

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

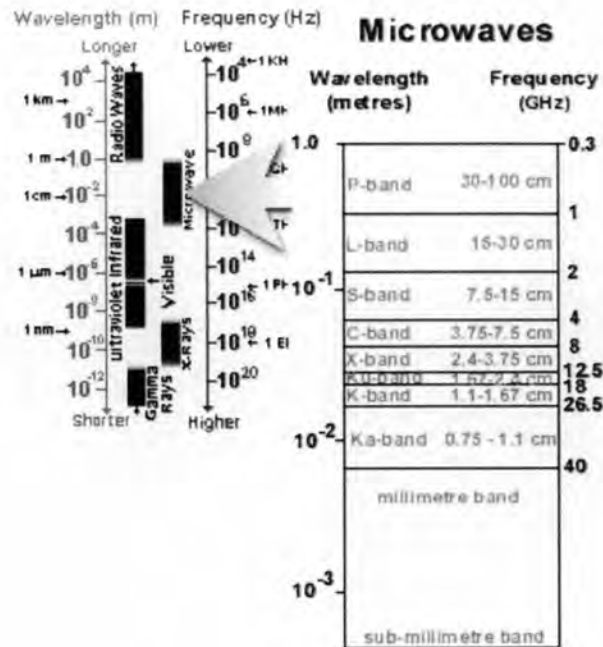
แนวคิดและทฤษฎี

2.1 หลักการสำรวจจากระยะไกล

หลักการสำรวจจากระยะไกล หรือรีโมตเซนซิง (Remote Sensing) เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่ใช้ในการบ่งบอก จำแนก หรือวิเคราะห์คุณลักษณะของ วัตถุต่างๆ โดยปราศจากการสัมผัสวัตถุเป้าหมายโดยตรง โดยสามารถจำแนกการสำรวจจากระยะไกล ออกได้เป็น 3 ประเภท ตามย่านความถี่ คือ (1) การสำรวจจากระยะไกลย่านแสงที่ตามองเห็นและอินฟราเรดสะท้อน (visible and reflective infrared remote sensing) (2) การสำรวจจากระยะไกลย่านอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared remote sensing) และ (3) การสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟ (microwave remote sensing)

การสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟ สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ การสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบแพซีฟ (Passive) และแบบแอ็กทีฟ (Active) ในการสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบแพซีฟ จะเป็นการตรวจวัดค่าการแผ่รังสีไมโครเวฟ (microwave radiation) จากวัตถุ ในขณะที่การสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบแอ็กทีฟ จะเป็นการตรวจวัดค่า สัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายกลับ (backscattering coefficient) โดยเป็นการส่งสัญญาณไปยังวัตถุเป้าหมายและรับสัญญาณที่กระจัดกระจายกลับมายังอุปกรณ์ส่งสัญญาณซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องรับสัญญาณด้วย

RADAR ย่อมาจาก Radio Detection and Ranging ซึ่งทำงานโดยการแผ่รังสี ในช่วงคลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ถึงหลายสิบเซนติเมตรไปยังวัตถุเป้าหมายและรับสัญญาณการสะท้อนกลับ ซึ่งช่วงคลื่นไมโครเวฟนี้เป็นช่วงคลื่นที่มีความยาวมากที่สุดที่ใช้ประโยชน์ในการสำรวจจากระยะไกล (รูปที่ 2.1) ระบบบันทึกข้อมูลที่ในช่วงคลื่นไมโครเวฟจึงสามารถถ่ายภาพทะลุเมฆหมอก และฝนได้ กล่าวคือสามารถถ่ายภาพได้ทุกสภาวะอากาศ และด้วยลักษณะที่เป็นการสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบแอ็กทีฟ ซึ่งมีการส่งสัญญาณไปยังวัตถุเป้าหมายด้วยตัวเอง ทำให้การถ่ายภาพในระบบเรดาร์สามารถทำงานได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน



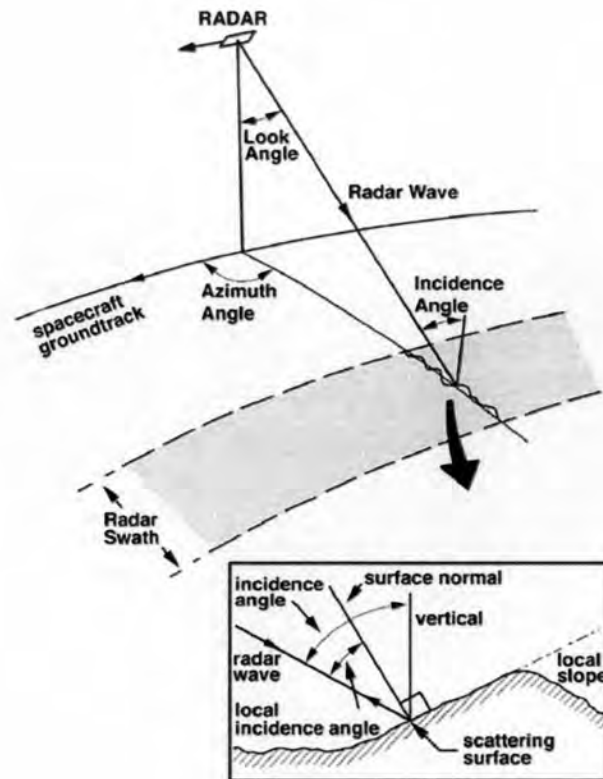
© CCRS / CCT

รูปที่ 2.1 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่มีความยาวมากที่สุดที่ใช้ประโยชน์ในการสำรวจจากระยะไกล

(ที่มา: http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/radar/radar1.html)

แนวคิดของระบบเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์

เรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์เป็นเครื่องมือสำรวจจากระยะไกลในระบบเรดาร์แบบหนึ่งที่ตั้งอยู่บนดาวเทียมที่ระดับความสูงระหว่าง 600 – 800 กิโลเมตร ทำงานโดยส่งพัลส์คลื่นวิทยุซึ่งผ่านกรรมวิธีการอัดลดพัลส์ (pulse compression) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา โดยการเพิ่มความถี่ในการส่งสัญญาณ และส่งออกจากสายอากาศ (Antenna) ที่หลายองศา ซึ่งมีความยาวมากกว่า 10 เมตร และความกว้างมากกว่า 1 เมตร ทำให้เกิดเป็นลักษณะลำคลื่นมุมแคบในทิศทางตามแนวพิสัย (Range Direction) ทำมุมฉากกับทิศทางตามแนวโคจรของดาวเทียม (Azimuth Direction) และทำมุมตกกระทบ (Incidence angle) ระหว่าง 15 – 60 องศา (รูปที่ 2.2) โดยพลังงานที่ถูกส่งออกนี้จะครอบคลุมพื้นที่เป้าหมาย และกระจัดกระจายกลับเมื่อกระทบกับพื้นที่เป้าหมาย พลังงานที่กระจัดกระจาย (Backscattered energy) กลับมาจะได้รับการตรวจวัด จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการสร้างภาพเรดาร์



รูปที่ 2.2 การทำงานของดาวเทียมระบบเรดาร์ โดยการส่งสัญญาณในทิศทางตามแนวพิสัย (Range Direction) มายังพื้นที่เป้าหมาย

