

บทที่ 4 คุณสมบัติของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก

4.1 บทนำ

ในปัจจุบันบทบาทของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกนั้นวันยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากข้อมูลการสำรวจที่ได้จากดาวเทียมมีวิวัฒนาการไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านการเก็บบันทึกและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะระบบบันทึกข้อมูลมีการพัฒนาปรับปรุงในเรื่องของความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) และความละเอียดเชิงคลื่น (Spectral resolution) ทำให้เกิดความหลากหลายในการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลจากดาวเทียมเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันว่าสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ทางธรรมชาติและที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ได้อย่างทันทั่วทั้ง เนื่องจากมีการบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบทั้งในด้านของเวลา ช่วงคลื่น และเชิงพื้นที่ อีกทั้งการบันทึกข้อมูลจากดาวเทียมยังบันทึกเป็นข้อมูลเชิงเลข (Digital format) ทำให้สามารถนำไปผลิตภาพและวิเคราะห์ภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง และสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดาวเทียมที่นำมาใช้งานด้านการสำรวจจากระยะไกลสามารถจัดกลุ่มตามลักษณะของการโคจร ชนิดของเครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการผลิตภาพ และการครอบคลุมพื้นที่ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งอาจแบ่งกลุ่มของดาวเทียมด้านการสำรวจจากระยะไกลได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth Resources Satellite) 2) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite) และ 3) ดาวเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์ (Marine Observation Satellite)

เนื่องจากในปัจจุบันมีดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่ถูกส่งขึ้นโคจรอย่างมากมาย และมีการนำข้อมูลจากดาวเทียมเหล่านั้นไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลายรวมทั้งในประเทศไทยด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติที่สำคัญของดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อที่จะนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมในด้านต่างๆ ต่อไป

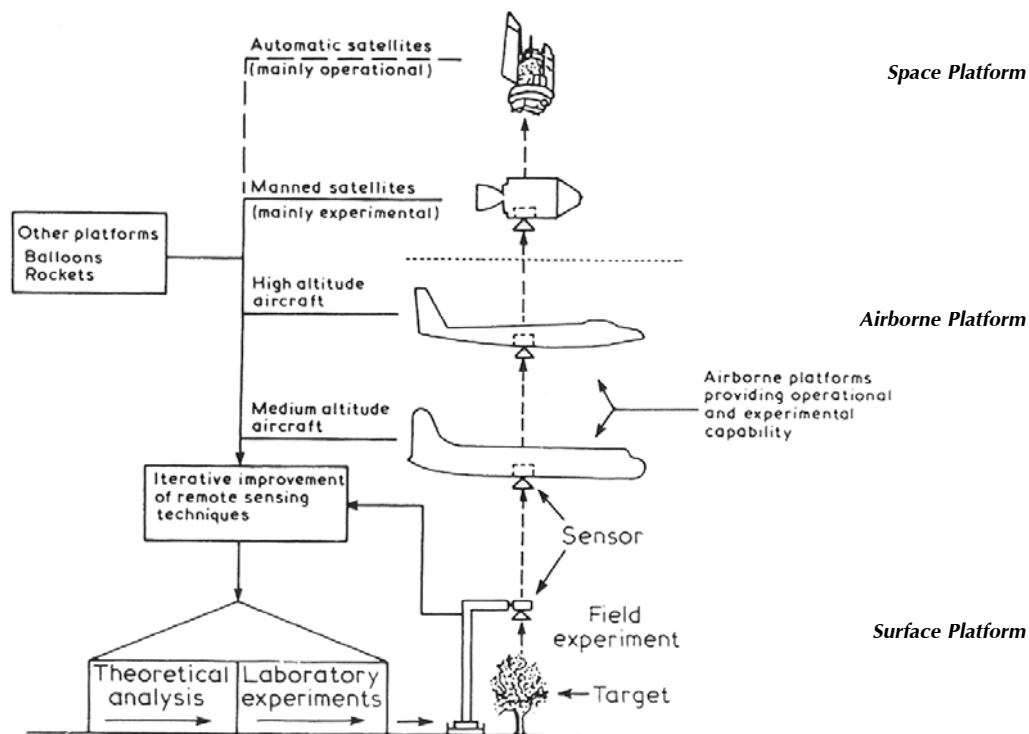
4.2 ประเภทของยานสำรวจ

ยานสำรวจ (Platform) เป็นยานพาหนะที่ติดตั้งเครื่องวัดจากระยะไกล (Remote sensor) โดยทั่วไปชนิดยานสำรวจเหล่านี้ ได้แก่ ดาวเทียม (Satellite) และอากาศยาน (Aircraft) นอกจากนี้ยังอาจรวมถึง เครื่องบินที่บังคับด้วยวิทยุ บัลลูน และวาว ที่ใช้ในการสำรวจในระดับความสูงไม่มากนัก รวมทั้งรถที่ติดบันไดสูง (Ladder truck) หรือรถกระเช้าเก็บผลไม้ (Cherry picker) ที่ใช้ในการสำรวจในระดับพื้นดินด้วย (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) สำหรับยานสำรวจที่ใช้ปฏิบัติงานสามารถแบ่งประเภทได้ตามระดับความสูงของการสำรวจและลักษณะของการสังเกตการณ์ (ตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.1) ยานสำรวจที่ใช้ปฏิบัติงานในระดับความสูงที่สุด คือ ดาวเทียมที่มีวงโคจรสัมพันธ์กับโลก (Geosynchronous satellite) เช่น ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GMS (Geostationary Meteorological Satellite) ของประเทศญี่ปุ่น โคจรที่ระดับความสูง 36,000 กิโลเมตร เหนือเส้นศูนย์สูตร สำหรับดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก เช่น LANDSAT, SPOT และ MOS จะมีลักษณะการโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous orbit) ในระดับความสูงประมาณ 400 ถึง 900 กิโลเมตร ยานสำรวจที่มีวงโคจรอยู่ในระดับความสูงลดต่ำลงมา ได้แก่ กระสวยอวกาศ (Space shuttle) ซึ่งอยู่ในระดับความสูง 240-280 กิโลเมตร เครื่องตรวจสอบอากาศในที่สูงโดยวิทยุ (Radiosonde) ซึ่งอยู่ในระดับความสูงกว่า 100 กิโลเมตร เครื่องบินไอพ่นระดับสูง (High altitude jet-plane) มีระดับเพดานบิน 10-12 กิโลเมตร เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณาในการเลือกชนิดของยานสำรวจ คือ ความสูงในระดับเหมาะสมที่เครื่องมือสามารถจำแนกรายละเอียดภาคพื้นดินได้ ในสถานะที่ IFOV (instantaneous field of view) หรือ สนามมุมมอง ณ ขณะนั้นคงที่

ตารางที่ 4.1 ประเภทของยานสำรวจและวัตถุที่สังเกต

ยานสำรวจ	ระดับความสูง	การสังเกตการณ์	หมายเหตุ
Geostationary Satellite	36,000 กิโลเมตร	จุดสังเกตการณ์คงที่	GMS, METEOSAT
Circular orbit satellite (earth observation)	500 - 1,000 กิโลเมตร	สังเกตการณ์แบบประจำ	LANDSAT, SPOT, MOS, NOAA ฯลฯ
Space shuttle	240 - 350 กิโลเมตร	สังเกตการณ์แบบไม่ประจำ	
Radio-sonde	100 เมตร - 100 กิโลเมตร	การศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ (อุตุนิยมวิทยา ฯลฯ)	
High altitude jet-plane	10 -12 กิโลเมตร	การสำรวจและการศึกษาในพื้นที่กว้างๆ	
Low or middle altitude plane	500-8,000 เมตร	การศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ และการสำรวจทางอากาศ	
Aerostat	500-3,000 เมตร	การสำรวจและการศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ	
Helicopter	100-2,000 เมตร	การศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ และการสำรวจทางอากาศ	
Radio-controlled plane	ต่ำกว่า 500 เมตร	การศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ และการสำรวจทางอากาศ	เครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์
Hang-plane	50-500 เมตร	การศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ และการสำรวจทางอากาศ	เครื่องบินร่อนลอยนิ่ง ร่มชูชีพลอยนิ่ง
Hang-balloon	800 เมตร	การศึกษาค้นคว้าด้านต่างๆ	
Cable	10-40 เมตร	การสำรวจด้านโบราณคดี	
Crane car	5-50 เมตร	การสำรวจพืชไร่	
Ground measurement car	0-30 เมตร	ข้อมูลภาคพื้นดิน	รถกระเช้าเก็บผลไม้

ที่มา : Japan Association on Remote Sensing (1993)



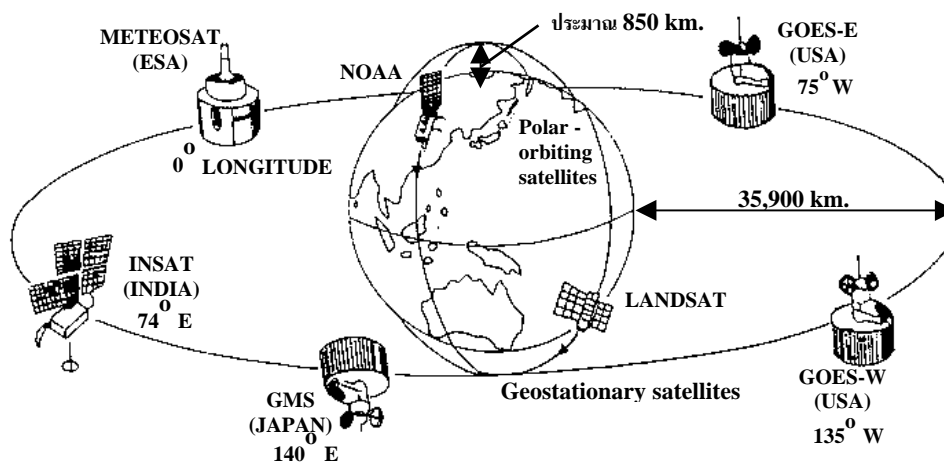
ภาพที่ 4.1 ประเภทของยานสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Lillesand and Kiefer, 1994)

4.3 วงโคจรของดาวเทียม

ดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปโคจรเหนือพื้นผิวโลกเพื่อเก็บบันทึกข้อมูลมีลักษณะวงโคจรหลายรูปแบบ ซึ่งมีลักษณะสัมพันธ์กับลักษณะการสำรวจข้อมูลและความถี่ในการรับข้อมูล การเรียกประเภทวงโคจรของดาวเทียมในลักษณะต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวงโคจรเป็นหลัก (ศุทธิณี, 2542) โดยทั่วไปวงโคจรของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1) **วงโคจรประเภทพร้อมสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์** เรียกว่า Sun-Synchronous Orbit โดยแนวโคจรของดาวเทียมประเภทนี้เป็นแนวเหนือ-ใต้ มักจะโคจรที่ระดับความสูงระหว่าง 300-1,500 กิโลเมตร และระดับความสูงของการโคจรต่ำสุดเมื่อดาวเทียมผ่านเส้นศูนย์สูตร ดาวเทียมในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรแผ่นดิน และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เช่น ดาวเทียม LANDSAT, SPOT, RADARSAR และ NOAA เป็นต้น

2) **วงโคจรประเภทแนวระนาบกับเส้นศูนย์สูตร** เรียกว่า Geostationary Orbit โดยแนวโคจรของดาวเทียมประเภทนี้จะอยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตร สูงจากโลกประมาณ 36,000 กิโลเมตร ซึ่งดาวเทียมจะมีอัตราเร็วในการหมุนรอบโลกเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเอง ทำให้ดาวเทียมเสมือนลอยนิ่งอยู่ที่เดิม ดาวเทียมกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นดาวเทียมคมนาคมและดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ระดับภูมิภาค เช่น ดาวเทียม METEOSAT ซึ่งลอยตัวอยู่เหนืออ่าวกินี หรือ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GMS (Geostationary Meteorological Satellite) ของประเทศญี่ปุ่น ที่โคจรระดับความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตร เหนือเส้นศูนย์สูตร เป็นต้น โดยวงโคจรของดาวเทียมทั้ง 2 ประเภท แสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงวงโคจรของดาวเทียมของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก

4.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth Resource Satellites)

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกได้มีวิวัฒนาการมาเป็นเวลายาวนาน นับตั้งแต่สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกดวงแรกขึ้นสู่อวกาศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2515 ดาวเทียมดวงนี้มีชื่อว่า ERTS 1 (Earth Resource Technology Satellites) เดิมเป็นโครงการขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautic and Administration: NASA) ต่อมาได้โอนกิจการให้ EOSAT ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนเพื่อดำเนินการในเชิงพาณิชย์และได้เปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1 จนปัจจุบันมีหลายประเทศได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกขึ้นสู่อวกาศ เช่น ฝรั่งเศส, รัสเซีย, ญี่ปุ่น, อินเดีย, แคนาดา และองค์การอวกาศแห่งประชาคมยุโรป รวมทั้งประเทศไทยเองก็ได้ส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 10

กรกฎาคม พ.ศ. 2541 ชื่อว่า ไทพัส หรือ TMSAT (Thai Microsatellite) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่เน้นคุณสมบัติหลักด้านการการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ, อุตุนิยมวิทยา และด้านสื่อสารแบบดิจิทัล

การที่ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น โดยมีความละเอียดของข้อมูลสูงขึ้นทำให้การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเป็นไปอย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงรายละเอียดเกี่ยวกับดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินของประเทศไทยมีการรับสัญญาณและบริการข้อมูล โดยสรุปได้ดังนี้

4.4.1 ดาวเทียม LANDSAT

องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautic and Administration: NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกดวงแรก คือ ERTS-1 (Earth Resource Technology Satellites) ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2515 (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT-1) และภายใต้โครงการ LANDSAT ได้มีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรอย่างต่อเนื่องตามลำดับ สำหรับข้อมูลจากดาวเทียมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วเป็นข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม LANDSAT ซึ่งปัจจุบันนี้โครงการดาวเทียม LANDSAT ได้ส่งดาวเทียมขึ้นโคจรรอบโลกแล้ว 7 ดวง ดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 มีรูปร่างลักษณะ และโครงสร้างเหมือนกันโดยมีการดัดแปลงและพัฒนามาจากดาวเทียม NIMBUS ซึ่งเป็นดาวเทียมสมุทรศาสตร์และอุตุนิยมวิทยา โดยดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 มีระบบการบันทึกข้อมูลเหมือนกันคือ ระบบ Return Beam Vidicon (RBV) และ Multispectral Scanner (MSS) แต่ดาวเทียม LANDSAT-3 แตกต่างจาก 2 ดวงแรกเล็กน้อยในด้านของจำนวนกล้องในระบบ RBV และจำนวนแบนด์ในระบบ MSS ดาวเทียมดังกล่าวทั้งสามดวงเลิกปฏิบัติการแล้ว สำหรับกำหนดการส่งดาวเทียม LANDSAT ขึ้นสู่วงโคจรแสดงในตารางที่ 4.2

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีรูปร่างและโครงสร้างต่างไปจาก 3 ดวงแรก มีระบบการบันทึกข้อมูลที่สำคัญคือ ระบบ Multispectral Scanner (MSS) และ Thematic Mapper (TM) ซึ่งพัฒนาให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) มากขึ้น ซึ่งปัจจุบันนี้ดาวเทียม LANDSAT-4 ได้หยุดการบันทึกข้อมูลแล้วแต่ยังโคจรรอบโลกอยู่ ส่วนดาวเทียม LANDSAT-6 และ 7 มีลักษณะรูปร่างและโครงสร้างที่ต่างจาก LANDSAT-4 และ 5 โดยดาวเทียม LANDSAT-6 มีการพัฒนาระบบบันทึกข้อมูล คือ ระบบ ETM (Enhance Thematic Mapper) แต่เนื่องจากไม่ประสบผลสำเร็จในการส่งขึ้นโคจรรอบโลกทางสหรัฐอเมริกาจึงดำเนินโครงการดาวเทียม LANDSAT-7 ที่มีระบบบันทึกข้อมูลที่มีการพัฒนาดีขึ้นคือ ระบบ ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) ขึ้นปฏิบัติการแทน เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานต่อเนื่องจากดาวเทียม LANDSAT-5 ซึ่งคาดว่าจะปฏิบัติงานต่อไปได้อีกไม่นาน เพราะมีอายุการใช้งานเกือบ 20 ปีแล้ว

ตารางที่ 4.2 กำหนดการส่งดาวเทียมชุด LANDSAT ขึ้นสู่วงโคจร และระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้ง

ดาวเทียม	วันส่งขึ้นโคจร	วันหมดอายุ	ระบบบันทึกข้อมูล
LANDSAT-1	23 กรกฎาคม 2515	6 มกราคม 2521	RBV, MSS
LANDSAT-2	22 มกราคม 2518	25 กุมภาพันธ์ 2525	RBV, MSS
LANDSAT-3	5 มีนาคม 2521	31 มีนาคม 2526	RBV, MSS
LANDSAT-4	16 กรกฎาคม 2525	หยุดการบันทึกข้อมูล	MSS, TM
LANDSAT-5	1 มีนาคม 2527	ยังปฏิบัติการอยู่	MSS, TM
LANDSAT-6	5 ตุลาคม 2536	ขึ้นสู่วงโคจรไม่สำเร็จ	ETM
LANDSAT-7	15 เมษายน 2542	ปฏิบัติการ	ETM+

สำหรับวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการสร้างดาวเทียม LANDSAT มีดังนี้ คือ

- 1) สามารถบันทึกภาพของพื้นโลกได้ในหลายช่วงคลื่น (ตั้งแต่ช่วงคลื่น Visible ถึง ช่วงคลื่น Thermal Infrared)
- 2) ให้ข้อมูลที่ถูกต้องบันทึกทั้งหมดได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในมุมที่ค่อนข้างเท่ากัน โดยไม่รวมถึงอิทธิพลของฤดูกาล
- 3) ข้อมูลที่บันทึกควรมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) เพียงพอต่อการทำแผนที่
- 4) สามารถกลับมาครอบคลุมพื้นที่เดิมได้ภายใน 3 อาทิตย์
- 5) ให้มีความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตน้อยที่สุด
- 6) สามารถปฏิบัติการได้อย่างน้อย 1 ปี
- 7) มีพื้นที่ Overlap (การซ้อนทับกันระหว่างภาพในแนวโคจรเดียวกัน) และ Sidelap (การซ้อนทับกันของภาพระหว่างแนวโคจร) อย่างน้อย 10%
- 8) ให้ครอบคลุมบริเวณกว้าง คือ มีมุมมองในลักษณะ Synoptic view

จากวัตถุประสงค์ของโครงการ LANDSAT นี้ ดาวเทียม LANDSAT จนถึงปัจจุบันมีทั้งหมด 7 ดวงด้วยกัน โดยดาวเทียม LANDSAT ทั้ง 3 ดวงแรกมีพื้นฐานการออกแบบมาจากดาวเทียม Nimbus ซึ่งถูกสร้างขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1960 ส่วนดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7 มีลักษณะและระบบบางประการแตกต่างออกไป ดังนั้นจึงจะแยกอธิบายระหว่างกลุ่มดาวเทียม LANDSAT-1, 2, 3 กับ กลุ่มดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7

1) ดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3

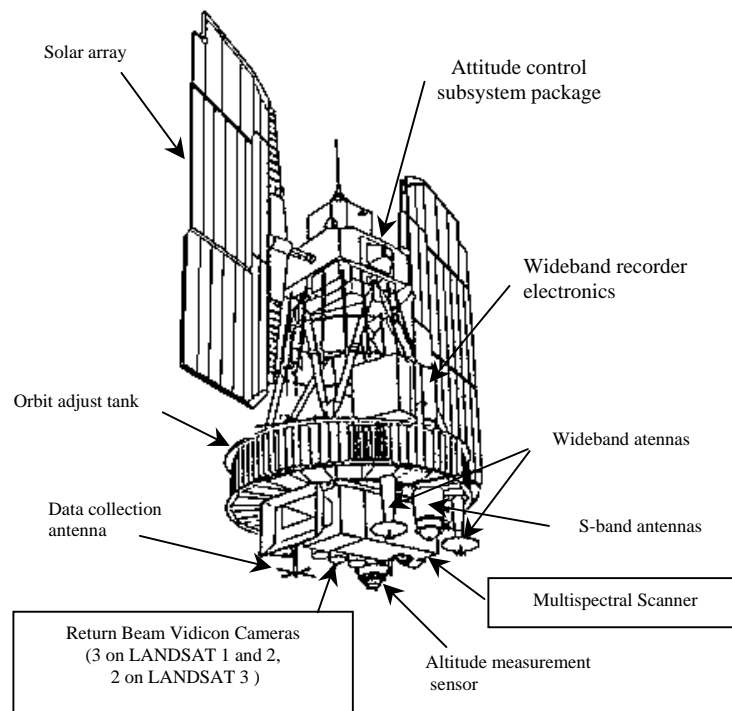
ดาวเทียม LANDSAT ทั้ง 3 ดวง มีคุณลักษณะ, ระบบการทำงาน และระบบการโคจรคล้ายกัน โดยต่างกันที่ดาวเทียม LANDSAT-3 ได้รับการออกแบบให้บันทึกในช่วงคลื่น 10.2-12.6 μm ที่เรียกว่า ช่วงคลื่น Thermal Infrared เพิ่มขึ้น สำหรับดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 มีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

รูปร่างลักษณะ

ดาวเทียมรูปร่างเป็นทรงกรวย มีน้ำหนัก 950 กิโลกรัม ขนาดความสูง 3 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร หรือ 4 เมตร เมื่อรวมแผงรับแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชุด มีการพัฒนามาจากดาวเทียม NIMBUS ให้มีสมรรถนะสูงขึ้น โดยสามารถผลิตพลังงานขึ้นใช้เอง เก็บบันทึกข้อมูลโดยระบบอัตโนมัติ ตลอดจนมีความสามารถส่งข้อมูลกลับมายังโลกเพื่อทำการค้นคว้าวิจัยได้ จากการที่ดาวเทียมทำหน้าที่ได้ครบกระบวนการ จึงเรียกดาวเทียมประเภทนี้ว่า Multimission Modular Spacecraft (MMS) (ภาพที่ 4.3)

ส่วนล่างของตัวดาวเทียมหันสู่พื้นโลกซึ่งประกอบด้วย ระบบการบันทึกข้อมูล Return Beam Vidicon (RBV) และระบบ Multispectral Scanner (MSS) ส่วนระบบ Wideband Video Tape Recorder จะเป็นเทปบันทึกข้อมูลในบริเวณที่อยู่นอกเขตสถานีรับภาคพื้นดิน และระบบ Data Collection System เป็นอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะอุตุนิยมวิทยา, น้ำทะเลและมหาสมุทร, แผ่นดินไหว และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่ห่างไกลจากสถานีและไม่มีคนเฝ้าดูแล

ส่วนบนของดาวเทียมประกอบด้วย อุปกรณ์การทรงตัว (Attitude control subsystem package) และแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar array) โดยแผงรับแสงอาทิตย์นี้ต่อเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้ในขณะโคจรผ่านซีกโลกที่ไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์



ภาพที่ 4.3 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเครื่องบันทึกข้อมูลภาพ ระบบ Multispectral Scanner (MSS) และระบบ Return Beam Vidicon (RBV) (LANDSAT-3 จะมีกล้อง RBV เพียง 2 กล้อง) (Barrett and Curtis, 1995)

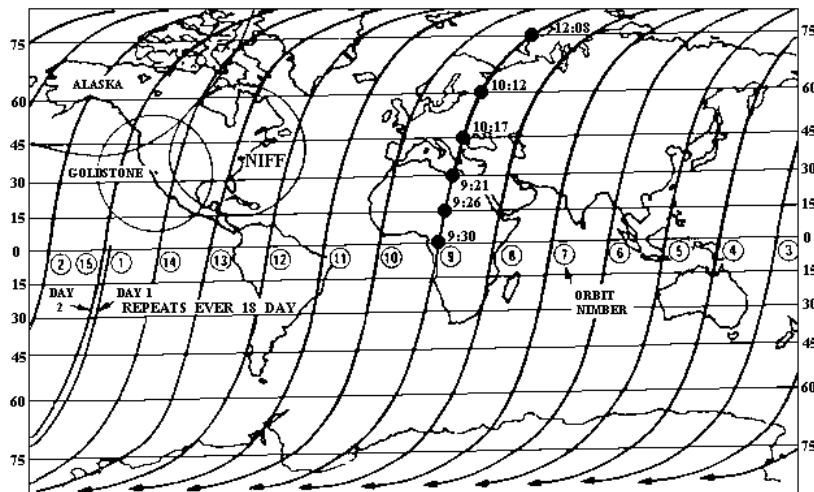
การโคจร

จากวัตถุประสงค์ของโครงการดาวเทียม LANDSAT ที่ให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลจากบริเวณที่ต่างกัน และศึกษาเปรียบเทียบบริเวณเดียวกันในต่างฤดูกาลกัน สิ่งที่จะช่วยให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้ คือ แต่ละภาพควรมีมาตราส่วนที่เท่ากัน และมีมุมของแสงอาทิตย์ (Sun illumination) ที่เท่ากัน โดยการโคจรของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 มีลักษณะที่สำคัญคือ

1. ระดับการโคจร ดาวเทียม LANDSAT โคจรสูงจากโลกประมาณ 920 กิโลเมตร ทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดหรือรายละเอียดของภาพ (Spatial resolution) ประมาณ 79×79 เมตร

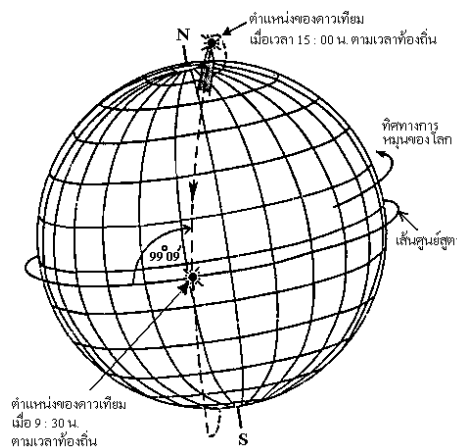
2. ลักษณะการโคจร เพื่อให้ได้ภาพที่มีมุมของแสงอาทิตย์ (Sun illumination) ใกล้เคียงกัน แสงอาทิตย์ในช่วงสายหรือบ่ายให้มุมของแสงอาทิตย์ปานกลาง และเป็นประโยชน์ต่อการแปลตีความข้อมูล วงโคจรจึงมีลักษณะเป็นแบบโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์เป็นวงกลมผ่านขั้วโลก (Sun-Synchronous) ทำมุมเอียง $99^{\circ} 09'$ โดยโคจรรอบโลก 99 นาที หรือ $14 \frac{1}{2}$ รอบต่อวัน

ลักษณะการโคจรแบบ Sun-Synchronous ของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 ทำให้ดาวเทียมโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรในเวลาประมาณ 9.30 น. ตามเวลาท้องถิ่น แต่เวลาท้องถิ่นในแต่ละบริเวณของโลกบนเส้นทางโคจรจะแตกต่างกันไป เช่น ดาวเทียมผ่านละติจูดที่ 60 องศาเหนือ ประมาณ 10:12 น. และผ่านเส้นศูนย์สูตรเมื่อเวลา 9:30 น. เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงเส้นทางการโคจรของดาวเทียม LANDSAT ในแต่ละวัน จากทิศตะวันออกเฉียงเหนือสู่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ภาพแสดงเวลาท้องถิ่น เมื่อดาวเทียมโคจรผ่านแนวโคจรที่ เส้นทางการโคจรของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 ในช่วงเวลากลางวัน (ในด้านที่เป็นเวลากลางคืนจะโคจรในทิศทางจากใต้สู่เหนือ) โดยมีการโคจรรอบโลกวันละ 14 รอบ และจะกลับมาซ้ำที่บริเวณเดิมใน 18 วัน (Barrett and Curtis, 1995)

เพื่อให้ได้การโคจรแบบ Sun-Synchronous วงโคจรถูกกำหนดให้ทำมุมประมาณ $99^{\circ} 09''$ กับเส้นศูนย์สูตร วงโคจรอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ดาวเทียมเคลื่อนสู่ทางใต้ขณะโคจรเหนือซีกโลกที่เป็นเวลากลางวัน และเคลื่อนสู่ทางเหนือขณะโคจรเหนือซีกโลกที่เป็นเวลากลางคืน เนื่องจากการที่วงโคจรทำมุม $9^{\circ} 09'$ กับเส้นที่ตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร หรือทำมุม $99^{\circ} 09'$ กับเส้นศูนย์สูตร (ในลักษณะตามเข็มนาฬิกา) ทำให้พื้นที่ทั่วโลกจะถูกครอบคลุมด้วยการบันทึกข้อมูลโดยดาวเทียมได้หมด ยกเว้น บริเวณที่ห่างจากขั้วโลกไม่เกิน $9^{\circ} 09'$ (คือบริเวณละติจูดที่ $80^{\circ} 51'$) ลักษณะการโคจรดังกล่าว เรียกว่า Circular, Near-polar orbit คือ มีลักษณะเป็นวงกลม และโคจรผ่านใกล้ขั้วโลก (ภาพที่ 4.5)



