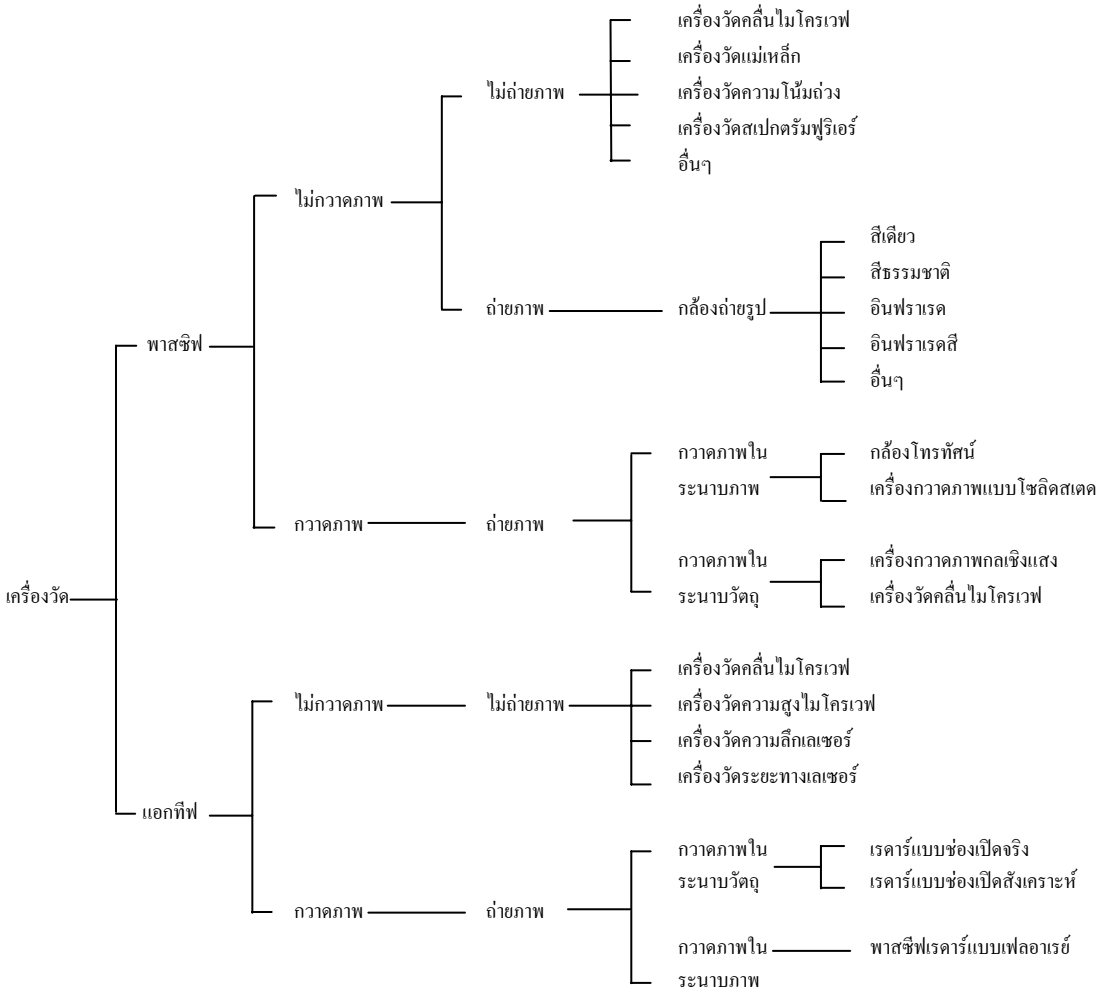
บทที่ 3
ระบบบันทึกข้อมูลรีโมทเซนซิง

3.1 ประเภทของเครื่องวัดสัญญาณ (Types of Sensor)

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลได้มีการปรับปรุงและพัฒนาระบบการบันทึกข้อมูลหรือเครื่องวัดสัญญาณ (Sensor) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะมีการพัฒนาเครื่องวัดสัญญาณชนิดใหม่ขึ้นมาเพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน ในกระบวนการสำรวจจากระยะไกลทั้งแบบ ***พาสซีฟเซนเซอร์ (Passive sensors)*** คือ เครื่องวัดที่สามารถตรวจจับและบันทึกสัญญาณข้อมูลที่สะท้อนหรือแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดพลังงานตามธรรมชาติ และการสำรวจแบบ ***แอคทีฟเซนเซอร์ (Active sensors)*** คือ ระบบที่สร้างพลังงานขึ้นได้เอง แล้วส่งผ่านให้ไปกระทบวัตถุที่ต้องการศึกษา เพื่อให้สะท้อนพลังงานภาพออกมาอีกครั้งหนึ่งแล้วตรวจวัด (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทของเครื่องวัดสัญญาณในการสำรวจระยะไกลทั้งสองแบบออกเป็น 2 ประเภทหลัก (ภาพที่ 3.1) คือ (1) เครื่องวัดแบบกวาดภาพ (Scanning systems) และ (2) เครื่องวัดแบบไม่กวาดภาพ (Non scanning systems)



ภาพที่ 3.1 การจำแนกประเภทเครื่องรับสัญญาณ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

3.1.1 เครื่องวัดแบบกวาดภาพ (Scanning systems)

เครื่องวัดแบบกวาดภาพ (Scanning systems) ถูกนำไปใช้ทั้งในการสำรวจแบบพาสซีฟเซนเซอร์และแอคทีฟเซนเซอร์ โดยเครื่องวัดสัญญาณแบบกวาดภาพจะเป็นระบบที่บันทึกข้อมูลออกมาเป็นภาพ (Scanning and imaging sensor) ทั้งยังสามารถแบ่งออกได้เป็น ***เครื่องวัดชนิดกวาดสร้างภาพจากระนาบภาพ*** *(Image plane scanning sensor)* และ ***เครื่องวัดชนิดกวาดภาพจากระนาบวัตถุ*** *(Object plane scanning sensor)*

