

## การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมศึกษา

ตะกอนแขวนลอยและ

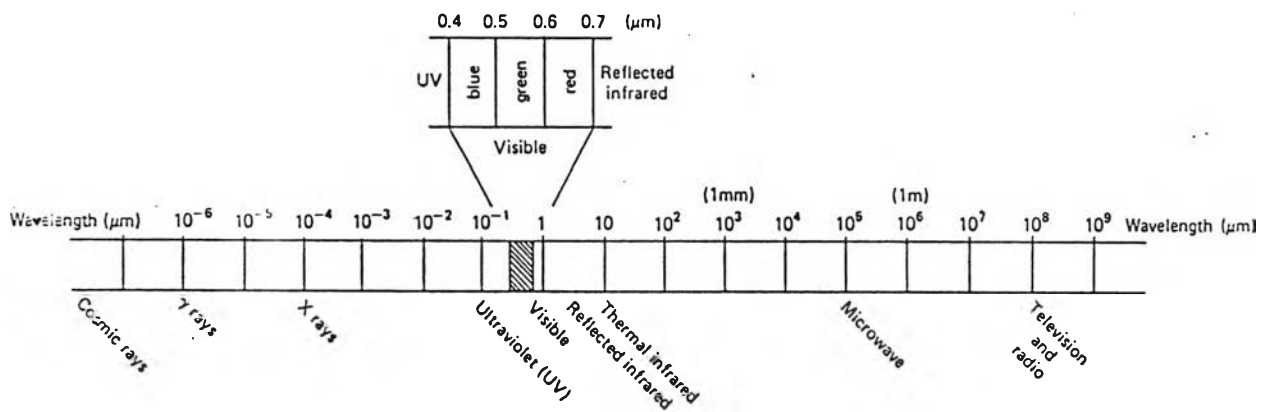
คลอโรฟิลล์

### หลักการและทฤษฎีการศึกษาข้อมูลจากระยะไกลด้วยดาวเทียม

ปัจจุบันการใช้ดาวเทียมในการศึกษาข้อมูลจากระยะไกล (remote sensing) นั้นมีความสำคัญ และกล่าวได้ว่า เป็นวิทยาศาสตร์และเทคนิคของการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุต่าง ๆ จากการวัดซึ่งกระทำห่างไกลโดยปราศจากการสัมผัสวัตถุนั้น ๆ โดยตรง ดาวเทียมมีคุณสมบัติพิเศษในการศึกษาข้อมูลจากระยะไกลหลายประการ เช่น สามารถถ่ายภาพคลุมบริเวณกว้างมีขนาดเกินกว่า 100 กิโลเมตรขึ้นไป ให้ภาพที่สำรวจพื้นที่บริเวณกว้างในขณะเวลาเดียวกัน (synoptic observation) และสามารถถ่ายภาพซ้ำบริเวณเดิมของแต่ละรอบโคจร ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้

การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลด้วยดาวเทียม (satellite remote sensing) อาศัยการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation = EMR) เป็นตัวกลางสื่อความหมาย มวลทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาสัมบูรณ์ (K) จะมี

คุณสมบัติในการให้พลังงานออกมาในรูปของ EMR ที่มีควมยาวคลื่นต่าง ๆ กัน รูปที่ 3.1 แสดงแถบพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)



รูปที่ 3.1 แถบพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (จาก Lillesand และ Kiefer, 1979 )

โดยปกติการแผ่รังสีของมวลต่าง ๆ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะอยู่ในลักษณะของแถบคลื่น (spectrum) ประกอบด้วย ความยาวคลื่นหลาย ๆ ความยาวคลื่นรวมกันอยู่ แต่จะมีค่าพลังงานสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่ง ( $\lambda_{max}$ ) โดย  $\lambda_{max}$  นี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของมวล ที่อุณหภูมิสูงค่าของ  $\lambda_{max}$  จะต่ำ หรือช่วงคลื่นสั้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำจะให้พลังงานในช่วงคลื่นยาว การศึกษาข้อมูลจากระยะไกลที่อาศัยพลังงาน EMR ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ เรียกว่า Passive remote sensing แต่ถ้าอุปกรณ์รับสัญญาณ (sensor) เป็นตัวผลิตพลังงานออกมาเองแล้วทำการบันทึกพลังงานที่สะท้อนกลับจากวัตถุอีกทีหนึ่ง เรียกว่า Active remote sensing

การศึกษาข้อมูลจากระยะไกล มีหลักการสำคัญ (รูปที่ 3.2) คือ พลังงานซึ่งในกรณีที่เป็น Passive remote sensing ต้นกำเนิดคือ ดวงอาทิตย์ แผ่พลังงาน EMR ออกมาผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งอาจทำให้มีการสูญเสียของพลังงานบางส่วน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่าง EMR และอนุภาคในชั้นบรรยากาศ เมื่อพลังงาน EMR ตกกระทบวัตถุบนผิวโลก ก็จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัตถุบนผิวโลกและพลังงาน EMR บางส่วนของพลังงาน EMR จะสะท้อน (reflect) กลับสู่บรรยากาศ ในขณะที่บางส่วนถูกดูดกลืน (absorb) โดยวัตถุ และบางส่วนที่เหลือจากการดูดกลืนก็จะถูกส่งผ่าน (transmit) ไปยังระดับที่ต่ำกว่า พลังงาน EMR ที่สะท้อนกลับสู่บรรยากาศจะเข้าสู่อุปกรณ์รับสัญญาณ ดังนั้นพลังงานที่วัดได้โดยอุปกรณ์รับสัญญาณ อาจประกอบด้วย พลังงานที่สะท้อนจากวัตถุ ปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ และพลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจากก้อนเมฆ ค่าที่วัดได้ขึ้นอยู่กับสภาวะในชั้นบรรยากาศ มุมของดวงอาทิตย์ มุมของอุปกรณ์รับสัญญาณ และคุณสมบัติในการสะท้อน การดูดกลืน และการส่งผ่าน ของวัตถุ

การสะท้อน ณ ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของวัตถุใดวัตถุหนึ่ง จะมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งเรียกว่า spectral signature วัตถุต่างชนิดกัน จะมี spectral signature ต่างกัน เมื่อนำค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นต่าง ๆ ของวัตถุมาพล็อต จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการสะท้อน กับความยาวคลื่น (spectral

reflectance curve) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.3 แสดง spectral signature ของพืชสีเขียว ดินที่โล่ง-แห้ง และน้ำใส จากหลักการของ spectral signature นี้ เมื่อได้ข้อมูลจากการสะท้อนของวัตถุนั้นผิวโลกมา และนำไปเทียบเคียงกับ signature ต้นแบบของสิ่งที่ทราบ เช่น จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ หรือในภาคสนาม จะทำให้ทราบว่าวัตถุนั้นคือสิ่งใด

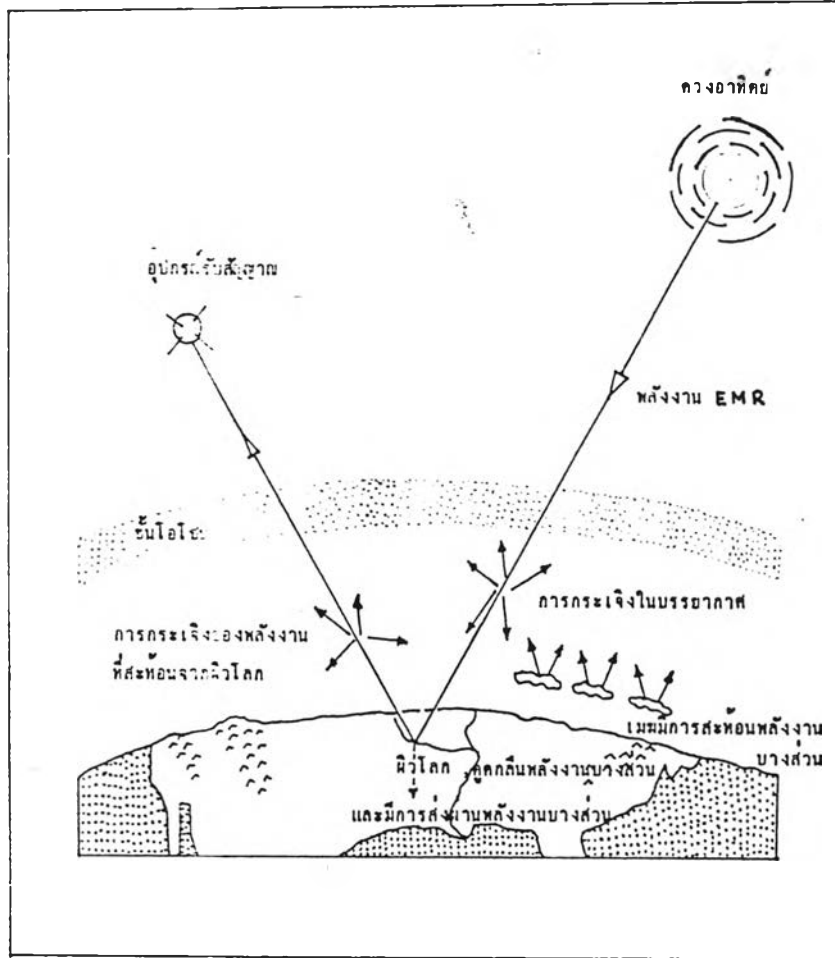
ระบบการเก็บข้อมูลดาวเทียม สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนการเก็บและบันทึกข้อมูลบนดาวเทียม (space segment) ซึ่งประกอบด้วยฐานสำรวจ นั่นคือตัวดาวเทียมเอง และอุปกรณ์สำรวจ ทำการบันทึกข้อมูลจากพื้นผิวโลก โดยรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสะท้อน หรือเปล่งมาจากวัตถุ และทำการส่งข้อมูลไปยังสถานีรับภาคพื้นดิน
2. ส่วนการรับสัญญาณและผลิตข้อมูลบนภาคพื้นดิน (ground segment) ซึ่งจะเปลี่ยนข้อมูลที่ตกลงมาให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยอาจอยู่ในลักษณะของรูปภาพ หรือข้อมูลตัวเลขในเทปแม่เหล็ก (computer compatible tapes, CCT)

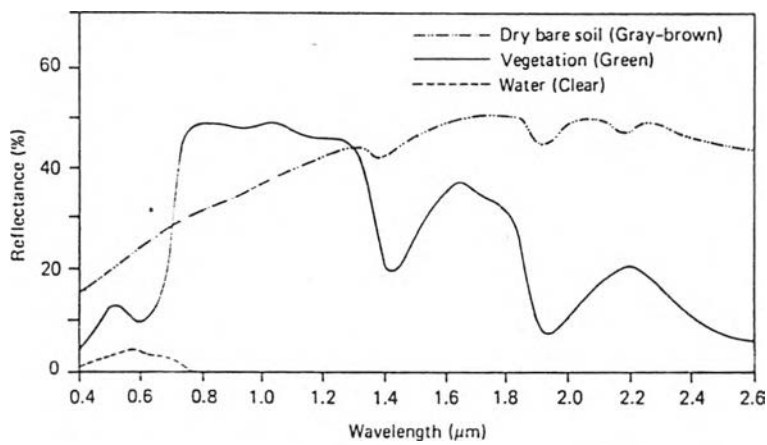
ข้อมูลดาวเทียมที่ได้มา สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยสายตา หรืออาจใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

### ดาวเทียม Landsat

ดาวเทียมที่ออกแบบมาเพื่อใช้สำรวจทรัพยากรธรรมชาติบนพื้นผิวโลกที่สำคัญดวงหนึ่ง ได้แก่ ดาวเทียม Landsat ซึ่งเป็นโครงการหนึ่งขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ปัจจุบันโครงการดาวเทียม Landsat นี้ ได้โอน



รูปที่ 3.2 เส้นทางเดินของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดสู่อุปกรณ์รับสัญญาณ



รูปที่ 3.3 ค่าการสะท้อนแสงของทรพยากรพืช, น้ำ และดิน (จาก Lillesand และ Kiefer, 1979 )

จากองค์การ NASA ไปขึ้นกับองค์การ NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) แล้ว ดาวเทียม Landsat เป็นดาวเทียมที่มีการโคจรแบบ polar orbit คือ โคจรรอบโลกในแนวเหนือ-ใต้ เป็นวงผ่านขั้วโลก ใช้เวลาในการกลับมาที่เดิมทุก 18 วัน สำหรับ Landsat 1,2 และ 3 และ 16 วัน สำหรับ Landsat 4 และ 5 มีความสม่ำเสมอในการกลับมาถ่ายภาพ ณ จุดเดิมด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 37 กิโลเมตร (ดาราศาสตร์ ศรีแสงทอง, 2527) Landsat ประกอบด้วย เครื่องรับ 3 ชนิด คือ

1. ระบบ RBV (Return Beam Vidicon) camera
2. ระบบการกวาดหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner, MSS)
3. ระบบ TM (Thematic Mapper)

เครื่องรับสัญญาณที่นิยมใช้ในการศึกษาได้แก่ MSS และ TM ระบบ MSS ใช้กระจกแกว่งรับแสงสะท้อนจากวัตถุบนผิวโลก ซึ่งกวาดเป็นเส้นติดต่อกันในระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม กระจกขยับครึ่งหนึ่งจะเกิดการกวาดภาพ 6 เส้นพร้อมกันทุกช่วงคลื่นนี้ทั้งหมด 4 ช่วงคลื่น (ตารางที่ 3.1) ภาพจาก MSS ให้รายละเอียดของภาพ (resolution) ประมาณ 80 เมตร จึงมีความสามารถในการแยกวัตถุบนผิวโลกได้ 80 x 80 ตารางเมตร ส่วนระบบ TM เป็นระบบที่มีเครื่องวัดระดับการแผ่รังสี (radiance level) จากพื้นผิวโลก แบ่งเป็นช่วงคลื่น (band) ทั้งหมด 7 ช่วงคลื่น (ตารางที่ 3.1) ระบบ TM นี้ ได้รับการปรับปรุงมาจากระบบ MSS โดยเพิ่มความสามารถในการบันทึกระดับการแผ่รังสีในแต่ละช่วงคลื่นได้มากกว่าช่วงคลื่นอื่น และมีช่วงคลื่นแคบลง ทำให้มีความสามารถในการแยกแยะวัตถุต่าง ๆ ดีขึ้น นอกจากนี้ยังได้รวมช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนไว้ด้วย เพื่อสำรวจอุณหภูมิพื้นผิวต่าง ๆ มีรายละเอียดของภาพ (resolution) 30 เมตร (ยกเว้น band 6 120 เมตร) ทำให้สามารถแยกรายละเอียดบนพื้นผิวโลกได้เล็กที่สุดประมาณ 30 x 30 ตารางเมตร (pixel size)