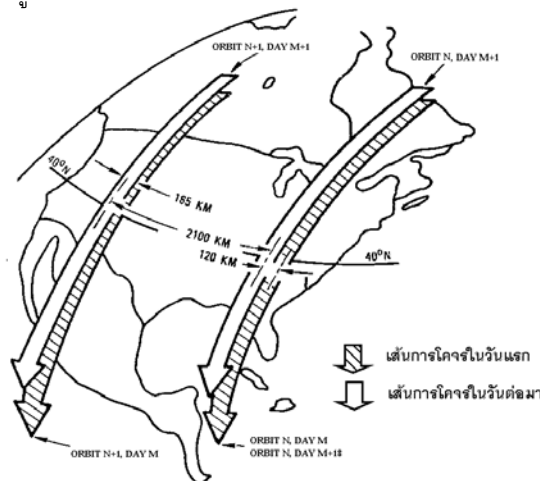
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการโคจรของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 จากทิศเหนือสู่ทิศใต้ในเวลากลางวัน

เส้นทางการโคจร

ในช่วงเวลา 1 วัน ดาวเทียม LANDSAT จะโคจรครอบคลุมพื้นที่รอบโลกได้ 14 รอบ ด้วยความเร็ว 165 กม.ต่อ 25 วินาที แต่ละรอบใช้เวลา 103 นาที แต่ละเส้นโคจรจะห่างจากเส้นโคจรเดิมประมาณ 2,869 กิโลเมตรที่เส้นศูนย์สูตร และห่างกัน

ประมาณ 2,100 กิโลเมตร ที่เส้นละติจูด 40 องศา สำหรับวันต่อมาเส้นทางโคจรจะห่างจากเส้นทางโคจรในวันแรกประมาณ 159.4 กิโลเมตร (ระยะห่างที่เส้นศูนย์สูตร) ไปทางตะวันตก (หรือ 120 กม. ละติจูดที่ 40°) (ภาพที่ 4.6) จากการเลื่อนไปทางตะวันตกของเส้นทางโคจรที่ต่างกันในแต่ละวัน จะทำให้ดาวเทียมกลับมาโคจรเหนือบริเวณเดิมในทุกๆ 18 วัน (2,869 กม. / 159.4 กม. เท่ากับ 18) หรืออีกนัยหนึ่งคือ เส้นทางโคจรที่ 253 จะบันทึกข้อมูลของบริเวณเดียวกัน หรือของแนวโคจรเดียวกันกับเส้นที่ 1 (นั่นคือ 18 วัน x 14 รอบต่อวัน เท่ากับ 252 รอบ ใน 18 วัน และอีก 1 รอบการโคจรในวันที่ 19)

การโคจรในแต่ละแนวโคจรของดาวเทียม LANDSAT กวาดภาพได้กว้าง 185 กิโลเมตร และการที่เส้นแนวโคจรในวันต่อไปอยู่ห่างจากจุดเดิม 159.4 กิโลเมตรที่เส้นศูนย์สูตร ทำให้เกิดการซ้อนทับของข้อมูลภาพระหว่างแนวโคจรที่เรียกว่า "SIDELAP" โดยบริเวณที่เส้นศูนย์สูตร จะมี Sidelap ประมาณ 14% หรือ 25 กิโลเมตร (185-159.4 กม. เท่ากับ 25.6 กม.) และที่เส้นละติจูดที่ 40 องศาเหนือ Sidelap 34% หรือ 65 กิโลเมตร ยิ่งอยู่ใกล้บริเวณขั้วโลก ปริมาณการซ้อนทับของข้อมูลและหว่างแนวโคจรหรือ Sidelap จะเพิ่มมากขึ้น เช่น ณ บริเวณละติจูดที่ 80 องศาเหนือ Sidelap จะเท่ากับ 85% สำหรับตาราง 3 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นละติจูดและบริเวณซ้ำซ้อน



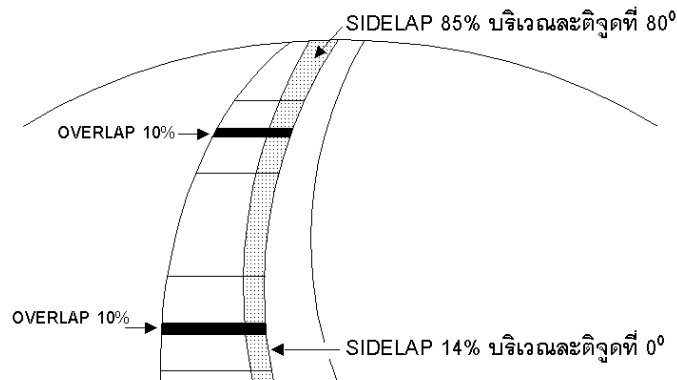
ภาพที่ 4.6 ตำแหน่งของเส้นทางโคจรต่างวันกัน ณ เส้นละติจูดที่ 40 องศาเหนือ เส้นทางโคจรในวันเดียวกัน ห่างกัน 2,100 กิโลเมตร แต่จะห่างจากเส้นทางโคจรถัดไป หรือในวันต่อมา 120 กิโลเมตร (Barrett and Curtis, 1995)

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งตามเส้นละติจูดกับบริเวณซ้ำซ้อน

ละติจูด (องศา)	บริเวณซ้ำของภาพ (Sidelap : %)
0	14.0
10	15.4
20	19.1
30	25.6
40	34.1
50	44.8
60	57.0
70	70.6
80	85.0

ลักษณะการซ้อนทับของข้อมูลระหว่างแนวโคจร (Sidelap) จะให้ประโยชน์ในด้านการแปลตีความและวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำให้สามารถเห็นบริเวณที่ซ้อนทับเป็นสามมิติ หรือ การมองแบบ Stereoscopic และอาจทำให้ได้ข้อมูลทดแทน หากบริเวณของภาพของวันใดวันหนึ่งมีเมฆปกคลุมและของอีกวันไม่มีเมฆปกคลุม

สำหรับการซ้อนทับของข้อมูลภาพที่อยู่ในแนวโคจรเดียวกัน เรียกว่า “OVERLAP” เกิดขึ้นจากการต่อเนื่องกันของข้อมูล overlap โดยทั่วไปมีขนาดเท่ากับ 10% หรือประมาณ 18.5 กิโลเมตร (ภาพที่ 4.7) แต่การซ้อนทับในลักษณะนี้ ไม่เอื้ออำนวยให้เห็นภาพสามมิติได้ เพราะบริเวณที่ซ้อนทับกัน คือ ข้อมูลบริเวณเดียวกันที่ไม่ได้เกิดจากการบันทึกภาพจากบริเวณหรือมุมที่ต่างกัน



ภาพที่ 4.7 การซ้อนทับของข้อมูลระหว่างแนวโคจร (SIDELAP) กัน ณ บริเวณใกล้ขั้วโลกจะมีมากกว่าบริเวณเส้นศูนย์สูตร และการซ้อนทับของข้อมูลภาพที่อยู่ในแนวโคจรเดียวกัน (OVERLAP) จะมีประมาณ 10 % หรือ 18.5 กิโลเมตร

ระบบการบันทึกข้อมูล

ดาวเทียม LANDSAT 1 และ 2 มีระบบการบันทึกข้อมูลเหมือนกัน ได้แก่

1. ระบบ Return Beam Vidicon (RBV)
2. ระบบ Multispectral Scanner (MSS)

ส่วนดาวเทียม LANDSAT-3 ถึงแม้มีข้อแตกต่างจากดาวเทียม LANDSAT-1 และ 2 เล็กน้อย แต่โครงสร้างและระบบพื้นฐานเหมือนกัน ข้อแตกต่างของดาวเทียม LANDSAT-3 คือ กล้อง RBV. ที่แตกต่างไป และมีแบนด์ 8 ระบบ MSS เพิ่มขึ้นอีก 1 แบนด์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

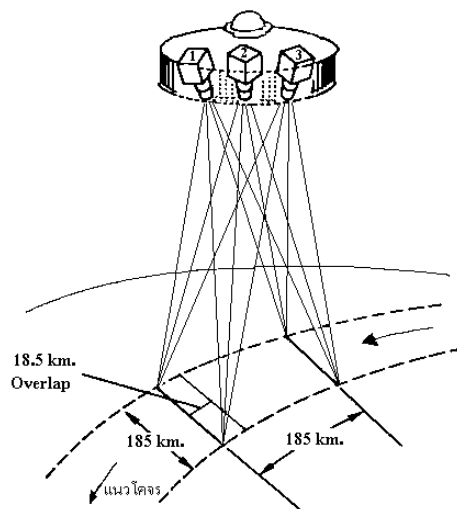
(1) ระบบ Return Beam Vidicon (RBV)

ระบบ Return Beam Vidicon (RBV) เป็น ระบบการรับภาพแบบโทรทัศน์ ประกอบด้วยกล้อง 3 กล้อง ทำการบันทึกข้อมูลใน 3 ช่วงคลื่น (ตารางที่ 4.4) แต่ละกล้องจะถ่ายภาพพร้อมๆ กันในบริเวณเดียวกัน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 185×185 ตารางกิโลเมตร ลักษณะขั้นตอนในการบันทึกข้อมูล คือ เมื่อน้ำกล้องเปิด ปริมาณพลังงานจะไปตกบนฉากรับที่เคลือบด้วย Phosphor ซึ่งไวต่อการบันทึกภาพ ภาพบนฉากรับดังกล่าวจะถูกกวาดภาพ (Scanned) โดยแสงอิเล็กตรอนิกส์ (Electronic beam) ภาพนั้นจะถูกนำไปขยายแบบ Five-stage multiplier ผลที่ได้คือ ลักษณะวิดีโอ (Video) รายละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ (Spatial or Ground resolution) คือ 80×80 ตารางเมตร ในการถ่ายภาพขนาด 185×185 ตารางกิโลเมตร ใช้เวลา 25 วินาที ทำให้เกิดการซ้ำซ้อน หรือ overlap กับภาพถัดไปเท่ากับ 18.5 กิโลเมตร (ภาพที่ 4.8)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่บันทึกด้วยระบบ RBV ในแต่ละช่วงคลื่น ของดาวเทียม LANDSAT-1 และ 2

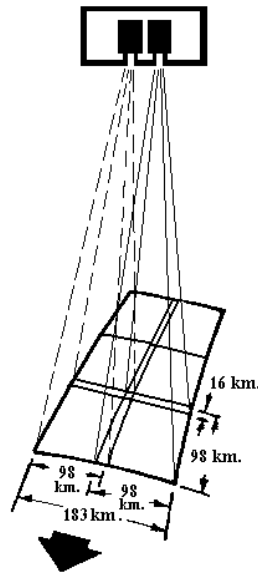
แบนด์	ช่วงคลื่น	การประยุกต์ใช้
1	0.475-0.575 μm : Green	เหมาะสมในการศึกษาหาความแตกต่างของคุณลักษณะของน้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และการศึกษาเขตชายฝั่งทะเล เพราะแหล่งน้ำให้การสะท้อนคลื่นแสงสีเขียวได้มากกว่าช่วงคลื่นอื่น
2	0.580-0.680 μm : Red	แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในพื้นที่ลักษณะต่าง ๆ ได้ดี ซึ่งเหมาะในการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
3	0.690-0.830 μm : NIR	พืชสีเขียวจะให้การสะท้อนแสงมาก ขณะเดียวกันแหล่งน้ำจะดูดซับช่วงคลื่นนี้ไว้ได้มาก จึงทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำได้เป็นอย่างดี

ในระยะแรกๆ ระบบกล้อง RBV ของดาวเทียม LANDSAT-1 สามารถให้ข้อมูลภาพถ่ายที่มีคุณภาพดีมาก แต่ปรากฏว่ากลไกภายในใช้กำลังไฟฟ้ามากผิดปกติและเกิดการล้มเหลว ดังนั้นระบบไฟจึงถูกปิดและหยุดการทำงานตั้งแต่นั้นมา ถึงแม้ระบบ RBV ใน LANDSAT-2 จะดีกว่าใน LANDSAT-1 แต่การนำข้อมูลไปใช้ในด้านต่างๆ ก็มุ่งไปที่ระบบ MSS ดังนั้นระบบ RBV ใน LANDSAT-2 จึงมีไว้สำรองเพื่อการฉุกเฉินเท่านั้น



ภาพที่ 4.8 กล้อง RBV จำนวน 3 กล้อง ที่ติดตั้งบนดาวเทียม LANDSAT-1 และ 2 ถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ 185 x 185 ตารางกิโลเมตร และการถ่ายภาพของกล้อง RBV จะมีการซ้อนทับในแนวโคจรเดียวกัน (overlap) ประมาณ 18.5 กิโลเมตร. (Barrett and Curtis, 1995)

ระบบ Return Beam Vidicon (RBV) ของดาวเทียม LANDSAT-3 ประกอบไปด้วยกล้องบันทึกภาพ 2 กล้อง (ภาพที่ 4.9) โดยทำการบันทึกภาพในช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic) 0.505-0.75 μm บันทึกภาพได้เร็วเป็น 2 เท่าของ LANDSAT-1 และ 2 ทั้งนี้เพื่อที่จะครอบคลุมพื้นที่ให้ได้เท่ากับที่ระบบ RBV ใน LANDSAT-1 และ 2 นั่นคือ 185 x 185 ตารางกิโลเมตร การบันทึกภาพเป็นไปในลักษณะที่กล้องในระบบนี้จะครอบคลุมพื้นที่ได้แค่ 1/4 ของพื้นที่ซึ่งถ่ายโดยระบบ RBV ใน LANDSAT-1 และ 2 หรือประมาณ 98 x 98 กิโลเมตร (subscene). กล้อง RBV ใน LANDSAT-3 นี้ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ หรือ Ground resolution ประมาณ 38 เมตร ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มความยาวโฟกัสเป็น 2 เท่า ขนาดภาพ 2 ภาพของระบบ RBV ใน LANDSAT-3 รวมกันได้ 183 กิโลเมตร (Frame) ทั้งนี้เพราะมีการซ้อนทับของภาพที่บันทึกจากทั้ง 2 กล้อง (sidelap) ประมาณ 13 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพ 4.9 และตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ RBV ในดาวเทียม LANDSAT ทั้ง 3 ดวง สำหรับข้อมูลระบบ RBV ของดาวเทียม LANDSAT-3 มักจะนำไปประยุกต์ใช้ด้านการใช้ที่ดิน.



ภาพที่ 4.9 แสดงพื้นที่การบันทึกภาพด้วยกล้อง RBV 2 กล้อง บนดาวเทียม LANDSAT-3 ซึ่งมีการซ้อนทับ 16 กิโลเมตร (overlap) ในแนวเหนือ-ใต้ และ 13 กม. แนวตะวันออก-ตะวันตก (Sidelap) โดยพื้นที่นี้จะไม่รวมการซ้อนทับกับภาพต่อไป (Arthur and Landsan, 1993)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ RBV ในดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3

คุณสมบัติ	LANDSAT-1 และ 2	LANDSAT-3
จำนวนกล้อง	3	2
ช่วงคลื่น (Band 1)	0.47-0.57 μm	0.50-0.75 μm
(Band 3)	0.58-0.68 μm	-
(Band 2)	0.69-0.83 μm	-
พื้นที่ต่อ 1 ภาพ (Subscene*)	185 x 185 กม.	98 x 98 กม.
พื้นที่ต่อ 1 ภาพ (Frame**)	185 x 185 กม.	183 x 183 กม.
ความละเอียดภาพ (Ground resolution)	80 เมตร	38 เมตร

* subscene คือ ภาพที่กล้อง RBV 1 กล้อง ครอบคลุมภาพ

** frame คือ ภาพที่ถ่ายได้โดยกล้อง RBV ทั้งหมด (สำหรับ LANDSAT-1 และ 2 กล้องทั้งสามถ่ายภาพพร้อมกัน และครอบคลุมพื้นที่เดียวกัน ส่วน LANDSAT-3 ถ่ายภาพพร้อมกัน 2 กล้อง แต่ต่างพื้นที่กัน)

(2) ระบบ Multispectral Scanner (MSS)

Multispectral Scanner (MSS) หรือระบบการกวาดภาพหลายช่วงคลื่น ของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 เป็นระบบบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับพื้นโลก โดยใช้เครื่องบันทึกภาพแบบ Scanning หรือกวาดภาพ ประกอบด้วยกระจกแกว่งหรือกระจกหมุนซึ่งติดตั้งอยู่ทางตอนล่างของยาน กระจกนี้ทำมุม 45 องศากับโลก แกว่งประมาณ 2.9 องศา มุมรับภาพประมาณ 11.56 องศา ทำการบันทึกข้อมูลขณะกวาดจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกเท่านั้น ใช้เวลาประมาณ 33 milliseconds (กระจกแกว่งด้วยความเร็ว 13.62 รอบต่อวินาที) การกวาดภาพจะเป็นเส้นตรงต่อเนื่องติดกับแนวการเคลื่อนที่กับทิศทางการโคจรของดาวเทียม

ขณะที่กระจกแก้วจะทำการกวาดภาพพร้อมกัน 6 เส้น (Scanlines) แต่ละเส้นจะเท่ากับพื้นที่จริงบนโลกซึ่งยาวประมาณ 185 กิโลเมตร กว้างประมาณ 79 เมตร และข้อมูลจากระบบ MSS 1 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ 185×185 ตารางกิโลเมตร มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลประมาณ 80×80 ตารางเมตร. การบันทึกข้อมูลของระบบ MSS จะกวาดบันทึกสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นดิน 4 ช่วงคลื่น ซึ่งมีลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ของแต่ละช่วงคลื่นดังแสดงในตารางที่ 4.6

สำหรับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT-3 แตกต่างไปจาก LANDSAT-1 และ 2 คือ นอกจากจะมี 4 แบนด์ (แบนด์ 4, 5, 6 และ 7) แล้ว ยังมีเพิ่มขึ้นมาอีก 1 แบนด์ คือ แบนด์ 8 ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่น Thermal Infrared ($10.4\text{-}12.6 \mu\text{m}$) เพื่อวัดพลังงานความร้อนของพื้นผิวโลกที่เปล่งออกมา (Emission) ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์จะถูกวัตถุนบนพื้นผิวโลกดูดซับไว้ และเมื่อโลกแผ่หรือคายความร้อนดังกล่าวออก ความร้อนนั้นจะถูกส่งออกมาในช่วงคลื่น Thermal Infrared (ความยาวคลื่นระหว่าง $8.0 \mu\text{m}$ ถึง $15.0 \mu\text{m}$) ข้อมูลภาพของแบนด์ 8 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ เป็น $1/3$ เท่าของแบนด์อื่น หมายความว่า Ground resolution เท่ากับ 237 เมตร ($79 \text{ เมตร} \times 3 \text{ เมตร}$) แต่ข้อมูลที่ได้รับและการใช้งานของแบนด์นี้มีไม่มาก เนื่องจากเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูลในแบนด์นี้หลังจากที่ดาวเทียม LANDSAT 3 ถูกส่งขึ้นโคจรได้ไม่นาน

ตารางที่ 4.6 การประยุกต์ใช้ข้อมูลระบบ MSS ในแต่ละช่วงคลื่น ของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3

แบนด์	ช่วงคลื่น	การประยุกต์ใช้
4	$0.5\text{-}0.6 \mu\text{m}$: Green	แสดงความแตกต่างระหว่างน้ำใสสะอาดกับน้ำที่มีสิ่งเจือปนหรือขุ่นสกปรก จึงเหมาะในการนำมาศึกษาเกี่ยวกับสภาวะของแหล่งน้ำ เช่น ความตื้นลึกของน้ำ และการกระจายของตะกอน
5	$0.6\text{-}0.7 \mu\text{m}$: Red	แสดงความแตกต่างของพื้นที่ต่างๆ ได้ดี เหมาะแก่การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศทางน้ำ ถนน แหล่งชุมชน ตลอดจนความเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างของพืชพรรณ ป่าไม้ และพื้นที่เพาะปลูก
6	$0.7\text{-}0.8 \mu\text{m}$: NIR	เน้นป่าไม้ และลักษณะธรณีสัณฐานโดยทั่วไป
7	$0.8\text{-}1.1 \mu\text{m}$: NIR	พลังงานในช่วงคลื่นนี้สามารถผ่านทะลุหมอก (Haze) ในชั้นบรรยากาศได้ดี สามารถเห็นพืชพรรณ แสดงขอบเขตระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ และลักษณะธรณีสัณฐานได้ชัดเจน และมีคุณสมบัติทั่วไปใกล้เคียงกับ แบนด์ 6
8	$10.4\text{-}12.6 \mu\text{m}$: Thermal IR (เฉพาะใน LANDSAT 3)	ใช้ดูความแตกต่างของความร้อนในบริเวณที่ศึกษา และดูความแตกต่างของความชื้นในดิน

2) ดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7

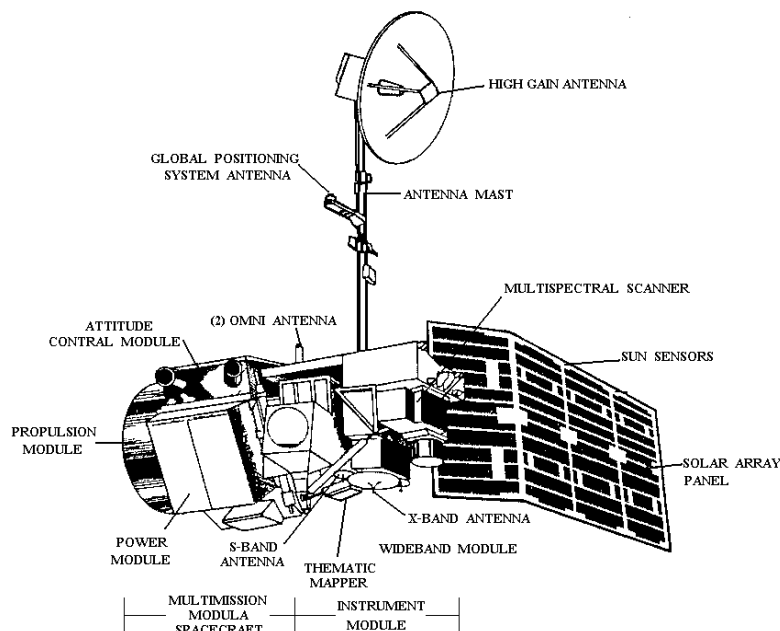
ดาวเทียม LANDSAT-4, 5, และ 7 มีลักษณะที่แตกต่างไปจากดาวเทียม LANDSAT ดวงก่อน โดยมีการปรับปรุงและพัฒนาคุณสมบัติในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

รูปร่างลักษณะ

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ได้รับการออกแบบใหม่ มีรูปร่างลักษณะแตกต่างไปจากดาวเทียม LANDSAT รุ่นก่อนๆ โดยตัวยานของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 เป็นแบบ Multimission Modular Spacecraft (MMS) ซึ่งสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การให้พลังงาน (Energy Supply)
- การควบคุมความสูงและวิถีโคจรของดาวเทียม (Altitude and attitude control)
- การจัดข้อมูล (Data handling)
- การสื่อสาร (Communication)
- ระบบขับเคลื่อน (Propulsion)

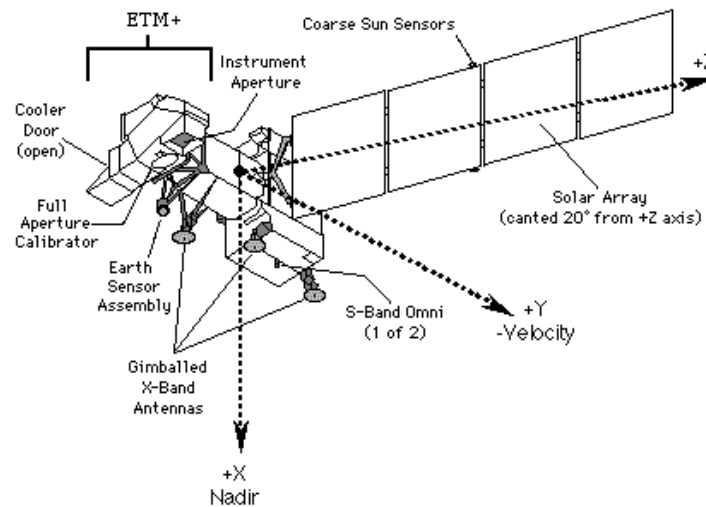
เครื่องมือเฉพาะกิจที่ติดตั้งอยู่บนยานนี้ ได้แก่ เครื่องกวาดหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner: MSS) เป็นระบบเดียวกับที่ติดตั้งบนดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 และที่เพิ่มเติมคือ ระบบทำแผนที่เฉพาะกิจ (Thematic Mapper: TM) นอกจากนี้ยังมีระบบการถ่ายทอดข้อมูล, เครื่องมือสื่อสาร และจานรับส่งสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Array) ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 2 กิโลวัตต์ นอกจากนี้ตัวยานดาวเทียมแบบ MMS นี้ ยังออกแบบให้สามารถซ่อมแซมได้ด้วยกระสวยอวกาศ (Space Shuttle) สำหรับภาพที่ 4.10 เป็นภาพแสดงรูปร่างลักษณะของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ซึ่งระบบบันทึกข้อมูลแบบ RBV ที่ปรากฏอยู่บนดาวเทียมดวงก่อนๆ ได้ยกเลิกไป



ภาพที่ 4.10 รูปร่างลักษณะและส่วนประกอบหลักของดาวเทียม LANDSAT 4 และ 5 (Barrett and Curtis, 1995)

สำหรับดาวเทียม LANDSAT-7 ได้ยกเลิกอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ MSS และ ระบบ TM โดยมีการปรับปรุงและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลจากระบบ TM ของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 เป็น ระบบ ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) โดยเพิ่มแบนด์ Panchromatic (ช่วงคลื่น Green-Near IR) อีก 1 แบนด์ และเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่

(Ground resolution) ของแบนด์ที่ 6 (Thermal IR) จาก 120 เมตร เป็น 60 เมตรอีกด้วย สำหรับรูปร่างลักษณะของดาวเทียม LANDSAT-7 มีความแตกต่างไปจากดาวเทียม LANDSAT ดวงก่อนๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.11

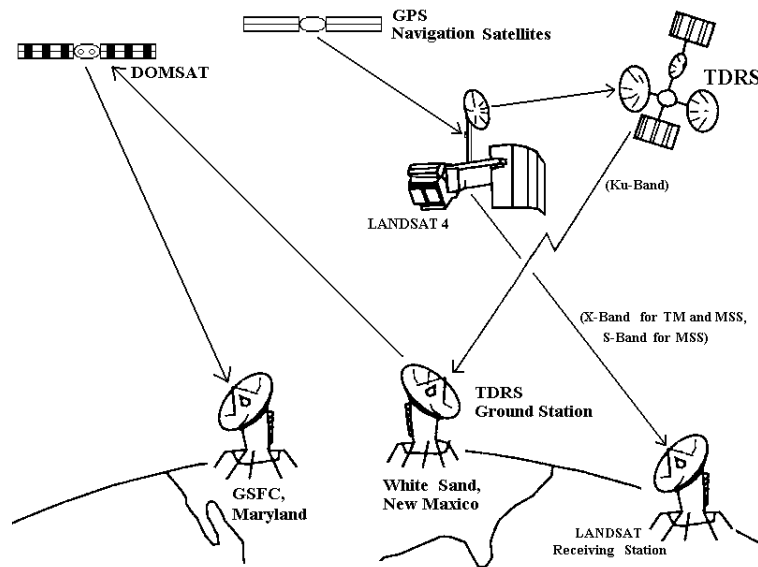


ภาพที่ 4.11 รูปร่างลักษณะและส่วนประกอบหลักของดาวเทียม LANDSAT 7 (USGS, 2003)

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 นี้ ได้รับการปรับปรุงด้านความสามารถในการควบคุมวิถีโคจรของดาวเทียมเพิ่มขึ้น โดยกำหนดความถูกต้องได้ภายใน 0.01 องศา (1 sigma) และเสถียรภาพภายใน 10 ถึง 6 องศาต่อวินาที (1 Sigma) ซึ่งในดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 มีค่า 0.7 องศา และ 0.1 องศาต่อวินาทีตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดความคลาดเคลื่อนของมุม (Angular displacement sensor) ซึ่งติดอยู่บนเครื่อง TM สำหรับให้ข่าวสารที่ถูกต้องเพิ่มขึ้น เพื่อนำมาแก้ไขผลของการกระตุกที่มีต่อข้อมูล

ความก้าวหน้าสำคัญอีกประการหนึ่งในระบบดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 คือ การใช้การสื่อสารระบบ Tracking and Data Relay Satellite (TDRS) ระบบนี้ จะถ่ายทอดข้อมูลจากดาวเทียมไปสู่โลกในเวลาใกล้เคียงกับเวลาถ่ายภาพทันที (Real Time) ซึ่งจะช่วยให้การจัดการใช้เครื่องบันทึกเทปที่มีข้อจำกัดด้านอายุการใช้งาน

