorca ประเทศสเปน โดยใช้เทคนิค DInSAR โดยใช้ข้อมูล TerraSAR-X ผลการศึกษาพบการเคลื่อนตัวตามแนว Line Of Sight ดังภาพที่ 5-1 (b) ผลลัพธ์จากการประมวล Interferogram ทั้งสองภาพ จะสังเกตเห็นว่าเกิดแถบสีออกจาก บริเวณจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว โดยค่า แถบสีใดสีหนึ่งไปยังแถบสีเดียวกัน คือ การเปลี่ยนแปลง ระยะทางเท่ากับครึ่งหนึ่งของ ความยาวคลื่นเรดาร์



ภาพที่ 5-1 ผลลัพธ์จากการประมวล Interferogram (a) Interferogram บริเวณ Lushan ประเทศจีน
(b) Interferogram บริเวณ Lorca ประเทศสเปน

สาเหตุที่ผลลัพธ์ไม่แสดงถึงรูปแบบการเคลื่อนตัวที่ชัดเจนในบริเวณรอยเลื่อนพะเยา ผู้วิจัยสรุปปัจจัย 3 ประการ ดังนี้

1. ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการบันทึกภาพระหว่างสองช่วงเวลา (Temporal Decorrelation) ในการวิจัยครั้งนี้มีระยะเวลาห่างภาพห่างกันถึง 672 วัน ทำให้คุณสมบัติของวัตถุที่อยู่บนภูมิประเทศเปลี่ยนไปตามช่วงเวลา โดยสาเหตุหลักเกิดจากฤดูกาลและสภาพอากาศที่เปลี่ยนไป (Bingyuan, H et al, 2008) อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ เนื่องจากรอยเลื่อนอยู่บริเวณป่าและพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้การกระเจิงกลับของสัญญาณเรดาร์มีการเปลี่ยนไปทำให้ค่า

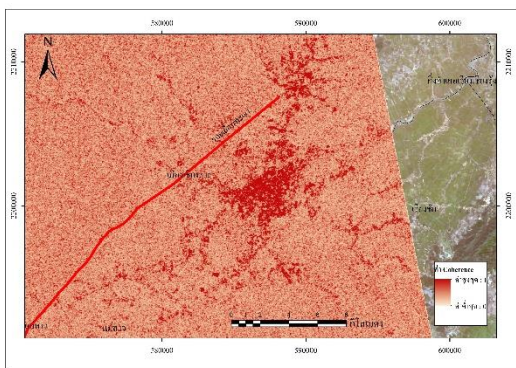
Coherence ต่ำ ส่งผลต่อค่าสัญญาณรบกวน (ϕ_{noise}) ตามไปด้วยก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น ทำให้การวัดด้วยเทคนิค DInSAR มีความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำลดลง (Zebkar, H.A. and Villasenor, J., 1992) ค่า Coherence คือ ผลรวมค่าความสัมพันธ์ของจุดภาพระหว่างสองภาพมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แปลว่า จุดภาพระหว่างสองภาพมีค่า Coherence สูง หากเข้าใกล้ 0 แปลว่า จุดภาพระหว่างสองภาพมีค่า Coherence ต่ำ หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลยระหว่างสองภาพ (ESA, 2007) ดังเช่นในผลการวิจัยครั้งนี้

2. ค่า Signal Noise Ratio หรือค่าสัดส่วนระหว่างกำลังของการรับสัญญาณกับระดับค่า Noise (Hanssen R., 2001) มีขนาดใหญ่กว่าค่าเฟสการเคลื่อนตัวในแนวทิศทางของเรดาร์ (ϕ_{disp}) เนื่องจากการประมวลผลด้วยวิธี DInSAR เป็นการใช้อยู่เพียงคู่ภาพเพียง 2 คู่ภาพ บางครั้งไม่สามารถกำจัดหรือลดค่าความผิดพลาดจากสัญญาณต่าง ๆ ที่ปะปนมาจนกระทั่งหลงเหลือแค่เฟสที่มาจาก การเคลื่อนตัวของแผ่นดินได้ ดังสมการที่ 2-3 ทำให้เมื่อค่าเฟสที่มาจาก การเคลื่อนตัวของแผ่นดิน มีขนาดเล็กกว่าความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่แฝงอยู่ จึงมองไม่เห็นถึงรูปแบบการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวเชิงรายได้ชัดเจน ถึงแม้แผ่นดินไหวเชิงรายมีขนาด M_w 6.3 ซึ่งถือว่าเป็นแผ่นดินไหวที่สร้างความเสียหายได้ก็ตาม การลดค่า SNR สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนภาพในการประมวลผล เพื่อเฉลี่ยและลดค่าไม่สอดคล้องกัน เพื่อให้ค่า SNR เหลือน้อยที่สุด เมื่อค่าไม่สอดคล้องกันน้อยลง ค่า Coherence จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ (ปีทมา พอดี, 2556)