การสำรวจแบบพาสซีฟเซนเซอร์มีทั้งที่เป็นเครื่องวัดชนิดกวาดสร้างภาพจากระนาบภาพ (Image plane scanning sensor) เช่น กล้องโทรทัศน์, เครื่องกวาดภาพแบบโซลิดสเตต เป็นต้น และเครื่องวัดชนิดกวาดภาพจากระนาบวัตถุ (Object plane scanning sensor) เช่น เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง (Optical mechanical scanner) และเครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟชนิดกวาดภาพ (Scanning microwave radiometer)

สำหรับการสำรวจแบบแอคทีฟเซนเซอร์นั้น เครื่องวัดชนิดกวาดสร้างภาพจากระนาบภาพ (Image plane scanning sensor) ได้แก่ ระบบพาสซิฟเรดาร์แบบเฟสอาเรย์ ส่วนเครื่องวัดชนิดกวาดภาพจากระนาบวัตถุ (Object plane scanning sensor) ได้แก่ เรดาร์ เช่น เรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar: SAR) ที่สามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน แม้ในขณะที่มีเมฆปกคลุม และเรดาร์แบบช่องเปิดจริง (Real Aperture Radar: RAR)

ในที่นี้จะอธิบายถึงตัวอย่างของเครื่องวัดสัญญาณแบบกวาดภาพ คือ เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง (Optical mechanical scanner) และเครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูม (Pushbroom scanner) สำหรับในภาพที่ 3.1 จะสรุปให้เห็นถึงชนิดของเครื่องวัด (Sensor) ซึ่งใช้ในปัจจุบันและกำลังได้รับการพัฒนาขึ้นมาในอนาคต

(1) <u>เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง (Optical mechanical scanner)</u>

เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง คือ เครื่องวัดชนิดกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner) สามารถรับข้อมูลหลายช่วงคลื่นพร้อมกันขณะทำการบันทึกภาพแบบ 2 มิติ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของยานสำรวจ และการแกว่งหรือการหมุนของกระจกในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานสำรวจ (หรือแนวการบิน) ส่วนประกอบหลักของเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสงมีดังนี้ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

1.1) ระบบเชิงแสง (Optical system) ประกอบด้วยระบบกล้องส่องทางไกลแบบสะท้อนพลังงาน (Reflective telescope system) เช่น แบบ Newton, Cassergrain, หรือ Richey-Chretien เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของสี

1.2) ระบบแยกช่วงคลื่น (Spectrographic system) เป็นตัวแยกรังสีคลื่นต่างๆ ออกเป็นช่วงๆ โดยอาจใช้กระจกไดโครอิก (Dichroic mirror), แผ่นเกรตติง (Grating), ปริซึม (Prism) หรือตัวกรองแสง (Fillter)

1.3) ระบบกวาดภาพ (Scanning system) ใช้กระจกชนิดหมุนหรือแกว่ง (Rotating or Oscillating mirror) เพื่อกวาดภาพในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานสำรวจหรือแนวบิน

1.4) ระบบตัวตรวจวัด (Detector system) เป็นตัวตรวจวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง สามารถเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้ ระบบตัวตรวจวัดมีหลายชนิด เช่น

1.4.1) ชนิดขยายแสง (Optical system) จะใช้ได้ดีในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลตใกล้ และช่วงคลื่นตามองเห็น

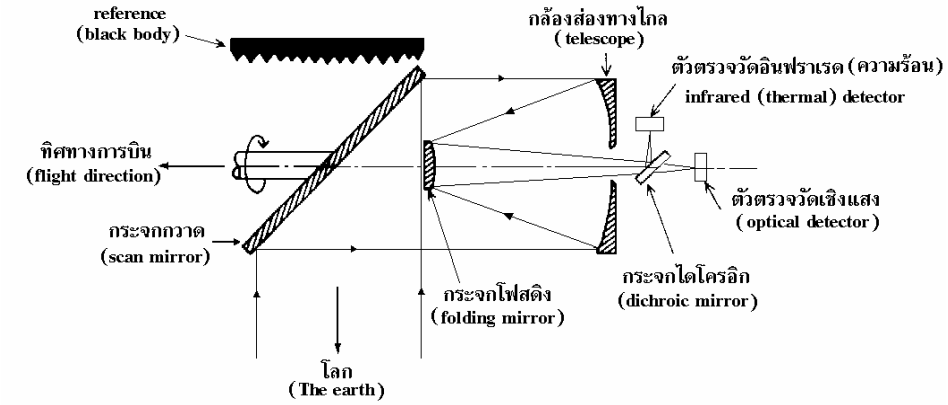
1.4.2) ชนิดซิลิคอนไดโอด (Silicon diod) ใช้ได้ดีกับช่วงคลื่นตามองเห็น และอินฟราเรดใกล้

1.4.3) ชนิดอินเจียมแอนติโมนีเย็น (Cooled ingium antimony: InSb) ใช้ได้ดีกับช่วงอินฟราเรดคลื่นสั้น

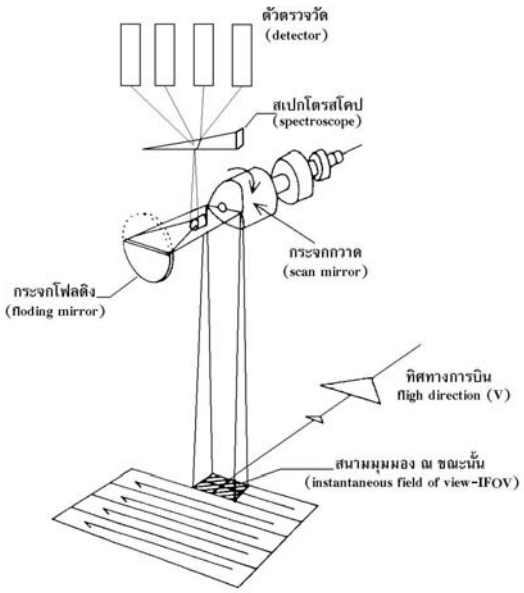
1.4.4) ชนิดเมอร์คิวรี่แคดเมียมเทอรูไรด์เย็น (Cooled mercury cadmium teruride: HqCdTe) หรือ Thermal barometer ใช้ได้ดีกับอินฟราเรดความร้อน