(ที่มา: http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/radar/radar2.html)

ความละเอียดที่ได้ในทิศทางตามแนวโคจรจะมีค่าเท่ากับผลคูณของความกว้างของลำคลื่นกับระยะทางสู่พื้นที่เป้าหมาย โดยที่รายละเอียดในทิศทางตามแนวโคจรจะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวคลื่นสั้นลง และขนาดของสายอากาศใหญ่ขึ้น จึงมีการใช้คลื่นที่สั้นกว่า และสายอากาศที่ใหญ่กว่า เพื่อให้ได้รายละเอียดในทิศทางตามแนวโคจรที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการที่จะเพิ่มสายอากาศขนาดใหญ่ นั้นทำได้ยาก ตัวอย่างเช่นจะต้องใช้สายอากาศยาว 1 กิโลเมตร เพื่อให้ได้ภาพความละเอียด 25 เมตร สำหรับแบนด์ L ($\lambda = 25$ เซนติเมตร) ในระยะทาง 100 กิโลเมตร จากพื้นที่เป้าหมาย

เรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์จัดการกับปัญหานี้โดยการเพิ่มขนาดของสายอากาศให้ใหญ่ขึ้นโดยวิธีการสังเคราะห์เพื่อเพิ่มรายละเอียดในแนวโคจรโดยวิธีการอัดคดพัลส์ เช่นเดียวกับในทิศทางตามแนวพิสัย กรรมวิธีของช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic aperture processing) เป็นกระบวนการทางข้อมูลที่มีความยุ่งยาก สำหรับสัญญาณและเฟสที่ได้รับจากเป้าหมายเคลื่อนที่ โดยใช้สายอากาศขนาดเล็ก ซึ่งต้องทำให้เกิดผลในทำนองเดียวกับการใช้สายอากาศขนาดใหญ่ในเชิงทฤษฎี นั่นคือใช้ความยาวของช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic aperture length)

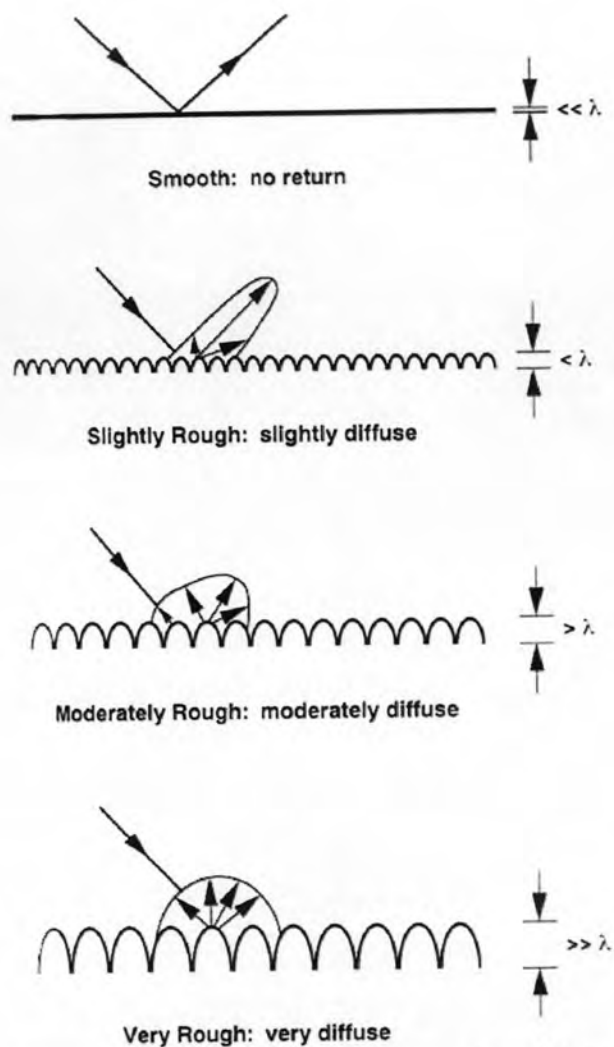
เรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์สามารถรับพัลส์ที่กลับมาจากพื้นที่เป้าหมายได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมๆ กับที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังพื้นที่เป้าหมาย ในขณะที่เดียวกันระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างเรดาร์และพื้นที่เป้าหมาย จะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเคลื่อนที่ของยานสำรวจ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเชิงคอปเพลอร์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพัลส์ที่ได้รับในแบบเชียร์ป (Chirp) ตัวกรองเข้าสู่จะให้ผลในคุณลักษณะที่ตรงข้ามกับแบบเชียร์ป โดยจะให้รายละเอียดในทิศทางตามแนวโคจรเพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่าการบีบคดในมุมทิศ (Azimuth compression)

ในกรณีเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์นั้น ความเร็วและความสูงของดาวเทียมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดผลเชิงคอปเพลอร์ลดลง ดังนั้นดาวเทียมที่จะมีเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์จะต้องอยู่ระดับสูงมาก เพราะหากดาวเทียมอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้การแก้ไขสำหรับกรรมวิธีของช่องเปิดสังเคราะห์ทำได้ยาก

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายกลับของพลังงาน มีดังต่อไปนี้

1. ความขรุขระของพื้นผิวหน้าของวัตถุ (Surface roughness)

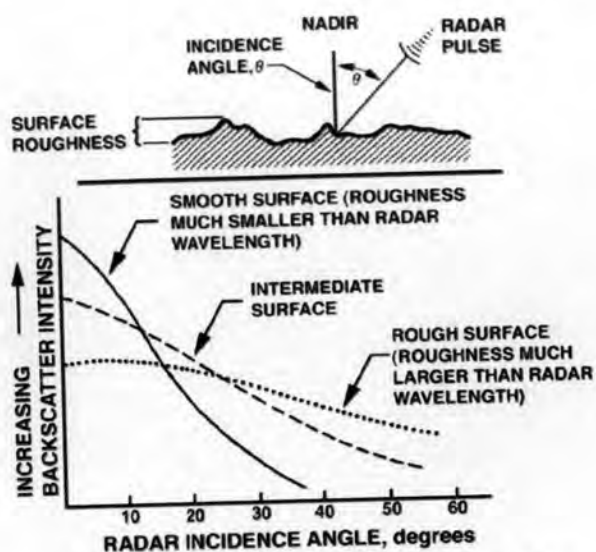
ความขรุขระของพื้นผิวหน้าเป็นปัจจัยหลัก ที่มีผลกระทบต่อการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ (Radar backscatter) โดยหลักการแล้ววัตถุที่มีพื้นผิวเรียบจะสะท้อนพลังงานตกกระทบเกือบทั้งหมด สำหรับพื้นผิวขรุขระยังคงสะท้อนพลังงาน แต่สัดส่วนของการสะท้อนดังกล่าวจะกระจายไปยังทิศทางต่างๆ ด้วย ทำให้พลังงานที่กระจายบางส่วนตรวจวัดได้จากบางมุมมอง และหากความขรุขระเพิ่มขึ้น อัตราการกระจายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ศักยภาพการตรวจวัดพลังงานด้วยการถ่ายภาพในทิศทางตามแนวพิสัยเพิ่มขึ้น นั่นคือวัตถุที่มีพื้นผิวเรียบจะมีการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์น้อยหรือไม่มี เป็นผลให้ความสว่างของภาพ (Image brightness) บนข้อมูลจากดาวเทียมจึงปรากฏเป็นสีดำ ในขณะที่วัตถุที่มีพื้นผิวขรุขระซึ่งให้การกระจายของสัญญาณเรดาร์มาก และมีความสว่างของภาพมากบนข้อมูลจากดาวเทียมจึงปรากฏเป็นสีขาว (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ผลกระทบจากความขรุขระของผิวสะท้อนของวัตถุที่มีต่อการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ (ที่มา: <http://history.nasa.gov/JPL-93-24/p53a.htm>)