งานรับส่งสัญญาณ TDRS ที่ติดตั้งบนดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 นี้ จะส่งสัญญาณคำสั่ง (Command signals) ในลักษณะสัญญาณเทเลเมตรี (Telemetry signals) และถ่ายทอดข้อมูล MSS และ TM ผ่านดาวเทียม TDRS ที่มีวงโคจรคงที่ ดวงใดดวงหนึ่งในจำนวน 2 ดวง ไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินที่เมือง White Sands มลรัฐ New Mexico ระบบ TDRS นี้ ใช้ความถี่ช่วง Ku-band (12.5-18.0 GHz) ในการสื่อสารกับภาคพื้นดิน ซึ่งช่วยในการส่งข้อมูล MSS และ TM พร้อมกันในเวลาเดียวกัน หลังจากนั้นข้อมูลจากเมือง White Sands จะถูกส่งผ่านดาวเทียมสื่อสารภายในประเทศของสหรัฐฯ ที่เรียกว่า DOMSAT (Domestic Communication Satellite) ไปยัง Goddard Space Flight Center (GSFC) ในเมือง Greenbelt มลรัฐ Maryland (ภาพที่ 4.12) เพื่อทำการผลิตข้อมูล ข้อมูลระบบ MSS ที่มีการแก้ไขความถูกต้องเชิงรังสี (Radiometric correction) แล้ว จะถูกส่งไปในรูปของข้อมูลเชิงเลข (Digital data) ให้ศูนย์ข้อมูล EROS ที่เมือง Sioux Falls มลรัฐ South Dakota เก็บไว้ในเทปคอมพิวเตอร์ที่มีความหนาแน่นสูง (HDDT) เพื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มต้นฉบับเนกาตีฟขนาด 241 มม. (9 นิ้ว) ส่วนข้อมูล TM จะไม่มีการส่งสัญญาณต่อไป แต่จะผลิตเป็นฟิล์มต้นฉบับและเทป CCT ที่ GSFC เลย แล้วจึงส่งไปยัง EROS โดยทางเครื่องบิน



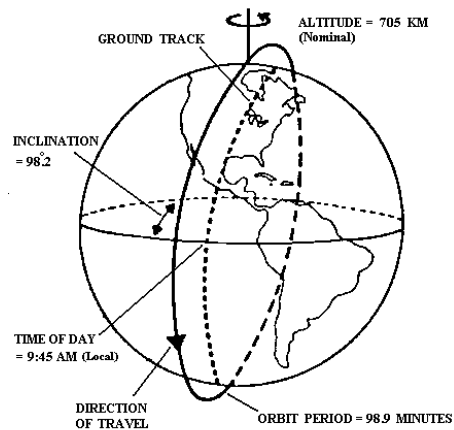
ภาพที่ 4.12 แสดงการติดต่อสื่อสารการถ่ายทอดข้อมูลของดาวเทียม LANDSAT 4 และ 5 (Barrett and Curtis, 1995)

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 จะไม่มีระบบ Wideband Video Tape Recorder (WVTR) เนื่องจากการส่งสัญญาณข้อมูลมายังสถานีรับภาคพื้นดินสามารถกระทำได้ทันที (Real time) โดยอุปกรณ์ต่างๆ ของสถานีรับสัญญาณ หรือส่งผ่านระบบ Tracking and Data Relay Satellite (TDRS) ที่มีดาวเทียมสื่อสารคือ The East and West Communication Relay Satellite ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถครอบคลุมข้อมูลได้ทุกบริเวณทั่วโลกที่ดาวเทียมแลนด์แซทโคจรผ่าน ดาวเทียมดวงแรกของระบบ East and West คือ TDRS-1 (หรือ East) ถูกส่งขึ้นไปเมื่อเมษายน 2526 มีวงโคจรแบบ geosynchronous (earth-synchronous) ประจำ ณ มหาสมุทรแอตแลนติก ปัจจุบันมีตำแหน่งถาวรอยู่ที่ 14 องศาตะวันตกตัดกับเส้นศูนย์สูตรอยู่สูง 22,300 ไมล์ และ TDRS-2 จะอยู่ที่ด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก หรือที่ลองจิจูดที่ 171 องศาตะวันตก

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 สามารถถ่ายทอดข้อมูลให้สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินทั่วโลกที่อยู่ในรัศมีโดยตรง โดยใช้ความถี่ช่วง X-band (8.00-1.25 GHz) ในการส่งข้อมูลทั้ง TM และ MSS สำหรับสถานีรับสัญญาณที่ไม่สามารถรับสัญญาณในความถี่ช่วง X-band ได้นั้น จะสามารถรับข้อมูล MSS เท่านั้น โดยใช้ความถี่ช่วง S-band (2.0-4.0 GHz) เช่นเดียวกับดาวเทียมดวงก่อนๆ ดาวเทียมนี้มีการช่วยนำร่องแบบ GPS (Global Positioning System Navigation Satellite) เพื่อให้ข้อมูลตำแหน่งและความเร็วที่มีความถูกต้องสูง โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกใช้ในการแก้ไขทางเรขาคณิต (Geometric Correction)

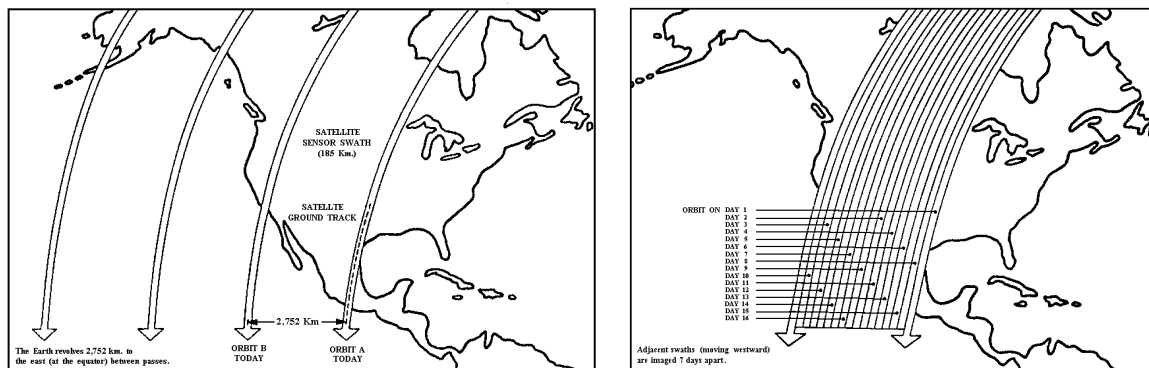
วงโคจรและรัศมีครอบคลุม

ลักษณะวงโคจรของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 เป็นแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous) เป็นวงกลมผ่านใกล้ขั้วโลก (Circular, near-polar orbit) เช่นเดียวกับดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 แต่ต่างกันที่ความสูงของวงโคจรและเวลาในการโคจรรอบโลก โดยดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีวงโคจรสูงจากพื้นผิวโลก (ณ บริเวณใกล้ขั้วโลก) เป็นระยะ 705 กิโลเมตร และสูงกว่านั้นในบริเวณเส้นศูนย์สูตร วงโคจรทำมุม 98.2° กับเส้นศูนย์สูตร โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลาประมาณ 9:45 น. (± 15 นาที) ในแต่ละรอบ การโคจรรอบโลกแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 98.8 นาที หรือวันละ $14 \frac{1}{2}$ รอบ และบันทึกข้อมูลครอบคลุมทั่วโลก (ยกเว้นบริเวณใกล้ขั้วโลก) ภายใน 16 วัน ดังภาพที่ 4.13



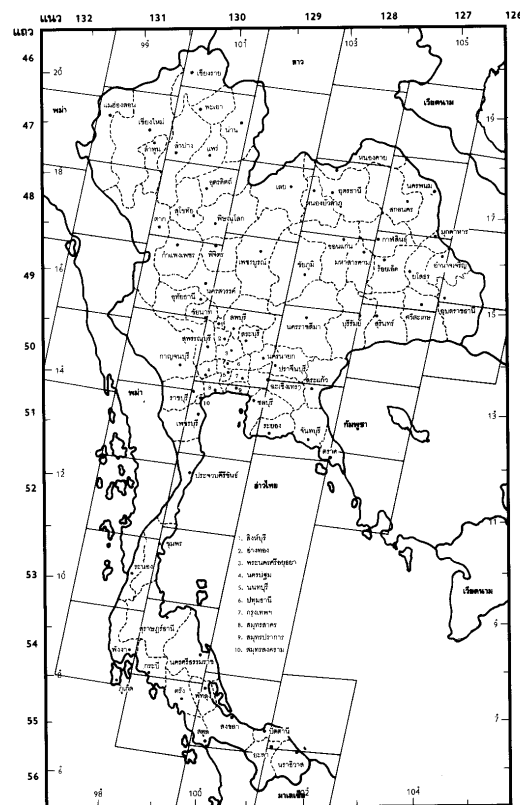
ภาพที่ 4.13 การโคจรของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5

การที่ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีวงโคจรต่ำนั้นเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับระบบบันทึกภาพแบบ Thematic Mapper ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ของภาพเท่ากับ 30 เมตร ระยะระหว่างวงโคจรที่ 1 และที่ 2 ของวันเดียวกันห่างจากกัน 2,752 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตร (ภาพที่ 4.14) และพื้นที่ในระยะห่างนี้จะถูกบันทึกข้อมูลหมดภายในระยะเวลา 16 วัน ดังนั้นดาวเทียมจะโคจรกลับมาที่จุดเดิมทุกๆ 16 วัน และการบันทึกข้อมูลในแนวแรกกับแนวที่สองนั้น ใช้เวลาห่างกันถึง 7 วัน ต่างกับดาวเทียมรุ่นก่อนๆ ซึ่งมีวิธีการโคจรบันทึกข้อมูลในแนวถัดไปต่างกันเพียงวันเดียวเท่านั้น จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า แนวที่โคจรในวันที่ 2 จะห่างออกไปจากแนวโคจรของวันที่ 1 และแนวโคจรของวันที่ 3 จะห่างออกไปอีก ส่วนแนวโคจรของวันที่ 4 ไกลเข้ามา สลับกันเช่นนี้จนกระทั่งวันที่ 8 ซึ่งมีแนวโคจรอยู่ถัดไปจากแนวโคจรของวันที่ 1 นอกจากนี้แต่ละภาพ (Frame) มีการซ้อนเหลื่อมกันด้านข้าง (Sidelap) ประมาณ 7.6 เปอร์เซ็นต์ที่เส้นศูนย์สูตร และเพิ่มขึ้นเมื่อโคจรเข้าสู่ขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน ทั้งนี้เพราะความกว้างของแนวที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูลเท่ากับ 185 กิโลเมตร คงที่ตลอดแนวเหนือ-ใต้

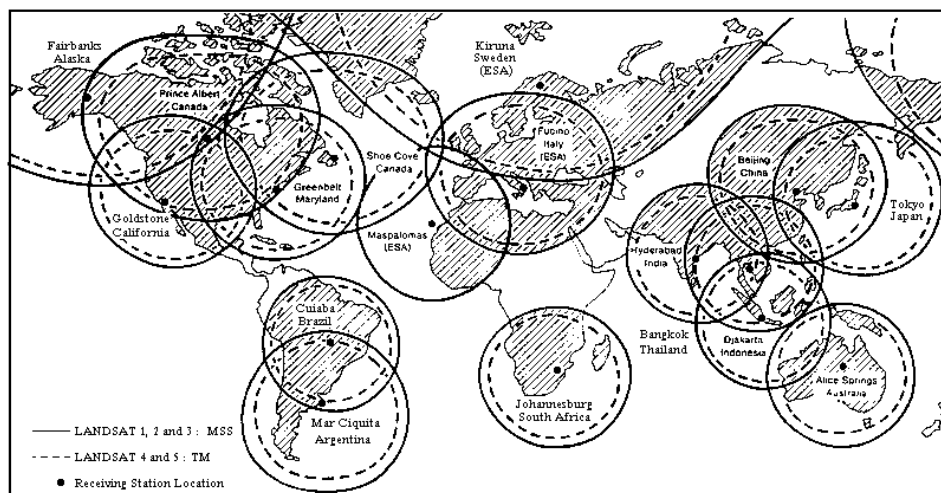


ภาพที่ 4.14 ลักษณะแนวโคจรในหนึ่งวันและลักษณะการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ในวันต่าง ๆ

ด้วยเหตุที่ระยะเวลาของการโคจรครบรอบ (การกลับมายังจุดเดิม) เปลี่ยนเป็นทุก ๆ 16 วัน และมีรัศมีครอบคลุมการถ่ายภาพทั่วโลกจำนวน 233 แนวโคจร (Path) จึงไม่สามารถแบ่งแนวการโคจรให้เป็นไปตามแนวเดิมของระบบสากล (Worldwide Reference System: WRS) ของ LANDSAT ดังก่อนๆ ซึ่งมี 252 แนวได้ ดังนั้นระบบสากล WRS ของ LANDSAT-4 และ 5 จึงมีเพียง 233 Paths โดยเริ่มจาก Path ที่ 001 ตรงบริเวณเส้นศูนย์สูตรที่เส้นแวงที่ 64.95 องศาตะวันตก และเรื่อยไปถึง Path ที่ 233 ส่วนหมายเลขของแถว (Row) ยังคงใช้ระบบเดิมโดย Row ที่ 60 นับจากบนลงมาจะซ้อนกับเส้นศูนย์สูตรพอดี รวมทั้งสิ้น 120 rows (ภาพที่ 4.15 คือแผนที่แสดง WRS numbers ของ LANDSAT-4 และ 5 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย) สำหรับสถานีรับสัญญาณในภาคพื้นดินของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.15 ดัชนีภาพจากดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 บริเวณประเทศไทย (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534)



ภาพที่ 4.16 ตำแหน่งและพื้นที่ครอบคลุมในการรับสัญญาณของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 (Barrett and Curtis, 1995)

อุปกรณ์การบันทึกภาพ (Sensor)

เครื่องบันทึกภาพของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มี 2 ระบบ คือ

1. ระบบเครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner: MSS) และ
2. ระบบทีแมติกแมปเปอร์ หรือ ระบบทำแผนที่เฉพาะกิจ (Thematic Mapper: TM)

ระบบบันทึกข้อมูลทั้งสองระบบใช้การแกว่งของกระจับแสงสะท้อนจากพื้นผิวโลกในแนวระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม

(1) ระบบเครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner: MSS)

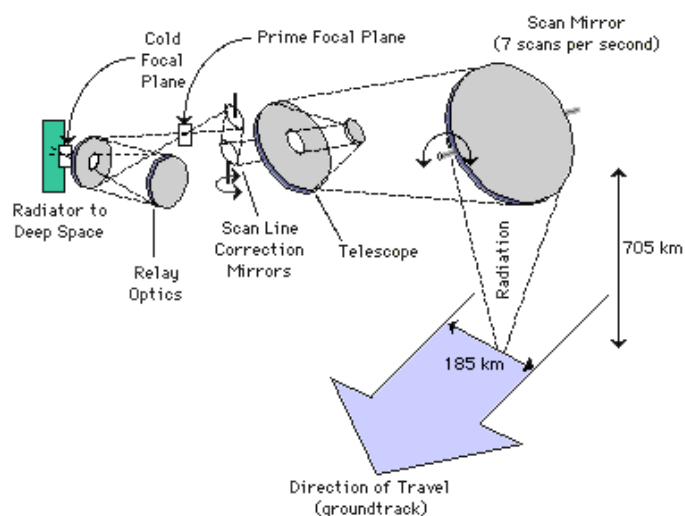
ระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีคุณสมบัติและการทำงานด้านต่าง ๆ เหมือนกับดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 แต่จากการที่ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีวิถีโคจรต่ำกว่า จึงจำเป็นต้องปรับระบบบางอย่างให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ความละเอียดของภาพ หรือ Instantaneous Field of View (IFOV) คือ 80×80 เมตร และภาพหนึ่งให้ครอบคลุมพื้นที่ 185×185 ตารางกิโลเมตรเท่าเดิม

นอกจากนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการเรียงตัวเลขของแบนด์ต่าง ๆ ใหม่ โดยช่วงคลื่นในแบนด์ 4, 5, 6 และ 7 ของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 จะเปลี่ยนเป็นแบนด์ 1, 2, 3 และ 4 ใน LANDSAT 4 และ 5 แต่ความยาวของช่วงคลื่นและคุณสมบัติต่างๆ ยังคงเหมือนเดิม

(2) ระบบธีแมติกแมปเปอร์ (Thematic Mapper: TM)

เป็นระบบ MSS ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อบันทึกรายละเอียดให้ดียิ่งขึ้น คือ มีจำนวนแบนด์มากกว่าและมีความกว้างของช่วงคลื่น (Band width) แคบกว่าระบบ MSS นอกจากนี้ยังมีความละเอียดของภาพถึง 30 เมตร (ยกเว้นแบนด์ 6 ที่มีความละเอียด 120 เมตร) และให้ความถูกต้องทางเรขาคณิตสูงกว่าระบบ MSS ซึ่งสามารถทำให้ศึกษาหรือจำแนกสิ่งต่างๆ ได้ง่ายและละเอียดขึ้น โดยระบบ TM ประกอบด้วย 7 แบนด์ และมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังตารางที่ 4.7

สำหรับดาวเทียม LANDSAT 7 ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) ซึ่งสามารถให้ข้อมูลที่มีคุณสมบัติครบถ้วนเช่นเดียวกับระบบ Thematic Mapper (TM) เพื่อสนองการประยุกต์ใช้งานด้านการเปลี่ยนแปลงของโลกและด้านอื่น ๆ โดยระบบ ETM+ ประกอบด้วยระบบบันทึกข้อมูล 2 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น (Multispectral) จำนวน 7 แบนด์ (เหมือนกับระบบ TM แต่แบนด์ที่ 6 ของระบบ ETM+ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 60 เมตร) และระบบบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic) จำนวน 1 แบนด์ ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 15 เมตร โดยรายละเอียดอย่างง่ายของระบบ ETM+ แสดงในภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 ภาพประกอบอย่างง่าย ๆ ของระบบ ETM+ บนดาวเทียม LANDSAT-7 (USGS, 2003)

ตารางที่ 4.7 ลักษณะการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่บ้านทีกในแต่ละช่วงคลื่นของระบบ TM และ ETM+ ในดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7

แบนด์	ช่วงคลื่น	ความละเอียด	การประยุกต์ใช้
1	0.45-0.52 μm (Blue-Green)	30 m.	สามารถทะลุน้ำได้โดยเฉพาะบริเวณที่ตื้นน้อย เป็นประโยชน์ในการทำแผนที่บริเวณชายฝั่ง แสดงความแตกต่างระหว่างดินและพืชพรรณ ความแตกต่างระหว่างป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบ เช่น ป่าสน (การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์) มีไว้ต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์ และแสดงดินประเภทต่างๆ
2	0.52-0.60 μm (Green)	30 m.	ให้รายละเอียดค่าการสะท้อนสีเขียวเป็นประโยชน์ในการหาอัตราการเจริญเติบโตของพืช (แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวของพืชที่เจริญเติบโตแล้ว) การประเมินความแข็งแรงของพืช (สูงสุดที่ 0.55 ไมโครมิเตอร์) ประเมินการตกตะกอน และสามารถทะลุน้ำที่ค่อนข้างตื้นได้
3	0.63-0.69 μm (Red)	30 m.	ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่างๆ (ช่วยในการแยกชนิดของพืชพรรณ)
4	0.76-0.90 μm (Near IR)	30 m.	ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ (Biomass) แสดงความหนาแน่นของพืชพรรณ และศึกษาความเครียดของพืชพรรณ (เช่น ขาดน้ำ, แมลงทำลาย) รวมทั้งความแตกต่างของส่วนที่เป็นน้ำและไม่ใช่น้ำ
5	1.55-1.75 μm (Short wave IR)	30	ให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียด (stress) และแร่ธาตุ ตลอดจนเป็นประโยชน์ในการแยกความแตกต่างระหว่างหิมะกับเมฆ
6	10.4- 12.5 μm (Thermal IR)	120 m. (60 m เฉพาะ LANDSAT 7)	ใช้หาอุณหภูมิของพื้นผิว จำแนกแหล่งชุมชน จำแนกบริเวณที่ถูกเผาไหม้จากแหล่งน้ำและการหาแหล่งความร้อน ใช้ตรวจการเหี่ยวเฉาอันเนื่องจากความร้อนในพืช แสดงความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.08-2.35 μm (Short wave IR)	30 m.	มีศักยภาพในการจำแนกชนิดของหินในการหาแหล่งแร่ธาตุ จำแนกชนิดของดิน และจำแนกบริเวณหรือแหล่งน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิจาก (Hydrothermally altered zones)
8 (LANDSAT 7)	0.52-0.90 μm (Green - Near IR)	15 m.	ความสามารถถ่ายภาพทางอากาศ เนื่องจากมีความละเอียดของพื้นที่มาก โดยเฉพาะข้อมูลเชิงเส้น ทำให้สามารถนำไปศึกษาด้านการทำแผนที่ได้

สรุป

ลักษณะรูปร่าง การโคจร และระบบการบันทึกสัญญาณต่างๆ ของดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 ค่อนข้างเหมือนกัน แต่ดาวเทียม LANDSAT-4, 5 และ 7 จะมีลักษณะรูปร่าง การโคจร และระบบการบันทึกสัญญาณที่แตกต่างจาก 3 ดวงแรก (ตารางที่ 4.8)

รายละเอียดพื้นฐานที่สำคัญเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างดาวเทียมแลนด์แซทดวงต่างๆ เหล่านี้สามารถสรุปได้คือ

1. ดาวเทียม LANDSAT 1 และ 2 มีรูปร่างลักษณะ และระบบการทำงานต่าง ๆ เหมือนกันทุกประการ
2. ดาวเทียม LANDSAT 3 แตกต่างจากดาวเทียม 2 ดวงแรก คือระบบ RBV จะบันทึกข้อมูลเพียง 1 แบนด์ โดยใช้กล้อง 2 ตัวในการบันทึกข้อมูล และมีแบนด์ 8 (Thermal infrared) เพิ่มขึ้นมาในระบบ MSS แต่ลักษณะรูปร่างของตัวดาวเทียมและระบบการทำงานด้านอื่นๆ ค่อนข้างเหมือนกับ LANDSAT-1 และ 2

3. ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือนกัน แต่แตกต่างจากดวงก่อน ๆ ทั้งในด้านรูปร่างของตัวดาวเทียมและระบบการทำงานต่าง ๆ ข้อแตกต่างที่สำคัญคือการมีระบบ Thematic Mapper เพิ่มขึ้น
4. ดาวเทียม LANDSAT-7 มีองค์ประกอบของวงโคจรทุกอย่างเหมือนกับ LANDSAT-4 และ 5 แต่รูปร่างของตัวดาวเทียมแตกต่างไปจากดาวเทียมทั้ง 2 ดวง เนื่องจากติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบใหม่ คือ ระบบ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

ในปัจจุบันนี้มีแต่ดาวเทียม LANDSAT-5 และ 7 เท่านั้นที่โคจรปฏิบัติการอยู่ สำหรับดาวเทียม LANDSAT-4 ได้หยุดการบันทึกข้อมูลแต่ยังโคจรอยู่ ส่วนดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 หยุดปฏิบัติการไปแล้ว แต่ข้อมูลจากดาวเทียมที่หยุดปฏิบัติการเหล่านี้ยังนำมาใช้ประโยชน์อยู่ปัจจุบัน โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ในอดีตที่ผ่านมา

สำหรับรายละเอียดคุณลักษณะต่างๆ ของดาวเทียม LANDSAT ทั้ง 7 ดวง จะแสดงการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม LANDSAT

ดาวเทียม	องค์ประกอบวงโคจร	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
(Satellite)	(Orbital element)	ชื่อระบบบันทึก (Sensor name)	ช่วงคลื่น/ความถี่ (spectrum/frequency)	ความละเอียด (Resolution)	ความกว้าง ของภาพ (Swath width)
LANDSAT-1 (1972) LANDSAT-2 (1975) (USA)	Sun sync. Alt. : 915 km. Inc. : 99° Recurrent : 18 days	MSS (Multispectral Scanner System)	0.5-0.6 μm 0.6-0.7 μm 0.7-0.8 μm 0.8-1.1 μm	80 m.	185 km.
		RBV (Return Beam Vidicon Camera)	0.475-0.575 μm 0.580-0.680 μm 0.690-0.830 μm	80 m.	
LANDSAT-3 (1978) (USA)	Sun sync. Alt. : 915 km. Inc. : 99° Recurrent : 18 days	MSS (Multispectral Scanner System)	0.5-0.6 μm 0.6-0.7 μm 0.7-0.8 μm 0.8-1.1 μm	80 m.	185 km.
			10.4-12.6 μm	237 m.	
		RBV	0.505-0.750 μm	38 m.	98 x 2 km.

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ดาวเทียม (Satellite)	องค์ประกอบวงโคจร (Orbital element)	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
		ชื่อระบบบันทึก (Sensor name)	ช่วงคลื่น/ความถี่ (spectrum/frequency)	ความละเอียด (Resolution)	ความกว้าง ของภาพ (Swath width)
LANDSAT-4 (1982) LANDSAT-5 (1984) (USA)	Sun sync. Alt. : 705 km. Inc. : 98° Recurrent : 16 days	TM (Thematic Mapper)	0.45-0.52 μm	30 m.	185 km.
			0.52-0.60 μm		
			0.63-0.69 μm		
			0.76-0.90 μm		
			1.55-1.75 μm		
LANDSAT-7 (1999) (USA)	Sun sync. Alt. : 705 km. Inc. : 98° Recurrent : 16 days	MSS (Multispectral Scanner System)	2.08-2.35 μm	80	185 km.
			10.4- 12.5 μm		
			0.5-0.6 μm		
			0.6-0.7 μm		
			0.7-0.8 μm		
LANDSAT-7 (1999) (USA)	Sun sync. Alt. : 705 km. Inc. : 98° Recurrent : 16 days	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	0.8-1.1 μm	30 m.	185 km.
			0.45-0.52 μm		
			0.52-0.60 μm		
			0.63-0.69 μm		
			0.76-0.90 μm		
LANDSAT-7 (1999) (USA)	Sun sync. Alt. : 705 km. Inc. : 98° Recurrent : 16 days	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	1.55-1.75 μm	60 m.	185 km.
			2.08-2.35 μm		
			10.4- 12.5 μm		
LANDSAT-7 (1999) (USA)	Sun sync. Alt. : 705 km. Inc. : 98° Recurrent : 16 days	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	0.50-0.90 μm	13m.x15 m.	185 km.
			0.50-0.90 μm		

4.4.2 ดาวเทียม SPOT

จากความสำเร็จของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกดวงต่างๆ คือ ดาวเทียม NOAA, NIMBUS และ LANDSAT ทำให้การพัฒนาดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติก้าวหน้ายิ่งขึ้น โดยมีหลายประเทศได้พยายามค้นคว้าและพัฒนาวิธีการเก็บบันทึกข้อมูลโดยสร้างเครื่องมือชนิดใหม่ๆ ขึ้นมา นอกจากประเทศสหรัฐอเมริกาแล้ว ประเทศฝรั่งเศสได้มีการพัฒนาดาวเทียมด้านการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยเช่นกัน คือ ดาวเทียม SPOT (Le System Probatoire d'Observation de la Terre) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่อยู่ในความรับผิดชอบขององค์การอวกาศฝรั่งเศส (Centre National d'Etudes Spatiales หรือ French Space agency, CNES) ร่วมกับประเทศในกลุ่มยุโรปซึ่งได้แก่ เบลเยียม และสวีเดน โดยโครงการนี้เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2521 การพัฒนาของดาวเทียมดวงนี้คือ การบันทึกข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถปรับทิศทางการบันทึกข้อมูลได้หลายแนวโคจรหรือมีความสามารถในการถ่ายภาพแนวเฉียง ทำให้สามารถนำมาศึกษาในลักษณะสามมิติได้

สำหรับองค์การอวกาศฝรั่งเศส (The French National Space Agency: CNES, Center National d' Etudes Spatiales) ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2505 อยู่ภายใต้กระทรวงอุตสาหกรรมและกระทรวงวิจัยและเทคโนโลยีแห่งฝรั่งเศส มีสำนักงานใหญ่ที่กรุงปารีส มีสถาบันจรวดเพื่อการส่งดาวเทียมอยู่ที่เมือง Evry มีศูนย์วิจัยทางด้านเทคนิคในภาคใต้ของฝรั่งเศสที่เมือง

Toulouse ฐานปล่อยจรวดอยู่ที่เมือง Kourou ประเทศ French Guiana นอกจากนี้รัฐบาลฝรั่งเศสได้ชักนำภาคเอกชนมาร่วมดำเนินงานด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการดาวเทียม SPOT รัฐบาลฝรั่งเศสได้มอบหมายให้บริษัท SPOT IMAGE จำกัด เป็นผู้ดำเนินการด้านการขายข้อมูลและประสานงานกับสถานีรับสัญญาณดาวเทียมของฝรั่งเศสทั่วโลก การนำบริษัทเอกชนมาร่วมทำโครงการนี้เพื่อมุ่งหวังให้โครงการประสบผลสำเร็จด้านธุรกิจอันจะส่งผลผลักดันให้โครงการส่งดาวเทียมดวงต่อมาประสบผลสำเร็จตามที่ได้ออกหมายไว้ สำหรับเป้าหมายของการพัฒนาดาวเทียม SPOT คือ

- (1) เพื่อพัฒนาระบบการเก็บบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น
- (2) เพื่อจัดเตรียมข้อมูลและให้บริการข้อมูลที่เป็นพื้นฐานในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติแก่ผู้ใช้บริการทั่วโลก
- (3) ทดสอบการใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายเฉื่อย เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงบนพื้นโลก
- (4) เสริมสร้างสมรรถนะดาวเทียมให้สามารถถ่ายภาพสามมิติได้เพื่อนำภาพมาใช้ในการแปลความหมายเพื่อการวางแผน
- (5) เพื่อพัฒนาระบบดาวเทียมให้เหมาะต่อการใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