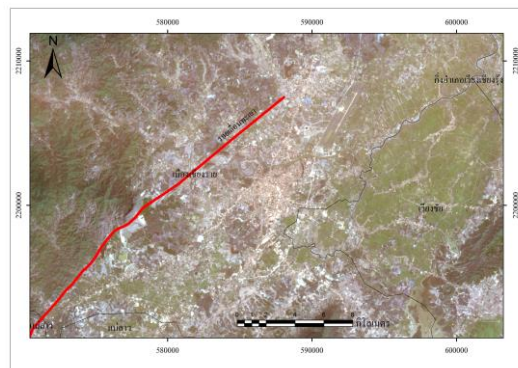
3. ค่าที่ไม่สอดคล้องกัน (Decorrelation) ที่เกิดจากพืชในเขต Tropical Zone เนื่องด้วยพื้นที่ศึกษาอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรและเป็นพื้นที่ป่าโดยส่วนใหญ่ ซึ่งส่งผลให้การใช้เทคนิค DInSAR ในบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่นนั้นทำได้ยากขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องความยาวคลื่นที่นำมาวิเคราะห์ จากตัวอย่างงานวิจัยของ Zebkar, H.A. and Villasenor, J (1992) ทำการเปรียบเทียบระหว่าง C band (ความยาวคลื่น 5.66 เซนติเมตร) ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม ERS-1 และ L band (ความยาวคลื่น 24 เซนติเมตร) ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม SEASAT พื้นที่ศึกษาเป็นป่าและบริเวณที่ถูกถลาว่าไหลผ่านในรัฐ Oregon สหรัฐอเมริกา ผลปรากฏว่า L band ให้ค่า Coherence ที่ดีกว่า C band นอกจากนี้งานวิจัยของ Askne and Smith (1996) ได้ทำการศึกษาคูสมบัติของค่าไม่สอดคล้องกันในการจำแนกป่า ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม ERS-1 พบว่า ค่า Backscatter Coefficient มีผลต่อความสูงของป่า และมีความสามารถในการทะลุทะลวงไปถึงพื้นต่ำ เมื่อนำมาประมวลผล Interferogram พบว่า บริเวณที่มีพืชพรรณหนาแน่นจะมีค่า Coherence ต่ำ เนื่องจากผลกระทบจากความสูงและกิ่งก้านของต้นไม้มีการเคลื่อนไหวจากลมทำให้มีผลกับค่า Coherence มาก ๆ

จากภาพที่ 5-2 ค่า Coherence บริเวณเมืองเชียงราย พบว่า มีค่า Coherence ที่ค่อนข้างสูง แต่พื้นที่บริเวณจุดเกิดแผ่นดินไหวดังภาพที่ 5-3 มีค่า Coherence ที่ค่อนข้างต่ำ การที่ค่า Coherence มีค่า

ต่ำ ประกอบกับพื้นที่เกิดค่าที่ไม่สหสัมพันธ์ และมีพื้นที่ป่าไม้ เกษตรกรรม มีผลอย่างมากในการประมวลผล Interferogram ในการแก้ปัญหานี้งานวิจัยของ Shaochan Dong et al (1998) พบว่าควรเลือกข้อมูลที่มีระยะห่างเวลาของข้อมูล ไม่ห่างกันมาก และหากพื้นที่เป็นพื้นที่ภูเขา มีพืชพรรณหนาแน่น การเลือกข้อมูลจากดาวเทียมที่มีความยาวคลื่นที่มากขึ้น (เช่น L-band) จะช่วยการประมวลผล Interferogram ได้ดีขึ้น

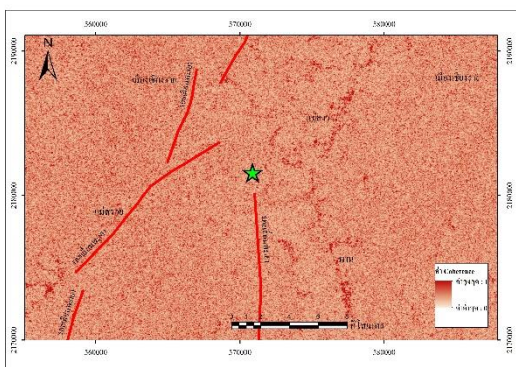


(a)