ตารางที่ 3.1 ช่วงคลื่นของระบบ MSS และ TM บนดาวเทียม Landsat

band	ความยาวคลื่น (ไมครอน, $\mu\text{m}$ )	ชื่อช่วงคลื่น	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้
	MSS		
4	0.5 - 0.6	เขียว	สะท้อนแสงสีเขียว มีประโยชน์ในการทำแผนที่ชายฝั่ง ศึกษาตะกอนและคุณภาพน้ำชายฝั่ง
5	0.6 - 0.7	แดง	ดูดกลืนแสงสีเขียวอย่างมาก ใช้ในการแยกป่าไม้ ลิ่งก่อสร้าง
6	0.7 - 0.8	อินฟราเรดใกล้ (near-infrared)	สะท้อนแสงสีเขียวอย่างมาก ใช้ในการประเมินแหล่งน้ำ ธรณีโครงสร้างและแยกพืชพรรณ
7	0.8 - 1.1	อินฟราเรดใกล้ (near-infrared)	แสดงความแตกต่างของพื้นดินและพื้นน้ำได้ชัดเจน

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

band	ความยาวคลื่น (ไมครอน, $\mu\text{m}$ )	ชื่อช่วงคลื่น	คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้
1	TM 0.45 - 0.52	น้ำเงิน-เขียว	ผ่านทะลุผิวน้ำได้ดีซึ่งเป็นประโยชน์ ในการทำแผนที่ชายฝั่ง ศึกษาคุณภาพ น้ำชายฝั่ง
2	0.52 - 0.60	เขียว	สะท้อนแสงสีเขียว เป็นประโยชน์ ในการประเมินความแข็งแรงของพืช และตรวจหาปริมาณคลอโรฟิลล์
3	0.63 - 0.69	แดง	ดูดกลืนแสงสีเขียวอย่างมาก ทำให้ สามารถแยกชนิดของพืชพรรณ
4	0.76 - 0.90	อินฟราเรดใกล้ (near-infrared)	แยกน้ำและแผ่นดินได้ชัดเจน มี ประโยชน์ในการกำหนดมวลชีวะ (biomass) และจำแนกแหล่งน้ำ
5	1.55 - 1.75	อินฟราเรดใกล้กลาง (near-middle IR)	แยกความชื้นได้ดี สามารถให้ รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืช พรรณ และความชื้นของดิน และแยก ความแตกต่างระหว่างหิมะและเมฆ
6	10.40 - 12.50	อินฟราเรดความร้อน (thermal IR)	แยกความชื้นจากดิน และ พืชพรรณ (soil moisture)
7	5.08 - 2.35	อินฟราเรดกลาง (middle IR)	แยกลักษณะแตกต่างทาง ทางธรณีวิทยาได้ดี

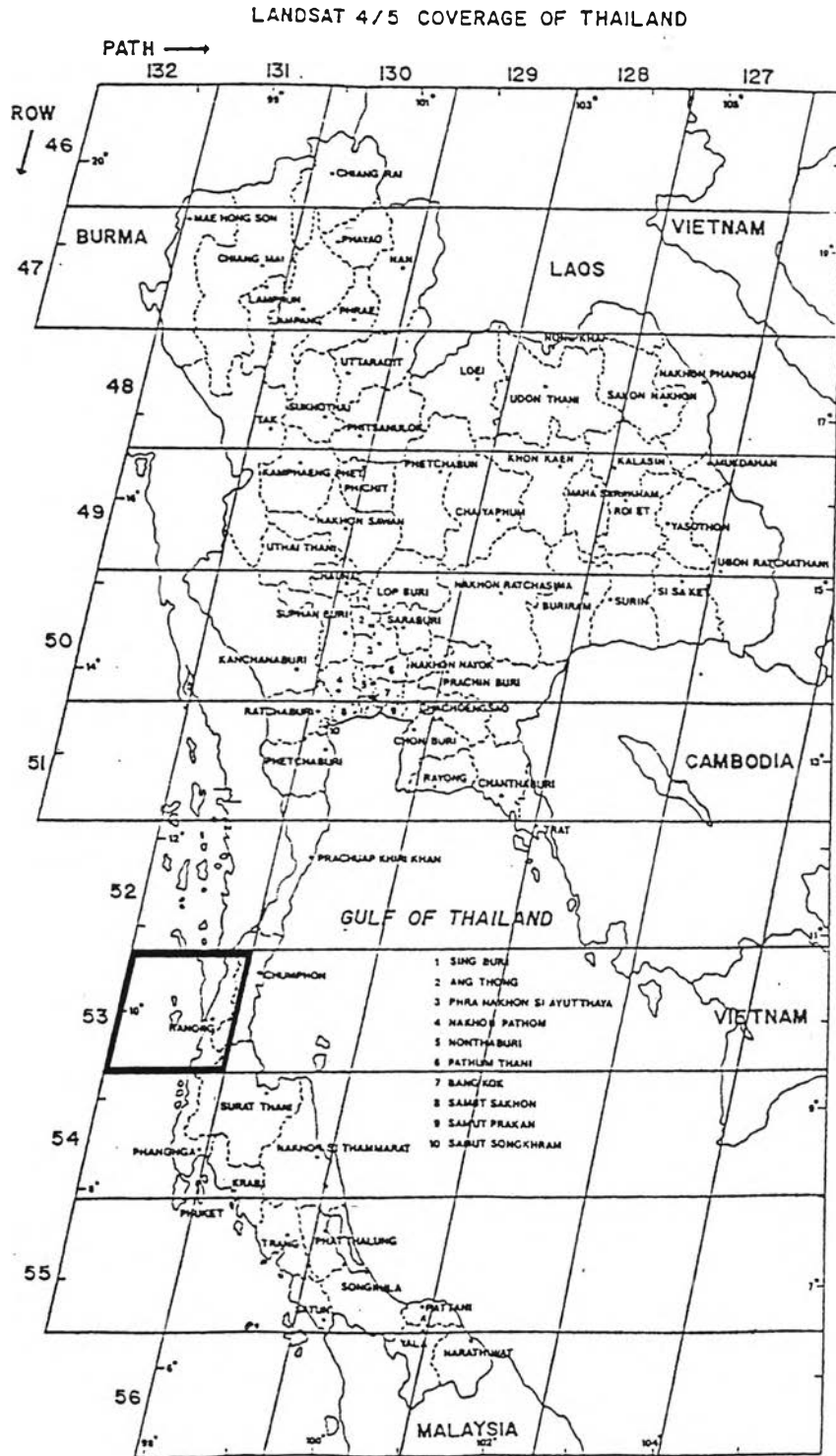


ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลจากเครื่องรับระบบ TM ซึ่งติดตั้งอยู่บน Landsat 4 และ 5 มีวงโคจรสูงจากผิวโลกเป็นระยะทาง 705 กิโลเมตร วงโคจรแต่ละรอบกินเวลาเกือบ 99 นาที หรือโคจรรอบโลกวันละ 14 รอบครึ่ง เรียกแนวโคจรของดาวเทียมเป็น "path" และลำดับภาพที่ถ่ายในแต่ละ path เรียกว่า "row" โดยแต่ละเฟรมจะมีการซ้อนเหลื่อมกันด้านข้างประมาณ 7.6 % ที่เส้นศูนย์สูตร และเพิ่มขึ้นเมื่อโคจรเข้าสู่ขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน ทั้งนี้เนื่องจากความกว้างของแนวที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูลเท่ากับ 185 กิโลเมตรคงที่ตลอดแนวโคจร ภาพแต่ละเฟรมครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 185 x 185 ตารางกิโลเมตร สำหรับ path และ row ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ในปัจจุบันประเทศไทยได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณจากดาวเทียม Landsat ได้ทั้งระบบการบันทึกแบบ MSS และ TM

การใช้ดาวเทียม Landsat ในการศึกษาข้อมูลจากระยะไกลมีความสำคัญและให้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในทางสมุทรศาสตร์ รวมถึงการศึกษาทางด้านชายฝั่งและเอสทูรีด้วย (รายละเอียดของคุณสมบัติของดาวเทียม Landsat แสดงในภาคผนวก ก)

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในการศึกษาตะกอนแขวนลอยและคลอโรฟิลล์ในบริเวณเอสทูรี - การศึกษาที่ผ่านมา

การศึกษาคูณภาพแหล่งน้ำใด ๆ ไม่สามารถศึกษาด้วยดาวเทียมได้ทุกพารามิเตอร์ เนื่องจากเป็นการศึกษาโดยใช้โทรสัมผัส ซึ่งพารามิเตอร์นั้น ๆ ต้องมีการแสดงผลโดยที่ sensor ของดาวเทียมสามารถรับได้ ตัวอย่าง เช่น สี, ความขุ่น, ความขรุขระของผิวหน้า เป็นต้น ดังนั้นสิ่งที่ก่อให้เกิดสี เช่น คลอโรฟิลล์ สารอินทรีย์ หรือ สิ่งที่ทำให้เกิดความขุ่น เช่น ตะกอนแขวนลอย จึงสามารถที่จะทำการศึกษาดูด้วยการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลได้



รูปที่ 3.4 พื้นที่ประเทศไทยที่ Landsat 4 - 5 เก็บข้อมูล (จากกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติควยคววเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)



ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของดาวเทียม Landsat 1 จนถึง 5 เป็นที่ปรากฏตั้งแต่ดาวเทียม Landsat 1 ได้เริ่มปฏิบัติหน้าที่บันทึกข้อมูลบนพื้นโลกในปี พ.ศ.2515 แม้ว่า Landsat นี้จะถูกร่างขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการศึกษาทรัพยากรแผ่นดิน แต่มีการศึกษาทางด้านชายฝั่ง และเอสทรี ซึ่งได้ใช้ประโยชน์จาก Landsat เช่นเดียวกัน การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของ Landsat กับค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์ ได้มีการศึกษากันแพร่หลายพอสมควร การหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ทำได้โดยการทำ sea truth. Charlton (1980) กล่าวว่า การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำ sea truth ซึ่งหมายถึง การวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐานทางสมุทรศาสตร์ โดยออกปฏิบัติการในภาคสนาม เพื่อนำมาตรวจสอบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกล จากประสบการณ์ที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ทำการตรวจสอบได้ด้วยการสำรวจจากระยะไกล ได้แก่ คลอโรฟิลล์ ตะกอนแขวนลอย สารอินทรีย์ (yellow substance) อดเหนืมิ และสีของน้ำทะเล มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษา และหาความสัมพันธ์เพื่อสามารถทราบค่าในเชิงปริมาณ (calibration) ของตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์ จากดาวเทียม การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษา ลักษณะการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์ในบริเวณเอสทรี จึงขอกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ Landsat ในการศึกษาดังกล่าว

#### 1. การศึกษาตะกอนแขวนลอย

ตะกอนแขวนลอยซึ่งก่อให้เกิดความขุ่น สามารถติดตามได้ด้วยดาวเทียม ซึ่งได้มีการศึกษาเกี่ยวกับตะกอนแขวนลอยกันเป็นที่แพร่หลายมากในประเทศแถบทวีปอเมริกา และยุโรปซึ่งเป็นต้นกำเนิดของเทคโนโลยีทางด้านนี้ ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม Landsat สามารถแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณใกล้ชายฝั่ง ซึ่งอาจเป็นปากแม่น้ำ เอสทรี หรือ บริเวณที่เกิด upwelling ช่วงความยาวคลื่นที่แสดงให้เห็นรูปแบบของตะกอนแขวนลอยได้อย่างชัดเจน อยู่ในช่วง

0.5 - 0.6 ไมครอน และ 0.6 - 0.7 ไมครอน (Szekielda, 1988) การศึกษาเกี่ยวกับตะกอนแขวนลอยที่ผ่านมามีตัวอย่างดังนี้

Klemas (1973) - ได้ศึกษาตะกอนแขวนลอยเพื่อใช้เป็นตัวติดตาม (natural tracer) การไหลเวียนของกระแสน้ำ โดยใช้ ดาวเทียม ERTS-1 (Landsat-1) พบว่า MSS band 5 (0.6 - 0.7 ไมครอน) ให้ผลดีที่สุดในการแสดงความแตกต่าง (contrast) แม้ว่ารูปแบบของตะกอนจะอยู่ในโทนสีเทา การใช้ colour density slicing สามารถขังขอกถึงความแตกต่างได้มากขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ ERTS-1 ในการศึกษาการไหลเวียนของน้ำที่ผิว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาทางสมุทรศาสตร์ชายฝั่งเป็นอย่างยิ่ง

Anderson et al. (1973) ทำการศึกษาอ่าว Cook ใน Alaska โดยใช้ ภาพที่ได้จากดาวเทียม ERTS-1 MSS band 4 และ 5 ทำให้ทราบข้อมูล (information) เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมของเอสทรีในบริเวณนี้ได้อย่างดี เช่น สภาพชายฝั่ง รูปแบบของกระแสน้ำและการไหลเวียน การพัดพาของตะกอนลงสู่เอสทรี และลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณที่ราบชายฝั่ง

Hunter (1973) ศึกษาแหล่งที่มาของตะกอนแขวนลอย และการเคลื่อนตัวของน้ำตามชายฝั่งของอ่าว Mexico พบว่ามีตะกอนแขวนลอยในปริมาณมากที่มีลักษณะเป็น plume เนื่องจากการพัดพามาโดยแม่น้ำมาพบกับกระแสน้ำในขณะน้ำขึ้น ทำให้เกิด resuspension และหลังจากนั้นเมื่อน้ำลง กระแสน้ำได้พัดพาตะกอนขนานกับชายฝั่ง

Ritchie et al. (1976) พบว่า การสะท้อน (reflection) และการตกกระทบ (incidence) ของแสงในช่วงความยาวคลื่น 700 - 800 นาโนเมตรเหนือผิวน้ำ ซึ่งวัดที่แหล่งน้ำในแม่น้ำ Mississippi 6 แห่ง ระหว่างเดือนสิงหาคม ค.ศ. 1973 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 1974 มีความสัมพันธ์เป็นแบบ linear regression

กับปริมาณตะกอนแขวนลอย การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า สามารถใช้การสะท้อนของแสงในการประเมิน ปริมาณตะกอนแขวนลอยในบริเวณผิวน้ำได้

Rouse and Coleman (1976) พบว่า ขนาดและรูปร่างของตะกอนแขวนลอยที่พัดพามาจากแม่น้ำ Mississippi ขึ้นอยู่กับความเร็ว และทิศทางลม และปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำนั้น การวิเคราะห์ที่ทำจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ภาพ และจากการวิเคราะห์ได้สนับสนุนถึงการหมุนเวียนตามเข็มนาฬิกาของกระแสน้ำในอ่าว Louisiana ด้วย

Welby (1978) แสดงให้เห็นถึงหลักฐานเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอย จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในช่วงเวลา 5 ปี เขาพบว่ารูปแบบการเคลื่อนตัวของน้ำในบริเวณ Croatan และ Pamlic ในรัฐ Carolina เหนือมีความสัมพันธ์กับรูปแบบการกักตุนของพื้นโลก และชายฝั่งทะเลบริเวณนั้น

Robinson and Srisaengthong (1981) ใช้ภาพจาก Landsat MSS ทำการศึกษาเอสทรี และบริเวณชายฝั่งของ Solent โดยได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ได้จาก sea truth และค่าการสะท้อนแสงจากภาพ Landsat MSS พบว่า มีความสอดคล้องกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้ Landsat MSS ในการทำนายค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากภาพได้