1.5) ระบบอ้างอิง (Reference system) สัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนมา จะได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงความไวต่อพลังงานของตัวตรวจวัด ดังนั้นจึงควรติดตั้งตัวกำเนิดพลังงานแสงหรือพลังงานความร้อนที่มีความเข้มหรืออุณหภูมิคงที่ไว้ เพื่อเป็นเครื่องอ้างอิงในการปรับแก้สัญญาณไฟฟ้าให้ถูกต้องภายหลัง

เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง สามารถติดตั้งบนดาวเทียมที่มีวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ หรือบนเครื่องบิน ตัวอย่างของเครื่องกวาดภาพชนิดนี้ที่ติดตั้งบนดาวเทียม ได้แก่ เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner-MSS) และธีมาติกแมปเปอร์ (Thematic Mapper-TM) ของดาวเทียม LANDSAT, เครื่องวัดคลื่นรายละเอียดสูงมากแบบก้าวหน้า (Advanced Very High Resolution Radiometer-AVHRR) ของดาวเทียม NOAA เป็นต้น เครื่อง M^2S ซึ่งผลิตโดยบริษัท Daedalus เป็นตัวอย่างของเครื่องกวาดภาพชนิดนี้ที่ใช้บนเครื่องบิน สำหรับโครงสร้างและขั้นตอนการเก็บข้อมูลของเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสงแสดงในภาพที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง (Structure of optical mechanical scanner) (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)



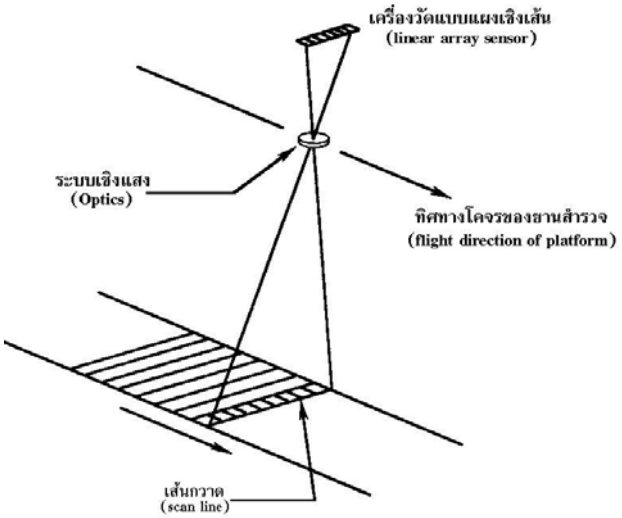
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บบันทึกข้อมูลโดยการใช้เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

(2) <u>เครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูม (Pushbroom scanner)</u>

เครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูม หรือเครื่องวัดแบบแผงเชิงเส้น (Linear array sensor) ซึ่งเครื่องกวาดภาพชนิดนี้จะไม่ใช้กระจกกวาดเชิงกล แต่ใช้แผงเชิงเส้น (Linear array) ของสารกึ่งตัวนำแบบของแข็ง (Solid semi-conductive element) ซึ่งสามารถบันทึกแต่ละแผงเส้นของภาพได้พร้อมๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 3.4

เครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูม ประกอบด้วยระบบเลนส์ (Optical lens) ซึ่งสามารถตรวจวัดเส้นภาพที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางบินได้ ในขณะเดียวกันเครื่องกวาดภาพชนิดพุชบรูมจะทำการกวาดและบันทึกภาพเชิงอิเลคทรอนิกส์แบบเส้นต่อเส้น ในขณะที่ระบบเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสงจะบันทึกภาพเชิงกลในลักษณะจุดภาพต่อจุดภาพ เนื่องจากเครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูมไม่มีส่วนประกอบที่เป็นกลไกเคลื่อนไหว จึงมีความน่าเชื่อถือด้านกลไกสูง แต่อย่างไรก็ดียังคงมีสัญญาณรบกวนในเส้นภาพ (Line noise) เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความไวต่อการตรวจวัดของบรรดาตัวตรวจวัด

เครื่องกวาดภาพชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ซีซีดี (CCD-Charge Coupled Devices) ดังนั้นบางทีอาจเรียกว่าเครื่องซีซีดีเชิงเส้นหรือกล้องซีซีดี (Linear CCD sensor or CCD camera) ตัวอย่างของเครื่องซีซีดีเชิงเส้นที่ใช้อยู่ได้แก่ ระบบ HRV HRVIR และ HRG ในดาวเทียม SPOT, ระบบ MESSR บนดาวเทียม MOS, ระบบ OPS ของดาวเทียม JERS-1 และระบบ LISS ของดาวเทียม IRS เป็นต้น



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บบันทึกข้อมูลโดยการใช้เครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูม (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

3.1.2 เครื่องวัดแบบไม่กวาดภาพ

เครื่องวัดแบบไม่กวาดภาพ (Non scanning systems) เป็นระบบที่มีทั้งการถ่ายภาพ (Imaging sensor) และไม่ถ่ายภาพ (Non imaging sensor) (ดูภาพที่ 3.1 ประกอบ) โดยถ้าเป็นการสำรวจจากระยะไกลแบบพาสซิฟ จะมีทั้ง 2 รูปแบบ แต่สำหรับการสำรวจจากระยะไกลแบบแอกทีฟ จะมีเพียงแบบไม่ถ่ายภาพเท่านั้น

