

บทที่ 4

โทรสัมผัสในงานธรณีวิทยา

(Remote Sensing in Geologic Studies)

คำว่า “โทรสัมผัส” หรือ **Remote Sensing** (ซึ่งบางท่านเรียกว่าข้อมูลระยะไกล) ในที่นี้หมายถึง การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุหรือพื้นที่โดยไม่มีมีการสัมผัสทางกาย หรือโดยไม่มีการจับต้องวัตถุหรือพื้นที่นั้น (without physical contact) ซึ่งในที่นี้ระบบการรวบรวมข้อมูลที่นิยมใช้ในเรื่องโทรสัมผัสมี 2 แบบคือ ก. รูปถ่ายหรือภาพถ่ายทางอากาศ หรือจากเครื่องบิน และ ข. ดาวบันทึกภาพอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอาจมีหลายช่วงคลื่นจากดาวเทียมหรือยานอวกาศ ซึ่งให้ข้อมูลการการกักเก็บเชิงตัวเลข

คนธรรมดาอาจคุ้นเคยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาว่ามาจากภาพจากดาวเทียม แต่สำหรับนักธรณีวิทยาหรือนักสำรวจ(แร่)อาจคุ้นกับภาพจากดาวเทียมด้วยระบบหลายช่วงคลื่น(multispectral satellite imagery) ว่ามีความหมายเหมือนภาพจากดาวเทียม Landsat ซึ่งอาจไม่ถูกต้องทั้งหมดนัก เหมือนเราบอกคนคือผู้ชาย ซึ่งอาจผิด ทั้งนี้เพราะภาพจากดาวเทียม LANDSAT เป็นภาพจากดาวเทียมประเทศหนึ่ง นอกจากนั้นยังมีภาพ(จากดาวเทียม) SPOT หรือ JERS (ซึ่งเป็นของญี่ปุ่น) เป็นต้น

ในเบื้องต้นหนือในชั้นพื้นฐานนี้เราแบ่งระบบการจับข้อมูลแบบโทรสัมผัสนี้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบบันทึกไร้พลัง(passive sensors) และระบบบันทึกมีพลัง(active sensor) ระบบบันทึกในส่วนแรกอาศัยการสะท้อนหรือการปล่อยสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งขึ้นกับการเปล่งแสงดวงอาทิตย์จากพื้นดิน หรือการแผ่รังสีความร้อนจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ เช่น LANDSAT MSS, LANDSAT TM, และ SPOT ส่วนระบบบันทึกมีพลัง คือระบบบันทึกที่ใช้พลังงานจากตัวเองโดยมีความละเอียดของ ข้อมูลที่ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ เช่น LANDSAT Tiron. N, ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา Scast หรือ NOAA

4.1 คำนำ : การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม

เนื่องจากข้อมูลด้านโทรสัมผัสนอกจากกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติแล้ว มีหน่วยงานอื่นน้อยมากที่อธิบายถึงการใช้ประโยชน์จากข้อมูลนี้ดังนั้นเพื่อให้เกิดความรู้พื้นฐานจึงได้พยายามรวบรวมรายละเอียดพอสังเขปของการศึกษาและสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมไว้ ณ ที่นี้

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศอย่างยิ่ง ปัจจุบันวิทยาการของการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม เป็นวิทยาการแขนงหนึ่งที่อำนวยความสะดวกมหาศาลแก่มนุษยชาติ ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าว จึงได้เริ่มดำเนินโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมเมื่อปี พ.ศ. 2514 โดยเริ่มจากดาวเทียม LANDSAT และได้พัฒนาก้าวหน้าขึ้นเป็นลำดับ มีการขยายขอบเขตการใช้ภาพจากดาวเทียมในการจัด

การทรัพยากร(รวมถึงการสำรวจธรณีวิทยาและแหล่งแร่)และติดตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานของประเทศไทยมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์เป็นสำคัญ จึงมีการแต่งตั้งกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม(สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ) เป็นแกนกลางในการกำหนดนโยบาย การประสานงาน และการถ่ายทอดเทคโนโลยีโทรสัมผัส มีการประสานงานกับหน่วยงานที่นำข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรไปใช้ในหลายสาขาเช่น ธรณีวิทยา สมุทรศาสตร์ อุทกวิทยาและแหล่งน้ำ ภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ป่าไม้ การใช้ที่ดิน การเกษตร เป็นต้น

ปลายปีพ.ศ.2524 ประเทศไทยได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินเพื่อรับข้อมูลโดยตรงจากดาวเทียม LANDSAT และ NOAA โดยเริ่มปฏิบัติการรับสัญญาณดาวเทียม LANDSAT-3 ในระบบ Multispectral Scanner(หรือ MSS)เป็นครั้งแรก และได้ขยายขอบเขตการบริการข้อมูลออกไปอย่างกว้างขวางทั้งในและนอกประเทศ สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินของประเทศไทยเป็นสถานีแห่งแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีรัศมีการรับสัญญาณได้ไกลถึง 2,500 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมประเทศศรีลังกาทั้งหมด เนปาลประมาณร้อยละ 80 สาธารณรัฐประชาชนจีนตอนใต้แม่น้ำแยงซีเกียง ฟิลิปปินส์ เกือบทั้งประเทศ ยกเว้นด้านตะวันออกของเกาะมินดาเนา เกาะชวา เกาะสุมาตรา และเกาะกาลิมันตันของอินโดนีเซีย

ในปลายปี พ.ศ.2530 สถานีรับฯได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นคือ รับข้อมูล Thematic Mapper (TM) จากดาวเทียม LANDSAT-5 ซึ่งมีรายละเอียดของภาพ (resolution) ประมาณ 30 เมตร X 30 เมตร ข้อมูลHigh Resolution Visible(หรือ HRV) จากดาวเทียม SPOT ของฝรั่งเศส ซึ่งมีรายละเอียดของภาพ 20 เมตร X 20 เมตร ในภาพสี และ 10 เมตร X 10 เมตร ในภาพขาวดำ และรับสัญญาณจากดาวเทียม MOS-1 ของญี่ปุ่น ที่มีรายละเอียดของภาพ 50 เมตร X 50 เมตร จากระยะเอียดของภาพที่ดีขึ้นนี้ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อการจัดการทรัพยากรและติดตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้ดียิ่งขึ้น

สถานีรับสัญญาณดาวเทียมประเทศไทยนับได้ว่าเป็นสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินแห่งแรกในโลกที่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรทุกดวงที่โคจรอยู่ในขณะนี้คือ LANDSAT,(TM เริ่มเมื่อ พ.ศ. 2525) SPOT(เริ่ม พ.ศ. 2531) และ MOS-1(เริ่ม พ.ศ. 2531) ดังนั้นสถานีรับฯ แห่งนี้จึงมีความสำคัญต่อประเทศไทย และประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่สถานีแห่งนี้รับสัญญาณข้อมูลได้ นับได้ว่าประเทศไทยได้มีส่วนในการช่วยเหลือประเทศในภูมิภาคนี้ให้สามารถนำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ในการพัฒนาประเทศได้

ก) ดาวเทียมLANDSAT เป็นดาวเทียมโครงการขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ที่ต่อมาได้มีการโอนกิจการดาวเทียมLANDSATให้EOSAT ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนเพื่อดำเนินการในเชิงพาณิชย์ ในตอนแรกดาวเทียม LANDSAT มีระบบเก็บข้อมูลแบบ Multispectral Scanner (MSS) 4 ช่วงคลื่นคือ แบนด์ 4, 5, 6 และ 7 โดยแบนด์ 4 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความตื้นลึกของน้ำ และการกระจายของตะกอนในน้ำ ส่วน

แบนด์ 5 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศ ทางน้ำ ถนน แหล่งชุมชน การใช้ดิน และการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ ป่าไม้ พื้นที่เพาะปลูก สำหรับแบนด์ 6 และ 7 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างพื้นดินกับพื้นน้ำ พื้นที่น้ำท่วม ธรณีสัณฐาน และธรณีโครงสร้าง ภาพที่ได้จากการจัดเก็บด้วยระบบMSS 1 ภาพครอบคลุมพื้นที่ 185 X 185 ตารางกิโลเมตร มีรายละเอียดของภาพ 80 เมตร X 80 เมตร