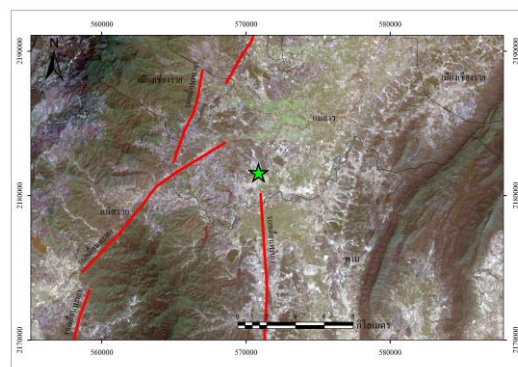


(b)

ภาพที่ 5-2 เปรียบเทียบระหว่างค่า Coherence กับภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณเมืองเชียงราย (a) ค่า Coherence (b) ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2557 Band 4 3 2 (R G B)



(a)



(b)

ภาพที่ 5-3 เปรียบเทียบระหว่างค่า Coherence กับภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณจุดเกิดแผ่นดินไหว (a) ค่า Coherence (b) ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2557 Band 4 3 2 (R G B)

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT-2 ซึ่งเป็น C band สภาพพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณป่าโอกาสที่ความยาวคลื่น C band จะทะลุทะลวงไปจนถึงพื้นดินและสะท้อนค่าการเคลื่อนตัวที่มาจากแผ่นดินก็มิโอกาสยากขึ้น ตัวอย่างงานวิจัยของ Fatma Canaslan

et al (2012) พบว่า การเลือกข้อมูลเพื่อนำมาใช้ทำเทคนิค InSAR ควรใช้ข้อมูลในช่วงฤดูหนาว เนื่องจากมีการผลัดใบของพืชทำให้สัญญาณดาวเทียมเรดาร์สามารถทะลุถึงพื้นได้ ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ภาพที่มีช่วงคลื่นยาวขึ้นและเพิ่มจำนวนภาพที่นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Time-series InSAR เช่น งานวิจัยของ Itthi Trisirisatayawong et al (2011) ศึกษาการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว MONG HPAYAK Mw 6.8 บริเวณรอยเลื่อน TARLAY ในประเทศเมียนมาร์ โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม ALOS PALSAR ความยาวคลื่น L-band ด้วยเทคนิค DInSAR ผลลัพธ์พบว่า ค่า Coherence อยู่ในระดับดีมาก ทั้งที่พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณเขตร้อนชื้น แแถบศูนย์สูตร ที่เต็มไปด้วยพืชพรรณ สาเหตุเกิดจากช่วงเวลาของภาพอยู่ในช่วงฤดูแล้ง และความยาวช่วงคลื่นในช่วง L-band ในระบบ PALSAR รวมไปถึง ระยะเวลาที่ห่างกันของคู่ภาพที่ไม่ควรเกิน 140 วัน (Chengsheng et al, 2010) แต่ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ย Coherence เท่ากับ 0.127818 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย Coherence ที่ต่ำ

จากการศึกษาเทคนิค DInSAR พบว่า เทคนิคนี้มีข้อดี คือ สามารถตรวจวัดการเคลื่อนตัวของแผ่นดินได้โดยใช้ภาพเพียง 2 ภาพที่ต่างเวลา ใช้เวลาการประมวลผลไม่นาน เหมาะกับการวิเคราะห์ที่ต้องการผลอย่างรวดเร็ว และสามารถประมวลผลหาพารามิเตอร์เพื่อนำเข้าแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับรอยเลื่อนได้ แต่ก็มีข้อจำกัด ที่ภูมิประเทศและการเปลี่ยนแปลงพืชปกคลุมดินมีผลโดยตรงกับค่า Coherence ของภาพเรดาร์ (Kai-Ting Fan, 2011)