องค์การอวกาศฝรั่งเศส (CNES) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากร SPOT ขึ้นสู่วงโคจรไปแล้วทั้งหมด 5 ดวง ได้แก่ SPOT-1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยดาวเทียม SPOT-1 ได้หยุดปฏิบัติการแล้วในปี พ.ศ.2533 ส่วนดาวเทียม SPOT-3 หลังจากส่งขึ้นสู่วงโคจรได้ 3 ปี ได้สูญหายไปสู่อวกาศ แต่เนื่องจากความต้องการในการใช้ข้อมูลเพิ่มขึ้นจึงนำดาวเทียม SPOT-1 เข้าสู่การปฏิบัติการอีกครั้งในปี พ.ศ.2540 ดังนั้นปัจจุบันจึงมีดาวเทียม SPOT อยู่ในวงโคจรทั้งหมด 4 ดวง คือ ดาวเทียม SPOT-1, 2, 4 และ 5 สำหรับกำหนดการส่งดาวเทียม SPOT ขึ้นสู่วงโคจรแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 กำหนดการส่งดาวเทียมชุด SPOT ขึ้นสู่วงโคจร และระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้ง

ดาวเทียม	วันส่งขึ้นโคจร	วันหยุดปฏิบัติการ	ระบบบันทึกข้อมูล
SPOT-1	22 กุมภาพันธ์ 2529	ยังคงปฏิบัติการอยู่	HRV
SPOT-2	22 มกราคม 2533	ยังคงปฏิบัติการอยู่	HRV
SPOT-3	26 กันยายน 2536	14 พฤศจิกายน 2539	HRV
SPOT-4	24 มีนาคม 2541	ยังคงปฏิบัติการ อยู่	HRVIR, Vegetation
SPOT-5	4 พฤษภาคม 2545	ยังคงปฏิบัติการ อยู่	HRG*, HRS, Vegetation

*HRG คือระบบบันทึกข้อมูล High Resolution Geometry

ลักษณะรูปร่างโดยทั่วไป (General Feature)

ลักษณะรูปร่างโดยทั่วไปของดาวเทียม SPOT-1 ถึง 3 มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมทำด้วยส่วนผสมของทอง ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ในอวกาศ มีขนาด $2 \times 2 \times 4.5$ เมตร และมีแผงรับแสงอาทิตย์ยาวประมาณ 15.60 เมตร รวมน้ำหนักทั้งสิ้น 1,750 กิโลกรัม โดยออกแบบให้มีอายุการใช้งานมากกว่า 3 ปีขึ้นไป (ภาพที่ 4.18) ส่วนดาวเทียม SPOT-4 และ 5 มีการออกแบบตัวดาวเทียมใหม่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงกว่า โดยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Payload) และอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Onboard data storage) ที่ติดตั้งบนตัวดาวเทียมได้รับการพัฒนาและได้เพิ่มเติมระบบบันทึกข้อมูลจากที่ติดตั้งบนดาวเทียม 3 ดวงแรก ซึ่งมีขนาด $2 \times 2 \times 5.6$ เมตร น้ำหนักรวมทั้งสิ้น 2,755 กิโลกรัม และออกแบบให้มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปีขึ้นไป

สำหรับดาวเทียม SPOT ทั้ง 5 ดวง ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ

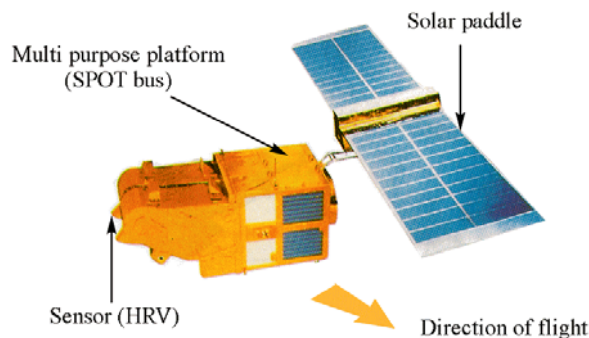
1) Multi-Mission Platform

ได้รับการออกแบบให้ติดตั้งเครื่องมือหลาย ๆ ชิ้น ที่ใช้สำหรับควบคุมการโคจรและการทำงานของดาวเทียมทั้งสิ้น ได้แก่ Solar Panel, Power Supply Unit, Attitude Control Unit, Command Reception Unit, Telemetry Transmission Unit และ Monitoring and Programming Unit

โดยแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar panel) จะทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงแดดให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่จะส่งไปยังส่วนควบคุมและจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power supply unit) ไปยังหน่วยงานอื่น ๆ ส่วนหน่วยที่ทำหน้าที่ควบคุมการโคจร (Attitude control unit) จะรวมไปถึงการปรับทิศทาง วิถีโคจร ตลอดจนการจัดวางตัวดาวเทียมให้อยู่ในสภาพสมดุล ไม่ให้เกิดอาการแกว่งตลอลอายุการทำงาน นอกจากนี้ดาวเทียม SPOT ยังมีหน่วยงาน (Command reception unit) ที่สามารถรับคำสั่งจากสถานีควบคุมภาคพื้นดินได้ แต่โดยปกติแล้วดาวเทียมจะทำหน้าที่โดยอัตโนมัติด้วยระบบติดตามและควบคุมการทำงาน (Monitoring and programming unit) ซึ่งได้รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม

1.2) Pay Load

เครื่องมือในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้วยเครื่องตรวจจับ (Identical High Resolution Visible, HRV) จำนวน 2 กล้อง, เครื่องบันทึกเทป (Tape Recorder or onboard data storage) จำนวน 2 ตัว และเครื่องส่งข้อมูลมายังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน (Data Transmission System) สำหรับเครื่องมือในการเก็บบันทึกข้อมูล หรือ กล้องเก็บบันทึกข้อมูลเป็นการเก็บบันทึกข้อมูลภาพในเทปแม่เหล็ก แล้วส่งผ่านข้อมูลมายังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินโดยตรง ซึ่งใช้ช่วงคลื่นที่มีความถี่ประมาณ 8.253 GHz (X-Band)



ภาพที่ 4.18 ดาวเทียม SPOT-1 ถึง 3 (ศูนย์รีโมทเซนซิงและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ภาคใต้, 2542)

การโคจร

ดาวเทียม SPOT-1 ถึง 5 จะมีองค์ประกอบของวงโคจร (orbital element) ที่เหมือนกัน คือ มีลักษณะการโคจรแบบ Sun-Synchronous โดยโคจรรอบโลกแนวเหนือ-ใต้ มุมระนาบการโคจรที่ทำกับดวงอาทิตย์จะคงที่ตลอดอายุการทำงานของดาวเทียม ทำให้เวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านจุดใดจุดหนึ่งบนพื้นโลกจะคงที่เสมอ ส่วนระยะเวลา ณ จุดนั้นๆ ขึ้นอยู่กับเวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านและเวลาที่ท้องถิ่นที่แปรเปลี่ยนตามเส้นลองจิจูด เวลาปกติที่ดาวเทียมโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรคือ 10.30 น. ขณะโคจรตัวดาวเทียมจะเอียงทำมุมประมาณ 98.7 องศา โดยโคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 830 กิโลเมตร (822 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตร)

โคจรรอบโลกใช้เวลา (Orbital period) 101.4 นาที หรือโคจรรอบโลก 14 5/26 รอบ ทำให้โคจรกลับมาบริเวณเดิมทุก 26 วัน และครอบคลุมการบันทึกข้อมูลระหว่างละติจูดที่ 87 องศาเหนือ-ใต้ โดยมีแนวโคจรรอบโลกทั้งสิ้น 369 แนวโคจร

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ดาวเทียม SPOT-1 ถึง 3 มีอุปกรณ์บันทึกภาพเหมือนกัน คือ HRV (High Resolution Visible) ประกอบด้วยกล้องจำนวน 2 กล้อง โดยแต่ละกล้องมีการทำงานได้ 2 ระบบ คือ

- (1) ระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Liner Array: XS) ตั้งแต่ช่วงคลื่น Visible ถึงช่วงคลื่น Near Infrared จำนวน 3 แบนด์ โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 20 เมตร
- (2) ระบบช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic Liner Array: P) จำนวน 1 แบนด์ โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 10 เมตร

ดาวเทียม SPOT-4 มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ได้รับการพัฒนาและเพิ่มเติม ได้แก่ อุปกรณ์ HRVIR (High Resolution Visible and Infrared) และ Vegetation (Vegetation Instrument) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) HRVIR (High Resolution Visible and Infrared)

เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาจากอุปกรณ์ HRV ที่ติดตั้งบนดาวเทียม SPOT-1 ถึง 3 เพื่อให้สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น Near Infrared ได้ โดยมีการบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่นรวม 4 แบนด์ คือ ช่วงคลื่น Visible ถึงช่วงคลื่น Near Infrared จำนวน 3 แบนด์ และช่วงคลื่น Short Wave Infrared จำนวน 1 แบนด์ โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 20 เมตร นอกจากนี้ยังบันทึกข้อมูล Panchromatic จำนวน 1 แบนด์ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 10 เมตร

ข้อมูลช่วงคลื่น Short Wave Infrared (SWIR) ที่เพิ่มขึ้น ในระบบ HRVIR ของดาวเทียม SPOT 4 สามารถแยกความแตกต่างของสิ่งปกคลุมดินได้ดีขึ้น โดยสามารถแบ่งแยกพืชพรรณออกจากดินได้ดีขึ้น เพื่อสนองความต้องการในการประยุกต์ใช้ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม การเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งน้ำชัดเจนขึ้น

(2) VEGETATION (Vegetation Instrument)

เป็นอุปกรณ์ชนิดใหม่ที่ตั้งเพิ่มเติมนบนดาวเทียม SPOT-4 ได้รับการพัฒนาโดยการสนับสนุนจากสหภาพยุโรป, เบลเยียม, อิตาลี และสวีเดน วัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณและสิ่งแวดล้อมบนพื้นดิน โดยบันทึกข้อมูลพืชเป็นมุมกว้าง (Wide angle vegetation instrument) เป็นบริเวณถึง 2,250 กิโลเมตร ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลได้ครอบคลุมเกือบทั่วโลกภายในเวลา 1 วัน (บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะมีการบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 2 วัน บริเวณเหนือเส้นละติจูดที่ 35 องศาขึ้นไป จะมีการบันทึกข้อมูลซ้ำทุกวัน) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) เท่ากับ 1 กิโลเมตร จึงเหมาะสำหรับการศึกษาภาพรวมในระดับโลกหรือภูมิภาคด้านการพยากรณ์พืชพรรณหรือการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน สำหรับอุปกรณ์ Vegetation จะบันทึกข้อมูลรวม 4 แบนด์ โดยช่วงความกว้างของแบนด์ (Spectral resolution) เท่ากันกับอุปกรณ์ HRVIR แต่แตกต่างกันที่อุปกรณ์ Vegetation จะเพิ่มการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (band 0) โดยจะไม่มีการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นสีเขียว (band 1) และข้อมูล Panchromatic

สำหรับดาวเทียม SPOT-5 ยังคงรักษาความสามารถในการบันทึกช่วงคลื่นของระบบบันทึกข้อมูลแบบ HRVIR และ อุปกรณ์ VEGETATION ที่มีในดาวเทียม SPOT-4 เอาไว้ โดยระบบ HRVIR ได้พัฒนาไปเป็น อุปกรณ์ HRG (High Resolution Geometric) ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่ง (Absolute precision of location) ในอาณาเขต 50 เมตร (ดีกว่า 50 เมตร) ที่ปราศจากการใช้จุดควบคุมทางภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) โดยมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล 5 เมตร และ 2.5 เมตร สำหรับข้อมูล Panchromatic และ ข้อมูล Supermode Panchromatic ตามลำดับ ดาวเทียม SPOT 5 ได้ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเพิ่มเติม คือ อุปกรณ์ HRS (High Resolution Stereoscopic) ที่สามารถให้ข้อมูลสำหรับการทำ Stereoscopy เพื่อผลิตแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEMs) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่กว้างและให้ข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 15 เมตร

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลในดาวเทียม SPOT-1 ถึง 5 แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม SPOT-1 ถึง SPOT-5

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (μm)	SPOT-1 ถึง 3	SPOT-4		SPOT-5
		HRV (resolution)	HRVIR (resolution)	VEGETATION (resolution)	HRG (resolution)
B0 (blue) (for atmospheric correction)	0.43-0.47	-	-	1 km.	
B1 (green)	0.50-0.59	20 m.	20 m.	-	10 m.
B2 (red)	0.61-0.68	20 m.	20 m.	1 km.	10 m.
B3 (near IR)	0.79-0.89	20 m.	20 m.	1 km.	10 m.
SWIR (or mean infrared)	1.58-1.75	-	20 m.	1 km.	10 m.
Panchromatic (green-NIR)	0.49-0.69	10 m.	10 m.	-	5 m. และ 2.5 m. (Supermode)

ระบบการบันทึกข้อมูล

อุปกรณ์ HRV ในดาวเทียม SPOT 1 ถึง 3 อุปกรณ์ HRVIR ในดาวเทียม SPOT-4 และ อุปกรณ์ HRG ในดาวเทียม SPOT-5 (ภาพที่ 4.19) มีระบบการบันทึกภาพเหมือนกันคือ อุปกรณ์บันทึกภาพทั้ง 3 แบบ จะประกอบด้วยกระจกที่ทำหน้าที่บังคับทิศทางของพลังงานที่สะท้อนมาจากวัตถุบนพื้นโลก โดยสามารถปรับมุมเอียงได้ ± 27 องศา ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ระบบ คือ

(1) การบันทึกภาพแนวตั้ง (Nadir Viewing)

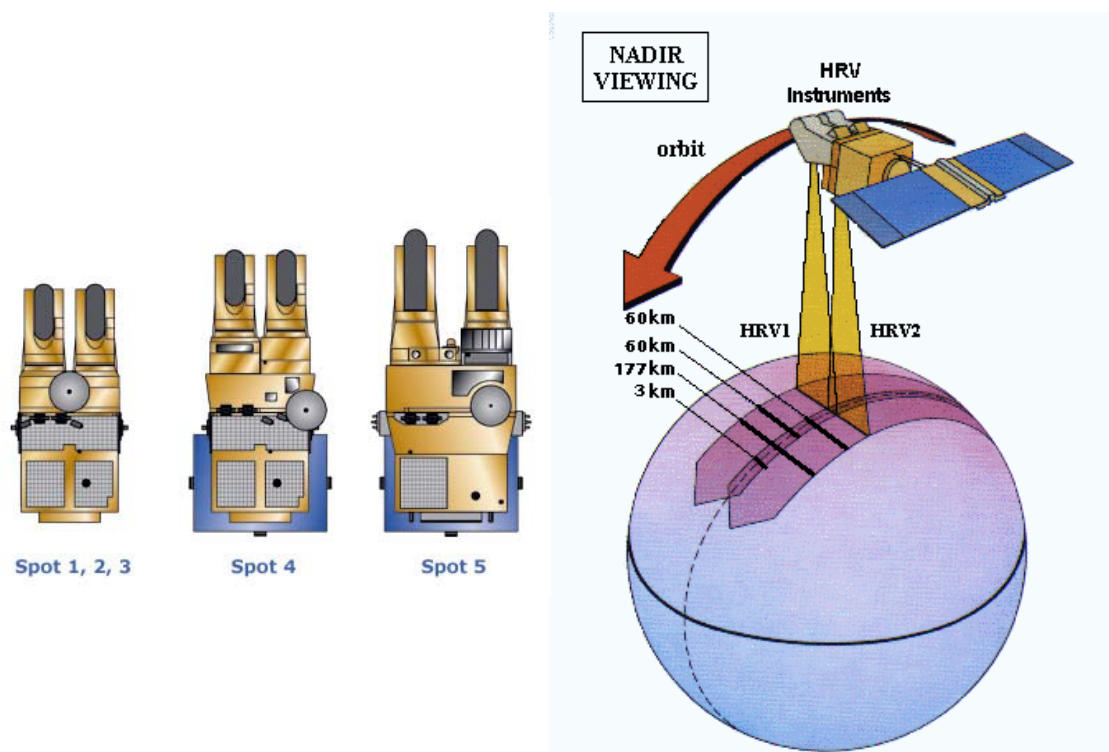
กล้องแต่ละตัวของอุปกรณ์ HRV และ HRVIR จะครอบคลุมพื้นที่กว้าง 60 กิโลเมตรบนพื้นผิวโลก และสามารถบันทึกภาพโดยใช้กล้องบันทึกข้อมูลทั้ง 2 ตัวพร้อมกัน ซึ่งในลักษณะเช่นนี้จะทำให้แนวบันทึกภาพทั้งหมดมีความกว้าง 117 กิโลเมตร เนื่องจากมีพื้นที่ซ้อนทับกันด้านข้าง (Sidelap) 3 กิโลเมตร (ภาพที่ 4.19)

(2) การบันทึกภาพแนวเอียง (Off Nadir Viewing)

เป็นลักษณะพิเศษของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบนี้ โดยกระจกที่ทำหน้าที่สะท้อนพลังงานสามารถปรับมุมได้ถึง ± 27 องศาตะวันออกและตะวันตก จากแนวตั้ง (Nadir Viewing) (ภาพที่ 4.20) โดยปรับแบ่งออกเป็น 45 ขั้นๆ ละ 0.6 องศา ซึ่ง

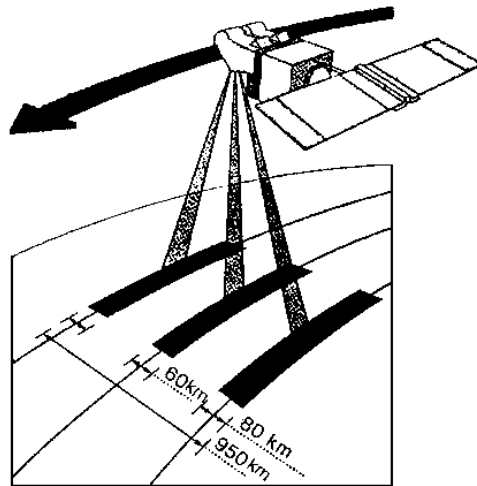
สามารถควบคุมได้จากสถานีความคุมภาคพื้นดิน ดังนั้นจึงสามารถเลือกพื้นที่เป้าหมายได้ในช่วง 950 กิโลเมตรจากแนวโคจรของดาวเทียมในขณะนั้น นอกจากนี้ภาพเพียงที่ได้จะครอบคลุมพื้นที่เป็นแนวยาวที่มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นตามมุมเอียงของแกนกล้องที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ เมื่อมีมุมเอียง 27 องศาจากแนวตั้ง ภาพจะมีความกว้างประมาณ 80 กิโลเมตร (ภาพที่ 4.20 ถึงภาพที่ 4.23) ซึ่งลักษณะการทำงานดังกล่าวมีประโยชน์ ดังนี้

1. สามารถเลือกพื้นที่เป้าหมายได้ตามต้องการ
2. ลดช่วงเวลาถ่ายภาพบริเวณเดิมให้สั้นลง โดยไม่ต้องรอให้ดาวเทียมโคจรผ่านบริเวณนั้น ๆ และลดช่วงเวลาในการถ่ายทำในแนวโคจรข้างเคียงด้วย
3. สามารถศึกษา ติดตาม ประเมินผลความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันได้อย่างทันท่วงที เช่น ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว หรือน้ำท่วม เป็นต้น
4. สามารถหลีกเลี่ยงการบันทึกข้อมูลบริเวณที่ไม่ต้องการได้ เช่น บริเวณที่มีเมฆปกคลุมมาก เป็นต้น
5. ข้อมูลภาพบริเวณเดียวกัน สามารถบันทึกภาพได้จากหลายมุมหรือหลายแนวโคจร ทำให้สามารถนำมาศึกษาในลักษณะสามมิติได้ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการทำแผนที่อย่างยิ่ง (ภาพที่ 4.22)

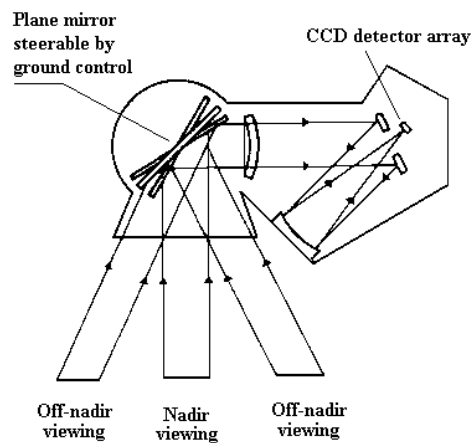


ภาพที่ 4.19 การบันทึกข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 กล้องในแนวตั้งของอุปกรณ์บนดาวเทียม SPOT-1 ถึง 3 (SPOT IMAGE, 2002)

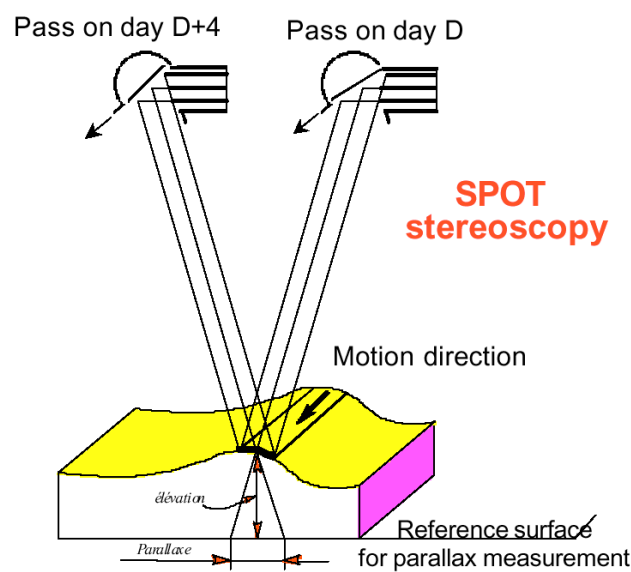
จากการโคจรของดาวเทียม SPOT ที่กลับมามบันทึกภาพบริเวณเดิมทุก 26 วัน ในระบบการบันทึกแบบแนวตั้ง (Nadir Viewing) ทำให้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันบนพื้นโลกอาจไม่ทันท่วงที แต่โดยคุณสมบัติพิเศษของการบันทึกข้อมูลแนวเฉียงทำให้สามารถบันทึกข้อมูลข้ามแนวโคจรได้ถึง 7 แนวในบริเวณเส้นศูนย์สูตร และ 11 แนวโคจรในเขตละติจูดที่ 45 องศาเหนือ-ใต้ (ภาพที่ 4.23) ฉะนั้นการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่สนใจ สามารถดำเนินได้จากข้อมูลบริเวณนั้น ทุกๆ 5 วัน (ภาพที่ 4.24)



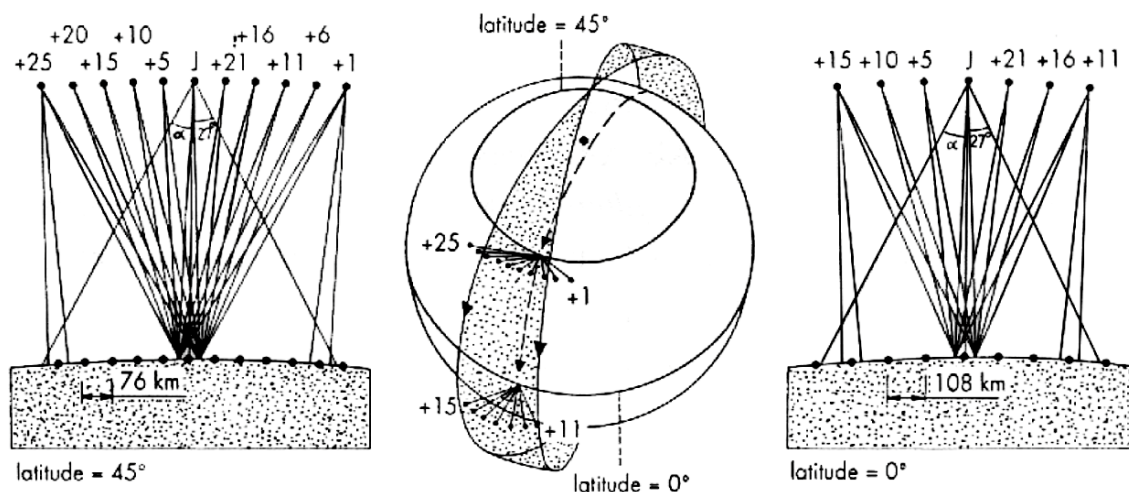
ภาพที่ 4.20 การปรับเอียงมุมของกระจกได้ถึง $\pm 27^\circ$ องศาจากแนวตั้ง เพื่อบันทึกภาพในแนวเฉียง (สมพร, 2543)



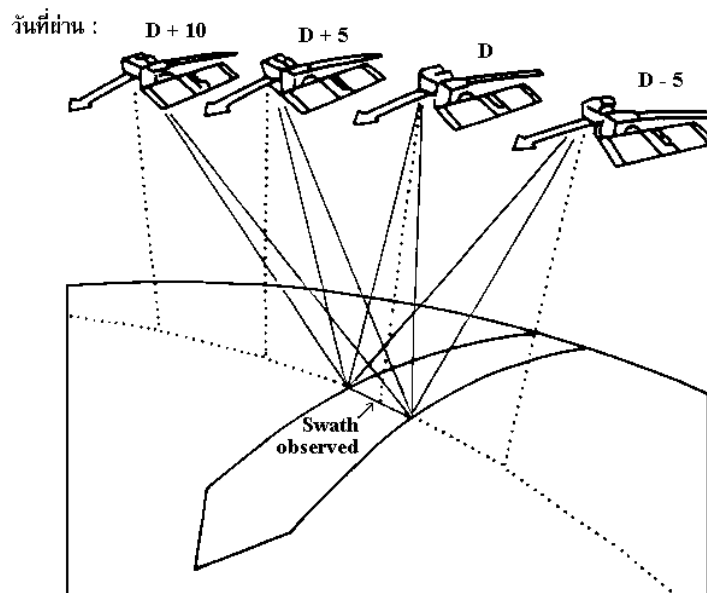
ภาพที่ 4.21 แสดงการบันทึกข้อมูลแนวเฉียง ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้บริเวณกว้างเพิ่มขึ้น (Japan Association on Remote Sensing, 1993)



ภาพที่ 4.22 ระบบการถ่ายภาพแนวเฉียงที่บันทึกภาพพื้นที่เดียวกันจาก 2 แนวโคจรทำให้สามารถศึกษาภาพสามมิติได้ (Myrian, 2001)



ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการกลับมาบันทึกภาพได้ถึง 7 แนวโคจรที่เส้นศูนย์สูตร และ 11 แนวโคจรที่ละติจูดที่ 45 องศา (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534)



ภาพที่ 4.24 ความสามารถในการบันทึกภาพในบริเวณพื้นที่เดียวกันได้ทุกๆ 5 วัน (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

การรับสัญญาณข้อมูล (Data Acquisition)

ดาวเทียม SPOT-4 จะส่งสัญญาณข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์บันทึก HRVIR และ Vegetation มายังสถานีรับภาคพื้นดิน ด้วยคลื่นความถี่ X-band (8.025-8.40 GHz) สัญญาณข้อมูลสามารถส่งได้ทันที (Real Time) ขณะที่ดาวเทียมโคจรอยู่เหนือออร์บิตีทำการของสถานีรับสัญญาณประมาณ 2500 กิโลเมตรจากตำแหน่งสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน สำหรับภาพที่ 4.25 แสดงตำแหน่งและขอบเขตการรับสัญญาณของสถานีรับภาคพื้นดิน

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูลอยู่นอกเขตรับสัญญาณของสถานีภาคพื้นดิน ข้อมูลที่ถูกบันทึกด้วยอุปกรณ์ HRVIR สามารถเก็บไว้บนดาวเทียมได้ถึง 120 Gbit โดยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม (Onboard data storage) สำหรับการข้อมูล Vegetation บน Onboard data storage สามารถเก็บข้อมูลได้ 3 Gbit แล้วถ่ายทอดข้อมูลมายังสถานีรับสัญญาณในภายหลัง



ภาพที่ 4.25 แสดงตำแหน่งและรัศมีการับสัญญาณของสถานีรับภาคพื้นดินของดาวเทียม SPOT-5 (European Aeronautic Defense and Space Company, 2003)

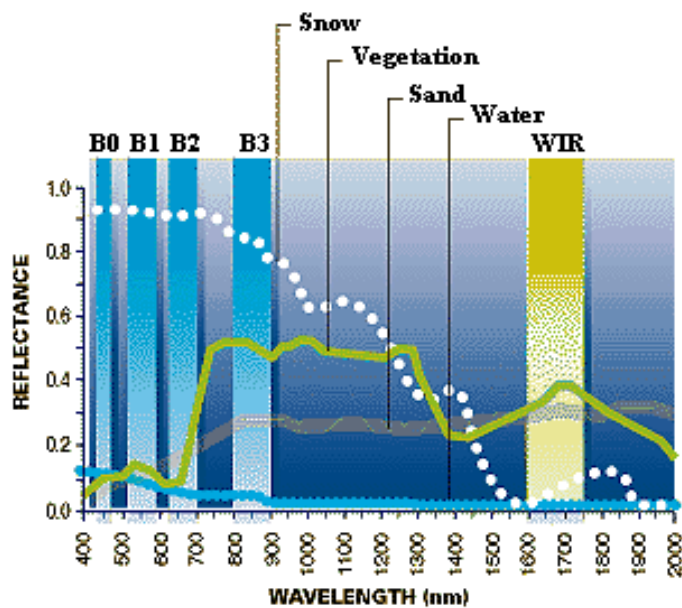
การประยุกต์ใช้ข้อมูล (Application)