ระบบเก็บข้อมูลของดาวเทียม LANDSAT อีกระบบหนึ่งที่ได้รับการปรับปรุงให้ได้รายละเอียดดีกว่า MSS คือ ระบบ Thematic Mapper (TM) ซึ่งมีรายละเอียดของภาพ 30 เมตร X 30 เมตร มี 7 ช่วงคลื่นคือ แบนด์ 1-7 โดยแบนด์ 1 ใช้ในการทำแผนที่บริเวณชายฝั่ง และให้รายละเอียดเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างดินกับพืชพรรณ แบนด์ 2 ใช้ประเมินความแข็งแรงของพืช แบนด์ 3 ใช้แยกชนิดของพืชพรรณ แบนด์ 4 ใช้กำหนดปริมาณของมวลชีวภาพ(biomass) และจำแนกแหล่งน้ำ แบนด์ 5 ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นของดิน และให้ รายละเอียดเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างเมฆกับหิมะ แบนด์ 6 ใช้หาแหล่งความร้อน และแบนด์ 7 ใช้จำแนกชนิดของหินและการทำแผนที่แสดงบริเวณที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงด้วยน้ำร้อน(hydrothermal) ต่อมาดาวเทียม LANDSAT-6 (พ.ศ. 2534) ได้รับการพัฒนาโดยติดตั้งระบบเน้นภาพให้คมชัด Enhanced TM (ETM) ทำให้ได้ภาพขาวดำที่มีรายละเอียดของภาพ 15 เมตร X 15 เมตร เพื่อใช้ในการจำแนกทางการเกษตรและธรณีวิทยาโดยเฉพาะนักสำรวจแร่ควรให้ความสำคัญกับภาพ ETM มาก เพราะมีรายละเอียดสูง

ข) ดาวเทียมSPOT (Le System Probatoire D'Observation De La Terre) อยู่ในความรับผิดชอบของสถาบันอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส (Centre National d'Etudes Spatiales, CNES) ร่วมกับประเทศเบลเยียมและสวีเดน อุปกรณ์เก็บข้อมูลของSPOT ประกอบด้วย High Resolution Visible (HRV) จำนวน 2 กล้องคือ ระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Mode) ซึ่งมี 3 ช่วงคลื่นโดย ให้รายละเอียดของภาพ 20 เมตร X 20 เมตร และระบบช่วงคลื่นเดี่ยว (Panchromatic Mode) ให้รายละเอียดของภาพ 10 เมตร X 10 เมตร สมรรถนะของ HRV ที่สำคัญประการหนึ่งคือ สามารถถ่ายภาพแนวเฉียงทำให้สามารถศึกษาพื้นที่ในระบบ 3 มิติ ได้เพราะให้รายละเอียดเกี่ยวกับความลึกและความสูงของวัตถุได้ จึงเป็นประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ในเชิงรายละเอียดได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยเฉพาะความสูงต่ำของพื้นที่ซึ่งมีผลมาจากธรณีวิทยาโครงสร้างและธรณีสัณฐานวิทยาของเปลือกโลก

ภาพจากดาวเทียมSPOTสามารถนำไปใช้สำรวจพื้นที่และแยกชนิดหิน ชนิดป่า การทำแผนที่ การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา อุทกวิทยา แหล่งน้ำ สมุทรศาสตร์และชายฝั่ง การพังทลายและการตกตะกอน ติดตามการประเมินผลสิ่งแวดล้อมและมลภาวะจากการขยายตัวเมือง และการตั้งถิ่นฐานได้

ระบบการรับข้อมูลดาวเทียม SPOT มี 4 ช่วงคลื่น คล้ายกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT ช่วงคลื่นขาวดำในดาวเทียม SPOT-1 และ 2 มีความยาวช่วงคลื่น 0.61-0.68 ไมโครเมตร ซึ่งให้รายละเอียดของภาพ 10 เมตร x 10 เมตร และมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า “Vegetation” ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ โดยภาพที่ได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดกว้าง 2,000 ตารางกิโลเมตร และมีรายละเอียดของภาพดีกว่า 1 กิโลเมตร สำหรับดาวเทียม SPOT-3 และ 4 ใช้บันทึกข้อมูลซึ่งเป็น Charged Coupled Device

(CCD) และจะเพิ่มอีก 1 ช่วงคลื่นในอินฟราเรดใกล้ (near-infrared) เพื่อประโยชน์ในการติดตามพืชเกษตร โดยมีรายละเอียดของภาพ 20 เมตร x 20 เมตร

ค) ดาวเทียม MOS-1 (Marine Observation Satellite) เป็นขององค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติ (National Space Development Agency หรือ NASDA) มีอุปกรณ์เก็บข้อมูล 3 ระบบ ได้แก่

(1) Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer (MESSR) มี 4 ช่วงคลื่น ให้รายละเอียดของภาพ 50 เมตร X 50 เมตร ใช้สำรวจทรัพยากรเช่นเดียวกับระบบเก็บข้อมูล MSS ของ LANDSAT (2) Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่างๆ ในทะเลอันเป็นประโยชน์ต่อการประมง ข้อมูลการปกคลุมของเมฆและไอน้ำซึ่งเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศ และ (3) Microwave Scanning Radiometer (MSR) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณไอน้ำ ปริมาณน้ำ ลมทะเล การแผ่ปกคลุมของหิมะและน้ำแข็งในทะเล

4.2 ประโยชน์จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรในสาขาต่างๆ

เมื่อคิดเทียบราคาต่อหน่วยกับการสำรวจแหล่งแร่หรือการสำรวจด้านอื่นแล้ว ภาพจากดาวเทียมถือว่ามีความถูกต้องที่สุด (ไม่ก้ำก๋ายต่อตารางกิโลเมตร) อีกทั้งยังสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยให้อ่านข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรได้เอื้ออำนวยประโยชน์อย่างยิ่งต่อหน่วยงานทั้งทางราชการและภาคธุรกิจเอกชน ในการนำข้อมูลไปใช้ศึกษาวิจัยเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาประเทศ สำหรับหน่วยงานรัฐบาลที่สำคัญนอกเหนือจากมหาวิทยาลัยทั้งส่วนกลางและส่วนภูมิภาค แล้วยังมีกรมทรัพยากรธรณี ได้แก่ กรมวิชาการเกษตร กรมป่าไม้ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมชลประทาน กรมแผนที่ทหาร เป็นต้น ประโยชน์จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรทางด้านธรณีวิทยามีดังนี้

สำหรับงานด้านธรณีวิทยาและธรณีสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมเพื่อใช้ในการทางธรณีวิทยาและธรณีสิ่งแวดล้อม สามารถทำได้โดยวิธีการอ่านข้อมูลที่เห็นได้โดยตรงจากภาพ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะของทางน้ำ ลักษณะการใช้ที่ดิน ตลอดจนสีและโทนภาพมาประมวลร่วมกัน จากการศึกษาพบว่าภาพจากดาวเทียม LANDSAT TM5 ควรมีการผสมสีเทียมโดยใช้สีน้ำเงิน เขียว และแดง โดยให้กันแถบช่วงคลื่น (band) 4, 5 และ 7 ตามลำดับ (ปัญญา จารุศิริ 2539) แล้วจึงแปลความหมายทางด้านธรณีสิ่งแวดล้อมและธรณีวิทยาอีกชั้นหนึ่ง จากการนำภาพจากดาวเทียม SPOT ที่สามารถดูภาพสามมิติได้ ทำให้ช่วยศึกษาลักษณะภูมิประเทศได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งสามารถนำมาใช้กับลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ เพื่อทำให้มองเห็นโครงสร้างบริเวณกว้างได้ในเวลาเดียวกัน หน่วยงานที่นำภาพจากดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ได้แก่

กรมทรัพยากรธรณีได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาใช้ในการทำแผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ธรณีโครงสร้างทั้งประเทศ มาตราส่วน 1:2,500,000 1:1,000,000 และ 1:50,000 ซึ่งสามารถนำไปใช้พัฒนาประเทศในด้านต่างๆ เช่น การหาแหล่งแร่ เชื้อเพลิงธรรมชาติ น้ำบาดาล และการ