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไป หากต้องการติดตามรอยเลื่อนด้วยเทคนิค DInSAR ควรใช้ข้อมูลที่มีระยะห่างของภาพไม่ห่างกันมาก และหากพื้นที่เป็นพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่น ควรจะใช้ข้อมูลที่มีความยาวช่วงคลื่นในช่วง L-band ที่คลื่นสามารถผ่านพุ่มไม้ลงไปถึงพื้นดินได้ ก็จะช่วยให้ค่า Coherence นั้นดีขึ้น และสามารถลดขนาด Signal Noise Ratio ลงได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ในคลังภาพอาจจะไม่ได้บันทึกในช่วงเวลาที่ใกล้เหตุการณ์แผ่นดินไหว อาจจะทำให้เกิดปัญหาในการประมวลผล

ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2557 สามารถนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-1 ซึ่งถ่ายครอบคลุมบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มาประมวลผล DInSAR ได้ สามารถเข้าถึงได้จากเว็บไซต์ <http://scihub.copernicus.eu> เป็นแหล่งรวบรวมข้อมูล Sentinel-1 และ Sentinel-2 และในอนาคตจะเป็นแหล่งรวบรวมข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-3 โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. (2555). แผนที่รอยเลื่อนมีพลัง. เข้าถึงได้จาก
http://www.dmr.go.th/ewt_dl_link.php?nid=81&filename=earthquake_thai
_____. (2556). ธรณีพิบัติภัยแผ่นดินไหวประเทศเมียนมาร์. รายงานวิชาการ ฉบับที่ สชส
3/2556, สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีภัยพิบัติ, กรมทรัพยากรธรณี.
กรมอุตุนิยมวิทยา. (2557). รายงานการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณจังหวัดเชียงราย วันที่ 5 พฤษภาคม
พ.ศ.2557 เวลา 18.00 น. สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว เอกสารวิชาการ เลขที่ 550.341-01-
2557
_____. (2559). รายงานการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง พ.ศ.
2557. สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว เอกสารวิชาการ เลขที่ 550.341-01-2559
กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. (2540). รายงานผลการดำเนินงานโครงการความ
ร่วมมือด้านการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ ERS-1. กองสำรวจ
ทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ISBN 974-8027-
99-6
ทีมวิชาการธรณีไทย. (2550). แผ่นดินไหวลาว 16 พฤษภาคม พ.ศ.2550. เข้าถึงได้จาก
<http://www.geothai.net/2007-laos-earthquake/>
ปัญญา จารุศิริ วิโรจน์ ดาวฤกษ์ กฤษณ์ วันอินทร์ มนตรี ชูวงษ์ นกตล ม่วงน้อยเจริญ อภิชาติ
ลำจวน สุวิทย์ โสสุวรรณ ปรีชา สายทอง และปิยธิดา โทนรัตน์. (2547). โครงการการ
สำรวจรอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและลำปาง-แพร่.
กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
ปัทมา พอดี. (2556). การประเมินศักยภาพของเทคนิค Time-Series InSAR เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัว
ของรอยเลื่อนมีพลังขนาดเล็กในประเทศไทยและสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสำรวจ, คณะ
วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
ปวัน ภิรมย์ทอง อธิติ สิริสัตยวงศ์ และอนุเผ่า ออบแพทย. (2558). การตรวจหาการทรุดตัวของ
แผ่นดินในช่วงปี ค.ศ.1996-2000 และแนวโน้มการทรุดตัวบริเวณกรุงเทพมหานครและ
ปริมณฑลด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่
20. 8-10 กรกฎาคม 2558 จังหวัดชลบุรี.