2. มุมตกกระทบ (Incident angle)

มุมตกกระทบมีบทบาทสำคัญในการพิจารณาว่าวัตถุหรือพื้นที่เป้าหมายสามารถกระจัดกระจายพลังงานได้ดีเพียงใด ส่วนมากทิศทางการกระจัดกระจายมักจะเปลี่ยนแปลงไปตามมุมตกกระทบต่างๆ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของมุมตกกระทบจะทำให้ค่าปริมาณการกระจัดกระจายกลับที่ตรวจวัดได้ของวัตถุเป้าหมายเดียวกันมีความแตกต่างกัน (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 บทบาทของมุมตกกระทบที่มีต่อค่าพลังงานกระจัดกระจายกลับ
(ที่มา: http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/radar/radar2.html)

3. มุมอซิมูท (Azimuth angle)

พื้นที่เป้าหมายที่มีองค์ประกอบเชิงโครงสร้าง ซึ่งมีลักษณะเชิงทิศทางเป็นแถวหรือเป็นแนวยาวเห็นได้ชัดเจน เช่น แนวคลื่นในมหาสมุทร พื้นที่เหล่านี้จะมีความไวเชิงทิศทางต่อการบันทึกภาพด้วยระบบเรดาร์ที่มีมุมมองทางด้านข้างมาก

4. ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (Dielectric constant)

วัสดุธรรมชาติทุกชนิดมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (ϵ) ที่ซับซ้อนผันแปรไปตามความถี่ นั่นคือ สมมติว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของวัตถุเพียงเล็กน้อย ก็ย่อมมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการกระจัดกระจายกลับของวัตถุดังกล่าว

5. การโพลาไรซ์ (Polarization)

การโพลาไรซ์มีผลกระทบอย่างมากต่อการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ จากวัตถุ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีเวกเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

- เวกเตอร์ไฟฟ้า (E)
- เวกเตอร์แม่เหล็ก (H)
- เวกเตอร์ทิศทาง (Directional)

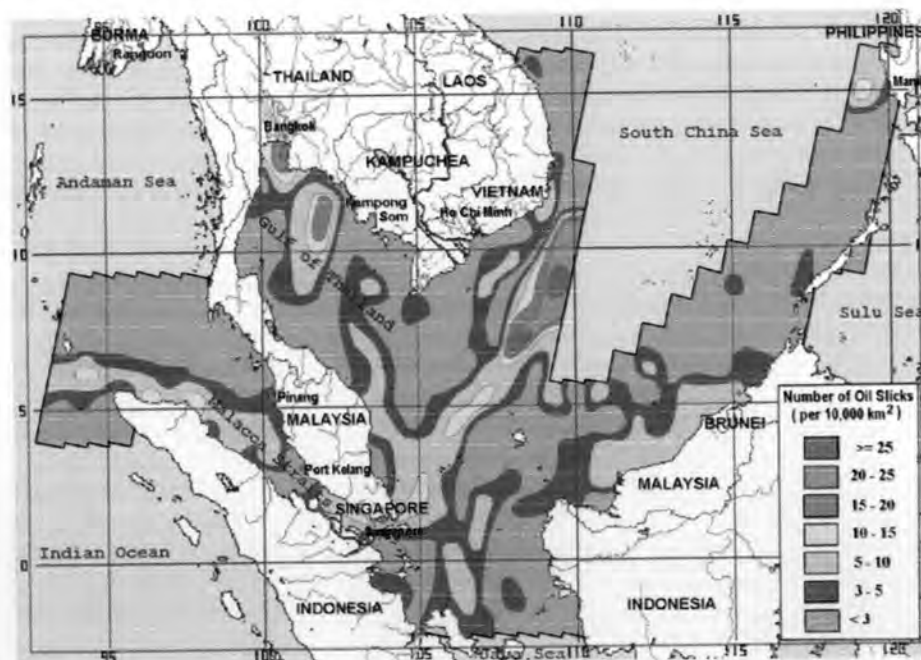
เมื่อก้าวถึงการแผ่รังสีที่มีการโพลาไรซ์ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะหมายถึงระนาบนั้นๆ ที่เวกเตอร์ไฟฟ้าวางตัวอยู่ ดังนั้นการโพลาไรซ์ในแนวตั้ง (VV) จึงมีเวกเตอร์ไฟฟ้าของการแผ่รังสีในแนวตั้ง ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองที่ดีต่อเป้าหมายที่มีองค์ประกอบเชิงโครงสร้างในแนวตั้ง แต่จะมีปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยสำหรับการโพลาไรซ์แนวราบ (HH) ซึ่งจะมีเวกเตอร์ไฟฟ้าในแนวราบ

6. ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and wavelength)

การทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟขึ้นกับความถี่และความยาวคลื่น โดยทั่วไป ความยาวคลื่นมีอิทธิพล คือ คลื่นยิ่งยาวความสามารถในการทะลุทะลวงยิ่งมากขึ้น

2.2 การตรวจหาคราบน้ำมันและสถิติตามธรรมชาติจากเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์

ในปัจจุบันมลภาวะทางทะเลอันเนื่องมาจากน้ำมันรั่ว (Oil spill) ที่พบลอยอยู่ที่ผิวหน้าน้ำทะเลเป็นภัยคุกคามอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศทางทะเล ในแต่ละปีคราบน้ำมันกว่า 4.5 ล้านตันจะถูกปล่อยลงสู่ทะเล มีรายงานว่าร้อยละ 45 ของน้ำมันในทะเลทั้งหมดมาจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเรือขนถ่ายน้ำมัน เช่น น้ำทิ้งจากการทำความสะอาด ในขณะที่น้ำมันที่ลงสู่ทะเลเนื่องจากอุบัติเหตุทางเรือและอุบัติเหตุที่แท่นขุดเจาะน้ำมันกลางทะเลมีเพียงร้อยละ 5 และ 2 ตามลำดับ (Lu *et al.*, 1999) และจากการตรวจพบคราบน้ำมันโดยเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์จากดาวเทียม ERS-1 (ERS-SAR) พบว่าในบริเวณทะเลจีนใต้และอ่าวไทยมีการตรวจพบจำนวนคราบน้ำมันมากกว่าบริเวณอื่นๆในภูมิภาค ซึ่งเชื่อว่าถูกปล่อยมาจากเรือพาณิชย์ตามเส้นทางเดินเรือ (Lu *et al.*, 1999) (รูปที่ 2.5) สำหรับการศึกษาในอ่าวไทยพบว่า คราบน้ำมันที่พบจะอยู่ตามแนวเส้นทางเดินเรือพาณิชย์ และที่ปากแม่น้ำสายหลัก เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา ทำจีน แม่น้ำคลอง และบางปะกง (Ivanov & Zatygalova, 2007)