สร้างเขื่อน เป็นต้น เห็นได้ว่าภาพถ่ายจากดาวเทียมมีความสำคัญต่อการทำแผนที่ธรณีวิทยามากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ และข้อมูลที่ได้รับทันสมัยเสมอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ศึกษาวิจัยเพื่อให้ทราบถึงสภาพทางธรณีวิทยาทั่วไปเฉพาะแห่ง เช่น การใช้ภาพจากดาวเทียมสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาบริเวณที่ราบสูงโคราช การใช้ภาพจากดาวเทียม ศึกษาการกระจายตัวของแหล่งแร่หินแกรนิตและโครงสร้างธรณีวิทยา ในเขตบริเวณเชียงใหม่-แม่ฮ่องสอน และลำปาง-เชียงราย เพื่อช่วยในการสำรวจแร่ในบริเวณกว้าง (ดูภาคผนวก 3)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การประเมินการใช้ภาพจากดาวเทียมเพื่อทำแผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาทางตะวันออกเฉียงเหนือ”

มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้วิจัยเรื่อง “การศึกษาธรณีสัณฐานวิทยาของการสะสมตัวของเม็ดตะกอนโคลม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยภาพจากดาวเทียม”

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้เคยศึกษาการแพร่กระจายทางภูมิศาสตร์ของแหล่งแร่บริเวณรอบแอ่งเชียงใหม่ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม

นอกเหนือจากงานด้านธรณีวิทยา และการสำรวจธรณีวิทยาแล้ว ภาพจากดาวเทียมยังใช้ประโยชน์ได้กับงานการวิจัยสาขาอื่นซึ่งอธิบายพอสังเขปดังนี้

ก) ด้านป่าไม้ โดยกรมป่าไม้ได้นำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้หาพื้นที่ป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์ และป่าเสื่อมโทรมทั่วประเทศ พื้นที่ที่สมควรทำการปลูกสร้างสวนป่าทดแทนบริเวณ ป่าที่ถูกบุกรุกแผ้วถางทั่วประเทศ ใช้หาสภาพการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์พื้นที่ป่าไม้ทุกระยะ 3 ปี ติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของป่าไม้โดยเฉพาะพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธาร นอกจากนี้ยังมีโครงการร่วมกันระหว่างหน่วยงานต่างๆ

ข) ด้านการใช้ที่ดิน เนื่องจากการใช้ที่ดินของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ โดยมนุษย์เป็นผู้กำหนดลักษณะการใช้ที่ดินว่าเป็นไปในรูปใดเช่น ทำการเกษตรกรรม ก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือสร้างสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น ดังนั้นกรมพัฒนาที่ดินจึงนำข้อมูลจากดาวเทียมมาศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภท การนำข้อมูลจากดาวเทียมมาใช้มีทั้งวิธีการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมด้วยสายตา และการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งประหยัดเวลาและลดกำลังคนในการทำงาน อีกทั้งปัจจุบันดาวเทียมได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเช่น มีข้อมูลจากระบบ TM ที่มีรายละเอียดของภาพสูง มีข้อมูลจากดาวเทียม SPOT จำนวนมาก และมีความรวดเร็วทันกับความต้องการ จึงเป็นแรงจูงใจให้มีผู้ใช้ข้อมูลมากขึ้น โครงการทางด้านการใช้ที่ดินที่นำภาพจากดาวเทียมมาใช้ได้แก่ การศึกษาการใช้ที่ดินจังหวัดนครราชสีมา โดยการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ การสำรวจสภาพการใช้ที่ดิน การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนครราชสีมา และการประเมินการชะล้างพังทลายของดินบริเวณบางส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ภาพจากดาวเทียม SPOT และ LANDSAT

ค) ด้านการเกษตร ส่วนใหญ่ใช้ศึกษาหาพื้นที่เพาะปลูก ความชื้นในดิน การเปลี่ยนแปลงบริเวณเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ และการประเมินความเสียหายจากศัตรูพืช ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ทันต่อเหตุการณ์และมีความต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT (ระบบ TM), SPOT และ MOS-1 ที่มีรายละเอียดของภาพสูง และมีการถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุก 16 และ 26 วันของดาวเทียม LANDSAT และ SPOT (ตามลำดับ) ทำให้สามารถเปรียบเทียบภาพบริเวณเดียวกัน แต่ถ่ายภาพในวันและฤดูต่างกัน ได้

กรมวิชาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ได้นำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ในโครงการต่างๆ เช่น การใช้ภาพจากดาวเทียม LANDSAT ติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่นาข้าวภาคกลาง ศึกษาหาผลผลิตข้าว การสำรวจพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทย การศึกษาความเป็นไปได้ของการประมาณพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันในบริเวณภาคใต้ และการกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพของการเกษตร โดยการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียม SPOT ด้วยสายตา

จ) ด้านอุทกวิทยา รวมถึงการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ “อุทกภาค” ซึ่งหมายถึง น้ำทั้ง บนบกและในทะเล น้ำบนดินและใต้ผิวดิน รวมถึงแหล่งปริมาณคุณภาพ การไหล การหมุนเวียน ตลอดจนองค์ประกอบอื่นที่สัมพันธ์กับน้ำ การใช้น้ำและมลภาวะในน้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะการศึกษาแหล่งน้ำบนดิน การใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมจะสามารถมองเห็นแหล่งที่ตั้งรูปร่าง ขนาดได้เป็นอย่างดี ถ้าขนาดที่ปรากฏบนภาพดาวเทียมไม่เล็กจนเกินไป เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติที่ดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่ความยาวช่วงคลื่น 0.7 ไมโครเมตร ขึ้นไปไว้ได้เกือบทั้งหมด ดังนั้นภาพในช่วงคลื่นอินฟราเรด (ความยาวคลื่นประมาณ 0.7 - 1 ไมโครเมตร) จะแสดงขอบเขตบริเวณที่เป็นน้ำบนผิวดินได้เด่นชัด จึงนำมาศึกษาขอบเขตนํ้าผิวดินได้ดีกว่าช่วงคลื่นอื่น ๆ

กรมชลประทาน ได้นำภาพจากดาวเทียมไปใช้ในการวิจัยเรื่อง “การใช้ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรเพื่อการชลประทาน บริเวณพื้นที่ชลประทานของโครงการเกษตร ชลประทานพิษณุโลกด้วยระบบคอมพิวเตอร์” เพื่อติดตามประเมินผลการส่งน้ำบริเวณโครงการฯ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพิจารณาวางแผนด้านการจัดสรรน้ำ และการปรับปรุงระบบชลประทานที่ใช้งานอยู่ ให้เหมาะสม

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้วิจัยเรื่อง “การใช้ภาพดาวเทียมศึกษาการใช้น้ำและการบำรุงรักษาเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ” เพื่อหาทางนำข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

ฉ) ด้านสมุทรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ได้ศึกษาเกี่ยวกับตะกอนในทะเลและคุณภาพของน้ำบริเวณชายฝั่ง โดยสังเกตจากระดับความขุ่นของน้ำที่ปรากฏในภาพจากดาวเทียม LANDSAT โครงการที่ศึกษาได้แก่ การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยบริเวณรอบเกาะภูเก็ต ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่ดีบุก จากการเปรียบเทียบภาพจากดาวเทียมที่ถ่ายในช่วงหลายปี และเทคนิคการปรับปรุงภาพจากดาวเทียม ทำให้แยกแยะระดับตะกอนที่มีระดับความขุ่น

ต่างกันออกไปได้ นอกจากการศึกษาตะกอน ในทะเลแล้วยังศึกษาการแพร่กระจายตัวของตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำต่าง ๆ ของอ่าวไทยตอนบนปากแม่น้ำเจ้าพระยา บางปะกง และท่าจีน โดยอาศัยระบบเก็บข้อมูลของดาวเทียม SPOT และใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านสมุทรศาสตร์และชายฝั่ง การพังทลายและการตกตะกอน สำหรับดาวเทียม MOS-1 มีระบบเก็บข้อมูล VTIR ซึ่งมีช่วงคลื่น Visible Thermal Infrared สามารถทะลุผ่านน้ำได้ประมาณ 40-50 เมตร จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในทางสมุทรศาสตร์และการประมง

ข) ด้านอุทกภัย จากการที่ภาคใต้ของประเทศไทยได้ประสบปัญหาน้ำท่วม นำมาซึ่งความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช จึงมีหลายหน่วยงานที่ให้ความสนใจที่จะนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาใช้ในการสำรวจสภาพน้ำท่วม เพื่อให้ทราบถึงขอบเขตบริเวณน้ำท่วม ตลอดจนผลกระทบและความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วม โดยการเปรียบเทียบภาพถ่ายในบริเวณก่อนและหลังน้ำท่วม อีกทั้งการทำแผนที่แสดงขอบเขตบริเวณน้ำท่วม มักทำได้ด้วยความลำบาก มักครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างขวาง ไม่สะดวกต่อการทำรังวัดด้วยเครื่องมือสำรวจภูมิประเทศทั่วไป และบริเวณที่น้ำท่วมจะเปลี่ยนแปลงโดยเคลื่อนตัวคลุมไปทางบริเวณที่ต่ำกว่าตลอดเวลา ดังนั้นการบันทึกขอบเขตบริเวณน้ำท่วมด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม จะทำให้บันทึกบริเวณน้ำท่วมในขณะนั้นได้อย่างดี เห็นสภาพน้ำท่วมได้เป็นขั้นตอน และสามารถนำข้อมูลมาศึกษาเพื่อหาทางควบคุมป้องกันสภาพน้ำท่วมในปีต่อไปได้

ข) ด้านการทำแผนที่ กรมแผนที่ทหารได้ทดลองใช้ภาพจากดาวเทียม SPOT เพื่อแก้ไขแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ให้ทันสมัย ซึ่งเป็นโครงการหนึ่งภายใต้ความช่วยเหลือจากองค์การ CIDA (Canadian International Development Agency) ของประเทศแคนาดา โดยการนำข้อมูลจากดาวเทียม SPOT ที่มีรายละเอียดของภาพสูงมาใช้แก้ไขแผนที่ โดยได้แก้ไขแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ครอบคลุมบริเวณจังหวัดเชียงใหม่-ลำปาง และพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก และบริเวณจังหวัดขอนแก่น เช่นกัน

จากการที่ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรแต่ละดวงล้วนมีสมรรถนะในการ ถ่ายภาพที่มีรายละเอียดสูงเทียบเท่าภาพถ่ายทางอากาศ ก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านการวางแผนการสำรวจ และการจัดการทรัพยากรธรณี การใช้ที่ดิน การจัดการป่าไม้ การประเมินพื้นที่เพาะปลูก และการพยากรณ์ผลผลิตทางเกษตร ซึ่งโดยมากมักมีการนำข้อมูลจากดาวเทียมมาผสมผสานกับข้อมูลอื่นเช่น ภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่ภูมิประเทศ ข้อมูลจากการสำรวจภาคพื้นดิน ในลักษณะระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) เพื่อให้ได้ประโยชน์เต็มที่ ประเทศไทยจึงควรมีการวิจัยและพัฒนางานด้านนี้ เพื่อการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการพัฒนาประเทศต่อไป

4.3 พื้นฐานของโทรสัมผัส

โทรสัมผัส(Remote Sensing) เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือที่ไม่สัมผัสวัตถุเป้าหมาย แต่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว ขบวนการพื้นฐานที่เกี่ยวกับโทรสัมผัส โดยทั่วไปมี 2 ขบวนการคือ (ดูรูป 4.3.1)

1. การได้มาซึ่งข้อมูล(Data Acquisition) องค์ประกอบหลักของการได้มาซึ่งข้อมูล ได้แก่ แหล่งพลังงาน(energy source) การเคลื่อนที่ของพลังงาน(propagation of energy) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับลักษณะพื้นผิวโลก ระบบการบันทึกข้อมูล (sensing system) และข้อมูลที่ได้รับทั้งในแบบรูปภาพและข้อมูลเชิงตัวเลข โดยทั่วไปแล้วเราใช้เครื่องรับข้อมูล(sensor)บันทึกการสะท้อนหรือการเปล่งรังสีของพื้นผิวโลก
2. การวิเคราะห์ข้อมูล(Data Analysis) ซึ่งประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมด้วยสายตาและใช้ข้อมูลเชิงตัวเลข โดยมีข้อมูลอ้างอิงอื่นประกอบเช่น สถิติของการปลูกพืช และ 2) ผลผลิตของการแปลภาพทั้งในรูปแบบแผนที่หรือตัวเลขเช่น แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน เป็นต้น

ในหัวข้อที่บรรยายเรื่องโทรสัมผัสนี้ได้ดัดแปลงมาจาก ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์ (2532) และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์ และคณะ(2532)

4.3.1 แหล่งของพลังงานและหลักการแผ่รังสี(energy sources and radiation principles)

แสงสว่างเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ารูปหนึ่งเช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ ความร้อน รังสี อุลตราไวโอเลต และรังสีเอกซ์ พลังงานเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกันโดยกำเนิดและมีการแผ่รังสีเป็นไปตามทฤษฎีของคลื่นดังแสดงในรูป 4.3.2 ซึ่งอธิบายการเคลื่อนที่ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าว่าเป็นจังหวะหรือแบบฮาร์โมนิก(harmonic) ที่มีช่วงซ้ำในเวลาหนึ่งเหมือนทำนองเสียงและมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง(ประมาณ 300,000 กม/วินาที) โดยมีระยะทางจากจุดใดในแต่ละรอบถึงจุดเดียวกันในรอบถัดไป ที่เรียกว่า “ความยาวคลื่น(wavelength)” และมีจำนวนจุดยอดที่ผ่านจุดคงที่ในอวกาศต่อหน่วยเวลาที่เรียกว่า “ความถี่คลื่น(frequency)”

จากพื้นฐานทางฟิสิกส์พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่คลื่น เป็นดังสมการ 4.3.1 คือ

$$\lambda = c/f \quad \longrightarrow \quad 4.3.1$$

โดยที่

λ	=	ความยาวคลื่น
c	=	ความเร็วของคลื่นมีค่าคงที่ 3×10^8 mm/sec
f	=	ความถี่คลื่น (cycle/sec หรือ hertz)

รูปที่ 4.3.1 โทรส์ัมผัสทางแม่เหล็กไฟฟ้าของทรัพยากรบนโลก (ดูชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และ สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, 2532)

รูปที่ 4.3.2 ส่วนประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้แก่คลื่นไฟฟ้า(E) และคลื่นแม่เหล็ก(M) ที่ตั้งฉากโดยที่ทั้งคู่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (direction of propagation, ดู ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, 2532)

จากสมการพบว่าค่า λ และ f มีความสัมพันธ์ในแบบตรงกันข้ามคือ ถ้าความยาวคลื่นมาก ความถี่จะน้อย ในทางโทรสัมผัสแล้วนิยมแบ่งหรือลำดับความยาวคลื่น โดยใช้ตำแหน่งในสเปก-ตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าดังรูป 4.3.2 หน่วยที่นิยมใช้ในการวัดความยาวคลื่นคือ ไมโครเมตร (μm) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1×10^{-6} เมตร

ช่วงคลื่นต่างๆ มักมีชื่อเรียกเพื่อความสะดวกเช่น อุลตราไวโอเลตหรือไมโครเวฟ เป็นต้น แต่ละช่วงคลื่นไม่สามารถกำหนดค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนได้จึงเป็นเพียงค่าโดยประมาณ ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่คลื่นสั้นจนกระทั่งคลื่นยาว

ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น(visible wavelength)มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.4-0.7 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่ค่อนข้างแคบในสเปกตรัม โดยช่วงความยาวคลื่น 0.4-0.5 ไมโครเมตร เป็นช่วงของแสงสีน้ำเงิน ส่วนช่วงความยาวคลื่น 0.5-0.6 ไมโครเมตรเป็นช่วงของแสงสีเขียว และช่วงความยาวคลื่น 0.6-0.7 ไมโครเมตร เป็นช่วงของแสงสีแดง (รูป 4.3.3)

ช่วงคลื่นที่สั้นกว่าคลื่นที่ตามองเห็นคือ อุลตราไวโอเลต(ultraviolet, หรือUV) ส่วน ช่วงคลื่นที่ยาวกว่าคลื่นที่ตามองเห็นเรียกว่า อินฟราเรดใกล้ หรืออินฟราเรดสะท้อน (near-infrared หรือ reflected infrared) และช่วงคลื่นที่ยาวกว่าอินฟราเรดใกล้คือ เทอร์มอลอินฟราเรด (thermal infrared) สำหรับช่วงคลื่นที่ยาวกว่าเทอร์มอลอินฟราเรดคือ ไมโครเวฟ(microwave) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 1 มิลลิเมตร - 1 เมตร (รูป4.3.3)

การใช้ข้อมูลโทรสัมผัสมักนิยมใช้ช่วงคลื่นต่างๆ ของคลื่นที่ตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ เทอร์มอลอินฟราเรด หรือไมโครเวฟ โดยใช้ดาวเทียมเป็นตัวควบคุมการบันทึก(ดูรูป 4.3.4)