ข้อมูลดาวเทียม SPOT ทั้ง 5 ดวง มีความละเอียดเชิงพื้นที่ดีกว่าดาวเทียม LANDSAT ทั้งในระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Mode) และระบบช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic) โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 20 เมตร และ 10 เมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น Thermal Infrared อย่างไรก็ตามสมรรถนะของระบบ HRV และ HRVIR ที่สำคัญประการหนึ่งคือ สามารถถ่ายภาพแนวเฉียงและนำมาศึกษาในลักษณะ 3 มิติ ซึ่งทำให้ได้รายละเอียดด้านความลึกและความสูงของวัตถุ สำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้จากระบบ VEGETATION สามารถให้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นผิวโลกทั้งหมดได้เพียงภายในวันเดียว โดยทั่วไปแล้วข้อมูลจาก SPOT สามารถถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น การสำรวจพื้นที่และแยกชนิดของสังคมป่า การติดตามไฟป่าและน้ำท่วม การทำแผนที่การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา อุทกวิทยา แหล่งน้ำ สมุทรศาสตร์และชายฝั่ง การพังทลายและการตกตะกอน การทำแผนที่พืชพรรณระดับภูมิภาค ติดตามการประเมินผลสิ่งแวดล้อมและมลภาวะ การขยายตัวเมืองและการตั้งถิ่นฐาน ตลอดจนการสร้างความสามมิติ เป็นต้น

สำหรับการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT จะแสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของแบนด์ต่างๆ ในดาวเทียม SPOT กับ ลักษณะการสะท้อนพลังงานของวัตถุบางชนิด

ตารางที่ 4.11 การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ HRV HRVIR และ HRG ของดาวเทียม SPOT-1 ถึง SPOT-5

แบนด์	ช่วงคลื่น	ความละเอียด	การประยุกต์ใช้
1	0.50-0.59 μm (Green)	20 m. และ 10 m.	เป็นช่วงคลื่นที่พืชสะท้อนแสงได้ดี และสามารถนำมาใช้ในการศึกษาความชุ่มชื้นของน้ำอันเป็นผลมาจากตะกอน
2	0.61-0.68 μm (Red)	20 m. และ 10 m.	ดูดกลืนคลอโรฟิลล์สูงทำให้เหมาะสมต่อการศึกษความแตกต่างในพืชและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ
3	0.79-0.89 μm (Near IR)	20 m. และ 10 m.	เป็นช่วงคลื่นที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ดีที่สุด และเป็นช่วงคลื่นที่พืชสะท้อนพลังงานได้ดีที่สุด, สามารถนำมาศึกษาสภาพภูมิประเทศ, ดิน และธรณีวิทยา, เห็นความแตกต่างระหว่างแผ่นดินและน้ำชัดเจน
4 (SPOT-4 และ 5)	1.55-1.75 μm (SWIR)	20 m. และ 10 m.	ใช้ร่วมกับแบนด์อื่น เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการแยกพืชพรรณ, ดิน และศึกษาธรณีวิทยา
Panchromatic	0.51-0.73 μm (Green-NIR)	10 m. และ 5 m.	ความสามารถคล้ายภาพถ่ายทางอากาศ เนื่องจากมีความละเอียดของพื้นที่มาก โดยเฉพาะข้อมูลเชิงเส้น ทำให้สามารถนำไปศึกษาด้านการทำแผนที่ได้



ภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของแบนด์ต่างๆ ในดาวเทียม SPOT กับ ลักษณะการสะท้อนพลังงานของวัตถุบางชนิด

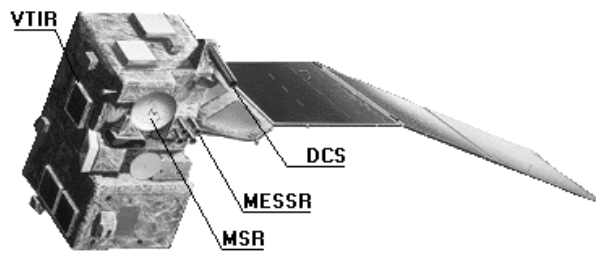
4.4.3 ดาวเทียม MOS (Marine Observation satellite)

องค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติ (National Space Development Agency: NASDA) ประเทศญี่ปุ่นได้จัดตั้งศูนย์สำรวจพื้นพิภพ (Earth Observation Centre) ขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2521 เพื่อรับสัญญาณและวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT, SPOT และได้ศึกษาทดลอง ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรทะเล (Marine Observation satellite) ที่ได้รับการออกแบบเพื่อศึกษาเทคโนโลยีพื้นฐานทางด้านการสำรวจทรัพยากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับสภาพของทะเลและชั้นบรรยากาศ ด้วยอุปกรณ์ไมโครเวฟและอุปกรณ์ถ่ายภาพในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น คือ ดาวเทียม MOS-1 (Marine Observation satellite-1, Momo-1) ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2530 ซึ่งถือได้ว่าเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกดวงแรกของประเทศญี่ปุ่น ต่อมาในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2533 ส่งดาวเทียมดวงที่สอง คือ MOS-1b (Marine Observation satellite-1b, Momo-1b) ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการกับ MOS-1 ก็ได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรเพื่อปฏิบัติงานต่อเนื่องจากดวงแรก

วัตถุประสงค์เบื้องต้นของดาวเทียมชุด MOS คือ เพื่อสำรวจภาคพื้นทะเลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทางด้านกระแสน้ำ อุณหภูมิของกระแสน้ำ ตะกอน ใต้น้ำ พืชพรรณ ลักษณะทางธรณี นอกจากนี้ยังรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของ เมฆ และ ใต้น้ำในชั้นบรรยากาศอีกด้วย สำหรับปัจจุบันดาวเทียม MOS ทั้ง 2 ดวงได้หยุดปฏิบัติการและหยุดส่งสัญญาณข้อมูลมายังพื้นโลกแล้ว โดยดาวเทียม MOS-1 สิ้นสุดการปฏิบัติการ (Operation end date) เมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2538 และ ดาวเทียม MOS-1b สิ้นสุดการปฏิบัติการเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2539

รูปร่างลักษณะ

ดาวเทียม MOS ทั้ง 2 ดวง มีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยม (Box type) ขนาด 1.26 x 1.48 x 2.4 เมตร มีแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar cell paddle) 1 อัน ขนาด 2.0 x 5.28 เมตร มีน้ำหนักรวมประมาณ 740 กิโลกรัม โดยออกแบบให้มีอายุการใช้งาน (Design life) 2 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 ดาวเทียม MOS-1 และ MOS-1b (ซัตน์, 2540)

การโคจร

ดาวเทียมชุด MOS โคจรสูงจากพื้นโลก 909 กิโลเมตร ตามแนวเหนือ-ใต้ ในลักษณะโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous subrecurrent orbit) ทำมุมเอียง 99 องศา โดยโคจรผ่านเพื่อการบันทึกข้อมูล ระหว่างเวลาท้องถิ่น ณ เส้นศูนย์สูตรที่เวลาประมาณ 10.00-11.00 น. ของทุกวัน และจะโคจรกลับมาบันทึกภาพบริเวณเดิมทุก 17 วัน ใช้เวลาโคจรรอบโลก 103 นาที ในหนึ่งวันโคจรได้ 14 รอบ

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ดาวเทียม MOS-1 และ MOS-1B มีระบบบันทึกข้อมูลที่เหมือนกัน 4 ระบบ คือ

- 1) Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer (MESSR)
- 2) Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR)
- 3) Microwave Scanning Radiometer (MSR)
- 4) Data Collection System (DCS)

1) Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer (MESSR)

ระบบบันทึกข้อมูล MESSR เป็นระบบการบันทึกข้อมูลใน 4 ช่วงคลื่น (ช่วงคลื่น Visible 2 ช่วงคลื่น และ Near Infrared 2 ช่วงคลื่น) ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) 50 x 50 ตารางเมตร ช่วงคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงคลื่นที่คล้ายกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT ดังนั้นคุณสมบัติการตอบสนองต่อช่วงคลื่นของวัตถุพื้นผิวโลกจึงมีลักษณะเช่นเดียวกัน

การบันทึกข้อมูลของระบบ MESSR ประกอบด้วยกล้องเหมือนกัน 2 ชุด ถ่าย-ขาวขานกับแนวโคจร บันทึกข้อมูลในลักษณะ Push Broom Scanning โดยระบบของกล้องแต่ละชุดจะประกอบด้วยกล้องบันทึกข้อมูลจำนวน 2 ตัวเหมือนกัน คือ กล้องตัวแรกจะบันทึกข้อมูลแบนด์ 1 และ 2 กล้องตัวที่สองจะบันทึกข้อมูลแบนด์ที่ 3 และ 4 และกล้องแต่ละชุดมีตัวตรวจวัด (Detector) 2,048 ตัว ซึ่งจะบันทึกในแนวกว้าง 100 กิโลเมตรบนพื้นโลก และเมื่อทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ชุด จะครอบคลุมบริเวณกว้าง (Swath) 185 กิโลเมตร เนื่องจากที่พื้นที่ซ้อนทับ (Overlap) กันในการบันทึกกล้องทั้ง 2 ชุด ประมาณ 15 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.28a

2) Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR)

เป็นระบบบันทึกข้อมูลใน 4 ช่วงคลื่น (ช่วงคลื่น Visible 1 ช่วงคลื่น และ Thermal Infrared 3 ช่วงคลื่น) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการสำรวจอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และการปกคลุมของเมฆและไอน้ำ ระบบบันทึกข้อมูลเป็นแบบกระจกกวาดภาพชนิดหมุนรอบ (Rotation Mirror Scan) ดังแสดงในภาพที่ 4.28b โดยจะกวาดภาพเป็นแนวกว้าง 1500 กิโลเมตรบนผิวโลก มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) 900 เมตร สำหรับช่วงคลื่นแบนด์ที่ 1 และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 2,700 เมตร ในช่วงคลื่นแบนด์ที่ 2 ถึง แบนด์ที่ 4 ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งกลางวันและกลางคืน

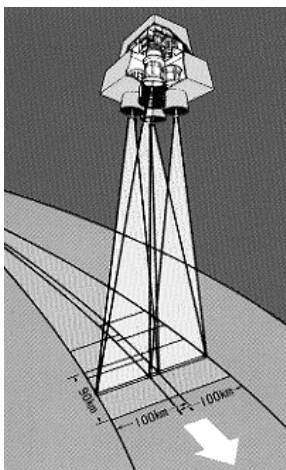
3) Microwave Scanning Radiometer (MSR)

เป็นระบบบันทึกข้อมูลช่วงคลื่น Passive Microwave ที่ความถี่ 23.8 GHz และ 31.4 GHz ลักษณะการบันทึกข้อมูลเป็นการกวาดภาพแบบก้นหอย (Conical Scan) ในแนวกว้าง (Swath width) 317 กิโลเมตรบนพื้นโลก (ภาพที่ 4.28c) โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) 32 กิโลเมตร สำหรับความถี่ 23.8 GHz และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 23 กิโลเมตร สำหรับความถี่ 31.4 GHz. ข้อมูลที่ได้มีประโยชน์สำหรับการสำรวจปริมาณไอน้ำและน้ำในชั้นบรรยากาศ การสำรวจลมทะเล ตลอดจนการแผ่ปกคลุมของน้ำแข็งและหิมะ

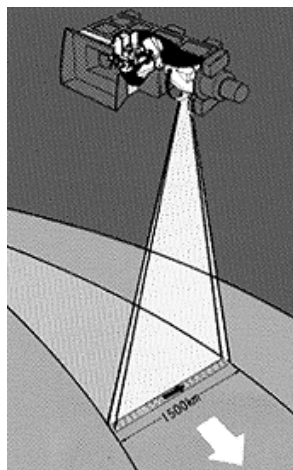
4) Data Collection System (DCS)

เป็นระบบสำหรับเก็บข้อมูลทางด้านสมุทรศาสตร์ พร้อมทั้งยังสามารถกำหนดตำแหน่งของ DCP (Data Collection Platform) เช่น ตำแหน่งของเรือในทะเลหรือทุ่นได้ โดยถ่ายทอดข้อมูลจากจุดสำรวจต่างๆ บนพื้นดิน

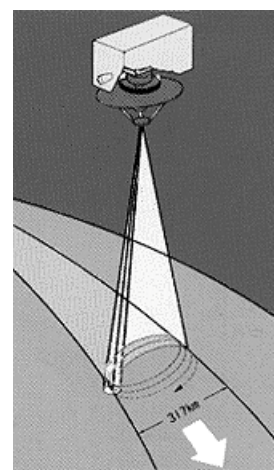
ดาวเทียม MOS ไม่มีระบบเก็บข้อมูลบนดาวเทียม ทำให้ต้องส่งข้อมูลสู่สถานีภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของโลก 11 สถานี



ภาพที่ 4.28a การบันทึกข้อมูลในระบบ
MESSR



ภาพที่ 4.28b การบันทึกข้อมูลในระบบ
VTIR



ภาพที่ 4.28c การบันทึกข้อมูลใน
ระบบ MSR

การประยุกต์ใช้ข้อมูล

ข้อมูลระบบ MESSR เป็นช่วงคลื่นเดียวกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT ดังนั้นคุณสมบัติการตอบสนองต่อช่วงคลื่นของวัตถุพื้นผิวโลกจึงมีลักษณะเช่นเดียวกัน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ที่ดินของพื้นดินและชายฝั่งทะเล ตลอดจนลักษณะพื้นผิวทะเล

ข้อมูลระบบ VTIR ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่างๆ ในทะเลอันเป็นประโยชน์ต่อการประมง รวมทั้งข้อมูลการปกคลุมของเมฆและไอน้ำ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศ

ข้อมูลระบบ MSR ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณไอน้ำ ปริมาณน้ำ ลมทะเล การแผ่ปกคลุมของหิมะ และน้ำแข็งในทะเล

สำหรับรายละเอียดของความยาวคลื่น ความละเอียดเชิงพื้นที่ และการประยุกต์ใช้ข้อมูล แสดงในตารางที่ 4.12 และลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม MOS ทั้ง 2 ดวง แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 4.12 การประยุกต์ใช้ข้อมูลของดาวเทียม MOS

ระบบบันทึกข้อมูล	วัตถุประสงค์	ช่วงคลื่น (μm)	ความถี่ (GHz)	ความละเอียด (m.)
MESSR	- ลีของพื้นผิวทะเล - พืชพรรณ - การใช้ที่ดิน	0.51-0.59		50
		0.61-0.69		50
		0.72-0.80		50
		0.80-1.10		50
VTIL	- การปกคลุมของหิมะ, การกระจายของน้ำแข็งและเมฆ - การกระจายของไอน้ำในบรรยากาศ - ติดตามอุณหภูมิพื้นผิวทะเลและพื้นดินและ - ศึกษาการกระจายของหิมะ น้ำแข็ง และเมฆ	0.5-0.7		900
		6.0-7.0		2,700
		10.5-11.5		2,700
		11.5-12.5		2,700
MSR	- ตรวจวัดพื้นที่บริเวณที่ฝนตก และวัดปริมาณหิมะตก - ตรวจวัดปริมาณน้ำแข็ง, วัดปริมาณน้ำในเมฆ และวัดปริมาณหิมะตก		23.8	3,200
			31.4	2,300

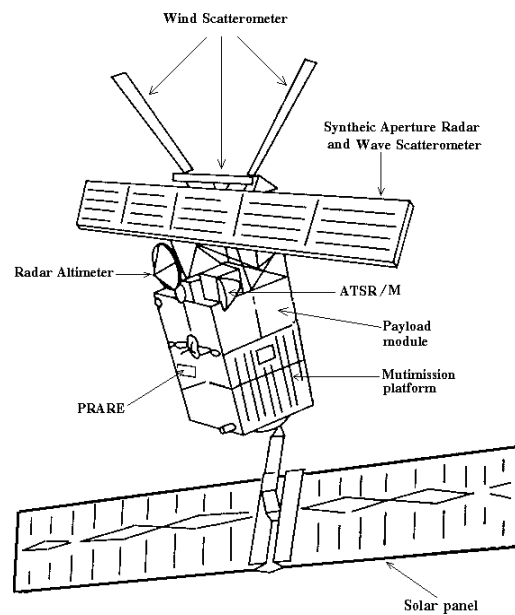
ตารางที่ 4.13 ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม MOS

ดาวเทียม	องค์ประกอบวงโคจร	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
(Satellite)	(Orbital element)	ชื่อระบบบันทึก (Sensor name)	ช่วงคลื่น/ความถี่ (spectrum/frequency)	ความละเอียด (Resolution)	ความกว้าง ของภาพ (Swath width)
MOS-1 (1987) MOS-1b (1990) (Japan)	Sun sync.	MESSR (Visible - Near IR Radiometer)	0.51-0.59 μm	50 m.	100 km. x 2
	Alt. : 909 km.		0.61-0.69 μm		
	Inc. : 99°		0.72-0.80 μm		
	Recurrent :		0.80-1.10 μm		
	17 days	VTIR (Visible Thermal IR Radiometer)	0.5-0.7 μm	900 m.	1500 km.
			6.0-7.0 μm	2.7 km	
			10.5-11.5 μm 11.5-12.5 μm		
	MSR (Microwave Scanning Radiometer)	23.8 GHz	32 km.	317 km.	
		31.4 GHz	23 km.		

4.4.4 ดาวเทียม ERS

ดาวเทียมชุด ERS (European Remote Sensing Satellite) เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกขององค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency) ซึ่งได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรเป็นผลสำเร็จเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2534 และเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2538 ได้ส่งดาวเทียม ERS-2 เพื่อขึ้นปฏิบัติการต่อเนื่องจากดาวเทียม ERS-1 ในปัจจุบันดาวเทียม ERS-2 เท่านั้นที่ยังคงปฏิบัติการอยู่ สำหรับภาพที่ 4.29 แสดงรูปร่างลักษณะของดาวเทียม ERS-1 ซึ่งดาวเทียมชุด ERS ทั้งสองดวงมีวัตถุประสงค์ของโครงการดังนี้

1. ปรับปรุงความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศ
2. ความรู้ขั้นสูงเกี่ยวกับการไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทรและการถ่ายเทพลังงาน
3. การประมาณการที่น่าเชื่อถือได้เกี่ยวกับความสมดุลของมวลสารบริเวณน้ำแข็งขั้วโลก
4. การติดตามตรวจสอบกระบวนการพลศาสตร์ชายฝั่งทะเลและมลพิษที่เกิดขึ้น
5. ปรับปรุงวิธีการตรวจวัดสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน
6. ส่งเสริมให้มีการนำข้อมูลจากการบันทึกภาพด้วยระบบไมโครเวฟไปทำการวิจัยและใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์



ภาพที่ 4.29 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม ERS-1 (ดัดแปลงจาก Barrett and Curtis, 1995)

การโคจร

ดาวเทียมชุด ERS-1 มีวงโคจรแบบ Sun Synchronous โคจรในแนวเหนือ-ใต้ ที่ระดับความสูง 785 กิโลเมตรจากพื้นโลก ทำมุมเอียง (inclination) 98.5 องศา โคจรรอบโลกใช้เวลา 100 นาที โดยจะโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลาประมาณ 10.30 น. ณ เวลาท้องถิ่น กลับมาบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 3, 35, และ 176 วัน ขึ้นอยู่กับการปรับความสูงของดาวเทียม โดยทั่วไปแล้วจะปรับระดับให้บันทึกข้อมูลบริเวณเดิมหรือโคจรครบรอบทุก 35 วัน (วงโคจรมาตรฐาน)

การโคจรของดาวเทียม ERS-1 แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

- 1). **3-day cycle** เป็นการโคจรกลับมาบริเวณเดิมทุก 3 วัน (43 รอบ) ซึ่งเป็นช่วงแรกหลังจากส่งดาวเทียมขึ้นไปแล้ว เพื่อเป็นการปรับระบบต่าง ๆ ให้มีสภาพถูกต้องสมบูรณ์สำหรับใช้งาน เรียกว่า Commission phase นอกจากนี้ยังใช้เป็นการโคจรสำหรับติดตามและศึกษาสภาพน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกด้วย เรียกว่า Ice phase
- 2). **35-day cycle** เป็นการโคจรปกติของดาวเทียม ERS-1 เพื่อการบันทึกข้อมูลทั่ว ๆ ไป โดยโคจรซ้ำบริเวณเดิมทุก 35 วัน เรียกว่า Multidisciplinary phase
- 3). **176-day cycle** เป็นการโคจรซ้ำบริเวณเดิมทุก 176 วัน มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาทางด้าน Mean sea surface (พื้นผิวทะเลปานกลาง) และ Ocean geoid โดยใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ Radar Altimeter การโคจรแบบนี้กำหนดใช้ในช่วงท้ายของโครงการก่อนที่ดาวเทียมจะเลิกใช้งาน เรียกช่วงนี้ว่า Geodetic phase

ดาวเทียม ERS-2 มีลักษณะการโคจรเช่นเดียวกับ ERS-1 โดยร่วมวงโคจรเดียวกัน มีช่วงห่างในการโคจรตามหลังดาวเทียม ERS-1 อยู่ 33 นาที แต่เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้เกิดความแตกต่างกันเท่ากับ 1 วัน (ณ เวลาท้องถิ่น) ดาวเทียม ERS-2 มีการวางแผนให้โคจรกลับมาบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 35 วัน ตลอดช่วงอายุของดาวเทียม เนื่องจากเป็น

ดาวเทียมเชิงปฏิบัติการมากกว่า ERS-1 จึงไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะการโคจรเหมือนดาวเทียม ERS-1 เพื่อประโยชน์ในการกำหนดแผนการดำเนินงานต่างๆ ซึ่งมีความแน่นอนและเชื่อมั่นได้

ระบบบันทึกข้อมูล

ดาวเทียมชุด ERS มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลสภาวะธรรมชาติต่างๆ เช่น อุปกรณ์บันทึกข้อมูลสภาวะของทะเลและมหาสมุทร ข้อมูลเกี่ยวกับลมเหนือผิวน้ำทะเล กระแสน้ำในมหาสมุทร และข้อมูลเกี่ยวกับน้ำแข็ง อุปกรณ์บันทึกข้อมูลส่วนใหญ่จะเป็นระบบไมโครเวฟที่สามารถบันทึกข้อมูลทะเลเมฆและวัตถุบางชนิดได้ และยังบันทึกข้อมูลได้ทั้งกลางวันและกลางคืนหรือแม้ในขณะฝนตก เนื่องจากสามารถผลิตส่งสัญญาณได้เองโดยมีแหล่งพลังงานในตัวเอง ไม่ต้องอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์ โดยภาพที่ 4.30 แสดงลักษณะการบันทึกข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับดาวเทียม ERS-1 และ ERS-2 มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเหมือนกันดังนี้

1) Active Microwave Instrument (AMI)

เป็นระบบการบันทึกข้อมูลแบบ Active Sensor ด้วยเรดาร์แนวเฉียง (Side-looking radar) ที่เรียกว่า SAR (Synthetic Aperture Radar) ในย่านความถี่ 5.3 GHz (C-band) บันทึกข้อมูลโดยใช้ระนาบคลื่นในแนวตั้ง (Vertical) ทั้งการส่งและรับสัญญาณ (VV polarization) โดยมีด้วยกัน 3 ระบบย่อย คือ

1.1 ระบบ SAR Image Mode

เป็นเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยใช้ระบบเรดาร์ ที่เรียกว่า SAR (Synthetic Aperture Radar) มีจานเรดาร์ยาว 10 เมตร บันทึกข้อมูลเป็นแนวกว้าง (Swath width) 100 กิโลเมตร ที่มุมตกกระทบ (Incidence angle) 23 องศา มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 26 เมตร x 30 เมตร (ประมาณ 30 เมตร) เป็นระบบการบันทึกข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยบันทึกสัญญาณสะท้อนกลับจากวัตถุ หรือ ค่าการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) ของวัตถุนั้นพื้นโลก ที่ขึ้นกับคุณสมบัติความเรียบและความขรุขระของผิวน้ำวัตถุ (Smooth and Rough) เป็นสำคัญ ผิวของวัตถุยิ่งเรียบจะให้ค่าการกระจัดกระจายกลับต่ำ ขณะที่ความขรุขระจะให้ค่าการกระจัดกระจายกลับที่สูงขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณามุมตกกระทบ (Incident Angle) ขณะที่บันทึกข้อมูลด้วย

ข้อมูลภาพ SAR เป็นข้อมูลหลักที่นำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทั่วไป ขนาดภาพมาตรฐานคือ 100 x 100 ตารางกิโลเมตร ข้อมูลชนิดนี้ไม่มีการบันทึกบนดาวเทียม เนื่องจากปริมาณข้อมูลสูงมาก โดยจะส่งสัญญาณกลับมายังบันทึกข้อมูลที่สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินเท่านั้น

1.2 ระบบ SAR Wave Mode

เป็นเครื่องมือระบบเดียวกับ SAR Image Mode ต่างกันที่การบันทึกข้อมูล โดยจะบันทึกในลักษณะที่เรียกว่า Imagemettes ขนาดความละเอียดของภาพเท่ากับ 5 กิโลเมตร x 5 กิโลเมตร โดยจะบันทึกทุกๆ ช่วง 100 กิโลเมตรในแนวโคจร ข้อมูลที่ได้จะแสดงความแตกต่างของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับจากพื้นผิวน้ำทะเล ดังนั้นจึงมีประโยชน์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับบริเวณผิวน้ำมหาสมุทร, ขนาดและทิศทางของคลื่นในทะเล และข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำไปปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์ทางทะเลได้

1.3 ระบบ Wind Scatterometer (WNS) หรือ Wind Mode

อุปกรณ์สแคตเทอโรมิเตอร์วัดความเร็วและทิศทางของลม (WNS) ประกอบด้วยจานรับ-ส่งสัญญาณ 3 จาน บันทึกข้อมูลด้วยสัญญาณเรดาร์ 3 ทิศทาง คือ 45° ข้างหน้า, แนวตั้ง (Nadir) และ 45° ข้างหลัง บันทึกข้อมูลในแนวกว้าง (Swath width) 500 กิโลเมตร ตลอดแนวโคจร มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลเท่ากับ 50×50 กิโลเมตร ช่วงคลื่นเรดาร์จะให้ความถี่เช่นเดียวกับสองระบบแรก ข้อมูลที่ได้มีประโยชน์ในการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วและทิศทางของลม โดยการกระจายกลับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น

2) Radar Altimeter (RA)

เป็นเครื่องมือบันทึกข้อมูลระบบเรดาร์ในแนวตั้ง บันทึกข้อมูลในย่านความถี่ Ku-band (13.8 GHz) ข้อมูลที่ได้จากระบบนี้ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับพื้นผิวทะเล (Sea surface elevation) เช่น ความสูงของคลื่น, ความเร็วของลมบริเวณพื้นผิวทะเล และระดับความสูงของผิวน้ำ และสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเกี่ยวกับกระแสน้ำในมหาสมุทร (Ocean currents, Tides และ Global geoid) เช่น การขึ้นลงของน้ำและรูปทรงของพื้นผิว ตลอดจนสามารถนำมาศึกษาปัจจัยอื่นๆ ในท้องทะเลที่ปกคลุมด้วยน้ำแข็ง (Ice-sheet surface topology, Ice types)

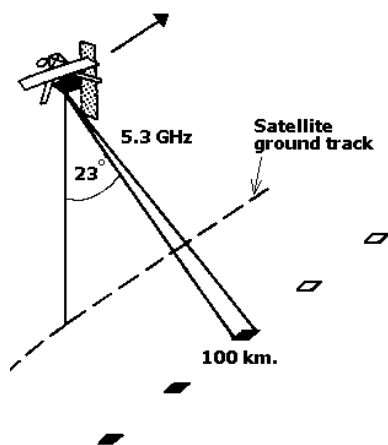
3) Along Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder (ATSR/M)

เป็นระบบบันทึกข้อมูลแบบ Passive จะประกอบด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล 2 ชนิด ได้แก่ Infrared Radiometer (IRR) และ Microwave Sounder

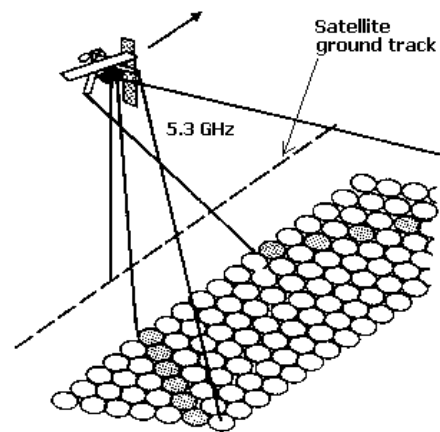
3.1 Four-channel Infrared Radiometer (IRR) เป็นอุปกรณ์ที่บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น Infrared 4 ช่วงคลื่น คือ 1.6, 3.4, 11 และ 12 ไมครอน ตามลำดับ บันทึกข้อมูลในแนวกว้าง (Swath width) 500 กิโลเมตร ข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1×1 กิโลเมตร สามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ทิศทาง คือ 0° และ 52° โดยบันทึกข้อมูลมุมตั้ง (ด้านหน้าจาก Nadir ในแนวโคจร) ใช้ประโยชน์ในการศึกษาอุณหภูมิบริเวณผิวน้ำทะเล (Sea surface temperature) และอุณหภูมิบริเวณยอดเมฆ (Cloud-top temperature)