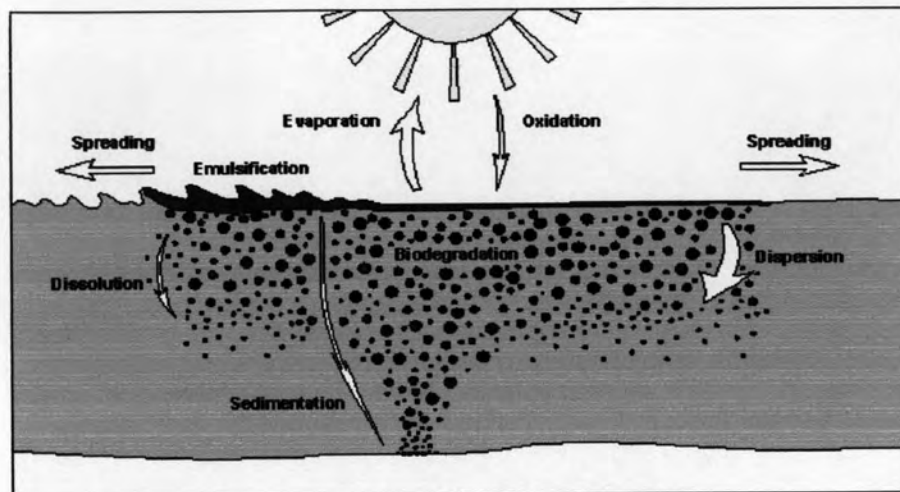
รูปที่ 2.5 การกระจายของมลภาวะคราบน้ำมันในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ช่องแคบมะละกา ทะเลจีนใต้ และอ่าวไทย ระหว่างเดือนกันยายน 2538 ถึง พฤษภาคม 2541 (Lu *et al.*, 1999)

การตรวจหาคราบน้ำมันและคราบสลิค (Slick) ตามธรรมชาติโดยเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์ สามารถทำได้เนื่องจากพลังงานที่กระจัดกระจายกลับจากพื้นที่เป้าหมายจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำ เพราะคราบน้ำมันหรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ น้ำที่ปรากฏที่ผิวน้ำจะปรากฏเป็นชั้นของฟิล์มบางๆ ที่ผิวน้ำและมีพลังงานจำนวนหนึ่งซึ่งยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปแล้วเมื่อผิวของน้ำได้รับแรงเนื่องจากแรงเฉือนของลมกระทำที่ผิวน้ำจะเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผิวน้ำไปสู่รูปแบบของคลื่นสั้น (Short gravity wave) หรือริ้วคลื่นคาปิลารี (Capillary ripples) ส่งเสริมให้ผิวน้ำน้ำทะเลเกิดความขรุขระขึ้นและความขรุขระนี้เองที่จะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ภายในพื้นที่ที่ฟิล์มบางนี้ปรากฏ พลังงานที่แพร่ผ่านพื้นที่นี้จะถูกดูดกลืน ทำให้เกิดการคลายจากรูปคลื่นที่ฟิล์มนั้น และทำให้ไม่เกิดการสะท้อนกลับของพลังงานในทิศทางเดียวกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

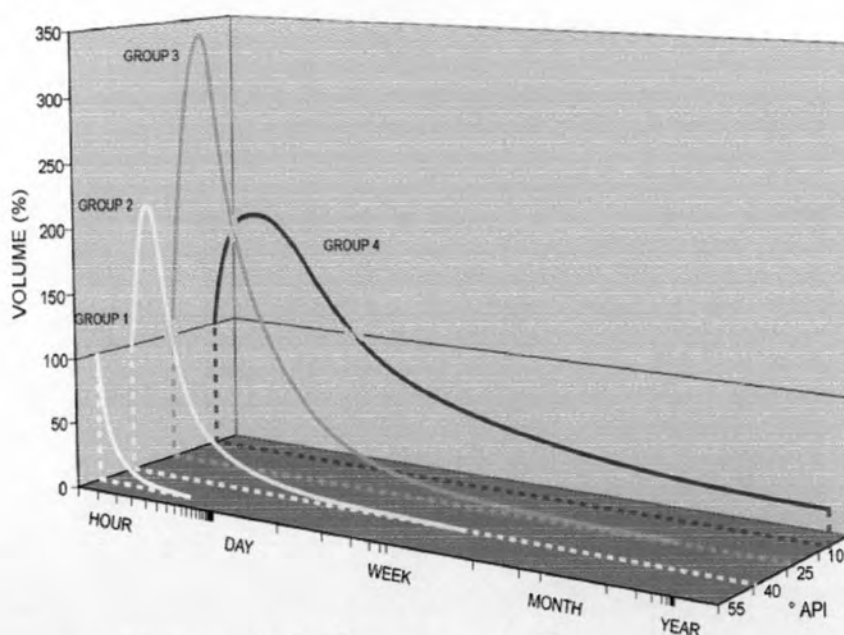
คราบสลิคที่ปรากฏในภาพเรดาร์อาจเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ คราบน้ำมัน พื้นที่เงาลม และคลื่นท้ายเรือ หรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ได้แก่ ฟิล์มธรรมชาติ แผ่นน้ำแข็ง พื้นที่อัตราเร็วลมต่ำ (2-3 เมตรต่อวินาที) พื้นที่ฝน คลื่นใต้น้ำ น้ำมันใต้พื้นทะเล ในหลายกรณีการใช้ภาพเรดาร์บนพื้นฐานของความเข้มพลังงานกระจัดกระจายกลับเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะวิเคราะห์เพื่อจะแยกชนิดของสลิคได้ ข้อมูลลมในเวลาถ่ายภาพ และประวัติลมในพื้นที่นั้นอาจช่วยในกระบวนการแปลภาพเรดาร์ได้ โดยที่อัตราเร็วลมมากกว่า 7 เมตรต่อวินาทีนั้น มีความเป็นไปได้มากกว่าสลิคที่พบจะเป็นผลมาจากคราบน้ำมัน ในบางกรณีการพิจารณารูปร่างของสลิค และประวัติลมอาจช่วยประมาณอายุของสลิคที่พบได้ (Espedal *et al.*, 1999)