เครื่องวัดแบบไม่กวาดภาพในการสำรวจจากระยะไกลแบบพาสซิฟ มีระบบถ่ายภาพเป็นระบบการถ่ายรูป (Camera) ทั้งหมด เช่น การถ่ายรูปแบบสีขาวดำ สีธรรมชาติ อินฟราเรด อินฟราเรดสี เป็นต้น ส่วนระบบไม่ถ่ายภาพเป็นการใช้เครื่องวัดที่ไม่ใช้หลักการสะท้อน (reflection) แต่ใช้ระบบการสำรวจจากระยะไกลด้านอื่นแทน เช่น ระบบเสียง (Audiometer เช่น Zonar และ Ultra sound) ระบบแม่เหล็ก (Magnetometer ใช้วัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก) และระบบแรงโน้มถ่วง (Granimeter) ตัวอย่างของเครื่องวัดในระบบไม่ถ่ายภาพ ได้แก่ เครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Radiometer), เครื่องวัดแม่เหล็ก (Magnetic sensor), เครื่องวัดความโน้มถ่วง (Gravimeter), และเครื่องวัดสเปกตรัมฟูริเอร์ (Fourier Spectrometer) เป็นต้น

เครื่องวัดแบบไม่กวาดภาพในการสำรวจจากระยะไกลแบบแอกทีฟ มีเพียงระบบไม่ถ่ายภาพอย่างเดียว ได้แก่ เครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Radiometer), เครื่องวัดความสูงไมโครเวฟ (Microwave Altimeter), เครื่องวัดความลึกเลเซอร์ (Laser Water Depth Meter), และเครื่องวัดระยะทางเลเซอร์ (Laser Distance Meter)

ประเภทของเครื่องวัดสัญญาณที่กล่าวมายังสัมพันธ์กับความยาวของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

1) <u>กล้องถ่ายรูป</u> (Camera) ชนิดฟิล์มขาวดำและฟิล์มสี ใช้งานในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลตและช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำใช้งานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และฟิล์มอินฟราเรดสีใช้งานได้ตั้งแต่ช่วงคลื่นสีเขียวจนถึงอินฟราเรดใกล้

2) <u>เครื่องกวาดภาพโซลิดสเตต</u> (Solid Scanner) ที่ติดตั้งในดาวเทียม SPOT ระบบ HRV (High Resolution Visible) ใช้งานในช่วงคลื่นตามองเห็น (เฉพาะสีเขียวและสีแดง) และคลื่นอินฟราเรดใกล้ และพบในระบบการถ่ายวีดีโอในคลื่นความร้อน (Thermal video) โดยใช้งานในคลื่นอินฟราเรดกลางและอินฟราเรดความร้อน

3) <u>กล้องโทรทัศน์</u> (TV Camera) ทำงานเช่นเดียวกับกล้องถ่ายภาพทั่วไป คือ ใช้งานในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

4) <u>เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง</u> (Optical Mechanical Scanner) เช่น ติดตั้งบนเครื่องบินที่บันทึกข้อมูลระบบ MSS (Airbone MSS) ใช้งานได้ตั้งแต่คลื่นอัลตราไวโอเลต คลื่นตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดใกล้ หรือติดตั้งบนดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS (LANDSAT MSS) ใช้งานในคลื่นตามองเห็นถึงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และระบบ Thematic Mapper ใช้งานในคลื่นตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ อินฟราเรดคลื่นสั้น อินฟราเรดกลาง และอินฟราเรดความร้อน

5) <u>เรดาร์</u> (RADAR) ใช้งานในช่วงวิทยุคลื่นสั้นและคลื่นไมโครเวฟ

6) <u>เครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟ</u> (Microwave Radiometer) ใช้งานในช่วงวิทยุคลื่นสั้น และคลื่นไมโครเวฟ

3.2 เครื่องวัดสัญญาณในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นความร้อน (Visible and thermal infrared sensor)

เครื่องวัดสัญญาณหรืออุปกรณ์บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นความร้อน ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการสำรวจแบบพาสซีฟเซนเซอร์ โดยแบ่งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor) ได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. Photographic sensor เป็นอุปกรณ์ที่บันทึกสัญญาณออกมาเป็นรูปภาพ (Photograph) ถูกนำมาใช้งานในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เช่น กล้องถ่ายรูป (Camera) จะบันทึกข้อมูลภาพลงบนฟิล์มซึ่งเป็นวัสดุเคลือบสารเกลือเงินที่มีความไวต่อแสง โดยจะใช้ปฏิกิริยาทางเคมีของแสงกับสารเคมีบนฟิล์ม เพื่อตรวจวัด (Detection) ความหลากหลายในการสะท้อนพลังงานของวัตถุ ข้อดีของระบบนี้คือ เป็นระบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่สูง และมีความคงตัวเชิงเรขาคณิต

2. Non-photographic sensor หรือ Electro-optical sensor เป็นอุปกรณ์บันทึกสัญญาณด้วยอิเลคทรอนิกส์สร้างสัญญาณสอดคล้องกับการแปรเปลี่ยนของพลังงานกับวัตถุ เช่น เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner), เครื่องกวาดภาพแบบพุชบรูม (Pushbroom scanner) และกล้องวีดีโอ เป็นต้น อุปกรณ์บันทึกสัญญาณประเภทนี้มีข้อดีคือ มีการตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่กว้างกว่าระบบ Photographic sensor และข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกเป็นสัญญาณอิเลคทรอนิกส์ลงในเทปแม่เหล็กซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขได้ภายหลัง

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงตัวอย่างอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบางระบบในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน โดยระบบบันทึกข้อมูลที่จะกล่าวถึงนี้เป็นระบบบันทึกข้อมูลภาพดาวเทียมที่สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินของประเทศไทยมีการรับสัญญาณและให้บริการข้อมูลอย่างแพร่หลาย