- เพียงดา สาดศรีภักษ์. (2557). อภิธานศัพท์ธรณีวิทยาโครงสร้าง. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จังหวัดขอนแก่น.
- _____. (2559). ธรณีวิทยาโครงสร้าง. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จังหวัดขอนแก่น.
- วีระชาติ วิเวกวิน สุวิทย์ โสสุวรรณ และปรีชา สายทอง. (2557). ธรณีภัยพิบัติแผ่นดินไหวจังหวัด เชียงราย ขนาด 6.3 ตามมาตราริกเตอร์ เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ.2557. รายงานวิชาการ ฉบับที่ สรช 7/2557, สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม, กรมทรัพยากรธรณี.
- สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล. (2557). รอยเลื่อนและแผ่นดินไหว จังหวัดเชียงราย 2557. เข้าถึงได้จาก <http://www.geothai.net/2014-chiangrai-earthquake/>
- สันติ ภัยหลบลี และสันทวัฒน์ สุขรังษี. (2557). การปรับระดับพื้นโลกพิบัติภัยระยะยาวจากแผ่นดินไหว. วารสารอุตุนิยมนวิทยา ปีที่ 14 ฉบับที่ 1
- Amarjargal Sharav. (2003). Differential SAT Interferometry for Crustal Deformation Study. Master's Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- Anuphao Aobpaet, Miguel Caro Cuenca, Andy Hooper and Itthi Trisirisatayawong. (2013). InSAR time-series analysis of land subsidence in Bangkok. Thailand International Journal of Remote Sensing. 34(8) : p. 2969 – 2982
- Askne, J & Smith, G. (1996). Forest InSAR decorrelation and classification properties. FRINGE 96 European Space Agency
- Bingyan, H et al . (2008). Analyzing Decorrelation of Multi-temporal SAR DATA on InSAR. 2008 Congress on Image Processing 978-0-7695-3119-9/08
- Brian Brisco, Kevin Muranaghan and Shimon Wdowinski. (2015). Evaluation of RADARSAT-2 Acquisition Modes for Wetland Monitoring Applications. Canadian Journal of Remote Sensing, 41:431–439.
- Chengsheng, Y et al. (2010). Monitoring mine collapse by D-InSAR. Mining Science and Technology 20. 0696-0700.
- C. W. Chen and H. A. Zebker. (2012). Phase unwrapping for large SAR interferograms: Statistical segmentation and generalized network models. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 40, pp. 1709-1719.

- David P. Lusch. (1999). Introduction To Microwave Remote Sensing. Basic Science and Remote Sensing Initiative, Department of Geography, Michigan State University.
- ESA. (2007). InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. European Space Agency.
- Fatma Canaslan and Aydin Ustun. (2012). Impact of Perpendicular and Temporal Baseline Characteristic on InSAR Coherence Maps. TS05SH – Remote Sensing I, 5767
- Fenton, C. H., P. Charusiri and S. C. Wood. (2003). Recent paleoseismic investigations in Northern and Western Thailand. *Annals of Geophysics*.
- Ferretti, A., Prati, C., and Rocca, F. (2011). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 39 (1) : 8-20.
- Frontera, T et al. (2012). DInSAR Coseismic Deformation of the May 2011 Mw 5.1 Lorca Earthquake (southeastern Spain). *Solid Earth*, 3, 111-119
- Geospatial Information Authority of Japan. (2004). Monitoring the Earth Deformation from Space. Retrieved from <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/qanda/qanda-e.html>
- Global CMT. (2014). Event name: 201405051108A. Retrieved from <http://www.globalcmt.org>
- Hanssen, Ramon F. (2001). *Radar Interferometry: data interpretation and error analysis*. Springer, ISBN 978-0-306-47633-4
- HAO Bingyan, MA Chao and KANG Lixun. (2008). Analyzing Decorrelation of Multi-temporal SAR DATA on InSAR. *Congress on Image Processing* 978-0-7695-3119-9/08
- HUANG Qi-huan and HE Xiu-feng. (2008). Surface Deformation Investigated With SBAS-DInSAR Approach Based on Prior Knowledge. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol XXXVII, Part B1, Beijing.
- Hyung-Sup Jung, Dong-Taek Lee, Zhong Lu and Joong-Sun Won. (2013). Ionospheric correction of SAR interferograms by multiple-aperture interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 51, Issue 5, Page 3191-3199
- Institute of Geophysics and Planetary Physics. (2016). Parameters of Fault Geometry and Earthquake Type. Retrieved from <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sio15/lectures/Lecture05.html>