จากที่กล่าวมาแล้ว ความสามารถในการตรวจพบคราบน้ำมันด้วยเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์นั้น มีข้อจำกัดด้วยปัจจัยทางธรรมชาติบางประการ เช่น ความเร็วลม โดยภายใต้ อัตราเร็วลมระหว่าง 2 - 3 เมตรต่อวินาที ภาพผิวน้ำที่ปรากฏในภาพเรดาร์จะปรากฏเป็นพื้นที่สีดำซึ่งมีผลทำให้ไม่สามารถแยกคราบน้ำมันและผิวทะเลออกจากกันได้ สำหรับอัตราเร็วลมที่ 3 ถึง 6 เมตรต่อวินาที เป็นอัตราเร็วลมที่เหมาะสมต่อการตรวจพบคราบน้ำมัน และเมื่อลมมีความเร็วมากกว่า 12 เมตรต่อวินาที ลมและคลื่นผิวน้ำจะชักนำให้เกิดการแพร่กระจายของคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล (Scott, 1986) หรือส่งเสริมกระบวนการอื่นๆ ที่มีผลต่อคราบน้ำมัน เช่น การระเหย (Evaporation) กระบวนการอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) เป็นต้น (รูปที่ 2.6) ซึ่งจากกระบวนการต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในการคงอยู่ของคราบน้ำมันต่างชนิดกันที่ผิวน้ำทะเล โดยในรูปที่ 2.7 แสดงความสามารถในการคงอยู่ที่ผิวน้ำทะเลของคราบน้ำมันแยกตามความหนาแน่น โดยกรุป 1 หมายถึงน้ำมันที่ความหนาแน่นน้อยกว่า 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่ Gasoline และ Kerosene กรุป 2 น้ำมันที่ความหนาแน่น 0.8 - 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่ Gas Oil และ Abu Dhabi Crude กรุป 3 น้ำมันที่ความหนาแน่น 0.85 - 0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่ Arabian

Light Crude และ North Sea Crude Oils กรู๊ป 4 น้ำมันที่ความหนาแน่นมากกว่า 0.95 กรัมต่อลูกบาศ
เซนติเมตร ได้แก่ Heavy Fuel Oil และ Venezuelan Crude Oils



รูปที่ 2.6 กระบวนการทางกายภาพและเคมีที่มีผลต่อคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล
(ที่มา: <http://www.itopf.com/fate.html>)



รูปที่ 2.7 ความสามารถในการคงอยู่ที่ผิวน้ำทะเลของคราบน้ำมันแยกตามความหนาแน่นของคราบน้ำมัน (ที่มา: <http://www.itopf.com/fate.html>)

การวิเคราะห์รูปร่างของคราบน้ำมันก็เป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล (Solberg & Volden, 1997) เช่น การเคลื่อนที่ของเรือจะทำให้เกิดสลิคที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว ซึ่งสามารถอธิบายเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือเป็นแผ่นได้ (Lu *et al.*, 1999) สำหรับชนิดของการโพลาริซ์ของภาพเรดาร์ ในบางการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างทิศทางการโพลาริซ์ทั้ง 2 แบบ คือ HH และ VV สำหรับการศึกษาคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล อย่างไรก็ตาม แม้ว่าทิศทางการโพลาริซ์ทั้ง 2 ทิศทาง จะสามารถตรวจหาคราบน้ำมันได้เช่นเดียวกัน แต่ทิศทางการโพลาริซ์แบบ VV ก็ดูจะมีความเหมาะสมมากกว่าโดยเสนอว่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณจากคลื่นกับคราบน้ำมัน สลิคควรจะดีกว่าทิศทางการโพลาริซ์แบบอื่นๆ (Natural Resource Canada, 2007) นอกจากนี้ Masuko *et al.* (1995) เสนอว่าทิศทางการโพลาริซ์แบบ VV สำหรับ C-band แล้วดูจะมีความเหมาะสมกว่าโดยเฉพาะเมื่อทำการศึกษาในสภาวะลมอ่อน

สำหรับการศึกษาคระบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเลนั้น จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT พบว่าเทคนิคการกรองภาพแบบลี (Lee filter) เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน และแบบแกมมา (Gamma filter) เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การแพร่กระจายของคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล สำหรับการวิเคราะห์เนื้อหาภาพโดยเอนโทรปี (Entropy), พลังงาน (Energy) และ โฮโมเจเนิตี (Homogeneity) สามารถใช้แยกพื้นที่ที่ปรากฏคราบน้ำมันจากพื้นที่โดยรอบได้ดีกว่าการเปรียบเทียบความเข้มสี (contrast) (Marghany, 2001) นอกจากนี้ยังสามารถใช้การจำแนกแบบไม่กำกับ (Unsupervised classification) ในการแยกคราบน้ำมันจากพื้นที่เสมือนเนื่องจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอื่นๆ เช่น พื้นที่อัตราเร็วลมต่ำ และจากพื้นที่โดยรอบได้ (Samad *et al.*, 2002) นอกจากนี้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ Segmentation สามารถใช้ในการจำแนกภาพที่ไม่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี (Girard-Ardhuin *et al.*, 2004)

2.3 อุปกรณ์บันทึกภาพ Advance synthetic aperture radar (ASAR)

ดาวเทียม ENVISAT ถูกยิงเข้าสู่วงโคจรในเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2545 เป็นดาวเทียมที่โคจรแบบวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous polar) โดยมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

- จำนวนวงรอบโคจรของดาวเทียมที่โคจรรอบโลกใน 1 วัน (Orbits per Day)
 $14 \frac{11}{35}$ รอบ
- โคจรกลับมาที่เดิมในเวลา (Repeat Cycle (days)) 35 วัน
- จำนวนวงโคจร (Orbits in Cycle) 501 วง
- คาบเวลาการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (Orbit Period (min)) 100.59 นาที

- มุมเอียง (Inclination (deg)) 98.55 องศา
- ความสูงเฉลี่ย (Mean Altitude (km)) 799.8 กิโลเมตร

ASAR เป็นอุปกรณ์ระบบเรดาร์ประเภทหนึ่งที่ตั้งอยู่บนดาวเทียม ENVISAT ซึ่งได้รับการพัฒนาจากระบบ SAR ในดาวเทียม ERS-1 และ ERS-2 โดยใช้ความถี่ของสัญญาณที่ 5.331 GHz (C-band) เหมือนกับ ERS แต่เพิ่มความสามารถในการโพลาไรซ์ HH, VV และโพลาไรซ์แบบขวาง (Cross-polarization) และมีลำคลื่นช่วงแคบที่หลายมุมตกกระทบ ซึ่งครอบคลุมระยะภาคพื้น (Ground-range) ที่ 485 กิโลเมตรระหว่างมุมตกกระทบที่ 15 - 45 องศา โดยมีการทำงานที่หลายช่วงลำคลื่น (Beams) (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ช่วงลำคลื่นของระบบ ASAR

ASAR beams/swaths	Near range Incidence angle (°)	Far range Incidence angle (°)	Swath wide (km)
IS1	14.1 - 14.4	22.2 - 22.3	108.4 - 109.0
IS2	18.4 - 18.7	26.1 - 26.2	107.1 - 107.7
IS3	25.6 - 25.9	31.1 - 31.3	83.9 - 84.3
IS4	30.6 - 30.9	36.1 - 36.2	90.1 - 90.6
IS5	35.5 - 35.8	39.2 - 39.4	65.7 - 66.0
IS6	38.8 - 39.1	42.6 - 42.8	72.3 - 72.7
IS7	42.2 - 42.6	45.1 - 45.3	57.8 - 58.0