3.2 Microwave Sounder หรือ Microwave Radiometer (MWR) เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแบบ Microwave passive radiometer บันทึกข้อมูลใน 2 ย่านความถี่ คือ 23.8 และ 36.5 GHz ขนาดภาพ 22 กิโลเมตร ใช้สำหรับการศึกษากับไอน้ำในชั้นบรรยากาศ อุปกรณ์นี้ติดตั้งอยู่กับ Infrared Radiometer ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิร่วมกับ IRR ก่อนส่งมายังสถานีรับภาคพื้นดิน

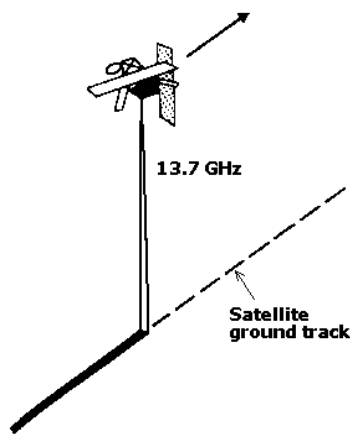
นอกจากนี้ดาวเทียมชุด ERS ยังมีระบบ Precise Range and Range-rate Equipment (PRaRE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานระหว่างดาวเทียมและสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน สามารถปฏิบัติการได้ทุกสภาวะอากาศ โดยใช้ความถี่ในย่าน S-band (2.2 GHz) และ X-band (8.5 GHz) สำหรับระบบ Laser Retro-Reflectors (LRR) ในดาวเทียมชุด ERS เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หาตำแหน่งและลักษณะวงโคจร เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับการโคจรของดาวเทียมให้มีความแม่นยำทางตำแหน่ง. สำหรับลักษณะบางประการของดาวเทียมชุด ESR แสดงในตารางที่ 4.14



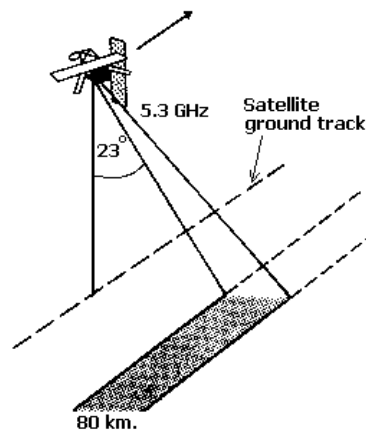
(a) Wave scatterometer - SAR Wave Mode



(b) Wind scatterometer - Wind Mode



(c) Radar Altimeter - RA



(d) Synthetic aperture radar-SAR Image Mode

ภาพที่ 4.30 ลักษณะการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม ERS-1 (Barrett and Curtis, 1995)

ดาวเทียม ERS-2 มีการพัฒนาและติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมจากที่กล่าวข้างต้น ได้แก่

1. Global Ozone Monitoring Experiment (GOME)

เป็นอุปกรณ์ที่บันทึกข้อมูลแบบ Passive spectrometer ในแนวตั้ง บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นระหว่าง $0.24-0.79 \mu\text{m}$ (240-790 nm) เพื่อบันทึกค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์จากพื้นผิวโลกหรือในชั้นบรรยากาศของโลก สามารถวัดปริมาณเชิงภูมิกายภาพ (geophysical quantities) ของสารเคมีในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์และสตราโตสเฟียร์ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับโอโซน (O_3), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2), โบรไมด์มอนออกไซด์ (BrO), คลอไรด์ไดออกไซด์ (ClO), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), formaldehyde (HCHO), การสะท้อนแสงของพื้นผิว (surface reflectivity), ออกซิเจน, และละอองหรือไอน้ำในอากาศ เป็นต้น แต่วัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ การติดตามตรวจสอบความหนาแน่นของโอโซนในบรรยากาศชั้นบนในระยะยาว (long-term ozone data record) เนื่องจากการที่ดาวเทียมมีวงโคจรแบบ polar orbit และบันทึกข้อมูลในแนวกว้าง (Swath width) 960 กิโลเมตร ตลอดแนวโคจร ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นผิวโลกทั้งหมดได้ภายในเวลาน้อยกว่า 3 วัน

2. Along Track Scanning Radiometer-2 (ATSR-2)

ได้รับการพัฒนาจากระบบ ATSR ของดาวเทียม ERS-1 ให้สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (Visible) 3 ช่วงคลื่น เพื่อศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดเพื่อศึกษาอุณหภูมิของผิวน้ำทะเล

ตารางที่ 4.14 ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม ERS

ดาวเทียม (Satellite)	องค์ประกอบ วงโคจร (Orbital element)	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
		ชื่อระบบบันทึก (Sensor name)	ช่วงคลื่น/ความถี่ (spectrum/frequency)	ความละเอียด (Resolution)	ความกว้าง ของภาพ (Swath width)
ERS-1 (1991) ERS-2 (1995) (ESA)	Sun sync.	AMI			
	Alt. : 785 km.	- SAR mode		30 m.	100 km.
	Inc. : 98.5°	- Wave mode	5.3 GHz	5 km.	-
	Recurrent :	- Wind mode		50 km.	500 km.
	3 days	RA (Radar Altimeter)	13.8 GHz	-	-
	35 days	ATSR/M			
	176 days	- IRR (Infrared Radiometer)	1.6 μm 3.7 μm 11 μm 12 μm	1 km.	500 km.
		- Microwave Sounder	23.8 GHz 36.5 GHz	22 km.	-

การประยุกต์ใช้ข้อมูล

ข้อมูลจากดาวเทียมชุด ERS สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่าง ๆ ได้แก่

1. Oceanography and Glaciology คือ การศึกษาทางสมุทรศาสตร์และธารน้ำแข็ง เช่น ลักษณะการไหลเวียนของกระแสน้ำ, คลื่นความสั่นพ้องของลักษณะลมกับคลื่นในทะเล และลักษณะธารน้ำแข็ง เป็นต้น
2. Climatology คือ การใช้ประโยชน์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสมุทรศาสตร์และปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยา, ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ เป็นต้น
3. Solid Earth ได้แก่ การศึกษาด้าน Ocean geoid, Geographic เป็นต้น
4. Weather forecasting / Sea-state forecasting / Ice mapping ซึ่งข้อมูลที่ได้เหล่านี้มีประโยชน์ต่อการเดินเรือ การสำรวจทางทะเล การประมง เป็นต้น
5. Pollution monitoring ศึกษาการติดตามตรวจสอบสภาวะมลพิษทางทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจหาคราบน้ำมันในทะเล

6. Ship detection ด้วยคุณสมบัติของเรดาร์ ทำให้สามารถบ่งชี้ตำแหน่งและทิศทางของเรือเดินทะเลได้อย่างชัดเจน

7. Land Application คือ การสำรวจแผ่นดิน สามารถใช้คุณสมบัติของข้อมูลจากระบบ SAR ที่ตอบสนองต่อความหยาบละเอียดของพื้นผิวและความชื้นของวัตถุ (Surface roughness and Moisture content) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการใช้ที่ดิน การเพาะปลูก ป่าไม้ ธรณีวิทยา การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่ง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลในระบบ Optical sensor system (ระบบบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น Visible จนถึงช่วงคลื่น Infrared) จะมีประโยชน์เพิ่มมากขึ้นสำหรับการศึกษาในด้านต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับตารางที่ 4.15 แสดงถึงวัตถุประสงค์ของระบบอุปกรณ์บันทึกข้อมูลในดาวเทียมชุด ERS

ตารางที่ 4.15 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลและวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ข้อมูลจากดาวเทียมชุด ERS

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	วัตถุประสงค์
Active Microwave Instrument (AMI) <ul style="list-style-type: none"> - SAR Image Mode - SAR Wave Mode - Wind Scatterometer Mode 	<ul style="list-style-type: none"> - สำรวจทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น พื้นที่มหาสมุทร พื้นที่น้ำแข็ง และพื้นที่แผ่นดิน - ทิศทางและความยาวของคลื่นในมหาสมุทร - วัดทิศทางและความเร็วลมบนพื้นผิวของมหาสมุทร
Radar Altimeter (RA)	- วัดระดับความสูงของพื้นผิวทะเล, ความสูงของคลื่นทะเล, และติดตามตรวจสอบความสมดุลของมวลน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก
Along Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder (ATSR/M)	- วัดอุณหภูมิพื้นผิวทะเล, อุณหภูมิบนยอดเมฆ, ไอน้ำในบรรยากาศและบนเมฆ
Precise Range and Range-rate Equipment (PRARE)	- ควบคุมการทำงานระหว่างดาวเทียมและสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน
Laser Retro-Reflectors (LRR)	- วัดหาตำแหน่งดาวเทียมและลักษณะของวงโคจรโดยสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินด้วยระบบ Laser ranging
Global Ozone Monitoring Experiment -GOME (ERS-2)	- ติดตามตรวจสอบปริมาณความหนาแน่นของโอโซนและองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศชั้นบน
Payload data Handling System	- ส่งข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องบนดาวเทียม

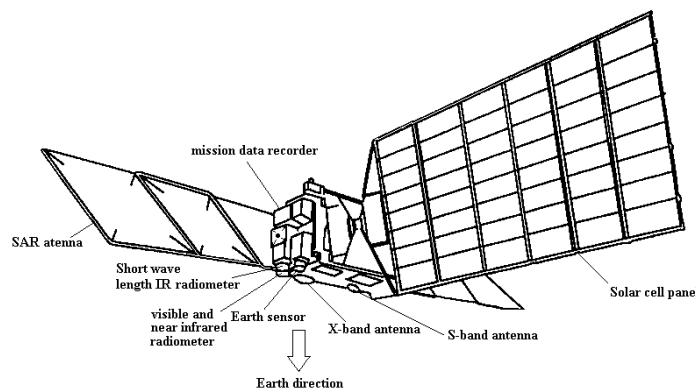
4.4.5 ดาวเทียม JERS

องค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (National Space Development Agency of Japan, NASDA) ได้พัฒนาโครงการระบบดาวเทียมที่ถ่ายภาพทะลุเมฆได้โดยใช้ระบบเรดาร์ ชื่อว่าดาวเทียม JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2535 นับเป็นดาวเทียมรุ่นใหม่ที่มีสมรรถนะสูง โดยมีอุปกรณ์ถ่ายภาพทะลุเมฆที่เรียกว่า Synthetic Aperture Radar (SAR) ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลทุกสภาพอากาศทั้งเวลากลางวันและกลางคืน แล้วยังมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Optical Sensors (OPS) เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) จนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) และสามารถถ่ายภาพในระบบสามมิติตามแนวโคจรได้ด้วย (ภาพที่ 4.31 แสดงรูปร่างลักษณะของดาวเทียม JERS-1)

ในปัจจุบันดาวเทียม JERS-1 ได้หยุดการปฏิบัติการแล้ว เนื่องจากวันที่ 11 ตุลาคม 2541 ระบบควบคุมตำแหน่งและระบบไฟฟ้าของดาวเทียมทำงานผิดปกติ ทำให้สถานีภาคพื้นดินที่โอกินาวา (Okinawa) ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ ดังนั้น สถานีติดตามและควบคุมภาคพื้นดินที่เมือง ซานติเอโก ประเทศชิลี จึงได้สั่งหยุดการทำงานของดาวเทียม ในวันที่ 12 ตุลาคม 2541 ถึงแม้ว่าดาวเทียม JERS-1 ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานเพียง 2 ปี แต่สามารถเก็บข้อมูลบนพื้นโลกมาเป็นเวลาถึง 6 ปีครึ่ง

การโคจร

ดาวเทียม JERS-1 โคจรที่ระดับความสูง 568 กิโลเมตร มีวงโคจรแนวเหนือ-ใต้ ในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ทำมุมเอียง (Inclination) 97.7 องศา โคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลา 96 นาที โดยกลับมาบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 44 วัน และผ่านพื้นโลกที่เวลาประมาณ 10.30 น. ถึง 11.00 น. ณ เวลาท้องถิ่น (ตารางที่ 4.16)



ภาพที่ 4.31 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม JERS-1 (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

ระบบบันทึกข้อมูล

ดาวเทียม JERS-1 ได้ออกแบบให้มีระบบบันทึกข้อมูลที่มีความสามารถสูง โดยบันทึกได้ 2 ระบบ คือ ระบบบันทึกข้อมูลด้วยระบบเรดาร์ที่มีอุปกรณ์ SAR (Synthetic Aperture Radar) ทำการบันทึกข้อมูลในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วง L-band ที่ย่านความถี่ 1.275 GHz บันทึกข้อมูลโดยใช้ระนาบคลื่นในแนวนอน (Horizontal) ทั้งการส่งและรับสัญญาณ (HH polarization) โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล 18 เมตร x 18 เมตร ส่วนอีกระบบจะบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นตามองเห็น, อินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้น ที่เรียกว่า ระบบ Optical Sensors (OPS) ซึ่งจะบันทึก 7 ช่วงคลื่น (8 band) และยังสามารถบันทึกภาพแนวเฉียงเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะภาพ 3 มิติ โดยมีความละเอียดในการบันทึกภาพ 18 เมตร x 24 เมตร อุปกรณ์บันทึกข้อมูลของดาวเทียม JERS-1 ทั้ง 2 ระบบจะบันทึกข้อมูลเป็นแนวกว้าง (Swath width) 75 กิโลเมตร (ภาพที่ 4.32) โดยรายละเอียดของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลทั้ง 2 ระบบ มีดังนี้

1. Synthetic Aperture Radar (SAR)

บันทึกข้อมูลช่วงคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 1.275 GHz (L-band) ในลักษณะ HH polarization ซึ่งเป็นการบันทึกแบบมองเฉียงออกด้านข้าง (Side-looking) ที่มุมเอียง (Incidence angle) 35 องศา เป็นแนวกว้าง 75 กิโลเมตร ความละเอียดเชิงพื้นที่ 18 เมตร x 18 เมตร

2. Optical Sensor System (OPS)

บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นตามมองเห็นและอินฟราเรด รวม 7 ช่วงคลื่น (8 แบนด์) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล 18 เมตร x 24 เมตร บันทึกเป็นแนวกว้าง 75 กิโลเมตร โดยแบ่งเป็น 2 ระบบย่อย คือ

2.1 VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer) มี 4 แบนด์ ดังนี้

แบนด์	ช่วงคลื่น (μm)
1	0.52-0.60
2	0.63-0.69
3	0.76-0.86 (แนวตั้ง)
4	0.76-0.86 (แนวเฉียงไปข้างหน้าประมาณ 15 องศา)

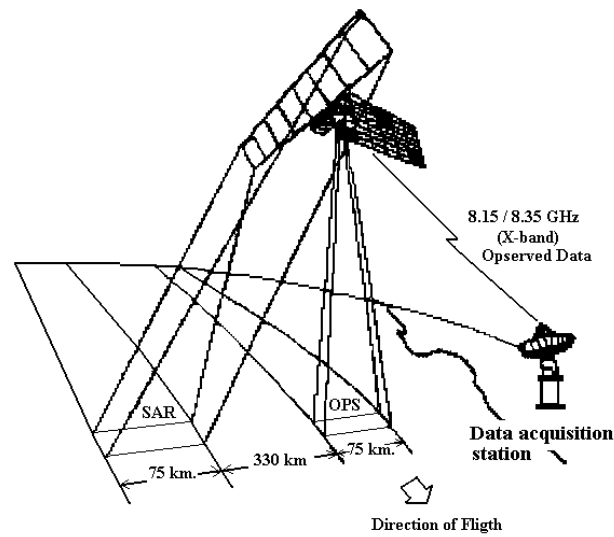
2.2 SWIR (Short Wavelength Infrared Radiometer) มี 4 แบนด์ ดังนี้

แบนด์	ช่วงคลื่น (μm)
5	1.60-1.71
6	2.01-2.12
7	2.13-2.25
8	2.27-2.40

การใช้ประโยชน์ข้อมูลดาวเทียม JERS-1

ข้อมูลจากดาวเทียม JERS-1 ทั้งระบบ SAR และ OPS มีประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมโลก รวมถึงการติดตามภัยพิบัติต่าง ๆ ดังนี้

- การใช้ประโยชน์ข้อมูล SAR ของ JERS-1 มีลักษณะคล้ายกับข้อมูล SAR ของดาวเทียม ERS-1 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้านต่าง ๆ ดังนี้
 - ธรณีวิทยาและธรณีสัณฐาน เช่น ลักษณะโครงสร้างทางธรณี ลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น
 - เกษตร ป่าไม้ และการใช้ที่ดิน เช่น การติดตามการเพาะปลูกพืช, การสำรวจพื้นที่ป่าไม้, การทำแผนที่การใช้ที่ดิน, การศึกษาภัยธรรมชาติ เป็นต้น
 - สมุทรศาสตร์ เช่น ลักษณะของกระแสน้ำ, ลักษณะคลื่น, การเดินเรือ, ภาวะมลพิษทางทะเล เป็นต้น
 - ด้านการศึกษาน้ำแข็งและหิมะ ใช้ติดตามการเคลื่อนที่ของน้ำแข็งในทะเล, การปกคลุมของหิมะ, การเคลื่อนตัวของธารน้ำแข็ง เป็นต้น
- การใช้ประโยชน์ข้อมูล OPS มีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM แต่จะให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลสูงกว่าระบบ TM และสามารถนำข้อมูลไปศึกษาในลักษณะสามมิติได้



ภาพที่ 4.32 ลักษณะการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม JERS-1 (ชาร์ตัน, 2540)

ตารางที่ 4.16 ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม JERS

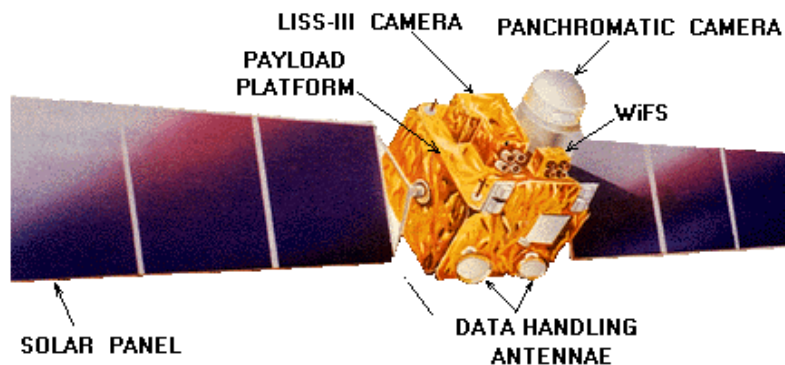
ดาวเทียม	องค์ประกอบวงโคจร	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
		ชื่อระบบบันทึก	ช่วงคลื่น/ความถี่	ความละเอียด	ความกว้างของภาพ
JERS-1 (1992) (Japan)	Sun sync. Alt. : 568 km. Inc. : 97.7° Recurrent : 44 days	OPS (Optical Sensor)			
		- VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer)	0.52-0.60 μm 0.63-0.69 μm *0.76-0.86 μm (*nadir and off nadir)	18 m. x 24 m.	75 km
		- SWIR (Short Wavelength Infrared Radiometer)	1.60-1.71 μm 2.01-2.12 μm 2.13-2.25 μm 2.25-2.40 μm		
		SAR (Synthetic Aperture Radar) HH polarization	1.275 GHz	18 m. x 18 m.	

4.4.6 ดาวเทียม IRS

ดาวเทียม IRS (Indian Remote Sensing Satellite) เป็นดาวเทียมเพื่อการสำรวจทรัพยากรของประเทศอินเดีย พัฒนาโดยองค์กรวิจัยอวกาศแห่งอินเดีย (India Space Research Organization, ISRO) และองค์การรีโมทเซนซิงแห่งชาติ (National Remote Sensing Agency, NRSA) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ โดยดาวเทียมดวงแรกในชุดนี้ ได้แก่ IRS-1A ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2531 ต่อมาวันที่ 29 สิงหาคม 2534 ได้ส่งดาวเทียมดวงที่สองคือ IRS-1B ขึ้นสู่วงโคจร โดยมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับดวงแรก หลังจากนั้นในวันที่ 15 ตุลาคม 2538 อินเดียก็ได้ส่งดาวเทียมดวงที่สามของชุดนี้คือ IRS-P2 ขึ้นสู่วงโคจร และตามด้วยดาวเทียม IRS-1C เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2538, ดาวเทียม IRS-P3 เมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2539 และดวงล่าสุดคือดาวเทียม IRS-1D ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่

29 กันยายน 2540 ตามลำดับ ดาวเทียม IRS-P3 ได้ติดตั้งอุปกรณ์ X-ray เพื่อสำรวจข้อมูลด้านดาราศาสตร์ด้วย สำหรับดาวเทียม IRS-P5 จะถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรในปลายปี พ.ศ.2546 ซึ่งจะติดตั้งกล้อง Panchromatic จำนวน 2 ตัว เพื่อบันทึกข้อมูลภาพในลักษณะ Flight stereo viewing

สำหรับสถานภาพของสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินของประเทศไทยสามารถรับสัญญาณและผลิตข้อมูลจากดาวเทียม IRS-1C เท่านั้น (ระบบ LISS-III และ PAN.) ภาพที่ 4.33 แสดงรูปร่างของดาวเทียม IRS-1C



ภาพที่ 4.33 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม IRS-1C (EURO MAP, 2003)

การโคจร

ดาวเทียม IRS-1A และ IRS-1B โคจรแนวเหนือ-ใต้ ในลักษณะลัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-Synchronous orbit) ที่ระดับความสูง 904 กิโลเมตร โดยโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรที่เวลาประมาณ 10.25 น. (ณ เวลาท้องถิ่น) ในหนึ่งวันโคจรรอบโลกได้ 14 รอบ แต่ละรอบใช้เวลา 103 นาที และแนวโคจรถัดไปของวันเดียวกันจะห่างกัน 25° ลองจิจูด หรือ 2,872 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตร ส่วนแนวโคจรของวันถัดไปจะห่างกัน 1.17° ไปทางทิศตะวันตก หรือ 130.54 กิโลเมตร ดังนั้นจึงโคจรกลับมาซ้ำที่เดิมทุก 22 วัน

ดาวเทียม IRS-1C มีการโคจรเป็นวงกลมใกล้ขั้วโลก และลัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (circular, sun-synchronous, near polar orbit) ทำมุมเอียง (inclination) 98.69 องศา โคจรที่ระดับความสูง 817 กิโลเมตร มีระยะเวลาในการโคจรรอบโลก 101.35 นาที ในเวลาหนึ่งวันจะโคจรรอบโลกได้ 14 รอบ และมีแนวโคจรทั้งหมด 341 แนว ครอบคลุมพื้นที่ระหว่าง 81 องศาเหนือ-ใต้ เวลาในการโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรประมาณ 10.30 น. (± 5 นาที) และกลับมาบันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิมทุก 24 วัน สำหรับข้อมูล LISS-III และทุก 5 วัน สำหรับข้อมูล WiFS และ PAN.

ระบบบันทึกข้อมูล

ดาวเทียมชุด IRS ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลหลายระบบได้แก่ Linear Imaging and Self Scanning Sensors (LISS), Panchromatic Camera (PAN), Wide Field Sensor (WiFS) และ Modular Opto-electronic Scanner (MOS) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.17)

1). LISS (Linear Image and Self-scanning Sensor)

เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ติดตั้งบนดาวเทียมทุกดวงในชุดนี้ มีลักษณะการกวาดภาพแบบ Push broom scanning (เช่นเดียวกับระบบ HRV ของดาวเทียม SPOT และระบบ MESSR ของดาวเทียม MOS) โดยใช้ระบบการกวาดภาพเองเป็นแนวเส้น (Linear Imaging and Self Scanning Sensors: LISS) แต่ละแนว (scanline) จะถูกกวาดด้วย Linear array โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ซึ่งระบบบันทึกข้อมูล LISS มีหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่

1.1 LISS-I (Linear Imaging and Self Scanning Sensors -I)

เป็นระบบบันทึกข้อมูล 4 ช่วงคลื่น (เหมือนกับ 4 ช่วงคลื่นแรกของ LANDSAT TM ดังแสดงในตารางที่ 4.17) คือ 0.45-0.52 μm , 0.52-0.59 μm , 0.62-0.68 μm และ 0.77-0.86 μm การทำงานของระบบ LISS มีลักษณะเช่นเดียวกับ MESSR ของดาวเทียม MOS-1 คือ มีการบันทึกข้อมูลแบบ Push broom scanning เป็นแนวกว้าง (Swath width) 148 กิโลเมตร โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล 72.5 เมตร อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ LISS-I นี้ติดตั้งบนดาวเทียม IRS-1A และ IRS-1B

1.2 LISS-II (Linear Imaging and Self Scanning Sensors -II)

อุปกรณ์ LISS-II บันทึกข้อมูล 4 ช่วงคลื่น เช่นเดียวกับ LISS-I แต่จะให้รายละเอียดของข้อมูลดีกว่า คือ 36.25 เมตร บันทึกข้อมูลได้เป็นแนวกว้าง 74 กิโลเมตร และมีชุดบันทึกข้อมูล 2 ชุด จึงสามารถครอบคลุมพื้นที่รวมกันเป็นแนวกว้างรวม 145 กิโลเมตร เครื่องมือนี้ติดตั้งกับ IRS-1A และ IRS-1B นอกจากนี้ดาวเทียม IRS-P2 ก็ได้ติดตั้งเครื่องมือ LISS-II เช่นกัน แต่จะให้รายละเอียดข้อมูล 32 เมตร x 37 เมตร โดยมีแนวถ่ายภาพกว้าง 67 กิโลเมตร

ตารางที่ 4.17 ระบบบันทึกข้อมูล LISS-I และ LISS-II และการประยุกต์ใช้ประโยชน์

แบนด์	ช่วงคลื่น (μm)	การใช้ประโยชน์
1	0.45-0.52 (Blue)	ศึกษาตะกอนสิ่งแวดล้อมชายฝั่ง, แยกความแตกต่างระหว่างป่าผลัดใบและไม่ผลัดใบ
2	0.52-0.59 (Green)	ศึกษาความสมบูรณ์ของพืช, ลักษณะดินและหิน และความขุ่นของน้ำ
3	0.62-0.68 (Red)	ศึกษาคลอโรฟิลล์ (ความเขียว) ของพืช เพื่อจำแนกชนิดพันธุ์พืช
4	0.77-0.86 (Near Infrared)	ศึกษามวลชีวภาพสีเขียว, ความชื้นในพืช, ลักษณะทางธรณีวิทยา, และแยกขอบเขตระหว่างพื้นดินและน้ำ

1.3 LISS-III (Linear Imaging and Self Scanning Sensors)

ระบบ LISS-III ติดตั้งบนดาวเทียม IRS-1C และ IRS-1D บันทึกข้อมูลได้ 4 ช่วงคลื่น แตกต่างจาก LISS-I และ LISS-II คือมีช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (SWIR) เข้ามาแทนช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (เหมือนกับระบบ TM ใน LANDSAT-4 และ 5) โดยประกอบด้วยช่วงคลื่น 0.52-0.59 μm , 0.62-0.68 μm , 0.77-0.86 μm และ 1.55-1.70 μm ทั้งนี้แบนด์ที่ 1 ถึง 3 (Green - Near IR) ให้รายละเอียดข้อมูล 23.6 เมตร และบันทึกข้อมูลเป็นแนวกว้าง 141 กิโลเมตร มีการซ้อนทับของข้อมูลระหว่างแนวโคจร (Sidelap) 23.5 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตร ในขณะที่แบนด์ที่ 4 (SWIR) ให้รายละเอียดข้อมูล 70.5 เมตร และบันทึกข้อมูล

เป็นแนวกว้าง 148 กิโลเมตร มีการซ้อนทับของข้อมูลภาพระหว่างแนวโคจร (Sidelap) 30 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตร (ตารางที่ 4.18) ข้อมูลระบบ LISS-III ทั้ง 4 แบนด์ มีการซ้อนทับของข้อมูลภาพในแนวโคจรเดียวกัน (Overlap) 7 กิโลเมตร และมีความเข้มระดับสีเทา 128 ระดับ (7 bit) อุปกรณ์ระบบ LISS-III จะบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 24 วัน

2). ระบบ Panchromatic Camera (PAN.)