- Itthi Trisirisatayawong, Andy Hooper and Anuphao Aobpaet. (2011). Co-seismic displacement of 24-March-2011 $M_w = 6.8$ Mong Hpayak (TAR LAY) Earthquake, Myanmar. European Space Agency, Provided by the NASA Astrophysics Data System.
- Jeong-Hee Choi. (2015). Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR). Department of Computer and Communication, Taegu University.
- John Mathew, Ritwik Majumdar and K. Vinod Kumar. (2015). SAR Interferometry and optical remote sensing for analysis of co-seismic deformation, source characteristic and mass wasting pattern of Lushan (China, April 2013) earthquake. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 35 (2015) 338-349.
- JUANG Qi-huan and HE Xiu-Feng. (2008). Surface Deformation investigated with SBAS-DInSAR Approach Based on Prior Knowledge. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XXXVII, Part B1, Beijing.
- Kai-Ting Fan et al. (2011). Monitoring of Surface Deformation in Northern Taiwan using PSInSAR Techniques. 32nd Asian Conference on Remote Sensing 2011, Volume 4
- Kampes, B and S. Usai. (1999). DORIS: The Delft object-oriented radar interferometric software. Paper presented at ITC 2nd ORS Symposium, Int. for Geoinf. Sci and Earth Obs. Enschede, Netherlands.
- King, G.C.P., Stein, R.S., and Lin, J. (1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes, *Bull. Bulletin of the Seismological Society of America*, 84: 935– 953.
- Kui Zhang, Alex Hay-Man Ng, Linlin Ge, Yusen Dong and Chris Rizos. (2014). PALSAR Interferometry for co-seismic deformation monitoring of Wenchuan Earthquake. The College of Information Sciences and Technology, The Pennsylvania State University
- Massonet, D and Feigl, K.L. (1998). RADAR Interferometry and Its Application to change in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36, 4/November 1998.
- MDA. (2016). RADARSAT-2 Product Description. 13800 Commerce Parkway Richmond, B.C., Canada.
- Parviz Tarikhi. (2010). InSAR Baseline. Retrieved from <https://parviztarikhi.wordpress.com>
- Radartutorial. (2016). Synthetic Aperture Radar. Retrieved from <http://www.radartutorial.eu>

- Reid, H. F. (1910). The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission. Washington, D.C, Carnegie Institution of Washington.
- Richard M. Goldstein and Charles L. Werner. (1998). Radar interferogram filtering for geophysical applications. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTER, VOL..25, NO.21,PAGE 4035-4038.
- SEAMERGES. (2004). Co-seismic deformation. SEAMERGES GPS Course, Bangkok, May 2004
- Shaochan Dong and LuLu Huang. (1998). Mapping Surface Displacement based on D-InSAR technique. IEEE 978-1-4244-9171-1/11
- Shewta Sharma, Y.S. Rao, AJAI and A.K. Mathur. (2016). Application of DInSAR technique for post-earthquake land deformation mapping of Eastern Nepal. CURRENT SCIENCE, VOL. 110, NO. 3.
- Shinji Toda Ross S. Stein, Volkan Sevilgen and Jian Lin. (2001). Coulomb 3.3. Open-File Report 2011–1060, U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey
- Shoji Takeuchi and Shinji Yamada. (2002). Comparison of InSAR Capability for Land Subsidence Detection between C-band and L-band SAR. Geoscience and Remote-sensing Symposium,2002. IGRASS'02.' 2002 IEEE International(4) : 2379-2381
- State Earthquake Investigation Commission. (1969). The California Earthquake of Arpil 18, 1906. Washington, D.C
- Tamr ElGharbawi and Masayuki Tamura. (2014). Surface Deformation Monitpring Using SAR Interferogram And GPS Observables: Application to Tokyo,Japan. IGRASS 2014.978-1-4799-5775
- Toda, S., R. S. Stein, V. Sevilgen and J. Lin (2011). Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching user guide. U.S. Geological Survey open- le report 20111060: 63.
- USGS. (1989). Earthquake Lists, Maps, and Statistics. Retrieved from <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/>
- _____. (2003). Fault Normal faults Reverse faults Srike-slip fault Fault scarp Retrieved from <https://geomaps.wr.usgs.gov/parks/deform/gfaults.html>

- _____. (2011). Coulomb 3.3 Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1060/of2011-1060.pdf>
- _____. (2016). Earthquake Lists, Maps, and Statistics. Retrieved from <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/>
- Wikipedia. (2010). Elastic rebound. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Elastic-rebound_theory
- Xiao-li Ding, Zhi-wei Li, Jian-jun Zhu, Gaung-cai Feng and Jiang-ping Long . (2008). Atmospheric Effects on InSAR Measurements and Their Mitigation. *Sensor* 2008, 8, 5426, 5448, DOI: 10.3390/s8095426.
- Xiaobing Zhou, Ni-Bin Chang and Shusun Li. (2009). Application of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research. *Sensor* 2009, 9, 1876-1912; doi: 10.3390/s90301876.
- YANG Chengsheng, ZHANG Qin, ZHAO Choying, JI Lingyun and Zhu Wu . (2010). Monitoring mine collapse by D-InSAR. *ScienceDirect, Mining Science and Technology* 20 (2010) 0696-0700.
- Zebker, H. A. and Goldstein, R. M. (1986). Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observation. *Journal of Geophysical Research* 91(B5): 4993-4999.
- Zebkar, H.A. and Villasenor, J. (1992). Decorrelation in interferometric radar echoes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 5 (30),950-95.