ASAR ประกอบด้วย 5 โหมดการทำงาน ดังนี้ (รูปที่ 2.8)

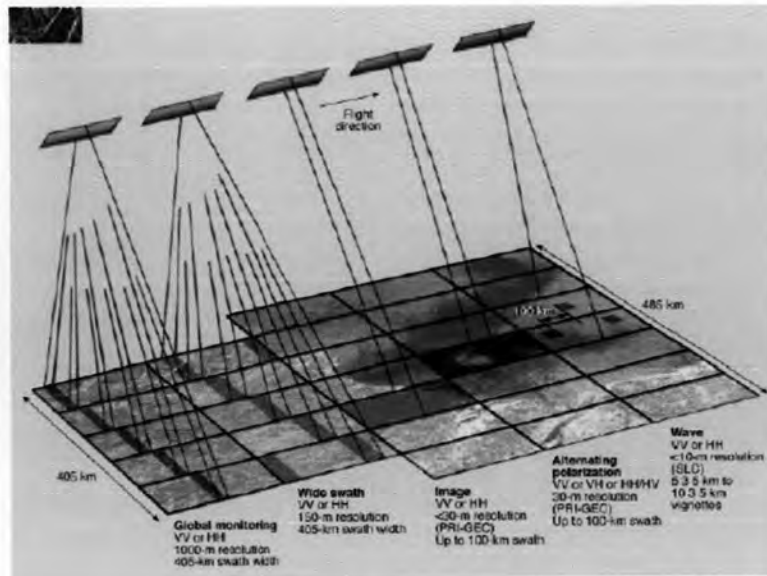
Image Mode (IM) จะสร้างภาพที่โพลาไรซ์ทิศทาง VV และ HH จาก 1 ใน 7 ช่วงลำคลื่นในตารางที่ 2.1 ภาพมีขนาดประมาณ 56 กิโลเมตร (IS7) และประมาณ 100 กิโลเมตร (IS1) ที่ความละเอียดภาพ 30 เมตร

Alternating Polarization Mode (AP) คล้ายโหมด IM แต่จะถ่ายภาพจาก 2 โพลาไรซ์ที่ต่างกัน เช่น HH/VV HH/HV หรือ VV/VH คู่กัน ที่ความละเอียดภาพ ประมาณ 30 เมตร

Wide Swath Mode (WS) ใช้ช่วงลำคลื่นที่ 2 - 6 (IS2 - IS6) ให้ภาพขนาดประมาณ 400 กิโลเมตร ที่ความละเอียดภาพ 150 เมตร และสามารถเลือกการโพลาไรซ์ได้ทั้ง VV และ HH

Global Monitoring Mode (GM) มีความละเอียดภาพ 1000 เมตร สามารถเลือกการโพลาไรซ์ได้ทั้ง VV และ HH

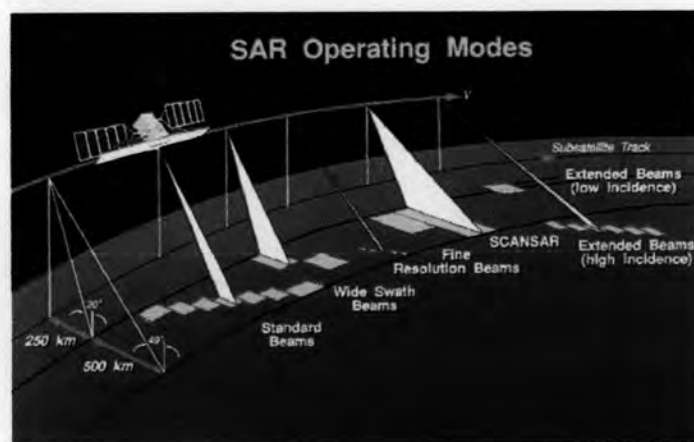
Wave Mode (WV) จะให้ภาพทุกๆ ระยะ 100 กิโลเมตรตามแนวโคจร ขนาดภาพอยู่ระหว่าง 10 x 5 ตารางกิโลเมตร ถึง 5 x 5 ตารางกิโลเมตร และสามารถเลือกการโพลาไรซ์ได้ทั้ง VV และ HH



รูปที่ 2.8 โหมดการทำงานของเรดาร์แบบช่องเปิดตั้งเคราะห์ของดาวเทียมเอ็นวีเซด (ที่มา <http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-98/ceos1/satellit/envisat/insnts00/index.htm>)

2.4 ข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT และ ENVISAT

ดาวเทียม RADARSAT เป็นดาวเทียมของหน่วยงานด้านอวกาศของแคนาดาที่ถูกส่งเข้าสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2538 โดยติดตั้งเซนเซอร์ระบบเรดาร์แบบช่องเปิดตั้งเคราะห์ไว้ และเป็นดาวเทียมระบบเรดาร์ดวงหลัก ซึ่งสามารถทำงานได้ตลอดทั้งวันโดยไม่มีข้อจำกัดของเวลา ซึ่งทำงานโดยการส่งสัญญาณไมโครเวฟ ที่ช่วงคลื่น C-band หรือที่คลื่นความถี่ประมาณ 5.3 GHz เช่นเดียวกับดาวเทียม ENVISAT โดยมีโหมดการทำงานต่างกัน ด้วยพื้นที่ครอบคลุมและความละเอียดภาพที่ต่างกัน ความละเอียดภาพอยู่ระหว่าง 10-100 เมตร (รูปที่ 2.9)