Rao, Nair and Raju (1985) ทำการประเมินการใช้เทคนิคในการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยใช้ชายฝั่ง Kerala ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอินเดียเป็นบริเวณที่ทำการศึกษา พบว่าข้อได้เปรียบของการใช้เทคนิคในการสำรวจข้อมูลระยะไกลนี้ ทำให้ได้ข้อมูลในการติดตามหลายระดับ ซึ่งสามารถมองเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และทำการศึกษาดังสาเหตุของการกัดเซาะทำลาย รวมถึงติดตามลักษณะของชายฝั่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างดี

Donoghue and Shennan (1987) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจาก Landsat TM ในปี ค.ศ. 1984 บริเวณเอสทรีของ Wash และแสดงให้เห็นว่า จากข้อมูล Landsat TM นี้ สามารถสำรวจสภาพการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และพืชพรรณ ในบริเวณ intertidal ของเอสทรีได้ โดยใช้ band 2, 3, 4 และ 5 ในการจำแนก สิ่งแวดล้อมในบริเวณ intertidal

Delu and Shouren (1989) ทำการศึกษาการแพร่กระจายของ ตะกอนแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำ Mingjiang โดยใช้ข้อมูลจาก Landsat MSS และ TM ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975 ถึง 1987 และได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการ สะท้อนแสงของ MSS และ TM band 3 กับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากการทำ sea truth โดยได้ความสัมพันธ์ คือ

$$R (MSS 5) = 0.05058 + 0.0421 \log (S)$$

$$R (TM 3) = 0.506081 + 0.0812 \log (S)$$

ค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบริเวณปากแม่น้ำอยู่ในช่วง 51 - 186 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังได้สร้างรูปแบบการแพร่กระจาย และการ เคลื่อนตัวของตะกอนแขวนลอยด้วย

Novo, Hansom and Curran (1989) ทำการศึกษาผลของชนิดของ ตะกอนต่อความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการสะท้อนแสง และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย โดยการวัดค่าการสะท้อนแสงของน้ำบริสุทธิ์กับดินเคลย์ชนิดขาว และดินซิลต์ ชนิดแดง ทั้งหมด 4 ความเข้มข้น พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยและค่าการสะท้อนแสงเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นและชนิดของตะกอน โดย ดินเคลย์ชนิดขาวให้ค่าสหสัมพันธ์สูงถึง 0.98 ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ (visible) และช่วงอินฟราเรดใกล้ แต่สำหรับดินซิลต์ชนิดแดงให้ค่าสหสัมพันธ์ที่ต่ำกว่า (0.8) ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน แต่สามารถได้ค่าสหสัมพันธ์เพิ่มขึ้นได้ (0.98) ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน-เขียว และช่วงคลื่นที่ยาวขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่า

ชนิดของตะกอนมีผลโดยตรงต่อ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และค่าการสะท้อนแสง

Stumpf and Pennock (1989) ได้สร้างสมการในการทำนายค่า ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย จากข้อมูลดาวเทียม โดยทำการแก้ไขความผิดพลาด เนื่องจากมุมของดวงอาทิตย์ และบรรยากาศ ในบริเวณอ่าว Delaware ได้สมการ ดังนี้

$$R(\lambda) = \frac{Yb^*(\lambda)}{s^*(\lambda) + a_x(\lambda)/n}$$

$$\text{โดย } s^* : a_w^*(\lambda) + b_w^*(\lambda)$$

$$a_x(\lambda) : a_w(\lambda) + a_d^*(\lambda)n_d + a_p^*(\lambda)n_p$$

$Y$  = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.18 (เป็นผลจากน้ำบริเวณผิวและค่าการสะท้อนแสง)

$n$  = ค่าความเข้มข้น โดย  $a$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

$b_w$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระเจิงกลับ (backscatter) โดย  $s$ ,

$w$ ,  $d$  และ  $p$  หมายถึง ตะกอน, น้ำ, สารละลาย และสารแขวนลอย เช่น คลอโรฟิลล์ ตามลำดับ

ซึ่งจะให้ค่าความสัมพันธ์ที่มากที่สุด หากการทำ sea truth กระทำภายใน 3.5 ชั่วโมง หลังจากดาวเทียมทำการเก็บข้อมูลแล้ว และมีค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ไม่เกิน 50 ไมโครกรัม/ลิตร

สำหรับในประเทศไทย มีการศึกษาเกี่ยวกับตะกอนแขวนลอย โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอยู่บ้าง ดังนี้

อัปสรลดา ศิริวงศ์ (2522) นำข้อมูลจากดาวเทียม Landsat มาใช้ในการศึกษาสิ่งแวดล้อมบริเวณฝั่งงา รวมทั้งการศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในบริเวณผิวน้ำ พบว่า มีลำของตะกอนจากแม่น้ำไหลลงสู่อ่าวฝั่งงา และอ่าวลิคตอนใน ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้กระแสน้ำในแม่น้ำจะแรงกว่ากระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้น

และพบว่า กระจกน้ำเกิดจากลม มี 2 วงใหญ่ ทางด้านตะวันออก และตะวันตกของเกาะ ยาวน้อย และเกาะยาวใหญ่ ในทิศตามเข็มนาฬิกา วงทางด้านอ่าวลึก แรงกว่าทางด้านอ่าวฝั่งงา และกระจกน้ำไหลจากอ่าวฝั่งงาผ่านช่องปากพระออกสู่ทะเลอันดามัน

จิรวรรณ อ.โบหยกวิจิตร (2525) ทำการศึกษาตะกอนแขวนลอย บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat มาทำการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเปรียบเทียบวิธี MLR (Maximum Likelihood Ratio) ซึ่งอาศัยค่าสถิติจากข้อมูลตัวอย่างนำมาใช้ในการคำนวณค่าเงื่อนไข ความน่าจะเป็น เพื่อใช้ในการตัดสินใจจำแนกประเภทข้อมูลของแต่ละ pixel กับวิธี DTA (Decision Tree Algorithm) ซึ่งทำได้โดยการหาค่าพหุคูณของความเข้มข้น แต่ละชนิดของตะกอนแขวนลอยจากการเขียนตารางการตัดสินใจ (decision tree) จากนั้นกำหนดให้ข้อมูลที่ตกอยู่ในพหุคูณของตะกอนที่หาไว้แล้วนั้น เป็นประเภทข้อมูลชนิดนั้น ๆ พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี MLR ให้ความถูกต้องใกล้เคียงกับภูมิประเทศจริงมากกว่าวิธี DTA และจากการวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่เดียวกันในคนละเวลา ได้รับการยืนยันจากผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีว่า การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง มีทิศทางที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมประจำถิ่น

Narasimhan (1984) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในบริเวณทะเลสาบสงขลา โดยใช้ดาวเทียม Landsat ซึ่งเขาได้ใช้การวิเคราะห์ multiple linear regression ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงกับพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำ และสามารถนำมาสร้างรูปแบบการแพร่กระจายของความขุ่น และความเค็มในทะเลสาบสงขลาได้

ดาราศรี ศิริแสงทอง และรัศมี สุวรรณธีระกำธร (2528) ทำการศึกษาการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยรอบเกาะภูเก็ตโดยศึกษาในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนตัวของ



## ตะกอนโดยรอบเกาะภูเก็ต

Kovantanakul (1986) ทำการศึกษาการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat เช่นกัน ซึ่งได้ทำการศึกษาทั้ง qualitative และ quantitative โดยการเน้นภาพด้วยกรรมวิธีทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเน้นรูปแบบของตะกอนด้วยเทคนิคการเงื่อนไขภาพ และการสร้างภาพสีผสมเท็จ พร้อมทั้งพบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และค่าการสะท้อนแสงจากดาวเทียม มีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.95 ซึ่งมีนัยสำคัญ

จากที่กล่าวมาโดยส่วนใหญ่ การศึกษาของตะกอนแขวนลอยได้ทำการศึกษากันในช่วงบนของคอลัมน์น้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการแปลงภาพจากดาวเทียม ผลของการศึกษาวิจัยส่วนใหญ่ แสดงให้เห็นว่า ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถแสดงลักษณะตะกอนที่ค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ ช่วงความยาวคลื่น ประมาณ 0.6 - 0.7 ไมครอน แต่กระนั้นความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าการสะท้อนแสง ซึ่งค่าการสะท้อนแสงจะต่ำ ถ้าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีค่าต่ำ โดยทั่วไป การศึกษาจะมีลักษณะที่เป็นการศึกษาเชิงคุณภาพ (qualitative) แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยทั้งหลายที่ผ่านมาเป็นข้อมูลที่พิสูจน์ได้ว่า การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลมีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตะกอนแขวนลอย

## 2. การศึกษาคลอโรฟิลล์

แพลงตอนพืช, ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ หรือคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นตัวแทนแห่งความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศใด ๆ สามารถทำการตรวจวัด หรือศึกษาได้โดยใช้การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล เช่นเดียวกับตะกอนแขวนลอย เนื่องจากมีคุณสมบัติในการสะท้อน ดูดกลืน ฯลฯ ผลงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่น

ที่ตามองเห็นได้ (visible spectrum) คลอโรฟิลล์เป็นสารซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของผลผลิตขั้นปฐมภูมิได้ เนื่องจากเป็นสารสำคัญที่จะพบได้ง่ายที่สุดในแพลงตอนพืช ซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นพื้นฐานของห่วงโซ่อาหาร คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด แต่ชนิดที่สำคัญและพบมากที่สุด ได้แก่ คลอโรฟิลล์-เอ (Maul, 1985) ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้ดีมากในช่วงความยาวคลื่น 0.4 - 0.5 ไมครอน และที่ 0.6 - 0.7 ไมครอน ค่าการสะท้อนแสงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร และความยาวคลื่น บริเวณที่น้ำใสเป็นสีน้ำเงินเข้มมักมีปริมาณคลอโรฟิลล์ ต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร การศึกษาคลอโรฟิลล์โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมส่วนใหญ่ จะใช้ CZCS (Coastal Zone Colour Scanner) เนื่องจาก CZCS มีทั้งหมด 7 band เป็นความยาวคลื่นช่วงที่ตามองเห็นได้ 5 band จึงเหมาะกับการศึกษาคลอโรฟิลล์ซึ่งให้ผลเด่นชัดในช่วงความยาวคลื่นนี้ ต่อไปจะกล่าวถึงการศึกษาคลอโรฟิลล์ แพลงตอนพืช และผลผลิตขั้นปฐมภูมิ โดยใช้ดาวเทียมที่ผ่านมาโดยสังเขป

Ulbricht and Horstmann (1980) ทำการศึกษารูปแบบของแพลงตอนพืช เมื่อเริ่มจะเกิดการ bloom ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทะเล Baltic โดยใช้ดาวเทียม Landsat จากระบบการบันทึกภาพแบบ MSS พบการแพร่กระจายของแพลงตอนพืชมีลักษณะคล้ายวงวน (eddy) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางโทรลัมผัส ในการศึกษาบริเวณวิทยาของแพลงตอนพืช โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายในแนวราบของแพลงตอนพืชในบริเวณผิวน้ำ

Uno, Sugahara and Hayakawa (1980) ทำการศึกษาคุณลักษณะในการส่งผลต่อ spectrum ของแพลงตอนพืชหลายชนิด และทำการวิเคราะห์ข้อมูลจาก MSS พบว่ามีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างภาคสนาม (sea truth) ทำให้สรุปได้ว่า คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงในช่วงสีน้ำเงิน หรือช่วงความยาวคลื่นที่สูงขึ้น และพบว่าภาพที่ได้จาก MSS มีความสัมพันธ์กับค่าคลอโรฟิลล์ที่ได้จาก sea truth อย่างมาก

Hojerslev (1981) ได้ทำการศึกษาสีของน้ำทะเล และ ความสัมพันธ์ ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ผิวหน้า และ ความลึกของ euphotic zone ซึ่งเขาพบว่า algorithms ที่ได้จาก signal ratio ที่แสดงให้ทราบในแต่ละ channel ของ NIMBUS-7 (CZCS) ซึ่งเป็นผลจากคลอโรฟิลล์-เอ และ ฟิโอฟิติน-เอ (phaeophytin-a) ยังไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้ไดกับน้ำทะเลทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำบริเวณชายฝั่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ทำให้สัญญาณที่ CZCS จะได้รับถูกบดบัง ด้วยสารสีเหลือง (yellow substance)

Pingree (1984) ได้ใช้ภาพจาก CZCS และ Synthetic Aperture Radar ในการศึกษาโครงสร้างของผิวน้ำทะเล ในอ่าว Biscay, ทะเล Celtic และช่องแคบอังกฤษ ซึ่งมุ่งความสนใจที่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และ คลอโรฟิลล์-เอ, วงวนในอ่าว Biscay (eddies), คลื่น และความขุ่น ในช่องแคบ อังกฤษ และพบว่า จากภาพถ่ายดาวเทียมนี้ สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, แพลงตอนพีช มองเห็นวงวนในอ่าว Biscay และ upwelling ที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่ง แนวปะทะของน้ำขึ้นน้ำลง (tidal fronts) ลักษณะของคลื่น และโครงสร้างของ ความขุ่นได้อย่างดี

Lin Borstad and Gower (1984) ทำการศึกษาคลอโรฟิลล์ในช่วง ความยาวคลื่นสีแดง พบว่าในช่วงความยาวคลื่นนี้ (0.72 และ 0.69 ไมครอน) สามารถที่จะประมาณค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ (ทุกรูป) ได้อย่างถูกต้อง

Yentsch (1984) ทำการศึกษาโดยใช้ภาพจาก CZCS อธิบายปัจจัย ลำคัญที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบของสีที่ปรากฏในมหาสมุทร และปริมาณแพลงตอนพีช เขาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสีในมหาสมุทรเกิดจากการสะท้อนแสงของแพลงตอนพีชที่เกิดการ เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของมันเอง

Carder et al. (1986) ประมาณค่าของคลอโรฟิลล์-เอ และ ฟิโอฟิติน-เอ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงจาก CZCS และการทำ sea truth พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตกคืนที่ 0.44 ไมครอน แปรผันโดยตรงกับขนาดของ pigment เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงจากคลอโรฟิลล์ ในบริเวณ ทะวันออกของอ่าว Mexico สรุปได้ว่า สมการที่ได้จากความสัมพันธ์มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล, น้ำจากแม่น้ำ, ขนาดของแพลงตอนพืช และสีของ pigment ต่าง ๆ

Barale (1987) ได้ทำการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล เพื่อศึกษาสีของน้ำทะเลที่บริเวณผิวน้ำ ซึ่งมีความเกี่ยวข้อง และแปรเปลี่ยนตามแพลงตอนพืชในทะเล โดยใช้ภาพจาก CZCS ซึ่งถ่ายในบริเวณกว้าง (large-scale) และให้รายละเอียด ภาพสูง (high-resolution) ที่ความยาวคลื่น 0.49 ไมครอน บริเวณนอกฝั่งของ California และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการทำ sea-truth ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีความสัมพันธ์กัน