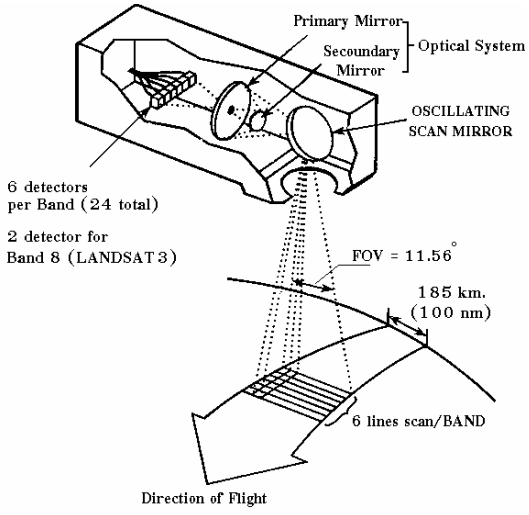
3.2.1 ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner: MSS)

เป็นระบบบันทึกข้อมูลโดยวิธีการกวาดข้อมูล (Scanning) ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-5 ประกอบด้วยกระจกแกว่งหรือกระจกหมุนที่ติดตั้งอยู่ทางตอนล่างของตัวดาวเทียม ลักษณะการทำงาน

ของระบบนี้คือ กระจกหมุนนี้จะทำมุม 45 องศากับพื้นโลก มีมุมรับภาพหรือขอบเขตสนามมุมมองของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor's Field of View: FOV) ประมาณ 11.56 องศา การกวาดของกระจกหมุนจะกวาดไปในทิศทางเดียวจากทิศตะวันตกไปยังตะวันออกด้วยอัตราเร็ว 33 มิลลิวินาทีต่อครั้ง (ประมาณ 13.62 รอบต่อวินาที) ดังนั้นทิศทางการกวาดจึงตั้งฉากกับทิศทางการโคจรของดาวเทียม ขณะกระจกแกว่งจะทำการกวาดภาพพร้อมกัน 6 เส้น (Scanline) แต่ละเส้นจะยาว (ความกว้างของแนวถ่ายภาพ: Swath width) เท่ากับ 185 กิโลเมตรบนพื้นโลก ในดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 แต่ละเส้นของการกวาด (Scanline) กว้างประมาณ 79 เมตร โดยมีขนาดการรับภาพหรือสนามมุมมอง ณ ขณะนั้น (Instantaneous Field of View: IFOV) เท่ากับ 79 x 79 เมตร หรืออาจจะเรียก IFOV ว่าเป็น ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ก็ได้

ส่วนดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีระดับความสูงของการโคจรต่ำกว่าดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 คือสูงจากพื้นโลกประมาณ 705 กิโลเมตร ซึ่งจะต้องบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ 185 x 185 ตารางกิโลเมตรเท่าเดิม ดังนั้นจึงต้องเพิ่มมุมรับภาพ (Field of View: FOV) ให้กว้างขึ้นเป็น 14.92 องศา ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของ Instantaneous Field of View (IFOV) จาก 79 x 79 เมตร เป็น 83 x 83 เมตร

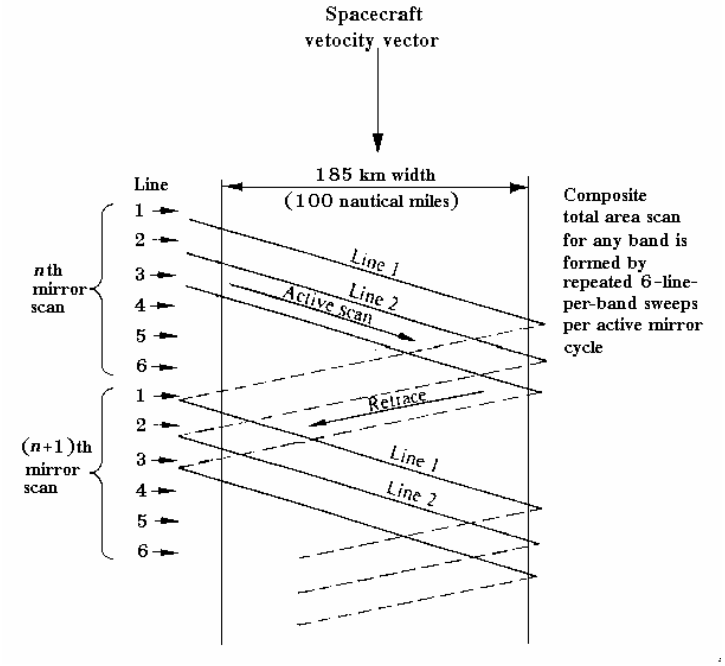
ขั้นตอนในการบันทึกข้อมูลของระบบ MSS เริ่มจากกระจกแกว่ง (Oscillating scan mirror) จะรับพลังงานสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลก เข้าสู่ระบบเชิงแสง (Reflecting optical system) แล้วรวมพลังงานนี้ส่งไปยัง Fiber optics ที่อยู่บนระนาบความยาวโฟกัสของระบบเชิงแสง (Optical system) ลักษณะการวางตัวและขนาดของ Fiber optics จะเป็นเครื่องบอกขนาดของพื้นที่จริงบนพื้นโลก ขนาดดังกล่าวนี้เรียกว่า Instantaneous Field of View (IFOV) ของเครื่องวัดสัญญาณ (Sensor) พลังงานดังกล่าวจะเดินทางไปตาม Fiber optics แล้วผ่านเครื่องกรองแสง (Filter) ซึ่งยอมให้บางช่วงคลื่นของพลังงานผ่านไปยัง Detector (ตัวตรวจวัด) เฉพาะช่วงคลื่นนั้น โดยระบบ MSS นี้ประกอบด้วย 4 แบนด์ด้วยกัน แต่ละแบนด์มี Detector 6 ตัว ดังนั้นจึงมี Detector ทั้งหมด 24 ตัว หน้าที่ของ Detector คือ จะแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้า แล้วกระแสไฟฟ้าจาก Detector แต่ละตัวจะถูกเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของค่าตัวเลข (Digital Number: DN) ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Multiplexer ในภาพที่ 3.5 แสดงระบบการบันทึกขอมูลแบบ MSS เบื้องต้น