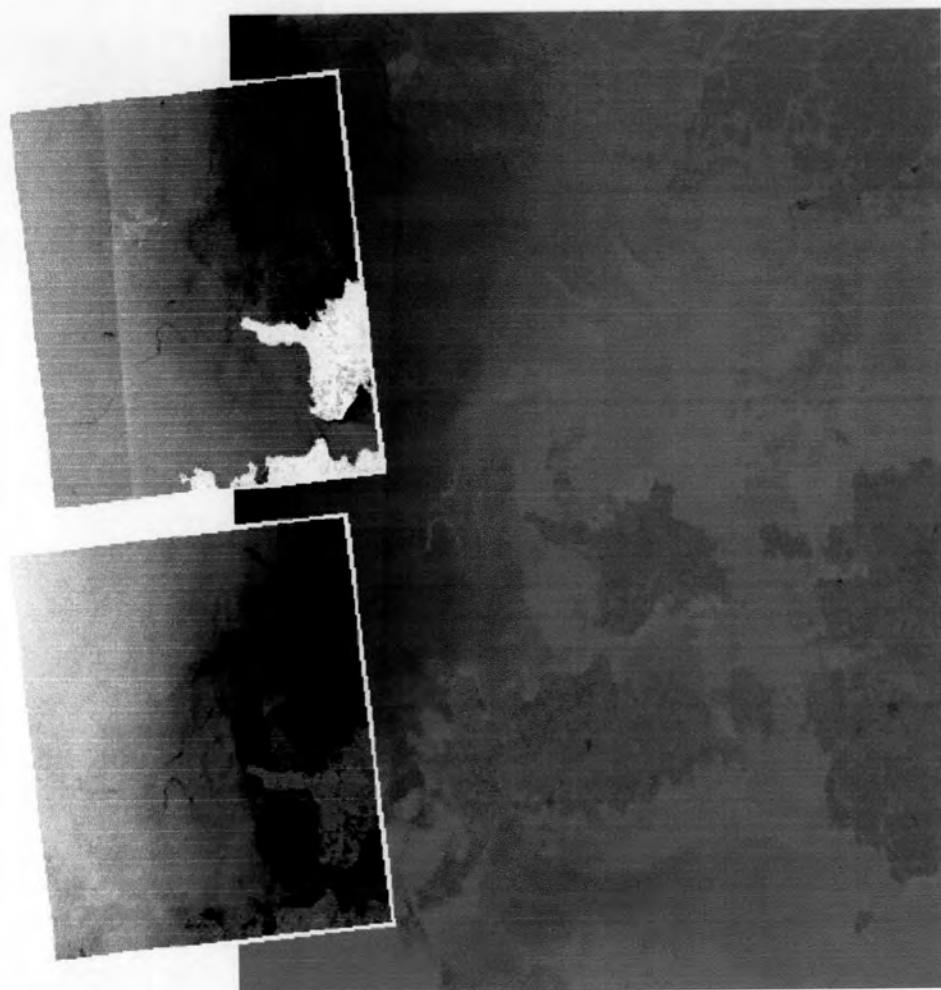


รูปที่ 2.9 โหมดการทำงานของ SAR ที่ติดตั้งบนดาวเทียม RADARSAT (ที่มา <http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-98/ceos1/satellit/radarsat/descr.htm>)

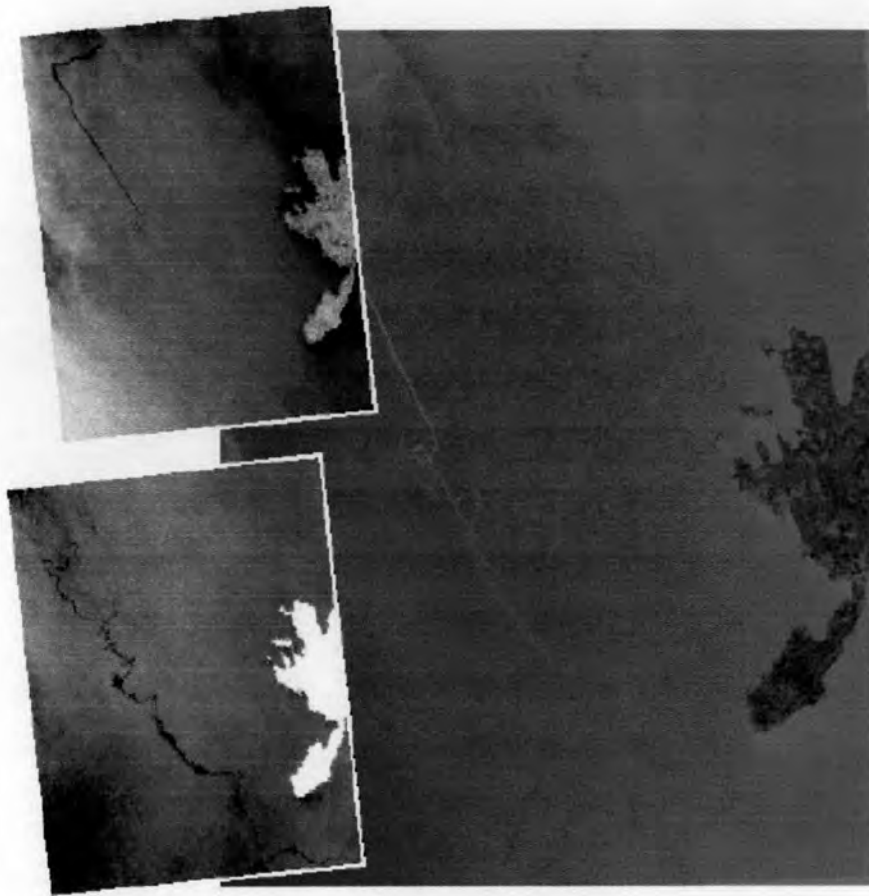
ในกรณีของดาวเทียม RADARSAT นั้น Valchon et al (1998) แนะนำโหมดการทำงาน ScanSAR near สำหรับการตรวจหาคราบน้ำมัน เนื่องจากการทำงานในโหมด ScanSAR wide มีข้อจำกัดของการทำงานโดยความละเอียดภาพหยาบ (100 เมตร) แต่ Wahl et al (1994) อธิบายว่าดาวเทียม RADARSAT นั้นอาจไม่เหมาะสำหรับการตรวจหาคราบน้ำมันในบางสภาวะ เนื่องจากคุณสมบัติทิศทางการโพลาไรซ์ HH ของสัญญาณเรดาร์ที่มีในระบบเรดาร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม RADARSAT โดยคาดว่ามีโอกาสน้อยที่จะตรวจหาคราบน้ำมัน โดยที่มุมตกกระทบของสัญญาณเรดาร์กว้างและขณะที่สภาวะความเร็วลมต่ำ ในขณะที่ระบบเรดาร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม ENVISAT สามารถส่งสัญญาณเรดาร์ที่มีทิศทางการโพลาไรซ์ VV ได้ด้วย โดยเชื่อว่าคุณสมบัติการโพลาไรซ์แบบ VV จะมีความไวในการสะท้อนสัญญาณเนื่องจากความขรุขระของพื้นผิวมากกว่าทิศทางการโพลาไรซ์แบบ HH (Natural Resource Canada, 2007)

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันดาวเทียม ENVISAT และ RADARSAT ยังเป็นดาวเทียมสองดวงหลักที่ใช้ในการค้นหาและติดตามมลภาวะคราบน้ำมันที่ผิวน้ำทะเล ซึ่งการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างดาวเทียม ENVISAT และ RADARSAT นั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า ดาวเทียมดวงใดมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่ากัน เนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียม ENVISAT และ RADARSAT ค้นหาและติดตามสติกได้เหมือนกันตามรูปที่ 2.10 และ 2.11 (Shepherd et al., 2004) โดยในรูปที่ 2.10 แสดงข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT โหมด ScanSAR Narrow (ภาพบน) วันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2546 เวลามาตรฐาน 16:05:25 น. คราบน้ำมันถูกพบทางใต้ของประเทศฟินส์แลนด์ นอกชายฝั่งเอสโทเนีย ดาวเทียม ENVISAT เคลื่อนผ่านเมื่อเวลา 19:54:43 น. และถ่ายภาพด้วยโหมด Wide-Swath VV-polarized (ภาพล่าง) ครอบคลุมพื้นที่เดียวกัน โดยภาพทางขวาแสดงการซ้อนทับของทั้งข้อมูลระหว่างข้อมูลจากดาวเทียม ENVISAT (สีเขียว) และ RADARSAT (สีฟ้า) โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสติกที่พบในระหว่างช่วงเวลาที่ถ่ายภาพ และทำการตรวจสอบโดยเที่ยวบินตามเวลามาตรฐาน 20:00 น. และ 23:26 น. และในรูปที่ 2.11 แสดงข้อมูลจากดาวเทียม ENVISAT โหมด Wide-swath โพลาไรซ์ VV วันที่ 16 กันยายน 2546 เวลามาตรฐาน 20:03:35 น. คราบน้ำมันถูกพบนอกชายฝั่งเอสโทเนีย และพบเรือที่ทางปลายสุดด้านใต้ของคราบน้ำมัน หลังจากนั้น 20 ชั่วโมง 8 นาที ดาวเทียม RADARSAT ก็ถ่ายภาพด้วยโหมด ScanSAR narrow (ภาพล่าง) ครอบคลุมพื้นที่เดียวกัน คราบน้ำมันที่พบได้รับผลกระทบจากการสลายตัวของคราบน้ำมันซึ่งถูกปล่อยจากเรือเข้าสู่อ่าวริกา (Gulf of Riga) โดยแสดงการซ้อนทับของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม ENVISAT (สีเขียว) และ RADARSAT (สีฟ้า) ในภาพทางขวา โดยในการศึกษาเดียวกัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์สูงสำหรับการแสดงสัญญาณที่ผิดพลาดในดาวเทียมทั้งสองดวงเช่นเดียวกัน แต่ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีจำนวนน้อยซึ่งทำให้ยังไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้อย่างชัดเจน (Shepherd et al., 2004) ในขณะที่การศึกษาของ Girard-Ardhuin et al (2003) อธิบายว่าระบบเรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์ที่มีความ