รูปแบบของการเคลื่อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของคลื่น ส่วนพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีอนุภาค (Particle Theory) กล่าวคือ การแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยหน่วยอิสระที่เรียกว่า “โฟตอน (photon) หรือ ควานต้า (quanta)” พลังงานของแต่ละควานต้า จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่นตามสมการ 4.3.2 คือ

$$\boxed{E = hf} \longrightarrow 4.3.2$$

โดย

E = พลังงานของ 1 ควานต้า มีหน่วยเป็น Joules (J)

h = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) มีค่า 6.626×10^{-34} J.sec

f = ความถี่ของคลื่น

หรืออาจจะเปลี่ยนพลังงานให้อยู่ในรูปของความยาวช่วงคลื่นได้ตามสมการ

$$\boxed{E = \frac{hc}{\lambda}} \longrightarrow 4.3.3$$

รูป 4.3.3 โทรสัมผัสส่วนของสเปกตรัมบางส่วนถูกดูดกลืนด้วยก๊าซในบรรยากาศ บางส่วนเป็นสเปกตรัมของไมโครเวฟซึ่งใช้โดยนักบิน และใช้วัดความสูงต่ำของผิวโลก ในที่นี้แสดงระบบการถ่ายภาพ(ส่วนล่าง)

รูป 4.3.4 ระบบการทำงานเพื่อให้ได้ภาพของดาวเทียม โดยดาวเทียม LANDSAT 1 ถึง 3 รวบรวมข้อมูล MSI ที่ประกอบด้วย 4 แบนด์(4,5,6 และ 7) และส่งผ่านสัญญาณโดยระบบ TDRS สู่อุปกรณ์รับสัญญาณ (จาก Sabin, 1987 และ Lo, 1986)

รูป 4.3.5 การเปรียบเทียบสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า กับวิธีการสำรวจเบื้องต้น (Whatley, 1995)

จากสมการข้างต้นพบว่า พลังงานของโฟตอน(หรือควานต้า)เป็นส่วนผกผันกับความยาวคลื่น หรือกล่าวได้ว่า คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากจะให้พลังงานต่ำ ดังนั้นเมื่อเรานำมาใช้ในการศึกษาข้อมูลโทรสัมผัสจึงพบว่า ในธรรมชาติการแผ่รังสีของคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากเช่น ไมโครเวฟ จะบันทึกพลังงานได้ยากกว่าพลังงานในช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรด(ดูรูป 4.3.3) ด้วยเหตุนี้ในการบันทึกพลังงานต่ำซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีในช่วงคลื่นยาวจากผิวโลก โดยทั่วไปจึงเหมาะจะใช้กับพื้นที่ขนาดใหญ่ในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนดให้เพื่อที่จะบันทึกพลังงานนั้นได้(รูป 4.3.5)

ด้วยเหตุที่สสารทุกชนิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 0°K (หรือ -270°C)สามารถเปล่งหรือแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นวัตถุพื้นผิวโลกก็ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่มีขนาดและส่วนประกอบของสเปกตรัมแตกต่างไปจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุด พลังงานที่แผ่รังสีออกมานั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ และสามารถที่คำนวณได้จากกฎของ Stefan-Boltzmann ตามสมการ 4.3.4 ดังนี้

$$W = \sigma T^4 \longrightarrow 4.3.4$$

โดยที่ W = พลังงานทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุ (Wm^{-2})

σ = Stefan-Boltzmann constant (มีค่าเท่ากับ $5.6697 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-4}$) และ

T = อุณหภูมิของวัตถุ ($^{\circ}\text{K}$)

พลังงานทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากวัตถุจะแปรผันกับอุณหภูมิของวัตถุ ในลักษณะที่เป็นสัดส่วนกับ T^4 ดังนั้นพลังงานที่แผ่ออกมาจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กฎของ Stefan-Boltzmann นิยมใช้กับแหล่งพลังงานของวัตถุที่กระทำตัวเช่นเดียวกับวัตถุดำ (black body) ซึ่งเป็นตัวแผ่รังสีที่สามารถดูดพลังงานได้ทั้งหมดและแผ่พลังงานออกไปได้ทั้งหมด แต่ในธรรมชาติไม่มีวัตถุใดมีลักษณะเช่นเดียวกับวัตถุดำ มีเพียงวัตถุที่มีสภาพใกล้เคียงเท่านั้น

พลังงานที่แผ่ออกไปนี้จะมีการกระจายของสเปกตรัมที่แตกต่างกัน รูป 4.3.6 แสดงการกระจายของสเปกตรัมตั้งแต่อุณหภูมิจาก 200 ไปจนถึง $6,000^{\circ}\text{K}$ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับพลังงานที่แผ่รังสีออกมาต่อ 1 ไมโครเมตร ดังนั้นพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (curve) จึงถือว่าเป็นพลังงานที่แผ่ออกมาทั้งหมด และเราพบว่าวัตถุหรือตัวแผ่รังสีที่มีอุณหภูมิสูงจะให้พลังงานทั้งหมดออกมาสูง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดยอดของเส้นโค้งก็จะเอียงไปทางด้านที่มีความยาวคลื่นสั้น

อย่างไรก็ตามเราสามารถคำนวณหาพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สำหรับความยาวคลื่นที่กำหนดให้ได้จากกฎของ Planck ตามสมการ ดังนี้

$$W_{\lambda} = C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]^{-1} \longrightarrow 4.3.5$$

โดย W_{λ} = พลังงานที่ความยาวคลื่น λ

C_1 = $3.74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$

C_2 = $1.44 \times 10^{-2} \text{ m}^{\circ}\text{K}$ และ

T = อุณหภูมิของวัตถุ ($^{\circ}\text{K}$)

รูปที่ 4.3.6 การกระจายตัวแบบสเปกตรัมของพลังงานที่แผ่ออกจากวัตถุดิบ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ (ให้สังเกตว่า spectral radiant emittance หรือ คือพลังงานที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยช่วงความคลื่น total radiant emittance หรือ W ถูกกำหนดโดยพื้นที่ใต้เส้นโค้ง spectral radiant emittance) (คูชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, 2532)

เมื่อทราบอุณหภูมิเราสามารถที่คำนวณหาความยาวคลื่นที่จะให้พลังงานที่แผ่รังสีออกมาสูงสุดได้จากกฎการแทนที่ของ Wien (Wien's Displacement Law) ตามสมการ 4.3.6 ดังนี้

$$\boxed{\lambda_m = C/T} \longrightarrow 4.3.6$$

โดย λ_m = ความยาวคลื่นที่จะให้พลังงานสูงสุด
 C = $2.898 \times 10^{-3} \text{ m}^\circ\text{K}$ และ
 T = อุณหภูมิของวัตถุ ($^\circ\text{K}$)

ตัวอย่างที่ 1 พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิ 300°K ดังนั้นความยาวคลื่นที่จะให้พลังงานที่แผ่รังสีออกมาสูงสุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\lambda_m &= (2.898 \times 10^{-3})/300 \text{ m} \\ &= 0.966 \times 10^{-5} \text{ m} \\ &= 9.66 \mu\text{m} (\approx 10 \mu\text{m})\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2 ดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิ $6,000^\circ\text{K}$ ดังนั้นความยาวคลื่นที่จะให้พลังงานที่แผ่รังสีออกมาสูงสุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\lambda_m &= (2.898 \times 10^{-3})/6000 \text{ m} \\ &= 0.483 \times 10^{-6} \text{ m} \\ &= 0.483 \mu\text{m} (\approx 0.5 \mu\text{m})\end{aligned}$$