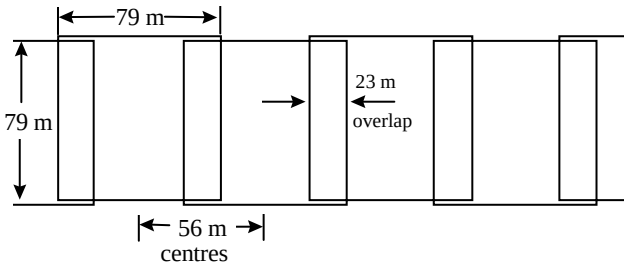
ภาพที่ 3.5 การกวาดภาพและอุปกรณ์ของระบบ MSS บนดาวเทียม LANDSAT (Arthur and Landsan, 1993)

สำหรับค่าตัวเลข (DN value) ของข้อมูลเหล่านี้เป็นระดับค่าความสว่าง (Brightness Value) ที่ได้จากการสะท้อนพลังงานของบริเวณหนึ่งบนพื้นโลก ซึ่งจะแทนด้วยตัวเลขตั้งแต่ 0-63 (64 ค่า) โดยข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 หมายถึง มีค่าการสะท้อนพลังงานต่ำสุดหรือถูกดูดกลืนมากที่สุด และค่าของข้อมูลที่ตัวเลขสูง หมายถึง มีการสะท้อนพลังงานสูงกว่าหรือถูกดูดกลืนน้อยกว่า

การกวาดภาพแต่ละครั้งของระบบ MSS จะกวาดไปในทิศทางเดียวคือจากทิศตะวันตกไปยังตะวันออก และขณะกวาดบันทึกข้อมูล ดาวเทียมมีการเคลื่อนที่จากทิศเหนือสู่ทิศใต้ประกอบกับการหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้เส้นของการกวาด (Scanline) ไม่ตั้งฉากกับแนวการโคจรของดาวเทียมอย่างแท้จริง (ภาพที่ 3.6) ในส่วนของการสร้างจุดภาพ (Pixel: Picture element) ให้กับข้อมูลภาพ สิ่งที่ต้องพิจารณาก็คือ Instantaneous field of view (IFOV) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมขนาดของจุดภาพ (Pixel size) โดย IFOV ของระบบ MSS ในดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3 คือ 79 x 79 เมตร พลังงานที่สะท้อนจะถูกวัดโดย Detector แล้วเปลี่ยนไปเป็นกระแสไฟฟ้าที่มีสัญญาณในลักษณะต่อเนื่อง (Analog signal) สัญญาณดังกล่าวจะมีอัตราเร็วของการสุ่มตัวอย่าง (Sampled) ในช่วงระยะที่ห่างกัน 56 เมตร จึงเกิดการซ้อนทับ (Overlapping) ของจุดภาพประมาณ 23 เมตร ทำให้มีขนาดของจุดภาพ (Pixel size) เท่ากับ 79 x 56 เมตร (82.7 x 57 เมตร ใน LANDSAT-4 และ 5) ดังแสดงในภาพที่ 3.7 สำหรับข้อมูลภาพ (Image data) ในแต่ละแบนด์ของระบบ MSS ภาพหนึ่งเฟรม (Full scene: 185 x 185 ตารางกิโลเมตร) จะประกอบด้วย แนวกวาดภาพ (Scanline) 2,340 แนว แต่ละแนวกวาดภาพมีจุดภาพ 3,240 จุดภาพ ดังนั้นภาพหนึ่งเฟรมจะมีจุดภาพทั้งหมด 7,581,600 จุดภาพในแต่ละแบนด์



ภาพที่ 3.6 แสดงการกวาดภาพของกระจกแกว่งได้ครั้งละ 6 เส้น (Scan line) จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก โดยจะไม่มีการบันทึกข้อมูลเมื่อกระจกแกว่งกลับ เส้นที่เอียงเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของโลก และของดาวเทียมพร้อมกัน



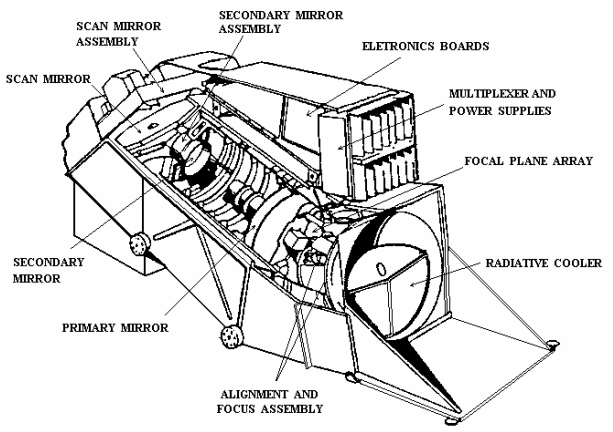
ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Instantaneous Field of View (IFOV) และการซ้อนทับ (Overlap) ของจุดภาพในข้อมูลระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT

3.2.2 ระบบทำแผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic Mapper: TM)

อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ TM ติดตั้งบนดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 เป็นระบบบันทึกข้อมูลโดยวิธีการกวาดข้อมูล (Scanning) เช่นเดียวกับระบบ MSS โดยได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลมีการลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความละเอียดในลักษณะต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น ทั้งลักษณะเชิงแสง (Spectral characteristic), ลักษณะเชิงคลื่น (Radiometric characteristic), ลักษณะเชิงเรขาคณิต (Geometric characteristic), และลักษณะเชิงพื้นที่ (Spatial characteristic) ทำให้สามารถศึกษาหรือจำแนกสิ่งต่าง ๆ ได้ชัดเจนและละเอียดยิ่งขึ้น