Barale and Trees (1987) ทำการศึกษาสีของน้ำทะเล โดยใช้ CZCS และได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำที่ ผิวน้ำ ทะเล พบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และ ปริมาณ แพลงตอนพืช ในน้ำทะเล

Fukushima, Hiramatsu and Sungimori (1987) นำข้อมูลที่ได้จาก CZCS มาทำการศึกษา คลอโรฟิลล์ (หมายถึง คลอโรฟิลล์-เอ ร่วมกับ ฟิโอฟิติน-เอ) รอบเกาะญี่ปุ่น โดยเปรียบเทียบภาพ 3 ภาพ และ การทำ sea-truth ในภาคสนาม ภายใน 5 วันจากวันที่ดาวเทียมผ่าน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันว่า ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ อยู่ในช่วง 0.1 - 5 ไมโครกรัม/ลิตร ภาพดาวเทียมที่ถ่าย ในช่วงน้ำเป็น ให้ค่าการสะท้อนสูงซึ่งอาจเนื่องมาจากมีปริมาณของ coccolithophorids

ซึ่งเป็นสำหรัยที่มีสารจำวนกแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ

Stum (1987) ทำการศึกษาผลผลิต (productivity) และคุณภาพน้ำ ในบริเวณตอนเหนือของทะเล Adriatic ซึ่งเป็นทะเลที่มีลักษณะตื้น และได้รับอิทธิพล จากน้ำจืดไหลลง จึงพบว่า ตะกอนแขวนลอย มาจากแม่น้ำ และการกวนขึ้นจาก ตะกอนที่พื้น ผลผลิตได้จากแหล่งตื้นนี้ เนื่องจากได้รับธาตุอาหารจากแม่น้ำ รวมถึง ตรวจพบสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ เนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลาย (decomposition) ของสารอินทรีย์ สิ่งเหล่านี้มีผลต่อการสะท้อนแสงของผิวน้ำในทะเล และทำให้เกิด ความหมายในภาพที่ได้จาก CZCS ซึ่งแตกต่างจากน้ำในทะเลเปิดอย่างมาก

Bricaud, Morel and Andre (1987) ได้สร้างรูปแบบการ แพร่กระจายของแพลงตอนพืชในระดับ mesoscale ในบริเวณที่เกิด upwelling ชายฝั่ง Mauritanian โดยใช้ภาพจาก CZCS ซึ่งได้ติดตามอยู่เป็นเวลา 1 ปี และทำ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง (spatial) และเวลา (temporal) ของ มวลชีวภาพ (biomass) ในบริเวณนี้ ทำให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิในบริเวณดังกล่าว

Dupouy and Demarcq (1987) ทำการศึกษาคลอโรฟิลล์, seston และอนุภาค บริเวณที่เกิด upwelling นอกชายฝั่ง Africa ทางตะวันตก โดยใช้ CZCS จาก NIMBUS-7 เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ถึงมีนาคม ค.ศ. 1984 และได้ ทราบข้อมูลเกี่ยวกับการแพร่กระจาย และชนิดของแพลงตอนพืชที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากมวลน้ำที่ต่างกัน

Maynard, Barale and Svejksky (1987) ทำการศึกษาการ แพร่กระจายของคลอโรฟิลล์ และตะกอนแขวนลอยบริเวณทางเหนือของ Alaska ในช่วง เดือนพฤษภาคม และกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1979 ถึง 1980 โดยใช้ภาพจากการวิเคราะห์

ข้อมูล CZCS ภาพสีผสมเท็จ (false color images) ที่ได้จาก band 1 (433-453 นาโนเมตร), 2 (510-530 นาโนเมตร) และ 4 (660-680 นาโนเมตร) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่เกิดขึ้นรวมทั้งเห็นการเคลื่อนตัวของตะกอนแขวนลอยจากแม่น้ำ Yukon ไปทางทิศตะวันออก ซึ่งการแพร่กระจายของคลอโรฟิลล์ และ ตะกอนแขวนลอยที่วิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการหาความสัมพันธ์กับลม, กระแสน้ำ, น้ำจืดจากแม่น้ำ รวมถึงกระบวนการทางกายภาพ และชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ ผิวหน้าน้ำทะเลได้

Sathyendranath, Prieur and Morel (1989) ทำการศึกษาสีของน้ำทะเลซึ่งเกิดเนื่องจากแพลงตอนพืช, สารที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล ซึ่งส่งผลต่อการสะท้อนแสง และพบว่า ค่าการสะท้อนแสงของคลอโรฟิลล์ในปริมาณน้อยจะถูกบดบังด้วยสารที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ และสารอินทรีย์ที่มีปริมาณมากกว่า ช่วงของความยาวคลื่นที่จะสามารถแยกแพลงตอนพืชจากสารอินทรีย์ได้ คือ 0.44, 0.52 และ 0.55 ไมครอน

การศึกษาคลอโรฟิลล์ด้วยดาวเทียมที่ผ่านมา ทำการศึกษาโดยใช้ความยาวคลื่นช่วงที่ตามองเห็น เนื่องจากคลอโรฟิลล์สามารถแสดงผลได้ชัดเจนในความยาวคลื่นช่วงนี้ ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาคลอโรฟิลล์ คือ 0.67 ไมครอน แต่ควรจะเป็นบริเวณที่มีความขุ่นต่ำ (Szekielida, 1988) ในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ทำการศึกษาป่าชายเลน โดยจำแนกนิเวศพรรณต่างๆ การศึกษาโดยเน้นที่ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ และคลอโรฟิลล์ในน้ำทะเลยังไม่เป็นที่ปรากฏ

## วิธีดำเนินการศึกษา

### 1. ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลตัวเลขแสดงระดับการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องรับระบบ TM บนดาวเทียม Landsat 5 ภาพที่ใช้เป็นภาพที่ได้จาก full scene ซึ่งอยู่ที่ path ที่ 130 row ที่ 53 และครอบคลุมพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดระนอง โดยได้รับความอนุเคราะห์จากกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ได้ทำการคัดเลือกภาพที่มีเมฆปกคลุมน้อยเพื่อสะดวกแก่การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 5 ซึ่งโคจรผ่านประเทศไทยประมาณ 10.00 น. ของทุก 16 วัน บรรจุอยู่ในเทปความหนาแน่น 6250 bpi เลือกใช้ข้อมูลจาก band 1, 2, 3 และ 4 เนื่องจากเป็นช่วงคลื่นที่สามารถให้รายละเอียดข้อมูลในทะเล คือ ตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์ ในบริเวณชายฝั่งได้ดี ภาพที่ใช้มีจำนวน 4 ภาพ ใน 2 ชุด คือ

ภาพในช่วงฤดูแล้ง ได้แก่ ภาพวันที่ 5 มีนาคม 2531

ภาพวันที่ 6 เมษายน 2531

และ ภาพวันที่ 19 มกราคม 2532

ภาพในช่วงฤดูฝน ได้แก่ ภาพวันที่ 28 สิงหาคม 2531

สถานะของนาขุ่นน้ำลงในช่วงเวลาที่ยอดดาวเทียมผ่านคลองหงาวของภาพทั้ง

4 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สถานการณ์ของช่วงน้ำขึ้นน้ำลงขณะที่ดาวเทียมผ่าน

วัน เดือน ปี	ช่วงน้ำเป็นน้ำตาย (วัน)	ช่วงน้ำขึ้นน้ำลง (ชั่วโมง)	น้ำสูง (เมตร)
5 มีนาคม 31	น้ำเป็น + 2	HW - 1	3.5
6 เมษายน 31	น้ำเป็น + 4	HW - 3	2.8
28 สิงหาคม 31	น้ำเป็น + 1	HW - 1	4.1
19 มกราคม 32	น้ำตาย + 3	HW + 1	3.0

2. การดำเนินการวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ภาพจาก Landsat TM  
(image processing)

2.1 Pre-processing คือการปรับแต่งข้อมูลให้สมบูรณ์ก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากข้อมูล Landsat มีความผิดพลาด ได้แก่

2.1.1 การแก้ไขความผิดพลาดเชิงคลื่น (radiometric correction) ซึ่งเป็นความผิดพลาดของค่าการสะท้อนแสง (ระดับสีเทา) ของวัตถุบนผิวโลก เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือหรือลักษณะการทำงานของระบบ เช่น การกวาด ทำให้ปรากฏเป็นเส้นในภาพ จึงต้องทำการแก้ไขโดยวิธีการกรองข้อมูล (filtering)



2.1.2 การแก้ไขความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (geometric correction) ซึ่งเป็นการบิดเบือนตำแหน่งในภาพ เนื่องจากการโคจรของดาวเทียม การหมุนของโลก ข้อมูลจะถูกแก้ไขให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และสอดคล้องกับตำแหน่งบนผิวโลก ตามแผนที่ระบบ UTM- (Universal Transverse Mercator) โดยกำหนดจุด GCPs (ground control points) บนแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียม โดยจุดทั้งสองระบบมีความสัมพันธ์กัน ตามสมการ

$$L = a_1 + a_2 E + a_3 N$$

$$P = b_1 + b_2 E + b_3 N$$

โดย L = scan line number

P = pixel number

E = จุดแนวตะวันออก - ตะวันตก

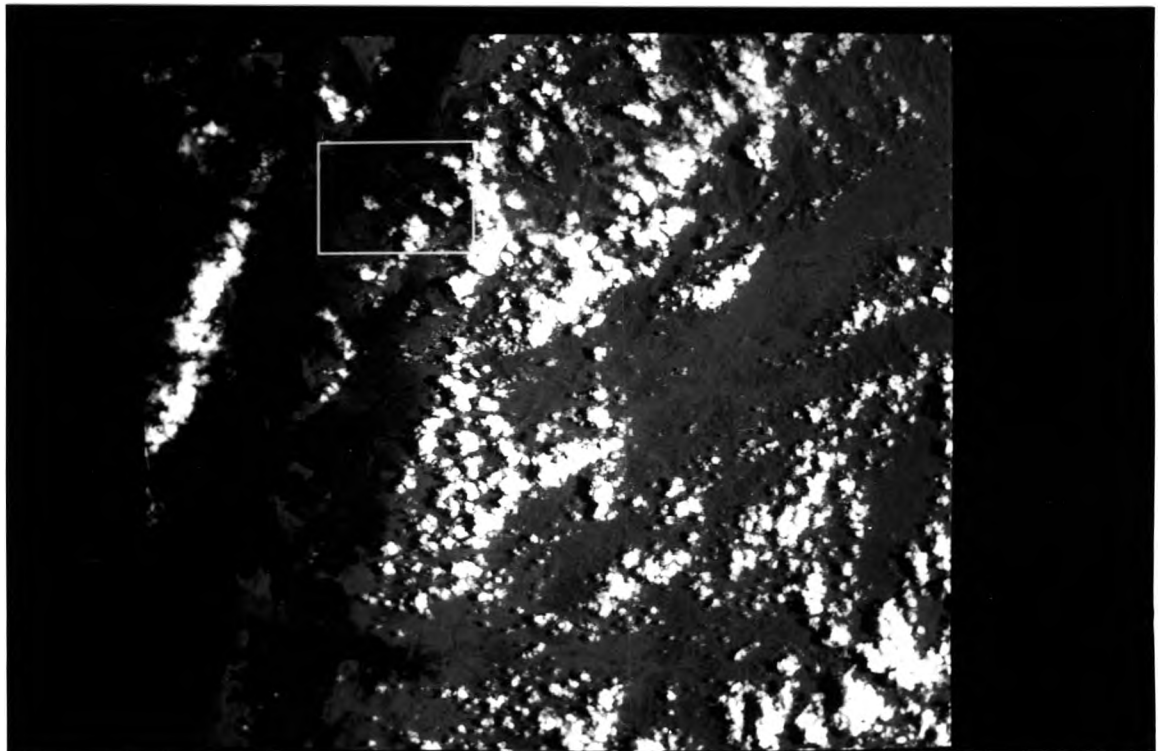
N = จุดแนวเหนือ - ใต้

a, b = ค่าคงที่

เลือกจุดที่ทราบตำแหน่งแน่นอนมาจำนวนหนึ่ง เพื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุด จากนั้นทำการแปลงทุกจุดของภาพถ่ายดาวเทียมให้อยู่ในระบบ E และ N

2.1.3 เลือกอาณาเขตที่จะทำการศึกษา ในที่นี้ ได้แก่ บริเวณเอสทุรีของคลองหงาว และทำการตัดภาพตามอาณาเขตที่เลือกไว้ (รูปที่ 3.5)

2.1.4 แยกข้อมูลที่ไม่สนใจ คือ ผ่นดิน และเมฆออก โดยใช้ band 4 (0.76-0.90 ไมครอน) ช่วยในการตัดผ่นดิน เนื่องจากเป็น band ที่บอกความแตกต่างระหว่างผ่นดินกับน้ำได้ดี โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 อาณาเขตที่ทำการศึกษาซึ่งจะตัดจาก full scene

#### 2.1.4.1 พิจารณา histogram (รูปที่ 3.6)

แสดงการจำแนกประเภทข้อมูลของ band 4 จะเห็นว่า มี 2 peak ซึ่งแสดงให้เห็นความต่างกันระหว่างกลุ่มข้อมูลของน้ำและแผ่นดินอย่างชัดเจน (จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า ข้อมูลของ band 1, 2 และ 3 ไม่สามารถแยกน้ำและแผ่นดินได้ชัดเจน)

#### 2.1.4.2 นำช่วงการสะท้อนแสงของน้ำและแผ่นดิน

มาทำการตัดแผ่นดิน และเมฆออก โดยให้มีค่าข้อมูลตัวเลขของแผ่นดิน เมฆ และเงา เท่ากับ 255 เหลือเพียงค่าของจุดภาพในน้ำเท่านั้น เพื่อให้รายละเอียดของน้ำปรากฏเด่นชัดขึ้น และเพื่อทำการเน้นภาพโดยวิธี contrast stretch โดยข้อมูลตัวเลขของน้ำ จะได้รับการยืดออกให้เต็มช่วง 0 - 255

## 2.2 Processing

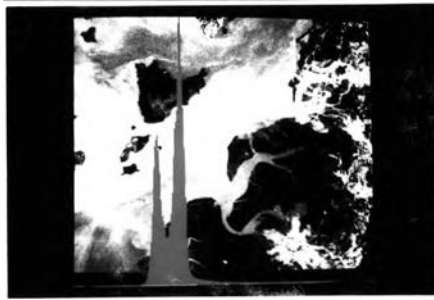
### 2.2.1 เลือกช่วงคลื่น (band) ที่จะใช้

เนื่องจากคุณสมบัติในการสะท้อนของวัตถุที่ช่วงคลื่นต่าง ๆ มีค่าต่างกัน การเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ และทำให้การวิเคราะห์ได้ผลดียิ่งขึ้น รวมทั้งยังประหยัดเวลาอีกด้วย ข้อมูลที่เลือกใช้ ได้แก่ ข้อมูลจาก band 1, 2 และ 3 เนื่องจากเป็นช่วงคลื่นที่สามารถให้รายละเอียดข้อมูลตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์ในบริเวณชายฝั่งได้ดี