การแผ่รังสีออกมาจะสัมพันธ์กับความร้อนของพื้นผิวโลก จึงนิยมเรียกรังสีที่แผ่ออกมานี้ว่า “พลังงานเทอร์มอลอินฟราเรด” พลังงานนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตามนุษย์หรือบันทึกได้ด้วยกล้องถ่ายรูปที่ใช้ฟิล์มทั่วไป แต่สามารถบันทึกพลังงานนี้ได้ด้วยเครื่องมือพิเศษเช่น รัดิโอมิเตอร์ (Radiometer) หรือสแกนเนอร์ (Scanner) สำหรับดวงอาทิตย์ซึ่งมีพลังงานที่แผ่ออกมาสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.5 ไมโครเมตร สามารถมองเห็นได้ด้วยตาของมนุษย์หรือบันทึกได้ด้วยฟิล์มถ่ายรูปทั่วไป ดังนั้นเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นเราจึงสามารถมองเห็นพื้นผิวโลก เนื่องจากการสะท้อนของพลังแสงอาทิตย์ ในส่วนของพลังงานที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่านี้จะแผ่รังสีออกจาก พื้นผิวโลกได้เช่นกัน แต่สามารถสังเกตหรือบันทึกได้ด้วยระบบอื่นที่ไม่ใช่ฟิล์มถ่ายรูปธรรมดาทั่วไป ในการแบ่งขอบเขตระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อนกับอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากวัตถุ ใช้ความยาวคลื่นประมาณ 3 ไมโครเมตร เพราะถ้าความยาวคลื่นต่ำกว่านี้จะเป็นอินฟราเรดสะท้อนเป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้าความยาวคลื่นสูงกว่านี้จะเป็นอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากวัตถุเอง

ระบบบันทึก(Sensing System) ที่สามารถบันทึกพลังงานที่แผ่รังสีออกมาโดยธรรมชาติ เรียกว่า “Passive System” ส่วนระบบบันทึกที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมาย เรียกว่า “Active System” เช่น ระบบเรดาร์ จะต้องส่งพลังงานไปกระทบวัตถุเป้าหมาย แล้วบันทึกพลังงานที่สะท้อนกลับ

4.3.2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในบรรยากาศ (energy interactions in the atmosphere)

ระยะทางการเคลื่อนที่ของพลังงานทุกชนิดซึ่งผ่านบรรยากาศมายังเครื่องบันทึกเรียกว่า “Path length” ระยะทางนี้แปรผันตามตำแหน่งของเครื่องบันทึกเช่น การบันทึกภาพของ Thermal Sensor ที่ติดตั้งบนเครื่องบินมักบันทึกพลังงานโดยตรงจากพื้นโลก ในขณะที่การบันทึกภาพจากดาวเทียมซึ่งต้องผ่านชั้นบรรยากาศที่หนามาก ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่จากแหล่งพลังงานจนถึงเครื่องบันทึกมีระยะเป็น 2 เท่า ผลกระทบของบรรยากาศต่อระบบบันทึกจึงแปรผันกับ path length ขนาดของพลังงานที่บันทึก สภาพของบรรยากาศขณะนั้น และความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้อง

บรรยากาศที่ห่อหุ้มผิวโลกมักมีผลต่อความเข้มและองค์ประกอบของสเปกตรัมที่ผ่านไปยังระบบบันทึกผลของบรรยากาศต่อการแผ่รังสีส่วนใหญ่เนื่องจากการกระเจิง(scattering)และการดูดกลืน(absorption) ของบรรยากาศ

“การกระเจิงของบรรยากาศ” เป็นการสะท้อนของคลื่นในทุกทิศทาง เนื่องจากอนุภาคในบรรยากาศ การกระเจิงมี 3 ประเภทคือ 1) Rayleigh Scatter - เกิดเมื่อการแผ่รังสีมีปฏิสัมพันธ์กับโมเลกุลของบรรยากาศและอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางคลื่นที่มากระทบ 2) Mic Scatter - เกิดเมื่ออนุภาคของบรรยากาศมีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นที่จะบันทึก การกระเจิงแบบนี้มักมีอิทธิพลต่อความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ Rayleigh Scatter และ 3) Nonselective Scatter - เกิดเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่จะทำให้เกิดการกระเจิงมีขนาดใหญ่มากกว่าความยาวคลื่นที่ถูกบันทึก

โดยทั่วไปการดูดกลืนของบรรยากาศมีผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับ การดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นหนึ่งที่กำหนดให้ ตัวดูดกลืนพลังแสงแดดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน เพราะก๊าซเหล่านี้มีแนวโน้มในการดูดกลืนพลังงาน ณ ที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ดังนั้นก๊าซจึงมีอิทธิพลต่อช่วงคลื่นที่กำหนดขึ้นในระบบการบันทึกข้อมูลในทางโทรทัศนศาสตร์ ช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวงหรือผ่านบรรยากาศได้เรียกว่า “หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric Windows)” รูป 4.3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งพลังงานกับลักษณะ การดูดกลืนของบรรยากาศ (a)แสดงการกระจายของสเปกตรัมของพลังงานที่ส่งออกมาโดยดวงอาทิตย์และโลก ซึ่งพลังงานที่ส่งออกมาสูงสุดของดวงอาทิตย์อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (b)แสดงช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวงบรรยากาศได้ ที่เรียกว่า “หน้าต่างบรรยากาศ” ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรด สปีทที่แสดงในรูปเป็นช่วงที่ทะลุทะลวงได้ยาก (c)แสดงความสัมพันธ์ของระบบบันทึกข้อมูลกับช่วงคลื่นต่าง ๆ จะเห็นได้

ว่าระบบบันทึกข้อมูลโดยใช้ฟิล์มถ่ายภาพมีช่วงคลื่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ส่วนระบบ Multispectral Scanner สามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงเทอร์มอลอินฟราเรด สำหรับระบบ Thermal Scanner สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดซึ่งตามองไม่เห็น (ความยาวคลื่น 3-5 และ 8-14 ไมโครเมตร) ส่วน Radar และ Passive Microwave บันทึก ข้อมูลในช่วง คลื่นค่อนข้างสูง (ความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร - 1 เมตร)

ในการเลือกเครื่องบันทึกข้อมูลให้พิจารณาจาก 1) การตอบสนองช่วงคลื่นในสเปกตรัม สำหรับเครื่องบันทึกที่มีอยู่ 2) ความเป็นไปได้สำหรับหน้าต่างบรรยากาศในช่วงคลื่นนั้น ๆ และ 3) แหล่งพลังงาน ขนาดของพลังงาน และองค์ประกอบของสเปกตรัมที่มีอยู่ในช่วงคลื่นดังกล่าว

4.3.3 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับพื้นผิวโลก (energy interaction with earth surface features)

เมื่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ากระทบบนพื้นผิวโลกจะเกิดการสะท้อน ดูดกลืน และทะลุทะลวง (รูป 4.3.8) จากหลักความสมดุลย์ของพลังงานเราได้สมการ 4.3.7 ดังนี้

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda) \longrightarrow 4.3.7$$

โดยที่	$E_i(\lambda)$	=	พลังงานตกกระทบ (Incident energy)
	$E_r(\lambda)$	=	พลังงานสะท้อน (Reflected energy)
	$E_a(\lambda)$	=	พลังงานที่ดูดกลืน (Absorbed energy)
	$E_t(\lambda)$	=	พลังงานที่ทะลุทะลวง (transmitted energy)

ทุกองค์ประกอบของพลังงานเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น สมการ 4.3.7 จึงแสดงถึงความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของกลไกในการสะท้อน การดูดกลืน และการทะลุทะลวง ซึ่งความสัมพันธ์ในนี้มี 2 ประการคือ ก) สัดส่วนของพลังงานที่สะท้อน ดูดกลืน ทะลุทะลวงแปรผันไปตามลักษณะของพื้นผิวโลก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่เป็นองค์ประกอบและสภาพของวัตถุนั้นๆ ความแตกต่างของพลังงานที่สะท้อน ดูดกลืน และทะลุทะลวงวัตถุ จะทำให้เราแยกความแตกต่างได้ในภาพ และ ข) สัดส่วนของพลังงานที่สะท้อน ดูดกลืน ทะลุทะลวงที่เกิดขึ้นกับวัตถุหนึ่งๆ มักแตกต่างไปตามความยาวคลื่น ดังนั้นการที่วัตถุ 2 อย่างไม่สามารถบอกความแตกต่างในภาพได้ในช่วงคลื่นหนึ่ง แต่สามารถแสดงความแตกต่างได้หากใช้หลายช่วงคลื่นนั้นเป็นเพราะว่าระบบทางโทรสัมผัสหลายระบบอาศัยช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนพลังงานเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นสมบัติการสะท้อนของพื้นโลกจึงถือว่าสำคัญที่สุด ซึ่งแสดงดังสมการ 4.3.8 ดังนี้

$$E_r(\lambda) = E_i(\lambda) - [E_a(\lambda) + E_t(\lambda)] \longrightarrow 4.3.8$$