ลักษณะการบันทึกข้อมูลของระบบ TM จะบันทึกข้อมูลทั้งหมด 7 ช่วงคลื่น (แบนด์) ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) เท่ากับ 30 เมตร (แบนด์ที่ 6 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 120 เมตร) มีแนวกวาดของภาพ (Swath width) เท่ากับ 185 กิโลเมตร โดยมุมรับภาพ หรือ FOV ของกระจกกวาด (Oscillating scan mirror) มีขนาด 15.4 องศา ($\pm$7.7 องศาจากแนวดิ่ง)

สำหรับส่วนประกอบหลักภายในของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ TM ที่ติดตั้งบนยานในตำแหน่งแนวนอนพร้อมด้วยแผงบังแสงอาทิตย์อยู่ในลักษณะมองดิ่งสู่พื้นโลก โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ เหนือช่องแผงบังแสงอาทิตย์เป็นกระจกที่ใช้ในการกวาด ซึ่งล้อมรอบด้วยกลไกขับเคลื่อน, เครื่องอิเลคทรอนิกส์สำหรับการควบคุม, อุปกรณ์ตรวจการกวาดกระจกปฐมภูมิ (Primary mirror) ตั้งอยู่ประมาณกึ่งกลางไปตามความยาวของกล้องเทเลสโคป (Telescope), กระจกทุติยภูมิ (Secondary mirror), ตัวปรับแก้เส้นการกวาด (Scan line corrector), เครื่องสอบเทียบค่าภายใน (Internal calibrator), ระนาบโฟกัสของดีเทคเตอร์ (Focal plane array), เครื่องระบายความร้อนรังสี (Radiative cooler) ซึ่งประกอบด้วยชุดระนาบโฟกัสที่มีการระบายความร้อน (Cooled focal plane assembly) ชุดอุปกรณ์แสงในการส่งต่อ แผงอินฟราเรด ดีเทคเตอร์ ชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยมัลติเพลกเซอร์ (Multiplexer) เป็นแหล่งไฟฟ้าต้นกำลังของเครื่องขยายสัญญาณ และฟิลเตอร์ (Filter) สำหรับทุกช่วงคลื่น (ภาพที่ 3.8) ชุด Detector สำหรับช่วงคลื่นในแบนด์ 1-4 ติดอยู่ที่ระนาบโฟกัสปฐมภูมิ (Primary focal plane) แต่ละแบนด์มี Detector 16 ตัว ชุด Detector สำหรับช่วงแบนด์ 5 และ 7 ติดอยู่ที่ Cooled focal plane assembly แต่ละแบนด์ประกอบด้วย Detector จำนวน 16 ตัวเช่นกัน ส่วนแบนด์ 6 ในช่วงคลื่นความร้อนมี Detector จำนวน 4 ตัว



ภาพที่ 3.8 ส่วนประกอบภายในของระบบ TM (Thematic Mapper) (สมพร, 2543)

ขั้นตอนในการบันทึกข้อมูลของระบบ TM เริ่มจากกระจกแกว่ง (Oscillating scan mirror) จะรับพลังงานสะท้อนจากวัตถุต่างๆ บนพื้นโลก แล้วส่งไปยังกล้องเทเลสโคปแบบ Ritchey Chretein ซึ่งจะสร้างภาพที่กวาดได้ลงบนระนาบโฟกัสปฐมภูมิ (Primary focal plane) ในขณะที่ตัวแก้เส้นการกวาด (Scan line corrector) ทำงานอยู่ เพื่อให้เกิดแนวการกวาดไปข้างหน้าและย้อนกลับเป็นแนวต่อจากกัน