### 2.2.2 การแสดงภาพ (image display)

ทำการเรียกข้อมูลตัวเลขจาก CCT มาแสดงเป็นภาพบนจอภาพ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเลขในแต่ละ pixel ของแต่ละ band ให้เป็นค่าความเข้มแสง แสดงเป็นภาพขาวดำของแต่ละ band ซึ่งมีความเข้มแตกต่างกัน

- รูปที่ 3.6 histogram แสดงค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 1, 2, 3 และ 4
- ก. ภาพวันที่ 5 มีนาคม 2531
  - ข. ภาพวันที่ 6 เมษายน 2531
  - ค. ภาพวันที่ 28 สิงหาคม 2531
  - ง. ภาพวันที่ 19 มกราคม 2532



band 1



band 2

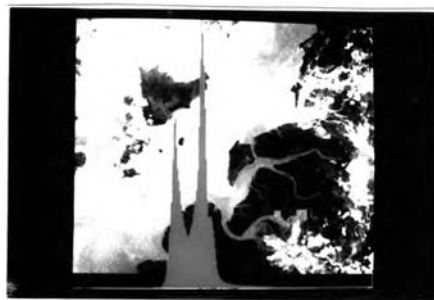


band 3

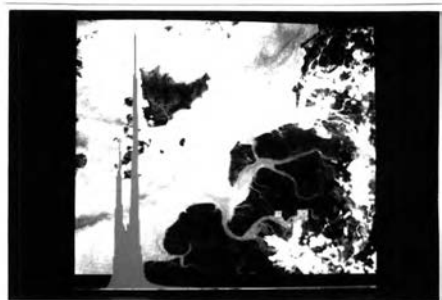


band 4

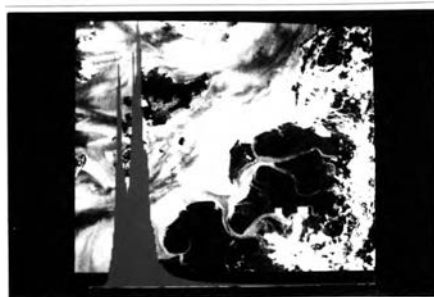
ก) ภาพวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2531



band 1



band 2

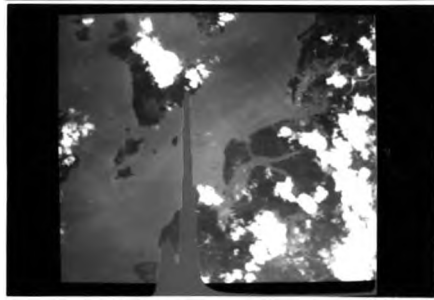


band 3

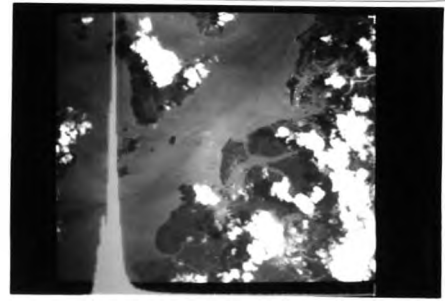


band 4

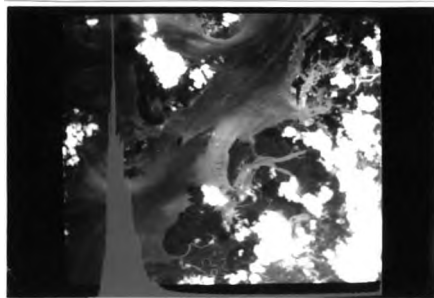
ข) ภาพวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2531



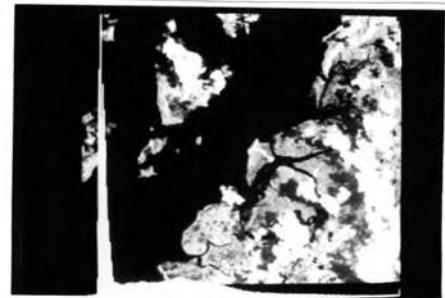
band 1



band 2

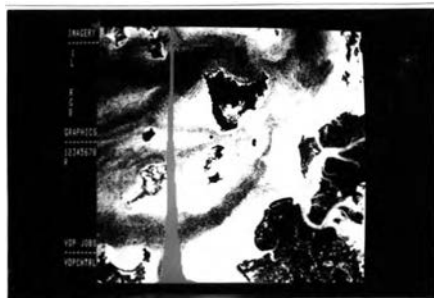


band 3

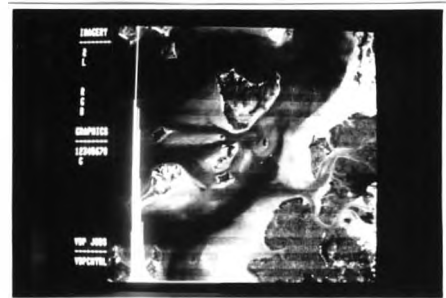


band 4

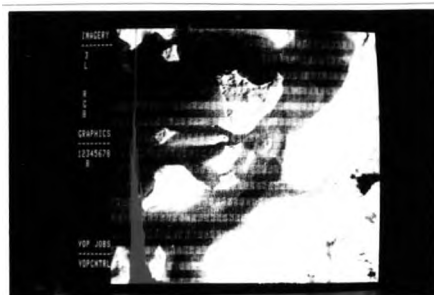
ค) ภาพวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2531



band 1



band 2



band 3



band 4

ง) ภาพวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2532

256 ระดับ (0 - 255) หรืออาจแสดงเป็นภาพสีของแต่ละ band ที่มีความเข้ม (brightness) ของแต่ละสีในระดับที่ต่างกัน โดยแสดงพร้อมกัน 3 band แทนด้วย 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน เกิดเป็นภาพสีผสม

### 2.2.3 การเน้นภาพ (image enhancement)

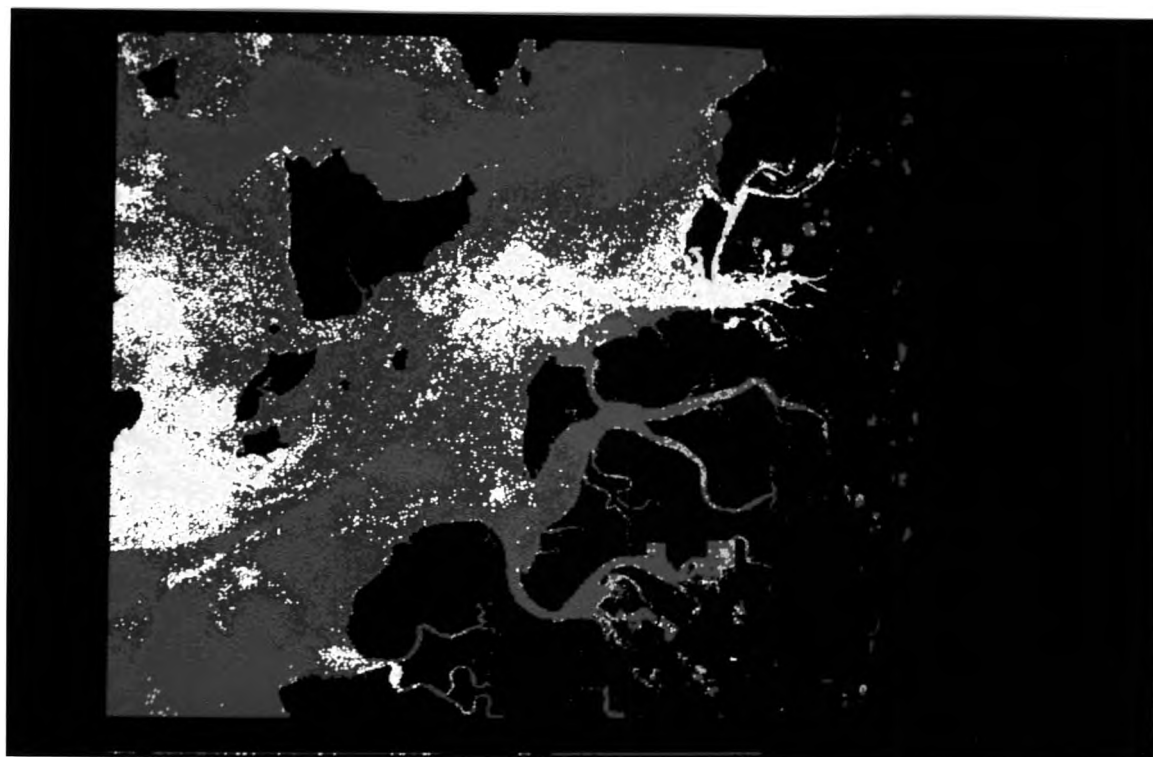
ทำการเน้นภาพเพื่อแสดงความแตกต่างในรูปแบบของ ตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์ ในระดับความเข้มชั้นต่างกัน โดยสมมติฐานที่ว่า ระดับการสะท้อนต่ำ เป็นค่าระดับความเข้มชั้นต่ำ และค่าการสะท้อนสูง เป็นค่าระดับความเข้มชั้นสูงโดยดูจาก histogram ของแต่ละ band (ภาคผนวก ข) เพื่อทำการแบ่งช่วง ข้อมูลออกตามความเหมาะสม และกำหนดสีที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงข้อมูล (colour density slicing) รูปที่ 3.7 - 3.10 แสดงผลจากการทำ colour density slicing ของ band 1, 2 และ 3 โดยมีลำดับของสีแสดงความเข้มแสง ดังนี้

ระดับความเข้มแสง	สี
ต่ำ	แดง
	เขียว
	น้ำเงิน
	เหลือง
	ม่วง
สูง	ฟ้าอ่อน

สีแดงซึ่งแสดงถึงค่าความเข้มระดับต่ำ หมายถึง บริเวณที่มีความขุ่นน้อย สีเขียว, น้ำเงิน จนถึง สีฟ้าอ่อน แสดงถึงความขุ่นที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ ปริมาณตะกอนมากขึ้น

- รูปที่ 3.7 ภาพแสดงผลการทำ colour density slicing  
ของวันที่ 5 มีค. 2531
- ก. ภาพจาก band 1
  - ข. ภาพจาก band 2
  - ค. ภาพจาก band 3





---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 1

สี

---

52 - 75

แดง

76 - 84

เขียว

85 - 89

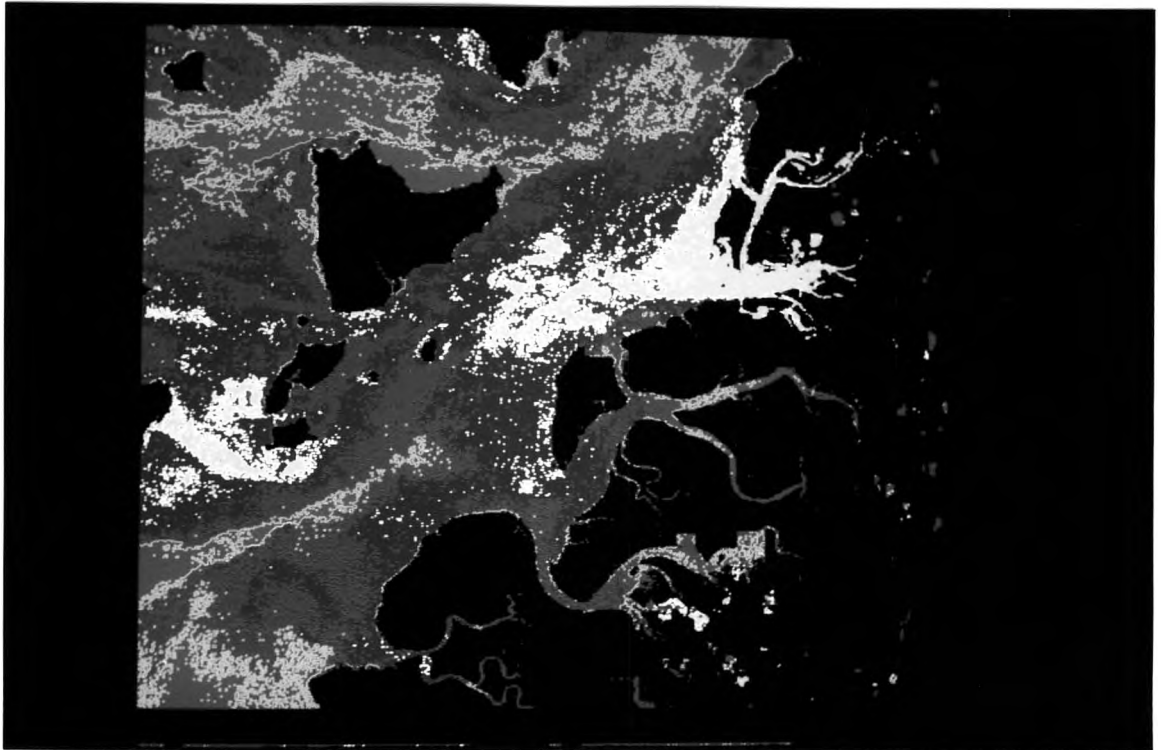
น้ำเงิน

90 - 95

เหลือง

---

ก. colour density slicing จาก band 1 ของภาพวันที่ 5 มีค. 2531

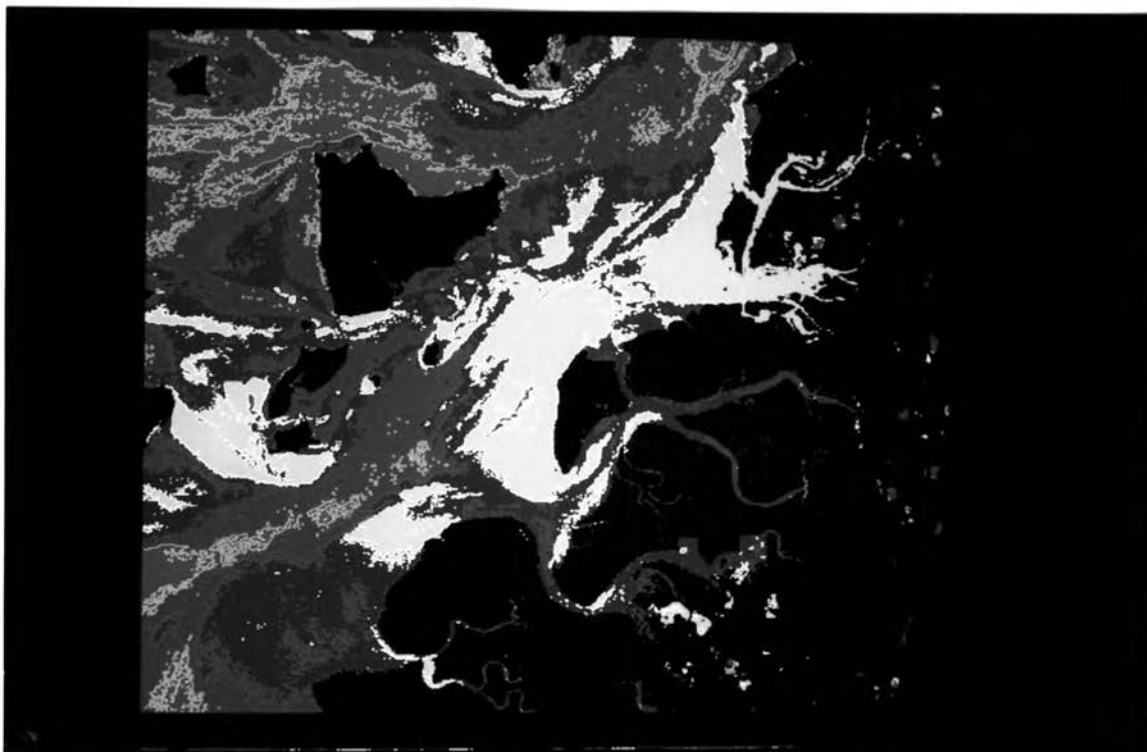



---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข ของ band 2	สี
20 - 37	แดง
38 - 40	เขียว
41 - 43	น้ำเงิน
44 - 49	เหลือง