เป็นระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้งบนดาวเทียม IRS-1C และ IRS-1D บันทึกข้อมูลเพียงช่วงคลื่นเดียว (Single channel) คือ ในช่วงคลื่นตามองเห็นที่ความยาวคลื่นระหว่าง 0.5-0.75 ไมครอน ให้ค่าความคมชัดหรือความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล 5.8 เมตร บันทึกข้อมูลเป็นแนวกว้าง 70 กิโลเมตร สามารถรับมภาพถ่ายให้เอียงได้ถึง ± 26 องศา (หรือเป็นระยะทาง ± 398 กิโลเมตร จากจุดศูนย์กลางภาพในแนวตั้ง) ทำให้บันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 5 วัน และสามารถปรับแนวกว้างของการบันทึกภาพได้กว้างสุด 90 กิโลเมตร ข้อมูลที่ได้จากระบบ PAN. มีความเข้มของระดับสีเทา (Gray level) 64 ระดับ (6 bit)

3. ระบบ WiFS (Wide-Field Sensor)

เป็นระบบที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นตามองเห็นระหว่าง 0.62-0.68 ไมครอน และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ระหว่าง 0.77-0.86 ไมครอน โดยข้อมูลที่ได้จะให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำกว่ากับ 188.3 เมตร แต่จะครอบคลุมพื้นที่เป็นแนวกว้าง (Swath width) ถึง 810 กิโลเมตร และบันทึกข้อมูลซ้ำบริเวณเดิมทุก 5 วัน ข้อมูลที่ได้จากระบบนี้จะมีค่าความเข้มของระดับสีเทา 128 ระดับ สำหรับระบบนี้ติดตั้งบนดาวเทียม IRS-1C และ IRS-P3 โดยในส่วนที่ติดตั้งกับ IRS-P3 จะมีแบนด์ที่ 3 เพิ่มเข้าไป คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (SWIR) มีความยาวคลื่นระหว่าง 1.55-1.70 μm

ตารางที่ 4.18 รายละเอียดของระบบบันทึกข้อมูล LISS-III, PAN. และ WiFS

ระบบบันทึกข้อมูล (แบนด์)	ช่วงคลื่น (μm)	ความละเอียด เชิงพื้นที่ (เมตร)	ความกว้างของการ บันทึกข้อมูล (กิโลเมตร)	ขนาดภาพ (กิโลเมตร x กิโลเมตร)
LISS-III				
(1)	0.52 - 0.59	23.5	141	141 x 141
(2)	0.62 - 0.68			
(3)	0.77 - 0.86			
(4)	1.55 - 1.70	70.5	148	141 x 148
PAN.	0.50 - 0.75	5.8	70	70 x 70
WiFS				
(1)	0.62-0.68	188.3	810	810 x 810
(2)	0.77-0.86			

4. ระบบ MOS (Modular Opto-electronic Scanner)

เป็นระบบกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งเฉพาะบนดาวเทียม IRS-3P สำหรับการศึกษาด้านสมุทรศาสตร์ มีกล้องถ่ายภาพรวม 3 กล้อง แต่ละกล้องบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นตามองเห็นถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 500 เมตร โดยบันทึกข้อมูลเป็นแนวกว้าง (Swath width) แตกต่างกันไป ดังนี้

- MOS-A ให้รายละเอียดข้อมูล 2.5 เมตร x 2.5 เมตร คลุมพื้นที่กว้าง 248 กิโลเมตร
- MOS-B ให้รายละเอียดข้อมูล 720 เมตร x 580 เมตร คลุมพื้นที่กว้าง 248 กิโลเมตร
- MOS-C ให้รายละเอียดข้อมูล 1 กิโลเมตร x 0.7 กิโลเมตร คลุมพื้นที่กว้าง 248 กิโลเมตร

การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม IRS-1C

ข้อมูลจากดาวเทียม IRS-1C มีทั้งสองรูปแบบคือ ผลิตเป็นข้อมูลภาพ (Photographic format) และข้อมูลเชิงเลข (Digital format) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสาขาต่างๆ อย่างกว้างขวางเช่นเดียวกับข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงอื่น ประเทศอินเดียได้นำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับระบบจัดการทรัพยากรธรรมชาติแห่งชาติ (National Natural Resources Management System, NNRMS) ได้แก่ ด้านการใช้ที่ดิน การประมาณพื้นที่เพาะปลูกพืช การติดตามภาวะความแห้งแล้ง การจัดทำแผนที่พื้นที่น้ำท่วม การจัดทำแผนที่ป่าไม้ การจัดหาแหล่งน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค เป็นต้น

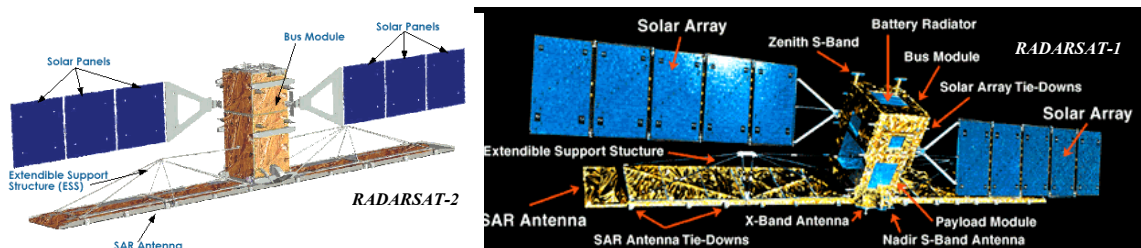
4.4.7 ดาวเทียม RADARSAT

ดาวเทียม RADARSAT-1 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของประเทศแคนาดา โดยองค์การอวกาศแคนาดา (Canadian Space Agency, CSA) และศูนย์รีโมทเซนซิงแคนาดา (Canada Center for Remote Sensing, CCRS) ได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2538 โดยเป็นดาวเทียมที่ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลในย่านไมโครเวฟ (เรดาร์) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและติดตามทรัพยากรบนพื้นโลก อันได้แก่ การเกษตร ป่าไม้ สภาพน้ำแข็งบนพื้นโลก ธรณีวิทยา และทรัพยากรทางทะเล เช่น การประมง การเดินเรือ การสำรวจแหล่งน้ำมัน เป็นต้น

ดาวเทียม RADARSAT-1 ถูกออกแบบให้มีน้ำหนักประมาณ 2,750 กิโลกรัม และมีอายุการใช้งานประมาณ 5 ปี นับจากการเข้าสู่วงโคจร โดยมีส่วนประกอบของตัวดาวเทียมที่สำคัญดังนี้ (ภาพที่ 4.34)

- Bus Module: เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ด้านพลังงาน, การสื่อสาร, และควบคุมระดับความสูงของโคจร
- Payload Module: ประกอบด้วยอุปกรณ์เรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar-SAR) ได้แก่ แผงรับสัญญาณ (SAR-antenna) ระบบบันทึกข้อมูล ระบบส่งสัญญาณข้อมูลมายังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน
- Solar Array: แผงรับพลังงานจากดวงอาทิตย์

สำหรับดาวเทียม RADARSAT-2 จะถูกส่งขึ้นปฏิบัติการในต้นปี พ.ศ. 2547 ติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล Advanced Synthetic Aperture Radar (SAR) ในลักษณะหลายความละเอียดเชิงพื้นที่และความกว้างของการบันทึกภาพ (Multi high-spatial resolutions and swath widths) โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังภาพที่ 4.34 และ ตารางที่ 4.19 และ ตารางที่ 4.20



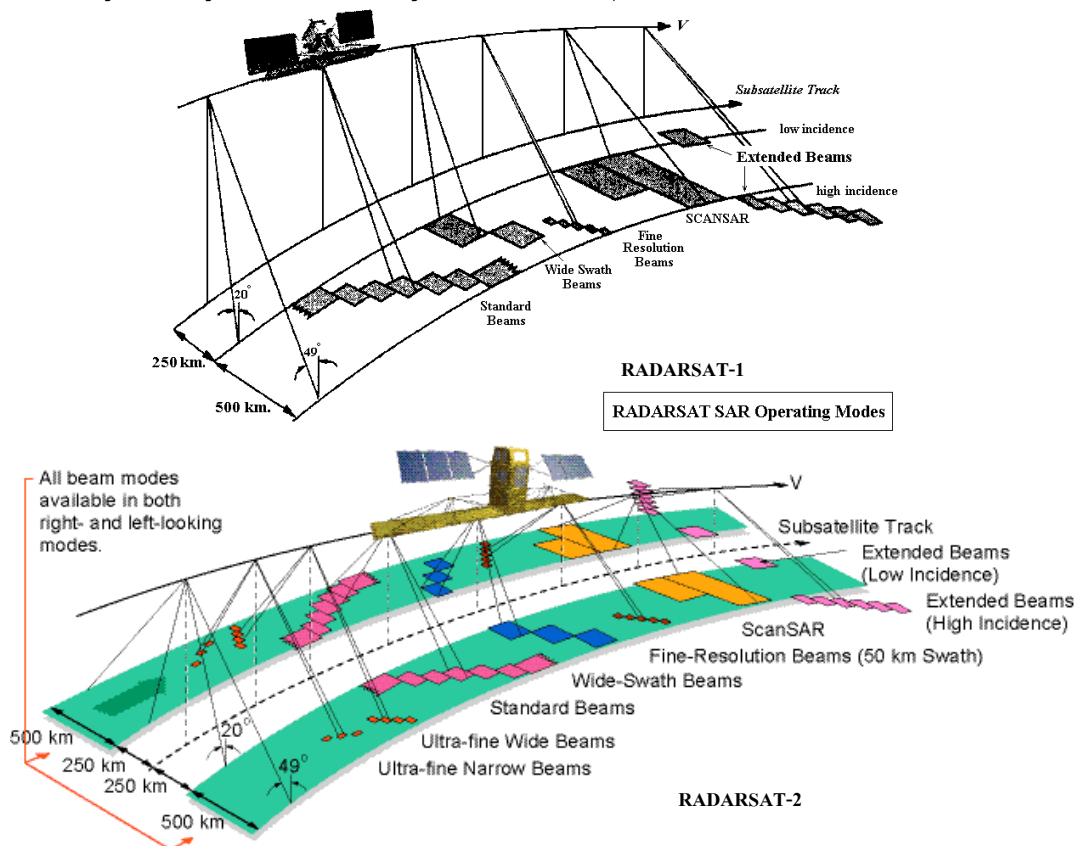
ภาพที่ 4.34. รูปร่างลักษณะของดาวเทียม RADARSAT-1 และ RADARSAT-2

การโคจร

ดาวเทียม RADARSAT โคจรในแนวเหนือ-ใต้, สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun synchronous polar orbit) ที่ระดับความสูง 798 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก ทำมุมเอียง 98.6 องศา การโคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลา 100.7 นาที ดังนั้นจึงสามารถโคจรได้ 14 รอบใน 1 วัน และโคจรกลับมาบันทึกข้อมูลบริเวณเดิมทุก 24 วัน แต่เนื่องจากดาวเทียม RADARSAT มีการบันทึกข้อมูลภาพได้หลายลักษณะ (mode) โดยมีแนวกวาดภาพตั้งแต่ 50 กิโลเมตร (Fine mode) จนถึง 500 กิโลเมตร (ScanSAR Wide mode) ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ทุกวันในเขต Arctic, ทุก 3 วัน ในบริเวณประเทศแคนาดา และทุก 6 วัน สำหรับบริเวณเส้นศูนย์สูตร ถ้าใช้การบันทึกข้อมูลแบบ ScanSAR Wide mode

ระบบบันทึกข้อมูล

ดาวเทียม RADARSAT บันทึกข้อมูลทรัพยากรโลกด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบเรดาร์ ที่เรียกว่า SAR (Synthetic Aperture Radar) ซึ่งมีความสามารถบันทึกข้อมูลทะลุเมฆ หมอก ฝน (ยกเว้นฝนตกหนักมาก) และบันทึกข้อมูลได้ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยบันทึกในช่วงคลื่น C-band ความยาวคลื่น 5.6 ซม. ที่ย่านความถี่ 5.3 GHz เช่นเดียวกับดาวเทียม ERS ขององค์การอวกาศยุโรป ต่างกันที่ดาวเทียม ERS บันทึกข้อมูลโดยใช้ระนาบคลื่นในแนวตั้ง (vertical polarization) ทั้งการส่งและรับสัญญาณ (VV polarization) ส่วนดาวเทียม RADARSAT ใช้ระนาบคลื่นในแนวนอน (HH polarization) โดยใช้แผงรับสัญญาณเรดาร์ (SAR-antenna) ขนาด 15 x 1.5 เมตร บันทึกข้อมูลจากทางด้านขวาของแนวโคจร (ยกเว้นที่บริเวณแอนตาร์กติกาทำการบันทึกข้อมูลจากทางด้านซ้าย) สามารถปรับมุมตกกระทบ (incidence angle) ในการบันทึกข้อมูลได้ระหว่าง 10-59 องศา ทำให้บันทึกข้อมูลได้ถึง 7 รูปแบบ (mode) แต่ละรูปแบบมีพื้นที่ครอบคลุมแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 35 (ชาร์ตัน, 2540)



ภาพที่ 4.35 รูปแบบการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม RADARSAT-1 และ RADARSAT-2 (RADARSAT International, 2003)

ตารางที่ 4.19 คุณลักษณะของในดาวเทียม RADARSAT-1 และ 2 (RADARSAT International, 2003)

	RADARSAT-1	RADARSAT-2
Mass at Launch	2,750 kg	2,280 kg
Design Life	5 years	7 years
On-board Recording	Tape recorder	Solid-state recorder
Spacecraft Location	S/C ranging	GPS on-board
Imaging Frequency	C-Band, 5.3 GHz	C-Band, 5.405 GHz
Spatial Resolution	10 to 100 meters	3 to 100 meters
Polarization	HH	HH, HV, VV and VH
Look Direction	Right-looking	Routine left-and right-looking

ตารางที่ 4.20 ความสามารถของระบบบันทึกข้อมูลในดาวเทียม RADARSAT-1 และ 2 (Orbital Imaging Corporation, 2003)

RADARSAT-2 SPECIFICATIONS

	Ultra-fine	Standard	Wide
Spatial Resolution	3 meter	28 meter	100 meter
Swath Width	20 km	100 km	500 km
Revisit Time (at Equator)	2-3 days		
Orbital Altitude	798 kilometers		
Inclination	98.6 degrees		
Period	100.7 minutes		
Nodal Crossing	6:00 PM		
System Life	7 years		

ลักษณะของข้อมูล

ดาวเทียม RADARSAT สามารถบันทึกภาพได้หลายลักษณะ (Mode) ตั้งแต่ข้อมูลภาพที่มีความละเอียด (ความแยกต่าง) เชิงพื้นที่เท่ากับ 10 x 10 ตารางเมตร ด้วยขนาดภาพ 50 x 50 ตารางกิโลเมตร จนถึงความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 100 x 100 ตารางเมตร ขนาดภาพ 500 x 500 ตารางกิโลเมตร โดยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ (Incidence angle) ในการบันทึกข้อมูล ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ได้ถึง 7 รูปแบบ คือ Fine Mode, Standard Mode, Wide Mode, ScanSAR Narrow Mode, ScanSAR Wide Mode, Extended High Mode และ Extended Low Mode โดยมีรายละเอียดของรูปแบบการบันทึกข้อมูลดังตารางที่ 4.21

การใช้ประโยชน์ข้อมูลดาวเทียม RADARSAT

ข้อมูลดาวเทียม RADARSAT สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายสาขา เช่น ด้านป่าไม้ การเกษตร การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา สิ่งแวดล้อม สมุทรศาสตร์ ติดตามภัยพิบัติต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการเกษตรและการประเมินผลติดตามพื้นที่

น้ำท่วมในประเทศไทยที่มักเกิดขึ้นในฤดูฝน ซึ่งมีเมฆปกคลุมพื้นที่ทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบเชิงแสง (Optic sensor) ได้เต็มที่ นอกจากนี้ข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT ยังสามารถนำมาใช้ในการสำรวจบริเวณที่มีหิมะปกคลุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชายฝั่งที่มีการขุดเจาะน้ำมันของประเทศแคนาดาตอนเหนือ (สมพร, 2543)

ข้อมูลเรดาร์จากดาวเทียม RADARSAT สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางสาขาต่างๆ ได้ ต่อไปนี้

1. การเกษตร ใช้แยกแยะชนิดพืชเกษตร ความชื้นในดิน
2. การทำแผนที่ ใช้ทำแผนที่ภูมิประเทศ เส้นชั้นความสูง ภาพสามมิติ
3. อุทกวิทยา ใช้ศึกษาความชื้นในดิน การศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำ แผนที่แหล่งน้ำ
4. การป่าไม้ แสดงขอบเขตพื้นที่ป่าไม้ การติดตามการบุกรุกทำลายป่าไม้
5. การใช้ที่ดิน ทำแผนที่ตัวเมือง เส้นทางคมนาคม
6. ธรณีวิทยา ใช้ในการสำรวจแหล่งก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน แหล่งแร่ ทำแผนที่ธรณีสัณฐาน ลักษณะภูมิประเทศ
7. สมุทรศาสตร์และชายฝั่ง ใช้ศึกษาลักษณะคลื่นในทะเล ศึกษาพื้นที่ชายฝั่ง กิจกรรมปะการังชายฝั่ง และการเดินเรือ
8. ภัยธรรมชาติและอุบัติเหตุ เช่น ติดตามพื้นที่น้ำท่วม แผ่นดินถล่ม ติดตามคราบน้ำมันในทะเล

การนำเอาข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ผู้ใช้สามารถเลือกลักษณะข้อมูลให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้ เนื่องจากดาวเทียม RADARSAT ให้ชนิดข้อมูลได้หลายลักษณะ (Modes) (ภาพที่ 4.36 และ 4.37) ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้ได้มีคำแนะนำในการเลือกใช้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.21

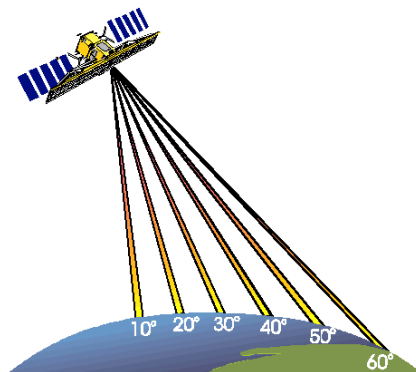
ตารางที่ 4.21 รูปแบบการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม RADARSAT

รูปแบบ (Mode)	ตำแหน่งลำคลื่น (Beam Position)	มุมเอียง (องศา) (Incidence angle)	ความละเอียด (เมตร) (Resolution)	ขนาดภาพ (กิโลเมตร) (Nominal Area)	จำนวนมุมมอง สำหรับผลิตภาพ
Fine (5 ตำแหน่ง)	F1	37-40	10	50 x 50	1 x 1
	F2	39-42			
	F3	41-44			
	F4	43-46			
	F5	45-48			
Standard (7 ตำแหน่ง)	S1	20-27	30	100 x 100	1 x 4
	S2	24-31			
	S3	30-37			
	S4	34-40			
	S5	36-42			
	S6	41-46			
	S7	45-49			

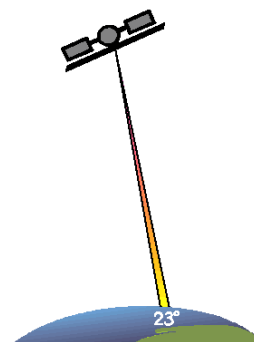
ตารางที่ 4.21 (ต่อ)

รูปแบบ (Mode)	ตำแหน่งลำคลื่น (Beam Position)	มุมเอียง (องศา) (Incidence angle)	ความละเอียด (เมตร) (Resolution)	ขนาดภาพ (กิโลเมตร) (Nominal Area)	จำนวนมุมมอง สำหรับผลิตภาพ
Wide (3 ตำแหน่ง)	W1	20-31	30	165 x 165	2 x 2
	W2	31-39		150 x 150	
	W3	39-45		130 x 130	
ScanSAR Narrow (2 ตำแหน่ง)	SN1	20-40	50	300 x 300	2 x 4
	SN2	31-46			
ScanSAR Wide	SW2	20-49	100	500 x 500	2 x 4
Extended High (6 ตำแหน่ง)	H1	49-52	25	75 x 75	1 x 4
	H2	50-53			
	H3	52-55			
	H4	54-57			
	H5	56-58			
	H6	57-59			
Extended Low	L1	10-23	35	170 x 170	1 x 4

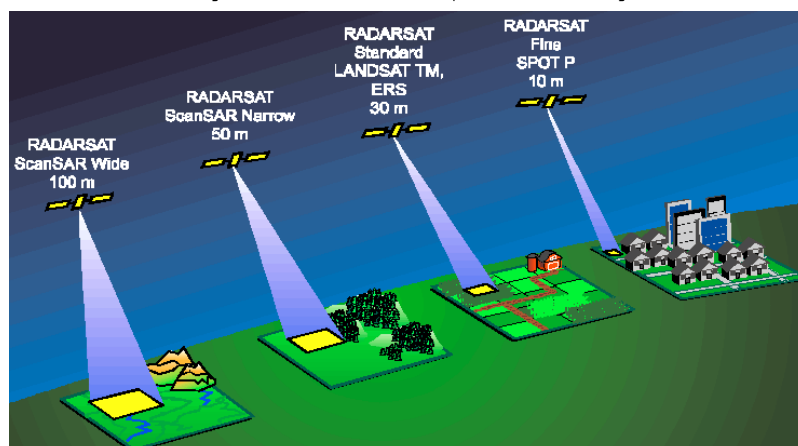
RADARSAT: 10°-60°
Variable Incidence Angles



ERS:
One incidence angle



ภาพที่ 4.36 เปรียบเทียบระบบการบันทึกข้อมูลภาพ SAR ระหว่างดาวเทียม RADARSAT ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลได้หลายลักษณะ (Mode) และระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม ERS ที่มีมุมในการบันทึกข้อมูลเพียงลักษณะเดียว (Bruno, 2001)



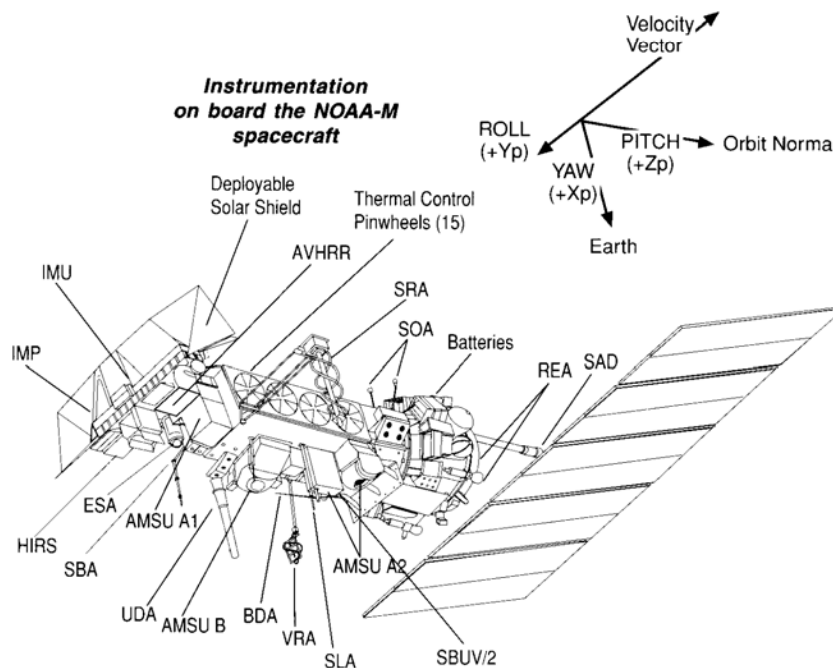
ภาพที่ 4.37 ความหลากหลายของความละเอียดเชิงพื้นที่ในข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT ทำให้สามารถเลือกใช้ข้อมูลให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในด้านต่างๆ (Bruno, 2001)

4.4.8 ดาวเทียม NOAA

ดาวเทียมชุด NOAA เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยารุ่นที่ 3 ขององค์การบริหารสมุทรศาสตร์และบรรยากาศแห่งชาติ (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยดาวเทียมรุ่นแรกได้แก่ ดาวเทียมชุด TIROS หรือ Television and Infrared Radiometer Observation Satellite ปฏิบัติการระหว่างปี พ.ศ. 2503 ถึง 2508 รุ่นที่สองคือ ดาวเทียมชุด ITOS (Improved TIROS Operational Satellite) ปฏิบัติการระหว่างปี พ.ศ. 25013 ถึง 2519 ประกอบด้วยดาวเทียม TIROS-1 และดาวเทียม NOAA-1 ถึง 5 สำหรับดาวเทียมชุด TIROS-N เป็นดาวเทียมชุดที่ 3 ที่ส่งขึ้นเมื่อปี 2521 ดาวเทียมดวงแรกของชุดนี้คือดาวเทียม NOAA-6 จนถึงปัจจุบัน คือ NOAA-17 ถูกส่งขึ้นโคจรรอบโลกเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน 2545 ซึ่งเป็นดาวเทียมชุด Advanced TIROS-N (ATN series) ดวงล่าสุดที่ปฏิบัติการในปัจจุบัน นอกจากนี้ดาวเทียม NOAA-N มีกำหนดที่จะถูกส่งขึ้นปฏิบัติการในเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ.2547 สำหรับในปัจจุบันดาวเทียม NOAA-12, 14, 15, 16, และ 17 ยังคงปฏิบัติการอยู่

รูปร่างลักษณะ

ดาวเทียมชุด Advanced TIROS-N (ATN series) คือตั้งแต่ดาวเทียม NOAA-15 ถึง 17 จะมีลักษณะที่เหมือนกัน โดยออกแบบมาให้มีอายุการทำงานอย่างน้อย 2 ปี มีขนาดความยาว 4.18 เมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 1.88 เมตร (ภาพที่ 4.38) น้ำหนักประมาณ 1,478.9 กิโลกรัมในวงโคจร และน้ำหนัก 2,231.7 กิโลกรัม ขณะขึ้นสู่วงโคจร



ภาพที่ 4.38 รูปร่างลักษณะและระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม NOAA-17 (Colorado State University, 2003)

การโคจร

ดาวเทียม NOAA-11 และ NOAA-12 โคจรรอบโลกใช้เวลา 101.4 นาที โดยดาวเทียม NOAA-11 โคจรสูงจากพื้นโลก 830 กิโลเมตร ทำมุมเอียงกับเส้นศูนย์สูตร 98.7 องศา ส่วน NOAA-12 โคจรสูง 870 กิโลเมตร ทำมุมเอียง 98.9 องศา กับแนวเส้นศูนย์สูตร สำหรับดาวเทียม NOAA-10 มีแนวโคจรขาลงคือ จากเหนือลงใต้ผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลา 7.30 น. และเวลา

19.30 น. เวลาท้องถิ่น ส่วนดาวเทียม NOAA-11 เป็นแนวโคจรขาคี (ขั้วโลกใต้ขั้วโลกเหนือ) ผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลา 13.40 น. และเวลา 01.40 น. ข้อมูลจึงสามารถรับได้วันละ 2 ครั้ง (ดาวเทียม NOAA-13 ไม่สามารถเข้าสู่โคจรได้) สำหรับดาวเทียม NOAA 15 ถึง 17 มีวงโคจรผ่านขั้วโลกแบบ Sun-synchronous โดยโคจรห่างจากพื้นผิวโลก 833 หรือ 870 กิโลเมตร (± 19 กิโลเมตร) โคจรรอบโลกใช้เวลา 102 นาที

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ดาวเทียม NOAA-6 จนถึง NOAA-17 ประกอบด้วยระบบบันทึกข้อมูลภาพ AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) ที่บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงคลื่น Visible (2 ช่วงคลื่น) และ Thermal Infrared (3 ช่วงคลื่น) นอกจากนี้ ตั้งแต่ดาวเทียม NOAA-15 เป็นต้นมา ได้มีการเพิ่มช่วงคลื่น Short Wave Infrared เพิ่มอีกหนึ่งช่วงคลื่น ($1.58\text{--}1.64\ \mu\text{m}$) เพื่อใช้ในการแก้ค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

ตั้งแต่ดาวเทียม NOAA-7 เป็นต้นมา ระบบ TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) เป็นอีกระบบที่สำคัญในการคำนวณค่าอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศในแนวตั้ง สำหรับดาวเทียมชุด Advanced TIROS-N (ATN) มีการเพิ่มอุปกรณ์ AMSU-A/B (Advance Microwave Sounding Unit-A/B), Search and Rescue (SAR), Solar Backscatter Ultra-Violet (SBUV), และ Earth Radiometer Budget Sensing System (ERBSS)

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลในดาวเทียมชุด Advanced TIROS-N มีดังนี้ (ตารางที่ 4.22)

1) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

เป็นระบบบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่นมีทั้งหมด 5 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ช่วงคลื่น Visible, Near Infrared และ Thermal Infrared (ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น 2 ช่วงคลื่น และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน 3 ช่วงคลื่น) ระบบ AVHRR สามารถถ่ายภาพได้ต่อเนื่องถึง 3000 กิโลเมตร บนพื้นโลก ดังนั้นด้วยดาวเทียม NOAA 2 ดวง ณ จุดใดๆ บนแนวศูนย์สูตรจะมีข้อมูลได้ 2 ครั้งในช่วงเวลากลางวันและอีก 2 ครั้งในช่วงเวลากลางคืน ในแนวเส้นละติจูดตอนกลาง (ทวีปยุโรป) สามารถให้ข้อมูลได้ถึง 8 ครั้ง สำหรับข้อมูลที่บันทึกจากระบบ AVHRR สามารถผลิตได้ 3 ประเภท คือ

- (1) High Resolution Picture Transmission (HRPT)
- (2) Local Area Coverage (LAC)
- (3) Global Area Coverage (GAC)

สำหรับข้อมูล LAC ที่ถูกบันทึกในรูปแบบความละเอียดขนาด 2,048 จุดภาพต่อเส้น จะบันทึกบนดาวเทียม ส่วนข้อมูล HRPT จะส่งข้อมูลลงมาสถานีภาคพื้นดินในเวลาจริง (Real time) ซึ่งจะไม่บันทึกข้อมูลบนตัวดาวเทียม สำหรับข้อมูล GAG ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 กิโลเมตร จะสร้างบนเครื่องรับสัญญาณโดยสุ่มตัวอย่างและข้อมูลทุก 2 ถึง 3 วัน