เหมาะสมสำหรับการศึกษามลภาวะคราบน้ำมัน ได้แก่ ระบบเรดาร์ที่ใช้สัญญาณเรดาร์ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ C-band ที่มีมุมตกกระทบระหว่าง 20-45 องศา และโพลาไรซ์ VV



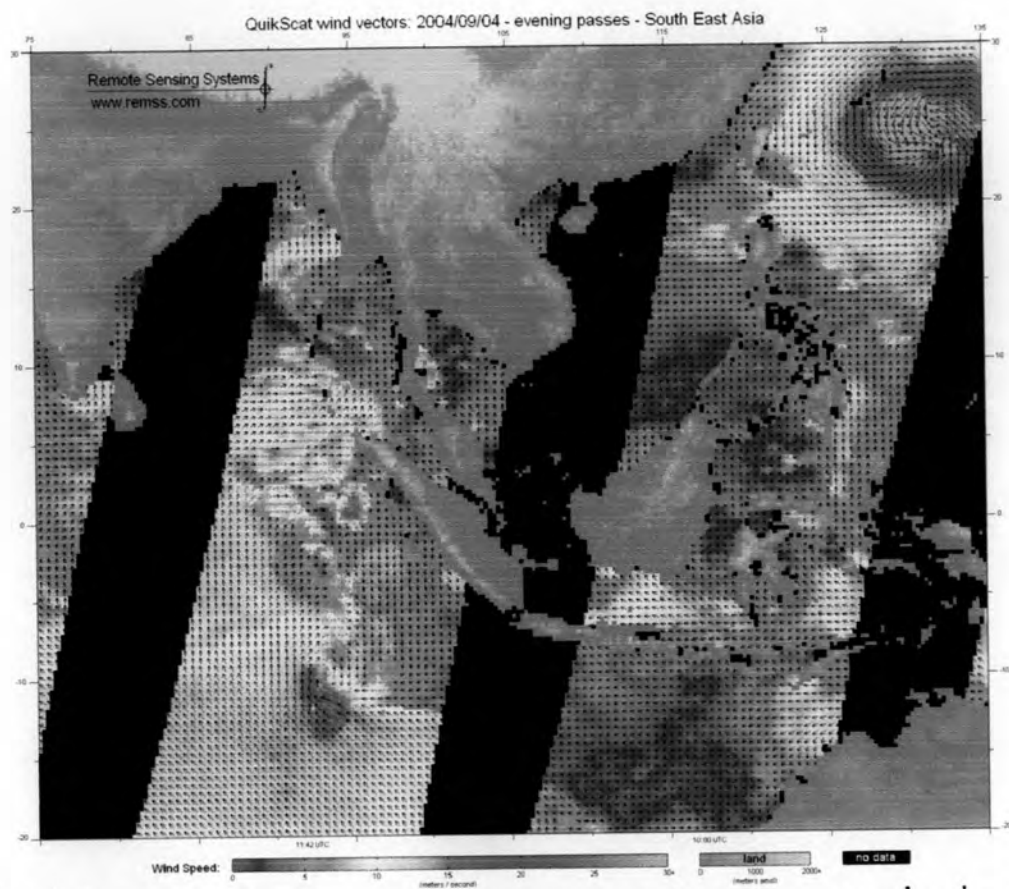
รูปที่ 2.10 ข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT (ภาพบน) วันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2546 เวลามาตรฐาน 16:05:25 น. และ ENVISAT (ภาพล่าง) ตามเวลามาตรฐาน 19:54:43 น. ในวันเดียวกัน (Shepherd *et al.*, 2004)



รูปที่ 2.11 ข้อมูลจากดาวเทียม ENVISAT วันที่ 16 กันยายน 2546 เวลามาตรฐาน 20:03:35 น. และดาวเทียม RADARSAT ในวันที่ 17 กันยายน 2546 (Shepherd *et al.*, 2004)

2.5 ดาวเทียมตรวจวัดลม QuikSCAT / SeaWinds

ดาวเทียม QuikSCAT เป็นดาวเทียมอวกาศของนาซาภายใต้โครงการของ NASA และส่งเข้าสู่วงโคจรในเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2542 โดยมีภารกิจในการตรวจหาข้อมูลเกี่ยวกับลมและการเคลื่อนตัวของลมหรือพายุ รวมทั้งการให้ข้อมูลเกี่ยวกับฝนในชั้นบรรยากาศ โดยได้มีการติดตั้งเครื่องเรดาร์ SeaWind ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณเรดาร์ที่ช่วงความถี่ 13.4 GHz (Ku-band) เพื่อการวัดความเร็วและทิศทางลมที่ใกล้พื้นผิว โดยอาศัยหลักการของการกระจัดกระจายกลับของพลังงานเนื่องจากความขรุขระที่ผิวน้ำทะเล ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการถ่ายทอดพลังงานจากลมก่อให้เกิดเป็นระลอกคลื่นที่ต่างกันตามความเร็วและทิศทาง โดยค่าพลังงานที่สะท้อนกลับมานี้จะถูกนำมาประมวลผล เพื่อสร้างเป็นแผนที่แสดงทิศทางและความเร็วลมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 25 กิโลเมตร (รูปที่ 2.12) โดยให้ผลการสำรวจเป็นสองช่วงเวลาในรอบวัน ได้แก่ รอบเช้าและรอบบ่าย ทั้งนี้เนื่องจากการวัดความขรุขระที่ผิวน้ำทำให้สามารถตรวจวัดเฉพาะในมหาสมุทรเท่านั้น



รูปที่ 2.12 ข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT สามารถแสดงความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่ของลม
(ที่มา: <http://www.ssmi.com>)