---

ข. colour density slicing จาก band 2 ของภาพวันที่ 5 มีค. 2531




---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 3

สี

---

20 - 30

แดง

31 - 37

เขียว

38 - 45

น้ำเงิน

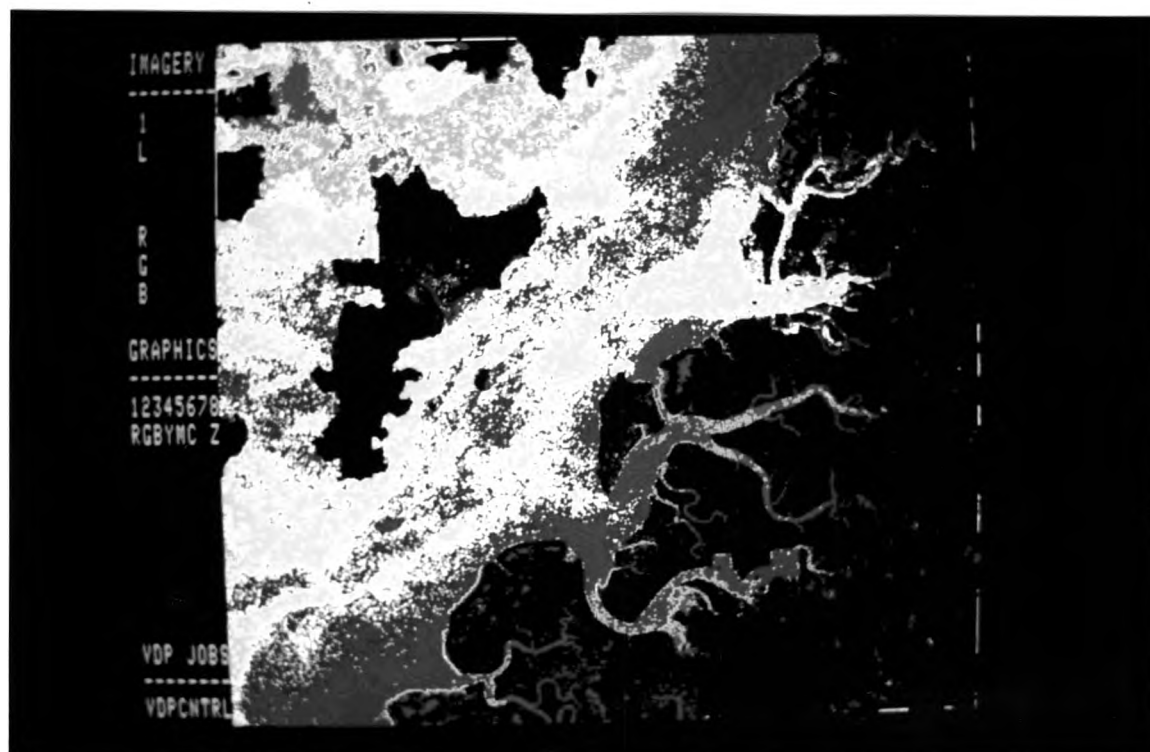
46 - 56

เหลือง

---

ค. colour density slicing จาก band 3 ของภาพวันที่ 5 มีค. 2531

- รูปที่ 3.8 ภาพแสดงผลการทำ colour density slicing  
ของวันที่ 6 เมย. 2531
- ก. ภาพจาก band 1
  - ข. ภาพจาก band 2
  - ค. ภาพจาก band 3




---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 1

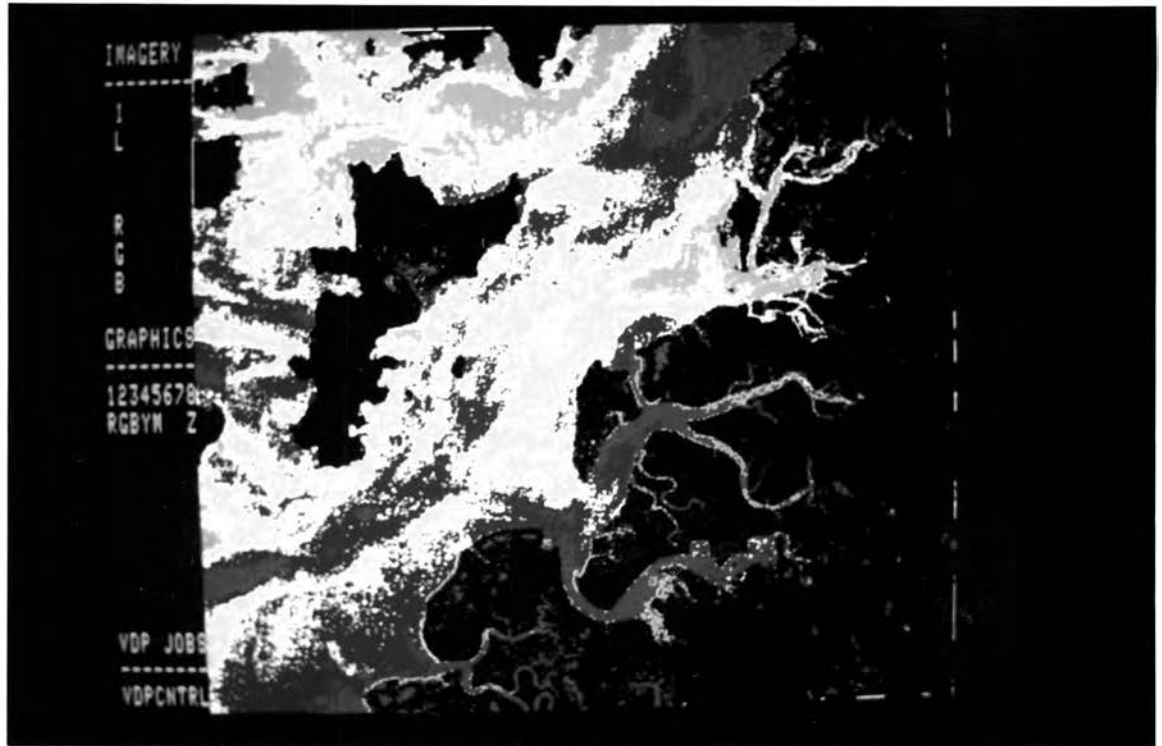
สี

---

68 - 91	แดง
92 - 99	เขียว
100 - 103	น้ำเงิน
104 - 109	เหลือง
110 - 114	ชมพู
115 - 125	ฟ้าอ่อน

---

ก. colour density slicing จาก band 1 ของภาพวันที่ 6 เมย. 2531



---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 2

สี

---

20 - 40

แดง

41 - 44

เขียว

45 - 48

น้ำเงิน

49 - 51

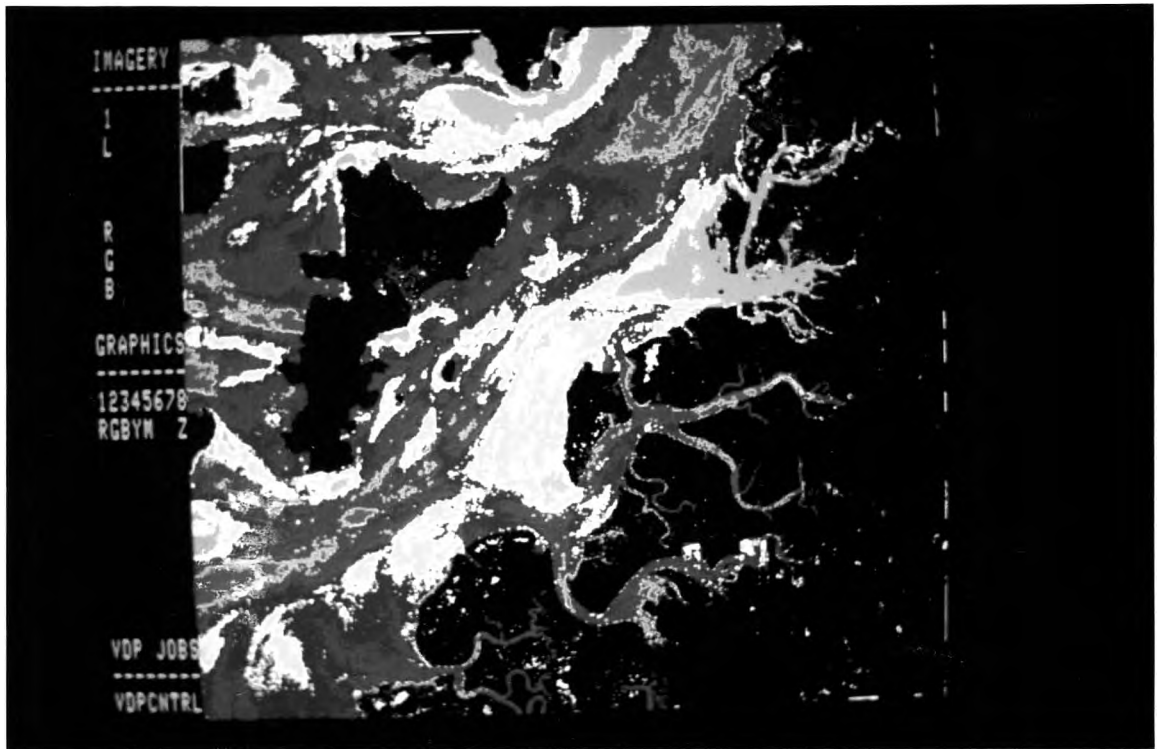
เหลือง

52 - 60

ชมพู

---

๒. colour density slicing จาก band 2 ของภาพวันที่ 6 เม.ย. 2531



---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 3

สี

---

10 - 44

แดง

45 - 50

เขียว

51 - 55

น้ำเงิน

56 - 60

เหลือง

61 - 72

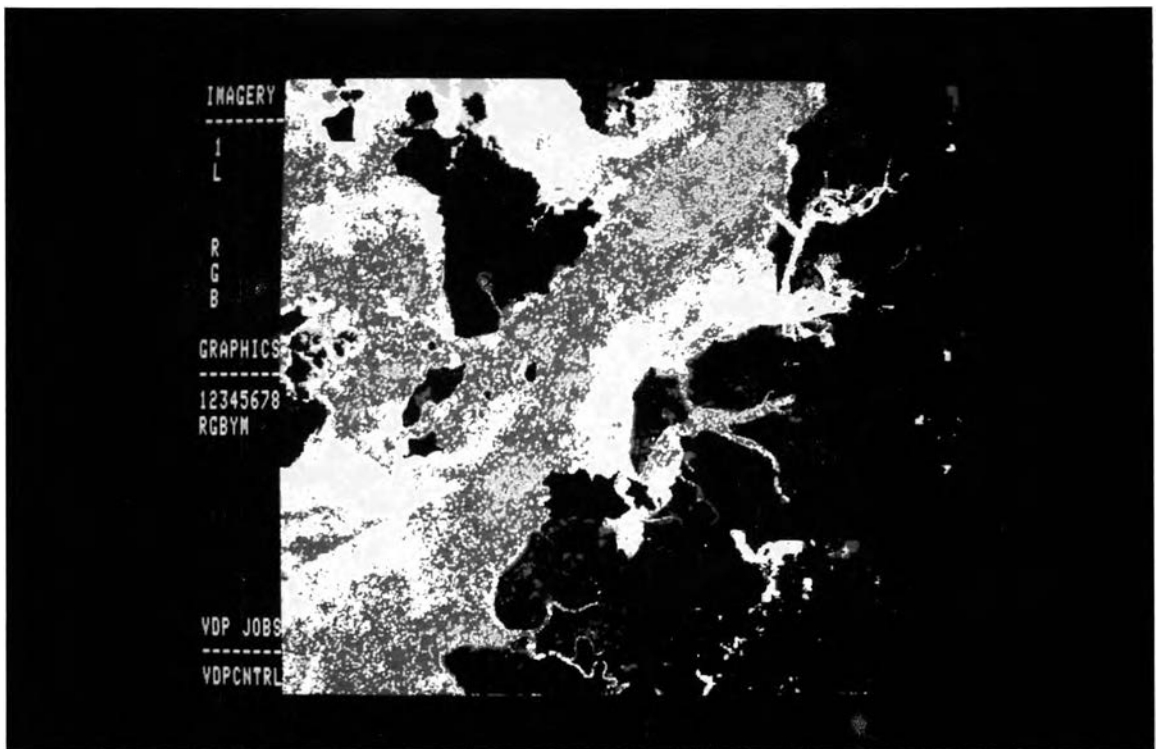
ชมพู

---

ค. colour density slicing จาก band 3 ของภาพวันที่ 6 เมย. 2531

- รูปที่ 3.9 ภาพแสดงผลการทำ colour density slicing  
ของวันที่ 28 สค. 2531
- ก. ภาพจาก band 1
  - ข. ภาพจาก band 2
  - ค. ภาพจาก band 3