2) TIROS Operational Vertical Sounder (TOVS) หรือ Atmospheric Sounding Instruments

เป็นระบบที่ออกแบบเพื่อตรวจสอบศึกษาอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศในแนวตั้ง สามารถแยกได้เป็น 4 ระบบย่อย

- HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiometer Sounder/3)
- SSU (Stratospheric Sounding Unit)

- AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A)
- AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B)

3) Satellite Aided Search and Rescue System (SARSAT)

เป็นระบบให้บริการเกี่ยวกับการให้ข้อมูลตำแหน่งเพื่อกู้ภัยและค้นหา ซึ่งเป็นโปรแกรมความร่วมมือระหว่างชาติเพื่อบอกตำแหน่งของเรือหรือเครื่องบินที่เกิดปัญหาต้องการความช่วยเหลือ โดยอุปกรณ์ Search and Rescue (SAR), Solar Backscatter Ultra-Violet/2 (SBUV/2) และ Earth Radiometer Budget Sensing System (ERBSS) ติดตั้งเฉพาะในดาวเทียม NOAA 8 ถึง NOAA 17 (ดาวเทียม Advanced TIROS-N: ATN)

4) ARGOS

เป็นฮาร์ดแวร์ของฝรั่งเศสที่รับสัญญาณและถ่ายทอดสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินทางไกลรอบโลก เพื่อบอกตำแหน่งในกรณีที่ต้องการความช่วยเหลือฉุกเฉิน

การประยุกต์ใช้ข้อมูล

ถึงแม้ว่าดาวเทียม NOAA จะเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา แต่เนื่องจากความหลากหลายของระบบบันทึกข้อมูล ทำให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจพื้นผิวโลกด้านต่างๆ ได้อย่างแพร่หลายทั้งทางด้านปฐพีวิทยาและสมุทรศาสตร์ (ตารางที่ 4.23) ข้อมูลจากระบบ AVHRR มีการบันทึกหลายช่วงคลื่นตั้งแต่ช่วงคลื่น Visible จนถึง Thermal Infrared ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยเฉพาะในช่วงคลื่น Thermal Infrared เหมาะสมที่นำมาใช้แสดงตำแหน่งบริเวณที่เป็นจุดหรือแหล่งกำเนิดความร้อน (Hot spot) ได้ นอกจากนี้ข้อมูล AVHRR ประเภท GAC ถึงแม้ว่าจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ (4 กิโลเมตร) แต่ก็ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกในเวลาอันสั้น ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิเมฆ (Cloud temperature) อุณหภูมิของน้ำทะเล (Sea temperature) พื้นที่ถูกไฟไหม้ทั่วโลก (Burnt area) และ แผนที่ดัชนีพืชพรรณ (Map of Vegetation Index) ได้เป็นอย่างดี

ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ไมโครเวฟ (Advance Microwave Sounding Unit) จะช่วยให้การพยากรณ์อากาศมีขอบเขตกว้างขึ้น ตั้งแต่การพยากรณ์ทิศทางและความรุนแรงของพายุฝนจนกระทั่งพายุเฮอริเคน การวัดอัตราความแรงของฝน, ปริมาณน้ำฝน, ความหนาแน่นของน้ำในเมฆและความเข้มข้นของน้ำแข็งในเมฆ อีกทั้งยังทำให้มีข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์การเกิดน้ำท่วมและฝนแล้ง รวมทั้งพยากรณ์แนวโน้มของปรากฏการณ์ของสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดู เช่น El Niño และ La Niña เป็นต้น ในปัจจุบันการทำงานร่วมกันของดาวเทียม NOAA-12, 14, 15, 16 และ 17 ทำให้สามารถให้ข้อมูลสำหรับการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้าในระยะยาวได้ เช่น 3 วัน หรือ ติดตามการเปลี่ยนแปลงของอากาศในแต่ละฤดู

ตารางที่ 4.22 ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม TIROS-N/NOAA

ดาวเทียม (Satellite)	องค์ประกอบวงโคจร (Orbital element)	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
		ชื่อระบบบันทึก (Sensor name)	ช่วงคลื่น/ความถี่ spectrum/frequency	ความละเอียด (Resolution)	ความกว้าง ของภาพ (Swath width)
TIROS-N/NOAA series TIROS-N (1978) NOAA-6 (1979) NOAA-7 (1981) NOAA-8 (1983) NOAA-9 (1984) NOAA-10 (1986) NOAA-11 (1988) NOAA-12 (1991) NOAA-13 (1992) NOAA-14 (1993) (USA)	Sun sync. Alt.: 833 or 870 km. Inc. : 99°	AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer) and AVHRR /2	0.58-0.68 μm ¹⁾ 0.725-1.10 μm ²⁾ 3.55-3.93 μm 10.30-11.30 μm 11.50-12.50 μm ³⁾	1.1 km.	2,700 km.
		TOVS-SSU (TIROS Operational Vertical Sounder Stratospheric Sounding Unit)	15 μm	147 km.	736 km.
		TOVS-HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiation Sounder, Model 2)	14.96, 4.71 μm 14.79, 14.22 μm 13.97, 13.64 μm 13.35, 11.11 μm 9.71, 8.16 μm 7.33, 6.72 μm 4.57, 4.52 μm 4.46, 4.44 μm 4.24, 4.00 μm 3.76, 0.69 μm	20 km.	2,200 km.
		TOVS-MSU (Microwave Sounding Unit)	50.31 GHz 53.73 GHz 54.96 GHz 57.95 GHz	109 km.	2,347 km.
		SBUV / 2 ⁴⁾ (Solar Backscatter Ultra-Violet Experiment)	3.76, 0.69 μm 0.252-0.3398 μm 0.2-50.0 μm	169.3 km.	-
1) ติดตั้งบน TIROS-N 2) เพิ่มใน AVHRR/2 3) เช่นเดียวกับ NOAA-8	4) ติดตั้งบน NOAA-9, 13, 14 5) ติดตั้งบน NOAA-9	ERB ⁵⁾ (Earth Radiation Budget Experiment)	(8 bands)	67.5 km.	-

ตารางที่ 4.22 (ต่อ)

ดาวเทียม	องค์ประกอบวงโคจร	ระบบบันทึกข้อมูล (Observation sensor)			
		ชื่อระบบบันทึก	ช่วงคลื่น/ความถี่	ความละเอียด	ความกว้าง
(Satellite)	(Orbital element)	(Sensor name)	spectrum/frequency	(Resolution)	ของภาพ (Swath width)
Advance TIROS-N/ ATN series TIROS-15 (1998) NOAA-16 (2000) NOAA-17 (2002) NOAA-N (2004) (USA)	Sun sync. Alt.: 833 or 870 km. Inc. : 98.67°	AVHRR / 3 (AVHRR Model 3)	0.58-0.68 μm 0.82-0.87 μm ²⁾ 1.57-1.781 μm 3.55-3.931 μm 11.50-12.40 μm ³⁾	0.5 km. 1.09 km.	2,700 km.
		TOVS-HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiation Sounder, Model 2)	14.96, 4.71 μm 14.79, 14.22 μm 13.97, 13.64 μm 13.35, 11.11 μm 9.71, 8.16 μm 7.33, 6.72 μm 4.57, 4.52 μm 4.46, 4.44 μm 4.24, 4.00 μm 3.76, 0.69 μm	20 km.	2,200 km.
		AMSU-A (c)	23.0-90.0 GHz (15 bands)	40 km.	2,240 km.
		AMSU-B	90.0-183.0 GHz (5 bands)	15 km.	
		SBUV / 2 (Solar Backscatter Ultra-Violet Experiment)	3.76, 0.69 μm 0.252-0.3398 μm (12 bands) 0.2-50.0 μm	169.3 km.	-

ดัดแปลงมาจาก: ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ (2540)

ตารางที่ 4.23 การใช้ประโยชน์ข้อมูลจากระบบ AVHRR/3 (ชรัตน์, 2540)

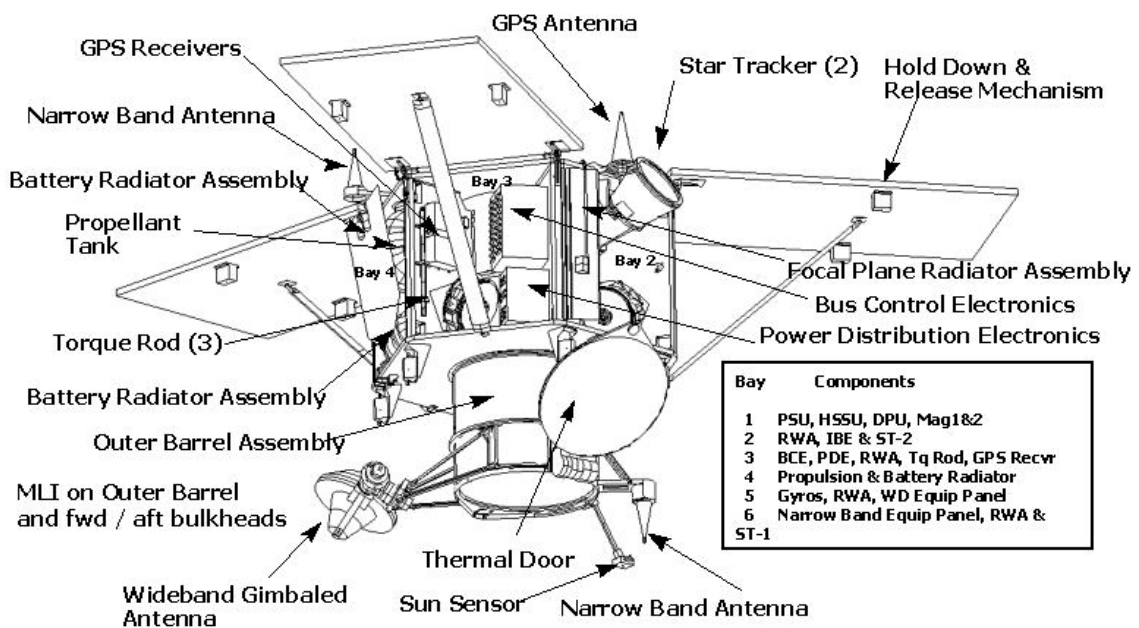
แบนด์	ช่วงคลื่น (μm)	การใช้ประโยชน์
1	0.58-0.68	การปกคลุมของเมฆและแผนที่พื้นผิวโลก
2	0.725-1.10	การปกคลุมของเมฆ แผนที่พื้นผิวโลกและแยกน้ำกับแผ่นดิน
3A	1.580-1.64	การสังเกตการกระจายตัวของพืชพรรณ เมฆ ทะเลสาบ ชายฝั่ง ละอองในอากาศ หิมะ และ น้ำแข็ง
3B	3.55-3.93	อุณหภูมิของพื้นผิวโลก แหล่งพลังงานความร้อน การปกคลุมเมฆในเวลากลางคืน
4	10.30-11.30	อุณหภูมิของน้ำทะเล การปกคลุมเมฆทั้งกลางวันและกลางคืน
5	11.50-12.50	อุณหภูมิของน้ำทะเล แผนที่การปกคลุมของเมฆ

4.4.9 ดาวเทียม IKONOS

ดาวเทียม IKONOS-1 เป็นดาวเทียมที่สร้างโดยบริษัท Lockheed Martin Missiles & Space ถูกส่งขึ้นโคจรเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2542 เวลา 11:21 น. ตามเวลา Pacific Daylight Time จากฐานทัพอากาศ แวนเดนเบิร์ก รัฐแคลิฟอร์เนีย ใช้เวลาในการส่ง 30 นาที โดยยาน Athena II ของบริษัท Lockheed Martin ดาวเทียม IKONOS-1 เป็นดาวเทียมที่ติดตั้งระบบบันทึกข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง โดยภาพขาว-ดำ (Panchromatic) มีรายละเอียด 1 เมตร และภาพระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ได้แก่ น้ำเงิน เขียว แดง และอินฟราเรดใกล้ มีรายละเอียด 4 เมตร โดยช่วงคลื่นที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพระบบหลายช่วงคลื่น เป็นช่วงคลื่นเดียวกับแบนด์ที่ 1 ถึง 4 ของระบบ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) บนดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5

รูปร่างลักษณะ

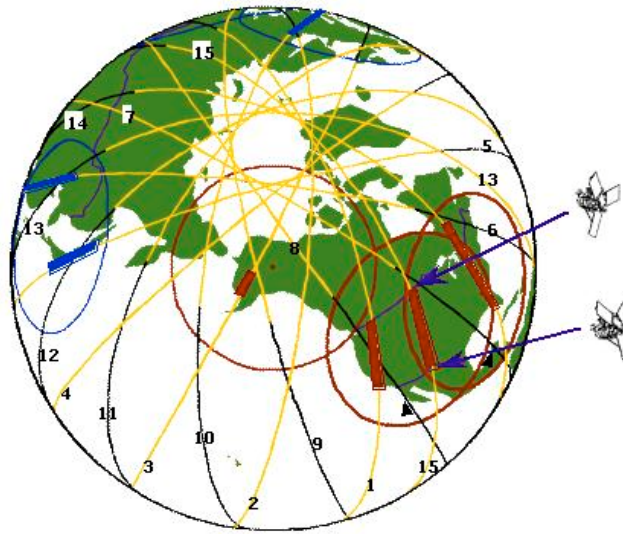
ดาวเทียม IKONOS-1 มีแผงโซลาร์เซลล์สามแผงที่ยืดออกมาทำให้ตัวดาวเทียมมีความกว้างถึง 185 นิ้ว (ภาพที่ 4.39) โดยแผงโซลาร์เซลล์แบบ Gallium arsenide ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์ ซึ่งจะให้พลังงานถึง 1,020 วัตต์ ตัวดาวเทียมมีน้ำหนัก 1,600 ปอนด์ ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งาน 7 ปี ติดตั้งระบบกล้องถ่ายภาพที่มีน้ำหนัก 376 ปอนด์จากบริษัท Eastman Kodak ซึ่งจะถ่ายภาพขนาด 11 * 11 กิโลเมตร (6.8*6.8 ไมล์) ในแนวตั้ง และมีกำลังขยายเท่ากับเลนส์ถ่ายภาพระยะไกล 10,000 มม.



ภาพที่ 4.39 รูปร่างและองค์ประกอบต่างๆ ของดาวเทียม IKONOS-1 (Frank, 2001)

การโคจร

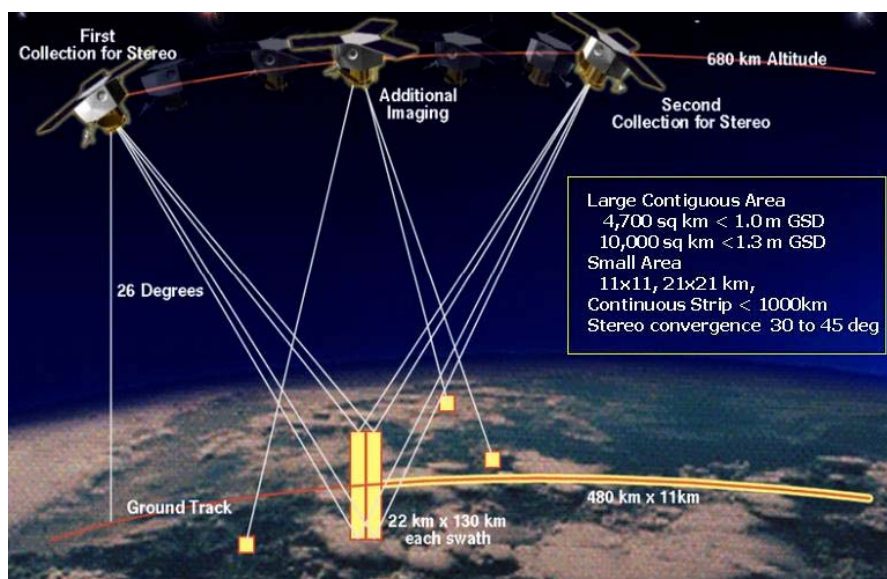
ดาวเทียม IKONOS-1 โคจรแนวเหนือ-ใต้ ในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-Synchronous orbit) ที่ระดับความสูง 680 กิโลเมตร โดยโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรที่เวลาประมาณ 10:30 น. (Local Time Descending Node) และโคจรกลับมาบันทึกภาพบริเวณเดิมทุก 3 วันในหนึ่งวันโคจรรอบโลกได้ 15 รอบ แนวโคจรทำมุม 98.2 องศา กับเส้นศูนย์สูตร (ภาพที่ 4.40)



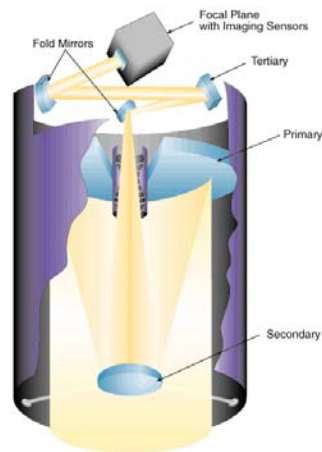
ภาพที่ 4.40 ลักษณะการโคจรของดาวเทียม IKONOS-1 (Frank, 2001)

ระบบบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลของดาวเทียม IKONOS จะบันทึกจำนวนจุดภาพ (Pixel) 10 จุดภาพสำหรับภาพพื้นที่ขนาด 10 ตารางเมตร โดยเป็นระบบการบันทึกข้อมูลแบบ 11 บิต (Radiometric resolution) ให้ข้อมูลภาพที่มีระดับสีเทาได้มากกว่า 2,048 ระดับซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นวัตถุบางอย่างที่ไม่สามารถมองเห็นได้จากภาพถ่ายทางอากาศ ดาวเทียม IKONOS ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ สามารถหมุนเพื่อถ่ายภาพแทนการกวาดภาพจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง (ภาพที่ 4.41) ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่คมชัดขึ้น และมีรายละเอียดที่ดีขึ้น สำหรับดาวเทียม IKONOS-2 ประกอบด้วยระบบบันทึกข้อมูลแบบ Optical sensor ซึ่งสามารถบันทึกภาพที่มีรายละเอียดสูง 1 เมตร สำหรับภาพ Panchromatic และ 4 เมตร สำหรับระบบ Multispectral (ภาพที่ 4.42) อีกทั้งยังมีระบบถ่ายภาพทั้งแบบ Cross-track และ Along-track ทำให้มีความยืดหยุ่นในการบันทึกภาพ สามารถกลับมาบันทึกภาพซ้ำบริเวณเดิมที่มีรายละเอียดข้อมูล 1 เมตร ได้ทุก 3 วัน (มุมมองน้อยกว่า 26 องศา) และข้อมูลรายละเอียด 1.5 เมตร ทุก 1.5 วัน โดยภาพที่บันทึกจากดาวเทียม IKONOS-2 มีความกว้าง 11 กิโลเมตร สำหรับการบันทึกภาพจากมุมแนวตั้ง



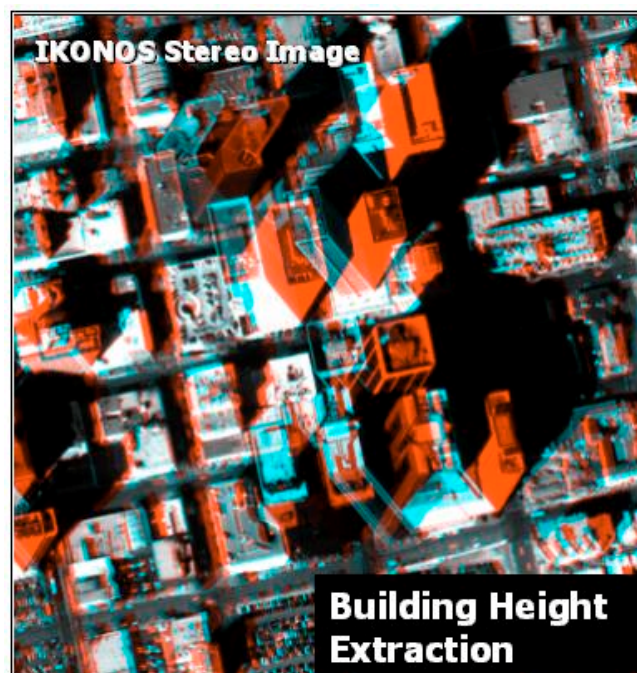
ภาพที่ 4.41 แสดงระบบการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม IKONOS-1 (Frank, 2001)



ภาพที่ 4.42 กล้องบันทึกข้อมูลของดาวเทียม IKONOS ที่ถูกออกแบบมาเพื่อลดความยาวของกล้องโทรทรรศน์ (Telescope length) และน้ำหนัก (Bird's Eye Images, 2001)

การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม IKONOS-1

ข้อมูลจากดาวเทียม IKONOS เป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงมาก คือ 1 เมตร สำหรับระบบบันทึกภาพแบบ Panchromatic ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องเชิงเรขาคณิตของวัตถุสูง ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ประยุกต์ประโยชน์ได้เหมือนกับภาพถ่ายทางอากาศ เช่น การสร้างภาพ Ortho Image การทำ Stereo Image เพื่อหาความสูงของวัตถุ (ภาพที่ 4.43) และสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขแบบอัตโนมัติ (Automatic DEM) ที่มีความถูกต้องในระดับ 12 เมตร (~12m LE 90% accuracy) นอกจากนี้ข้อมูลจากดาวเทียม IKONOS ยังเหมาะสมสำหรับใช้ในการปรับปรุงแผนที่ในมาตราส่วนขนาดต่างๆ เช่น 1:2,500 (มีความถูกต้องทางตำแหน่ง 2 เมตร) จนถึง 1:50,000 เป็นต้น สำหรับข้อมูลภาพระบบ Multispectral ที่มี 4 ช่วงคลื่นรายละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ 4 เมตร สามารถใช้ประโยชน์เช่นเดียวกันกับข้อมูลภาพระบบ ETM+ ของดาวเทียม LANDSAT-7



ภาพที่ 4.43 ภาพ Stereo pairs image จากข้อมูลภาพดาวเทียม IKONOS เพื่อสกัดข้อมูลความสูงของอาคารแต่ละหลัง (Frank, 2001)

4.4.10 ดาวเทียม QuickBird

ดาวเทียม QuickBird เป็นดาวเทียมทางการพาณิชย์ของบริษัท DigiGlobe ที่สามารถถ่ายภาพได้ละเอียดสูงถึง 61 เซนติเมตร ซึ่งเป็นภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่มากกว่าดาวเทียมพาณิชย์ดวงอื่นๆ ในปัจจุบัน ดาวเทียม QuickBird ผลิตโดยบริษัท Ball Aerospace & Technologies Corp. และถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรในเดือน ตุลาคม ปี พ.ศ.2544 จากฐานใน California ดาวเทียม QuickBird เคลื่อนที่รอบโลกในระยะสูง 450 กิโลเมตร จากพื้นโลก และทำมุม 98 องศาบังวงโคจรของดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous inclination) โคจรรอบโลกใช้เวลา 93.4 นาที และสามารถถ่ายภาพได้ในวงกว้าง 16.5 กิโลเมตร ซึ่งกว้างกว่าดาวเทียมพาณิชย์ดวงอื่นๆ ประมาณ 2 ถึง 10 เท่า (สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์, 2545)

ลักษณะทั่วไป

- ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Panchromatic มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 61 เซนติเมตร (2 ฟุต) บันทึกภาพในช่วงคลื่น 0.45-0.9 μm
- ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Multispectral มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 2.44 เมตร (8 ฟุต) มี 4 แบนด์ โดยบันทึกภาพในช่วงคลื่น 0.45-0.52 μm (Blue), 0.52-0.60 μm (Green), 0.63-0.69 μm (Red), และ 0.76-0.90 μm (Near IR)
- ตัวยานแบบ Stable platform ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับการวัดตำแหน่งที่แม่นยำ (3-axis stabilized, Star tracker/IRU/Reaction wheels, และ GPS)
- ความกว้างในการบันทึกข้อมูลเท่ากับ 16.5 กิโลเมตร (Image swath)
- ความสามารถในการเก็บบันทึกข้อมูลบนตัวดาวเทียมเท่ากับ 128 Gbits

การประยุกต์ใช้ประโยชน์

การประยุกต์ใช้ในด้านเกษตร เนื่องจากข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงมาก ทำให้สามารถแยกแยะประเภทของชนิดพันธุ์พืชเศรษฐกิจได้ดีกว่าข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT และ SPOT เช่น การแยกประเภทพื้นที่ปลูกข้าวบาร์เลย์ และสวนผลไม้ออกจากกัน

การใช้ด้านการปรับปรุงแผนที่ให้มีความทันสมัย เนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำสูงและต้นทุนในการ Update ต่ำกว่าวิธีดั้งเดิม และสามารถสกัดข้อมูลต่างๆ เพื่อการวางแผนโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน ทางด่วน สะพาน ทางรถไฟ คูคลอง ทางระบายน้ำ เป็นต้น อีกทั้งยังใช้สร้างข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ (Geo-Spatial information) ได้ดี และพร้อมที่จะถูกนำไปใช้งานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ทันที เนื่องจากเป็นข้อมูลภาพที่มีการปรับแก้ทางเรขาคณิตทำให้มีความถูกต้องทางตำแหน่งและรูปทรงทางเรขาคณิตสูง (Orthorectified Imagery) (ภาพที่ 4.44) รวมทั้งเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางด้านติดตามตรวจสอบภัยพิบัติ



ภาพที่ 4.44 ภาพดาวเทียม QuickBird และภาพ Orthorectified Imagery (DigitalGlobe, 2001)

บรรณานุกรม

ชรัตน์ มลคลสวัสดิ์. 2540. การสำรวจข้อมูลระยะไกล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หจก. ขอบแก่นการพิมพ์. หน้า 48-50.

คุุทธิณี ดนตรี. 2542. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจจากระยะไกล. ภาควิชาภูมิศาสตร์. คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์รีโมทเซนซิงและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ภาคใต้. 2542. เทคโนโลยีรีโมทเซนซิงและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. <http://www.rs.psu.ac.th/rs/spot/spot.htm>

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2534. จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย : กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. คำบรรยายเรื่องการสำรวจระยะไกล : กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ .

สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์. 2545. ดาวเทียม QuickBird. การประชุมสัมมนา เรื่อง ดาวเทียม
สำรวจทรัพยากรระยะเฝ้าดูสูงรุ่นใหม่ วันที่ 27 มีนาคม 2545 ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ.

สมพร สง่างค์. 2543. รีโมทเซนซิงเบื้องต้น และกรณีศึกษา รีโมทเซนซิง. นพบุรีการพิมพ์ เชียงใหม่. 243 หน้า.

Arthur Cracknell and Landsan Heyes. 1993. Introduction to Remote Sensing. University of Dundee. Taylor & Francis, London New York Philadelphia.

Barrett E.C. and L.F. Curtis. 1995. Introduction to Environmental Remote Sensing (Third Edition), Chapman & Hall. London. 145 pp.

Bird's Eye Images. 2001. About IKONOS : The IKONOS camera. Bird's Eye Images Online LLC.

<http://www.birdseyeimages.com/camera.html>

- Bruno Thollet. 2001. Values-added Remote Sensing Product Development for Geo-information Systems in Advance Training Workshop for GISTDA's Personal in Bangkok.. The Aerospace Remote Sensing Development Group (GDTA).
- Colorado State University. 2003. Polar-orbiting weather satellites. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere. Colorado. http://www.cira.colostate.edu/ramm/hillger/NOAA-M_sketch.gif
- DigitalGlobe. 2001. QuickBird imaging spacecraft : DIGITALGLOBE FACT SHEET in Spaceflight Now. <http://spaceflighnow.com/delta/d288/011015quickbird.html>
- European Aeronautic Defense and Space Company (EADS), 2003. Reception Station of SPOT-5. EADS SPACE Transportation. http://www.launchers.eads.net/home/index_fr.asp
- EURO MAP. 2003. Indian Remote Sensing Satellite, IRS-1C.. EUROMAP Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft. Hamburg. http://www.euromap.de/doc_004.htm
- Frank Gerlach. 2001. IKONOS Overview. Director Advanced Systems & Business Development. Space Imaging.
- Japan Association on Remote Sensing. 1993. Remote Sensing Note : Murai S. (ed.), Japan Association on Remote Sensing.
- Lillesand T.M. and Kiefer R.W. 1994. Remote sensing and image interpretation 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc.,
- Myrian Chikhi. 2001. Digital Elevation Model. : Values-added Remote Sensing Product Development for Geo-information Systems in Advance Training Workshop for GISTDA's Personal in Bangkok.. The Aerospace Remote Sensing Development Group (GDTA).
- Orbital Imaging Corporation, 2003. Multi-Polarized Imagery of Unprecedented Resolution. http://www.orbimage.com/corp/orbimage_system/radarsat/
- RADARSAT International. 2003. See the world differently, Innovation Earth Information-on Time. Science and Operational Applications Research (SOAR) Program for RADARSAT-2 http://www.radarsat2.info/soar/r2_pl0202_ppt_070802.pdf
- SPOT IMAGE. 2002. Earth observation mission : Eyes in space. <http://smc.cnes.fr/SPOT/Fr/>
- U.S. Geological Survey (USGS). 2003. Landsat Project WebsiteU.S. Department of the Interior. <http://landsat7.usgs.gov/index.php>