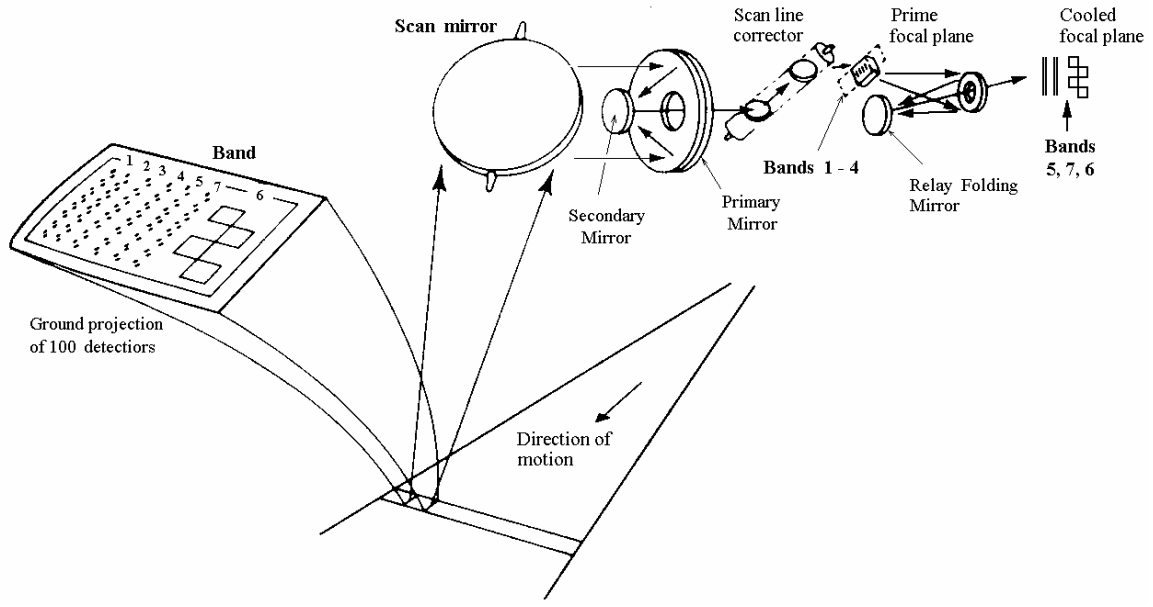
ตัวกลางจะมีระบบกระจกสะท้อนแสงสองชุด แสงจะผ่านจากกระจกกวาดไปยังกระจกที่ทำหน้าที่แก้ไขการกวาด (Scan line corrector) เพื่อให้ได้เส้นข้อมูลเป็นเส้นตรง ต่อจากนั้นแสงจะตกกระทบกับตัวตรวจวัด (Detector) โดยตรง (ไม่ต้องผ่าน Fiber optic เช่นที่มีในระบบ MSS) Detector มีจำนวน 2 ชุด คือ Primary Focal Plane จะมี Detector ของแบนด์ที่ 1 2 3 และ 4 ซึ่งจะบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น และอีกชุดคือ Cooled Focal Plane จะบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นและอินฟราเรดความร้อน ได้แก่แบนด์ 5, 6 และ 7 ในแต่ละแบนด์จะมี Detector 16 ตัว ยกเว้นแบนด์ 6 จะมีจำนวน detector เพียง 4 ตัว ดังนั้นการกวาดบันทึกข้อมูลครั้งหนึ่งจะเกิดเส้นข้อมูล 16 เส้น สำหรับแบนด์ 6 จะเกิดเส้นข้อมูล 4 เส้น เท่านั้น แผง Detector เหล่านี้จะแปลงพลังงานแสงหรือพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าระดับต่ำ แล้วจะต้องถูกนำมาขยายสัญญาณโดย Multiplexer ที่อยู่ในระบบอิเลคทรอนิกส์เป็นกล้องรูปลิ่ม แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงเลข ก่อนที่จะส่งผ่านข้อมูลไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินต่อไป (ภาพที่ 3.9)

ลักษณะกระบวนในการบันทึกข้อมูลของระบบ TM จะคล้ายกับระบบ MSS แต่เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของระบบ MSS โดยมีความแตกต่างระหว่างระบบ TM และระบบ MSS ดังนี้

1. เนื่องจากการกวาดบันทึกข้อมูลเป็นการกวาดบันทึกข้อมูลแบบสองทิศทาง (Bi-directional scanning) โดยบันทึกทั้งแนวกวาดจากตะวันตกไปตะวันออกและขณะกวาดกลับจากตะวันออกไปตะวันตก ซึ่งต่างจากระบบ MSS ที่ทำการบันทึกข้อมูลเมื่อกวาดไปจากตะวันตกไปตะวันออกเท่านั้น มุมรับภาพหรือ FOV ของระบบนี้มีขนาด 15.4 องศา (±7.7 องศาจากแนวดิ่ง) โดยสามารถกวาดบันทึกข้อมูลได้ถึง 7 แนวกวาดไป-กลับ ภายใน 1 วินาที จึงทำให้ระบบ TM ลดความสูญเสียเวลาในการกวาดบันทึกข้อมูล (Scan rate) และมีเวลาเพียงพอที่จะให้ความถูกต้องด้านเรขาคณิต (Geometric accuracy) ดีขึ้น

2. ข้อมูลแต่ละแบนด์ของระบบ TM มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) หรือมี IFOV เท่ากับ 30 เมตร ยกเว้นแบนด์ที่ 6 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 120 เมตร และมีความถูกต้องทางเรขาคณิตสูงกว่าระบบ MSS ในการกวาดบันทึกข้อมูลครั้งหนึ่งของระบบ TM จะสร้างเส้นข้อมูลในแต่ละแบนด์ได้ถึง 16 เส้น (แบนด์ที่ 6 มี 4 เส้นข้อมูล) เนื่องจาก IFOV ของแผงตัวตรวจวัด (Detector) เป็นตัวกำหนดขนาดของ Detector และความยาวโฟกัสของกล้องเทเลสโคป (Telescope) ดังนั้นการบันทึกข้อมูลของระบบ TM ที่แต่ละแบนด์มีแผงตัวตรวจวัด 16 ตัว (ยกเว้นแบนด์ที่ 6 มี แผงตัวตรวจวัด จำนวน 4 ตัว) ทำให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ดีกว่าระบบ MSS ที่มีแผงตัวตรวจวัดจำนวนเพียง 6 ตัวในแต่ละแบนด์

3. ระบบ TM สามารถบันทึกข้อมูลได้ 7 ช่วงคลื่น (แบนด์) โดยมีความกว้างของช่วงคลื่น (Spectral resolution) แคบกว่าระบบ MSS และได้ปรับปรุงความไวเชิงรังสี (Radiometric resolution) หรือความละเอียดในการแยกความเข้มของสัญญาณที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นโลก ในทุกๆ แบนด์ ได้ดีขึ้น โดยสามารถบันทึกระดับสัญญาณของข้อมูลได้ 256 ระดับ หรือ 8 บิท (ระบบ MSS บันทึกได้ 64 ระดับ หรือ 6 บิท)



ภาพที่ 3.9 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์บันทึกระบบ TM (Thematic Mapper) (Barrett and Curtis, 1995)

บรรณานุกรม

ศุทธินี ดนตรี. 2542. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจจากระยะไกล. ภาควิชาภูมิศาสตร์. คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมพร สง่าวงศ์. 2543. รีโมทเซนซิงเบื้องต้น และกรณีศึกษารีโมทเซนซิง. นพบุรีการพิมพ์ เชียงใหม่. 243 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. คำบรรยายเรื่องการสำรวจระยะไกล. กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

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

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

JARS. 1993. Remote Sensing Note Murai S. (ed.). Japan Association on Remote Sensing.