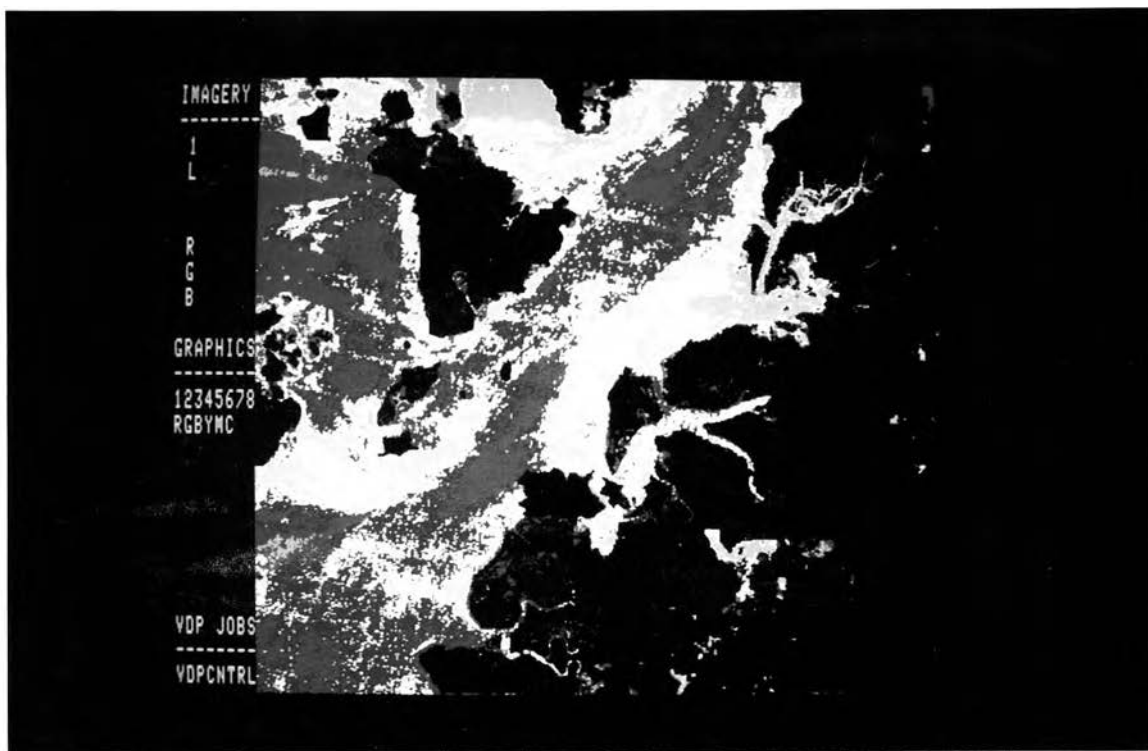


ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 1

สี

65 - 96	แดง
97 - 99	เขียว
100 - 102	น้ำเงิน
103 - 112	เหลือง
113 - 120	ชมพู

ก. colour density slicing จาก band 1 ของภาพวันที่ 28 สค. 2531




---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 2

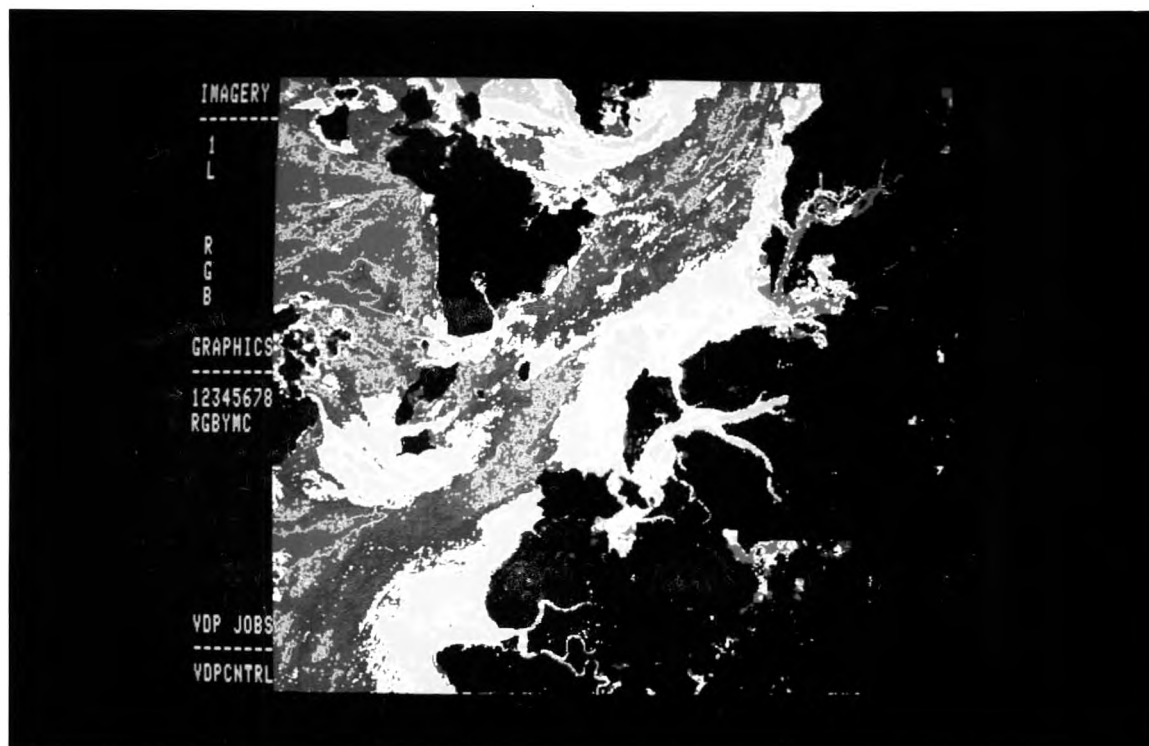
สี

---

25 - 39	แดง
40 - 43	เขียว
44 - 46	น้ำเงิน
47 - 49	เหลือง
50 - 57	ชมพู
58 - 65	ฟ้าอ่อน

---

ข. colour density slicing จาก band 2 ของภาพวันที่ 28 สค. 2531




---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 3

สี

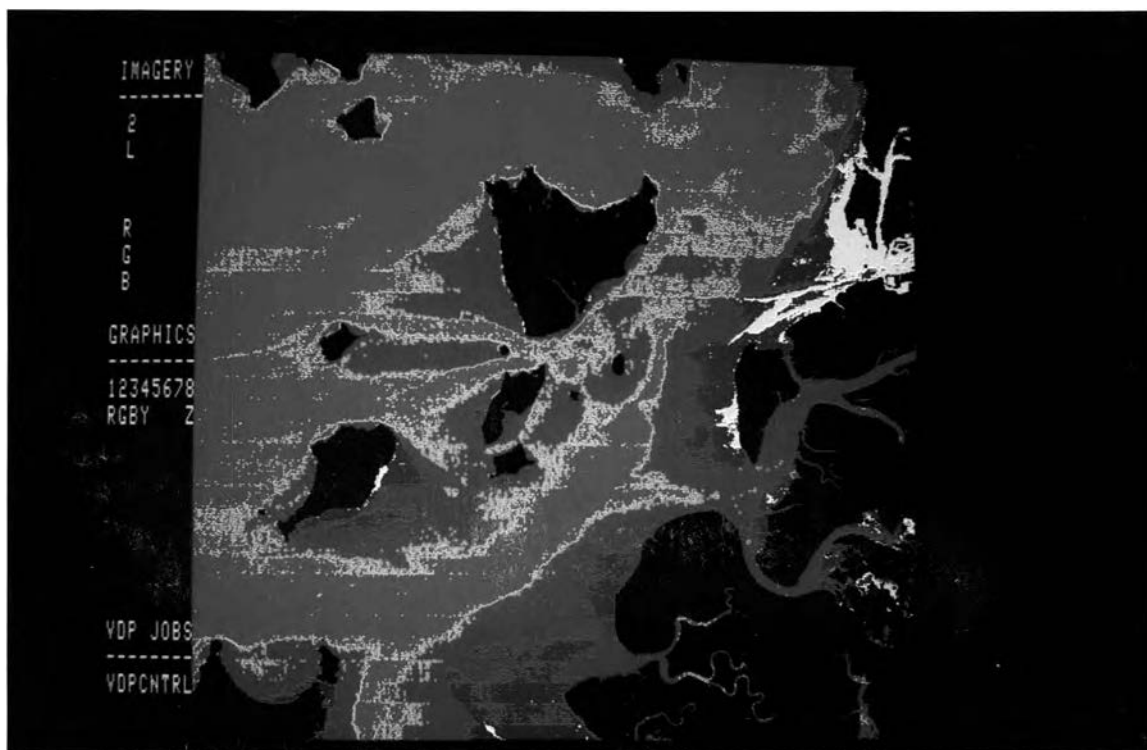
---

10 - 39	แดง
40 - 42	เขียว
43 - 47	น้ำเงิน
48 - 55	เหลือง
56 - 65	ชมพู
66 - 75	ฟ้าอ่อน

---

ค. colour density slicing จาก band 3 ของภาพวันที่ 28 ลค. 2531

- รูปที่ 3.10 ภาพแสดงผลการทำ colour density slicing  
ของวันที่ 19 มค. 2532
- ก. ภาพจาก band 1
  - ข. ภาพจาก band 2
  - ค. ภาพจาก band 3




---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 1

สี

---

54 - 70

แดง

71 - 74

เขียว

75 - 80

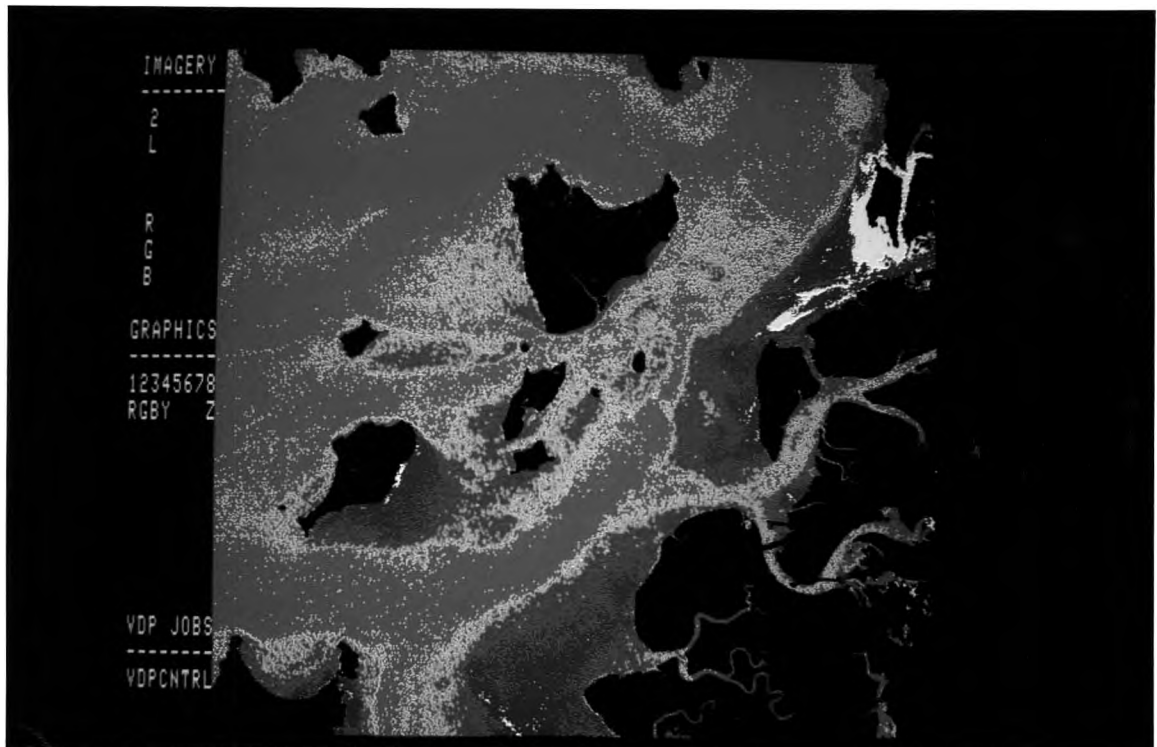
น้ำเงิน

81 - 90

เหลือง

---

ก. colour density slicing จาก band 1 ของภาพวันที่ 19 มค. 2532




---

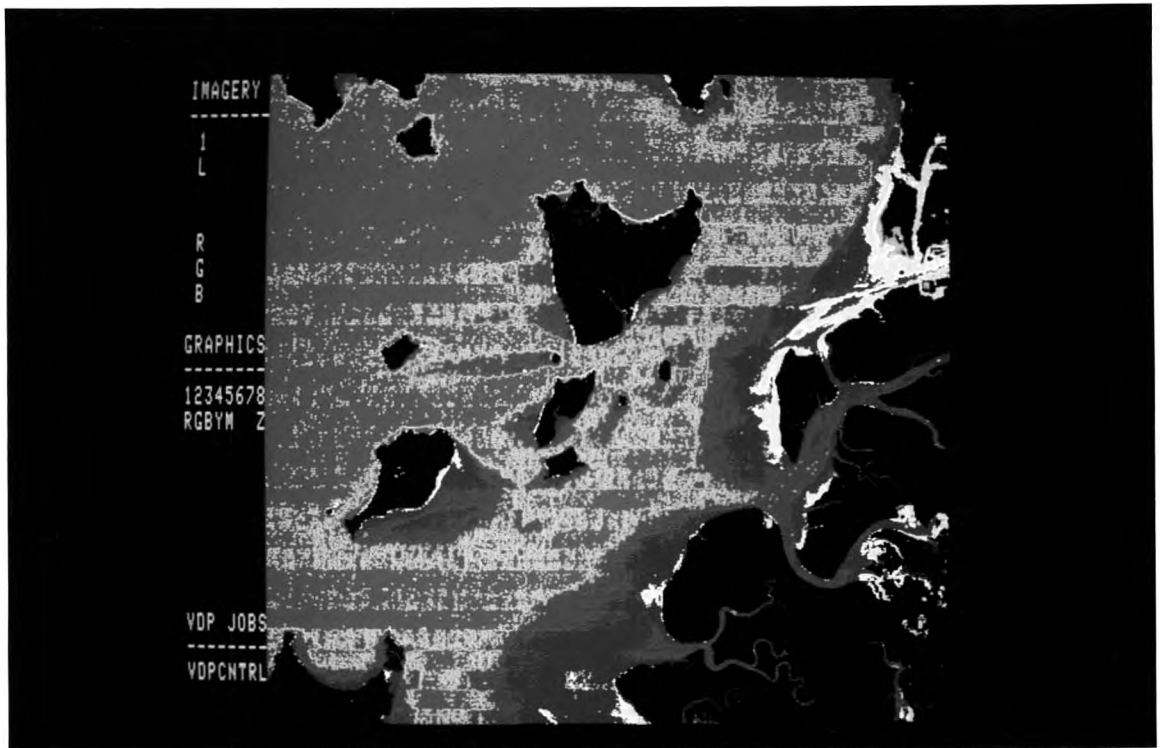
ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข	สี
ของ band 2	

---

18 - 26	แดง
27 - 32	เขียว
33 - 36	น้ำเงิน
37 - 45	เหลือง

---

๒. colour density slicing จาก band 2 ของภาพวันที่ 19 มค. 2532




---

ช่วงของค่าการสะท้อนแสงเชิงตัวเลข  
ของ band 3

สี

25 - 31

แดง

32 - 37

เขียว

38 - 45

น้ำเงิน

46 - 48

เหลือง

49 - 51

ชมพู

---

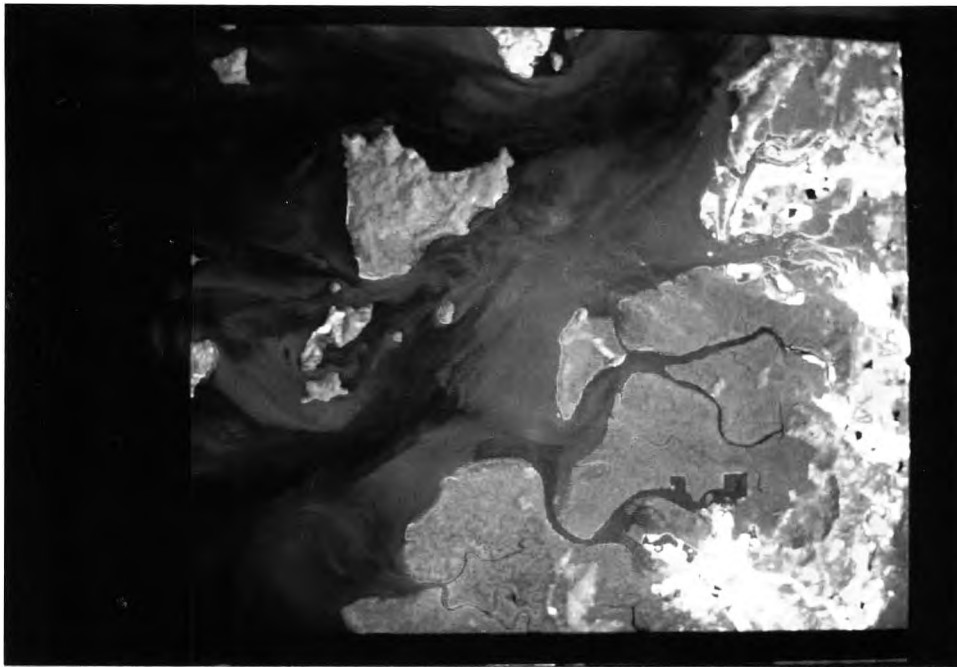
ค. colour density slicing จาก band 3 ของภาพวันที่ 19 มค. 2532