รูป 4.3.7 ลักษณะสมบัติทางสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดพลังงาน ผลจากบรรยากาศและระบบสัมผัส (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, 2532)

รูป 4.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์กับผิวโลก (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, 2532)

นั่นคือพลังงานที่สะท้อนในช่วงคลื่นหนึ่งๆ เท่ากับพลังงานที่ตกกระทบ ลบด้วยผลรวมของพลังงานที่ดูดกลืนและพลังงานที่ทะลุทะลวง การสะท้อนของคลื่นขึ้นอยู่กับความขรุขระ (roughness) ของพื้นที่ การสะท้อนของคลื่นมี 2 ลักษณะคือ 1) Specular Reflectors เป็นการสะท้อนบนพื้นผิวที่เรียบแบบกระจก ทำให้มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และ 2) Diffuse (Lambertian) Reflectors เป็นการสะท้อนพลังงานบนพื้นผิวที่ขรุขระในลักษณะที่สม่ำเสมอในทุกทิศทาง ลักษณะการสะท้อนของพื้นผิวโลกจึงเป็นการผสมการสะท้อนทั้ง 2 แบบ และสามารถวัดเป็นตัวเลขได้ โดยวัดส่วนของพลังงานถูกสะท้อนจากพลังงานที่ตกกระทบซึ่งเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นที่เรียกว่า “Spectral Reflectance (หรือ $R\lambda$)” ที่แสดงดังสมการ 4.3.9 ดังนี้

$$R\lambda = \frac{E_R(\lambda) \times 100}{E_i(\lambda)} \rightarrow 4.3.9$$

4.3.4 การสะท้อนคลื่นสเปกตรัมของพืช ดิน และน้ำ (Spectral Reflectance of vegetation, soil and water)

การสะท้อนพลังงานของพื้นโลกที่เป็นพืชสีเขียว ดินแห้ง และน้ำใส ดังที่แสดงในรูป 4.3.9 เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายค่าจากหลายๆ ตัวอย่าง โดยทั่วไปคลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงที่ตามองเห็น ณ ที่ความยาวคลื่น 0.45 และ 0.65 ไมโครเมตร และสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร สาเหตุที่ตาของมนุษย์มองเห็นใบพืชสีเขียวเพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดง แต่สะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้งเหี่ยว หรือมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงจะมีผลทำให้การสะท้อนคลื่นสีแดงสูงขึ้น

ด้วยเหตุนี้ใบพืชสามารถสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่น 0.7-1.3 ไมโครเมตร) ได้สูงถึง 50% การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วงนี้จึงขึ้นอยู่กับ โครงสร้างภายในของใบพืชเอง การวัดค่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ จึงช่วยให้เราจำแนกชนิดของพืชได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในของใบพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ในทำนองเดียวกัน การสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบจึงให้ผลที่แตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ดังนั้นระบบโทรสัมผัสที่สามารถบันทึกค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จึงนำมาใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งสำหรับนักสำรวจแร่ พืชชนิดหนึ่งที่ขึ้นในแหล่งแร่อาจให้ข้อมูลพื้นในเชิงโทรสัมผัสที่แตกต่างไปจากพืชชนิดเดียวกันที่ขึ้นอยู่ในบริเวณรอบๆ แหล่งแร่

ในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร (รูป 4.3.9) พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อน โดยแทบไม่มีการทะลุทะลวงเลย มักจะพบค่าการสะท้อนต่ำลงที่ความยาวคลื่น 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะว่าน้ำในใบพืชดูดกลืนคลื่นที่ความยาวดังกล่าว จึงมักเรียกความยาวคลื่นเหล่านี้ว่า “Water absorption bands” หรือช่วงคลื่นดูดกลืนน้ำ และค่าการสะท้อนสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น

1.6 และ 2.2 ไมโครเมตร การสะท้อนคลื่นที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตรของใบพืชจะแปรผัน ผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนคลื่นของดินกับความยาวคลื่นส่วนใหญ่มีความแปรปรวนน้อย การสะท้อนคลื่นของดินมักไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นแต่จะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่างเช่น ความชื้นในดิน เนื้อดิน ความขรุขระของพื้นที่ ปริมาณเหล็กออกไซด์และอินทรีย์วัตถุในดิน ปัจจัยดังกล่าวมีความสลับซับซ้อน แปรผันง่าย และมีความเกี่ยวข้องกันเองเช่น ถ้าความชื้นในดินสูง ความขรุขระและอินทรีย์วัตถุในดินจะสูง การมีเหล็กออกไซด์ในดินที่เกิดขึ้นก็จะทำให้ค่าการสะท้อนคลื่นของดินลดลง

ส่วนการสะท้อนคลื่นของน้ำ(รูป 4.3.9) มีลักษณะที่แตกต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะเห็นขอบเขตของน้ำได้อย่างชัดเจน สภาพของน้ำปรากฏบนผิวโลกเช่น น้ำขุ่น น้ำใส น้ำมีวัชพืชปน นั้นมักให้ค่าการสะท้อนคลื่นที่แตกต่างกัน

รูป 4.3.9 กราฟแสดงเส้นสเปคตรัมหักเห (spectral reflectance curves) สำหรับพืชพรรณ ดินและน้ำ (ชรินทร์ มงคลสวัสดิ์ และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์)

4.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพ

4.4.1 วิวัฒนาการของการสำรวจทรัพยากรโลกด้วยดาวเทียม

นับจากความสำเร็จของการส่งดาวเทียม TIROS-1 โดยองค์การนาซา (NASA) เมื่อเมษายน พ.ศ. 2523 เป็นต้นมา กิจกรรมการสำรวจโลกโดยใช้ดาวเทียมได้วิวัฒนาการไปอย่างรวดเร็ว การวิวัฒนาการดังกล่าวสามารถแยกออกได้เป็น 2 ระดับกว้าง ๆ คือ ระดับสรรสร้างในลักษณะของงานวิจัยและพัฒนา (Research and Development) และระดับปฏิบัติการ (Operation) ปัจจุบันได้มีการส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรมากกว่า 200 ดวง

ดาวเทียมที่ได้รับการส่งขึ้นปฏิบัติงานในช่วงแรก มักมีอายุการทำงานค่อนข้างสั้น มีทั้งระบบที่ใช้มนุษย์อวกาศและระบบอัตโนมัติควบคุม โดยหลักการแล้วดาวเทียมที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้ในระดับปฏิบัติการมักจะเป็นระบบอัตโนมัติ ดาวเทียมที่มีส่วนช่วยพัฒนาระบบดาวเทียมสำรวจโลกระบบอื่น ๆ ได้แก่ เมอร์คิวรี เจมินี อพอลโล สกายแล็บ และกระสวยอวกาศ (Space Shuttle)

เมอร์คิวรี (พ.ศ.2504-2505) : ดาวเทียมดวงแรกๆ ในชุดนี้ เป็นขบวนการบินสั้นๆ ประมาณ 15 นาทีโดยปราศจากมนุษย์อวกาศควบคุม หลังจากนั้นได้พัฒนาเป็นแบบโคจรรอบโลกที่ระดับสูง 161-266 กิโลเมตร และเริ่มมีบทบาทของมนุษย์อวกาศในวงโคจรซึ่งได้รับผลสำเร็จเป็นอย่างดี อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้เป็นกล้องถ่ายรูปสำหรับฟิล์มสี 70 มม หรือ 35 มม ดาวเทียมในชุดนี้มีทั้งสิ้น 9 ขบวนการบิน

เจมินี (พ.ศ.2508-2509) พัฒนามาจากโครงการเมอร์คิวรี เป็นระบบที่มีมนุษย์อวกาศควบคุม โคจรระหว่างละติจูดที่ 32 องศาเหนือ-ใต้ ที่ระดับความสูง 160-320 กิโลเมตร (ยกเว้นเจมินี-11 ซึ่งโคจรที่ระดับความสูง 640-1,360 กิโลเมตร) อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้เป็นกล้องถ่ายรูปขนาด 70 มม ภาพสีและสีอินฟราเรด (คุณภาพไม่ดีนัก) มาตรการส่วนประมาณ 1:2,400,000 (คลุมพื้นที่ 140 ตารางกิโลเมตร) วัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้เพื่อทดสอบด้านมนุษย์อวกาศ เครื่องมือ และวิธีการต่างๆ มากกว่าการถ่ายภาพผิวโลก ยกเว้นเจมินี-4 ซึ่งใช้ศึกษาทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะ ภาพที่ถ่ายได้รวม 1,100 ภาพสามารถนำมาใช้ศึกษาด้านธรณีวิทยา สมุทรศาสตร์ และภูมิศาสตร์ ได้เป็นอย่างดี