นอกจากนี้ได้ทำภาพสีผสมเท็จ (false colour composite) โดยใช้ band 2, 3 และ 4 แทนด้วยระดับความเข้มของสี น้ำเงิน, เขียว และแดง ตามลำดับ แล้วใช้กรรมวิธีเน้นภาพแบบ contrast stretch เพื่อเน้นรูปแบบของความชุ่มให้เห็นเด่นชัดขึ้น

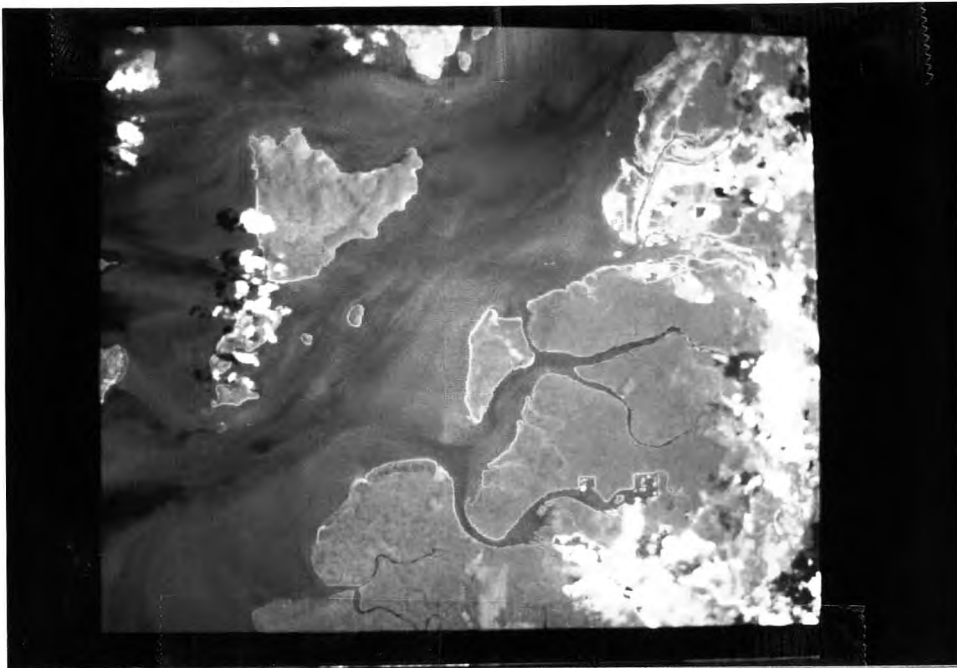
ภาพสีผสมเท็จนี้แสดงถึงส่วนต่าง ๆ ของภาพ โดยลวดของพืชพรรณบนแผ่นดินจะปรากฏเป็นสีแดง ส่วนบริเวณน้ำใสจะเป็นสีดำ และบริเวณน้ำขุ่นจะเป็นสีอ่อน จากเข้มที่สุดจนถึงอ่อนที่สุด โดยสีเข้มแสดงถึงค่าการสะท้อนที่ต่ำกว่า หมายถึงมีความชุ่มน้อยกว่า สีอ่อนมีความชุ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3.11 - 3.14 บริเวณร่องน้ำ ซึ่งระดับความลึกมากกว่า จะเห็นว่ามีความชุ่มต่ำกว่า (สีน้ำเงินอ่อนกว่าบริเวณใกล้ฝั่ง)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ภาพสีผสมเท็จ (band 1, 2 และ 3) กับการทำ colour density slicing จากเพียง band เดียว (รูปที่ 3.7, 3.8, 3.9 และ 3.10 เปรียบเทียบกับ รูปที่ 3.11, 3.12, 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของภาพความชุ่มมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน เพียงแต่การทำ colour density slicing แสดงถึงการแบ่งช่วงข้อมูลให้เห็นได้เด่นชัด ในขณะที่ภาพสีผสมเท็จ แสดงความชุ่มที่ต่อเนื่องกลมกลืนกันไป ซึ่งในการเน้นข้อมูลและแสดงภาพ สามารถใช้ได้ทั้งสองแบบขึ้นกับความต้องการในการนำเสนอข้อมูล เช่น ถ้าต้องการแสดงข้อมูลในลักษณะที่ต่อเนื่อง เพื่อให้มองเห็นภาพอย่างเป็นธรรมชาติ ควรนำเสนอข้อมูลที่เป็นลักษณะของภาพสีผสมเท็จ แต่ถ้าต้องการเน้นการแบ่งระดับความชุ่มอย่างเด่นชัด ควรใช้วิธีการทำ colour density slicing

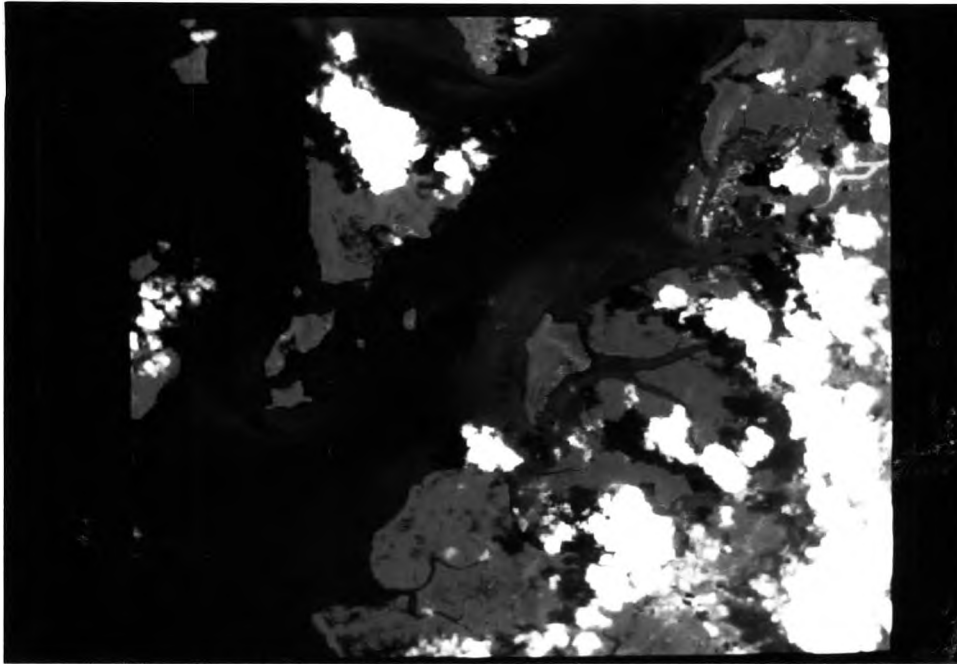




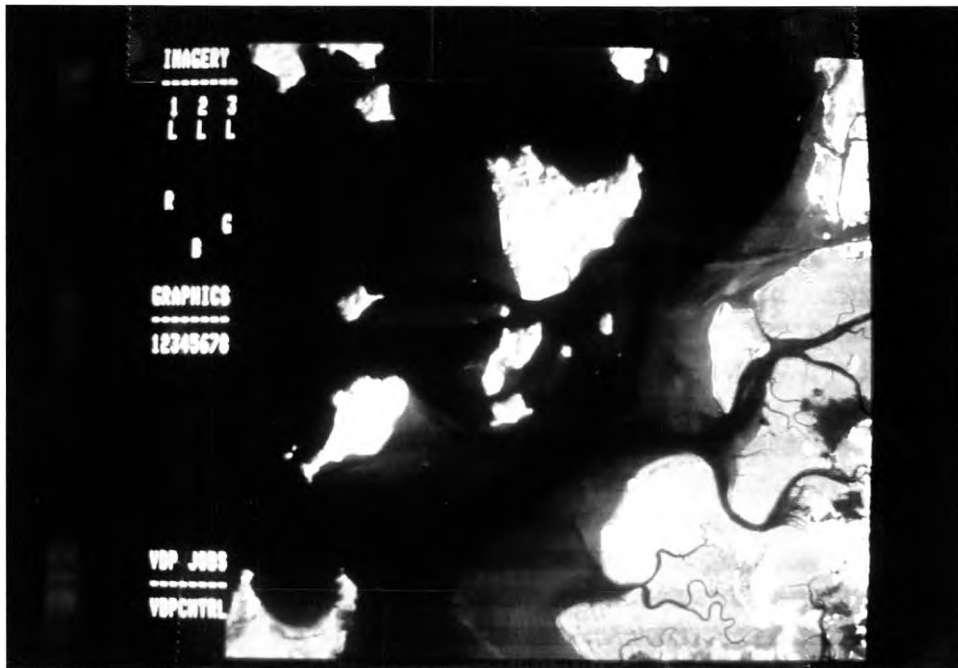
รูปที่ 3.11 ภาพสีผสมเท็จของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2531



รูปที่ 3.12 ภาพสีผสมเท็จของวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2531



รูปที่ 3.13 ภาพสีผสมเท็จของวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2531



รูปที่ 3.14 ภาพสีผสมเท็จของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2532

## ผลการศึกษาจากภาพถ่าย Landsat TM

ภาพถ่ายจาก Landsat สามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะของชายฝั่งในเวลาเดียวกัน (spatial observation) โดยสามารถอธิบายให้ทราบถึงการเคลื่อนตัวของสารแขวนลอย แต่ไม่ได้หมายถึงความเร็ว ผลจากการแปลภาพ สามารถบอกเพียงทิศทางการเคลื่อนตัว และปริมาณสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารแขวนลอยเปรียบเทียบกันในภาพเท่านั้น

ภาพที่นำมาทำการศึกษาทั้งสี่ภาพ เป็นภาพบริเวณเอสทรีของคลองหงาว ซึ่งมีชายฝั่งทะเลที่ทั้งส่วนลึกและส่วนตื้น และเมื่อทำการวัดความโปร่งแสงของน้ำทะเลในบริเวณนั้นด้วย secchi disc พบว่า แสงไม่สามารถส่องได้ถึงพื้นทะเล แสดงว่าการสะท้อนที่แสดงในภาพทั้งสี่ เป็นค่าการสะท้อนเนื่องจากความขุ่นในตอมนบนของคอลัมน์น้ำ และนำมาทำ colour density slicing จำแนกความขุ่น และทำภาพสีผสมเท็จ ซึ่งให้ลักษณะการแพร่กระจายที่มีรูปแบบใกล้เคียงกันในแต่ละ band รูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.10 เป็นภาพที่ได้จากการเก็บข้อมูลในเดือนมีนาคม, เมษายน และ มกราคม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ส่วนรูปที่ 3.9 ได้จากการเก็บข้อมูลในเดือนสิงหาคม ซึ่งนับว่าเป็นโซคลีที่ไต่ภาพในช่วงฤดูฝน เนื่องจากจังหวัดระนองมีฝนตกเกือบตลอดปี รวมทั้งมีเมฆปกคลุมเป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นการยากที่จะได้ภาพในช่วงฤดูฝนของจังหวัดระนองมาทำการศึกษา ในการศึกษาความขุ่นของน้ำทะเล ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถแสดงถึงความแตกต่างได้ชัดเจนที่สุด อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 ไมครอน (Klemas, 1973) ซึ่งได้แก่ band 3 ของระบบ TM ดังนั้นในการศึกษาความขุ่นจากภาพทั้งสี่ภาพ จะใช้ band 3 เป็นหลักในการศึกษา และอธิบาย

ลักษณะรูปแบบของความขุ่นในภาพของกลุ่มที่เป็นตัวแทนในช่วงฤดูแล้ง (รูปที่ 3.7ค, 3.8ค และ 3.10ค) จะเห็นได้ว่า ในบริเวณคลองหงาวมีความขุ่นค่อนข้างสูง

โดยเฉพาะในบริเวณปากคลองหงาวมีความขุ่นสูงมาก (สีเหลือง) ซึ่งลักษณะการแพร่กระจายมีความต่อเนื่องมาจากคลองระนอง ที่มีการทำเหมืองแร่อยู่บริเวณต้นคลอง และสังเกตได้ว่า น้ำที่มาจากแม่น้ำกระบี่ บริเวณปากน้ำระนองไหลไปทางทิศตะวันออก ทางแหลมวิกตอเรีย จึงอาจกล่าวได้ว่า ในช่วงนี้ การพัดพาตะกอนจากแม่น้ำกระบี่ไม่ส่งผลมาถึงบริเวณเอสทรีของคลองหงาว แต่บริเวณที่มีอิทธิพลต่อคลองหงาวน่าจะเป็นคลองระนอง ซึ่งอาจมีการพัดพาตะกอนเข้ามาสู่บริเวณเอสทรีของคลองหงาวได้ นอกจากนี้บริเวณที่เคยมีการทำเหมืองแร่ในคลองหงาวก็มีความขุ่นสูงด้วย และเมื่อพิจารณารูปที่ 3.9ค ซึ่งเป็นภาพในช่วงฤดูฝน พบว่า ในคลองหงาวมีความขุ่นสูงมาก (สีน้ำอ่อน) บริเวณปากคลองมีความขุ่นสูง ซึ่งลักษณะการแพร่กระจายต่อเนื่องมาจากทั้งคลองระนอง และปากแม่น้ำกระบี่ ซึ่งมีลักษณะเป็น plume (สีน้ำเงิน) ลงมาถึงบริเวณระหว่างเกาะหม้อกับหาดทรายขาว ซึ่งอาจหมายถึง ในช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากทั้งแม่น้ำกระบี่ และคลองระนอง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่มากกว่าในช่วงฤดูแล้ง จึงทำให้เกิดการชะล้าง และพัดพาตะกอนลงสู่เอสทรี

เมื่อทำการพิจารณารูปซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงฤดูฝน และช่วงฤดูแล้ง อาจสรุปได้ว่า คลองหงาวเป็นบริเวณที่มีความขุ่นสูง โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน มีการพัดพาตะกอนออกสู่บริเวณปากคลอง นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากปากแม่น้ำกระบี่อีกด้วย ในขณะที่ฤดูแล้งอิทธิพลจากการทำเหมืองแร่จะมองเห็นได้ชัดกว่า โดยเฉพาะจากคลองระนอง