อพอลโล (พ.ศ.2511-2512) เป็นโครงการต่อเนื่องจากเจมินี โคจรระหว่างละติจูด 30 องศาเหนือ-ใต้ โครงการอพอลโล-6 ใช้ระบบกล้องอัตโนมัติ 70 มม สำหรับอพอลโล-7 และ 9 ใช้ระบบที่มีมนุษย์อวกาศควบคุม และถ่ายภาพด้วยกล้อง 70 มม แต่ใช้ฟิล์มหลายประเภทรวมทั้งขาว-ดำด้วย สำหรับอพอลโล-9 ถือเป็นดาวเทียมประวัติศาสตร์ที่เริ่มระบบถ่ายภาพหลายช่วงคลื่นโดยใช้กล้อง 4 ตัวถ่ายพร้อมกันด้วยระบบควบคุมทางไฟฟ้า ในปี พ.ศ.2518 ที่โครงการทดลองอพอลโล-โซยุซ (Apollo-Soyuz Test Project-ASTP) ซึ่งเป็นโครงการร่วมของสหรัฐฯ และรัสเซีย

สกายแล็บ (พ.ศ.2516-2517) เป็นสถานีอวกาศซึ่งมุ่งศึกษาบทบาทของมนุษย์ในอวกาศ และเป็นขบวนการแรกที่แสดงถึงการผสมผสานระหว่างภาพถ่ายธรรมชาติและภาพถ่ายจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยอุปกรณ์ Earth Resources Experiment Package

(EREP) โคจรรอบกลุ่มพื้นที่ระหว่างละติจูด 50 องศาเหนือ-ใต้ ที่ระดับความสูง 453 กิโลเมตร และย้อนกลับสู่แนวโคจรระดับทุก 5

วัน ขบวนการบินที่สำคัญและมีมนุษยอวกาศควบคุมคือ ขบวนการ SL-2, 3 และ 4 ซึ่งมีระยะการปฏิบัติงานระหว่าง 25 พฤษภาคม ถึง 22 มิถุนายน 2516, 28 กรกฎาคม ถึง 25 กันยายน 2516 และ 16 พฤศจิกายน 2516 ถึง 8 กุมภาพันธ์ 2517 (ตามลำดับ) ภาพที่ได้จาก 3 ขบวนการนี้มีมากกว่า 35,000 ภาพ

กระสวยอวกาศ (เริ่ม พ.ศ.2523) เกิดจากแนวความคิดในการนำยานอวกาศกลับมาใช้งานในครั้งต่อไป และใช้เป็นยานสำหรับส่งและซ่อมแซมดาวเทียมดวงอื่น ด้วยยานสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. จรวด-ใช้บรรจุสารขับเคลื่อนชนิดแข็ง 2 ลำซึ่งถูกปล่อยทิ้งหลังจากยานโคจรขึ้นสู่ระดับสูงประมาณ 40 กิโลเมตร เพื่อนำมาใช้ในการต่อไป
2. แท็งก์-ขนาดใหญ่สำหรับบรรจุสารขับเคลื่อนชนิดเหลวซึ่งถูกปล่อยทิ้งเมื่อยานเข้าสู่โคจรรวม โคจร และ
3. ยานโคจร-มีขนาดเท่าเครื่อง DC-9 ประกอบด้วยที่ว่างสำหรับบรรจุระวางอุปกรณ์ (เช่น Spacelab) ซึ่งสามารถบรรจุมนุษยอวกาศและเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา

4.4.2 ดาวเทียมสำรวจโลกระดับปฏิบัติการ

การโคจร

ดาวเทียมดังกล่าวมีลักษณะการโคจร 2 ประเภทคือ

1. การโคจรสอดคล้องกับดวงอาทิตย์(Sun synchronous) โดยโคจรผ่านแนวศูนย์สูตร ณ เวลาท้องถิ่นเดียวกัน และ
2. การโคจรสอดคล้องกับการหมุนของโลก(Earth synchronous หรือ Geostationary) ทำให้ดาวเทียมมีการโคจรเสมือนลอยนิ่งอยู่เหนือตำแหน่งหนึ่งๆ บนผิวโลก

การใช้ประโยชน์

หากพิจารณาลักษณะการใช้ประโยชน์ของดาวเทียมสำรวจโลกแล้ว สามารถแบ่งดาวเทียมออกเป็น 3 ประเภทคือ

ก) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological satellites) ซึ่ง National Operational Meteorological Satellite System (NOMSS) ได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้เพื่อ 1) เพื่อถ่ายภาพชั้นบรรยากาศของโลกประจำวัน 2) เพื่อให้ได้ภาพต่อเนื่องของบรรยากาศโลก เก็บและถ่ายทอดข้อมูลจากสถานีภาคพื้นดิน และ 3) เพื่อการยังตรวจสอบอากาศของโลกประจำวัน

นอกจากนี้ภาพจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ยังสามารถนำมาใช้ในการศึกษาทางด้านปฐพีวิทยา และสมุทรศาสตร์ได้เป็นอย่างดี ทำให้การใช้ประโยชน์เป็นไปอย่างกว้างขวางกว่าที่กล่าวมาแล้ว ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้แก่ TIROS (Television and Infrared Observation Satellite), ITOS (Improved TIROS Operational Satellite) เมื่อดาวเทียมในชุด ITOS ประสบผลสำเร็จจึง เรียกชื่อใหม่เป็นชุดดาวเทียม NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) นอกจากนี้ยังมีดาวเทียม SMS/GOES (Synchronous Meteorological Satellite/Geostationary Operational Environmental Satellite) และ NIMBUS

ข) ดาวเทียมสำรวจแผ่นดิน (Land satellites) ได้รับการออกแบบเพื่อสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะ ดาวเทียมชุดแรกคือ LANDSAT ซึ่งมีจุดมุ่งหมายคือ 1) เพื่อถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ของผิวโลก 2) เพื่อเก็บและถ่ายทอดข้อมูลจากสถานีวัดระบบอัตโนมัติ ณ จุดต่าง ๆ บน ภาคพื้นดิน (Data Collection System) และ 3) เพื่อวัดค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่นต่างๆ สำหรับนำไปใช้ กับกรรมวิธี Automatic Signature Recognition Technique 4) เพื่อพัฒนากรรมวิธีผลิตข้อมูลให้อยู่ใน ลักษณะภาพที่ใช้งานได้

นอกจากดาวเทียม LANDSAT แล้วยังมีดาวเทียมอีกชุดหนึ่งซึ่งเป็นชุดแรก ภายใต้ โครงการ Application Explorer Missions (AEM) คือ AEM-1 หรือ HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) เป็นดาวเทียมแบบประหยัดหรือ “ฉบับกระเป๋” ใช้ ประโยชน์ในการวัดความร้อนที่ผิวโลก

ค) ดาวเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์ (Sea satellites) สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานสมุทรศาสตร์ ดาวเทียม ดวงแรกที่ใช้คือ SEASAT(พ.ศ.2521)ซึ่งโคจรที่ระดับความสูง 800 กิโลเมตร เครื่องมือส่วนใหญ่เป็น ระบบไมโครเวฟ มีขีดความสามารถ ตลอดจนการประยุกต์ในการศึกษาต่างๆ แต่หลังจากปฏิบัติงานได้ เพียง 99 วัน ก็เกิดการขัดข้องของเครื่องมือ เป็นเหตุให้ ดาวเทียมหมดสภาพการปฏิบัติงานภายใน ระยะเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตามการศึกษาข้อมูลที่ได้ก็ทำให้บรรดานักสมุทรศาสตร์เริ่มทราบถึงแนวทาง ใหม่ในการสำรวจทางสมุทรศาสตร์ โดยอาศัยดาวเทียมมากขึ้น

วิวัฒนาการ

วิวัฒนาการของดาวเทียมสำรวจโลกมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีการพัฒนาระบบใหม่ๆ ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากดาวเทียมได้มากขึ้นกว่าเดิม องค์การอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency) เป็นกลุ่มหนึ่งที่ศึกษาพัฒนาทางด้านนี้อย่างจริงจัง ในปี พ.ศ.2529 ประเทศฝรั่งเศสได้ส่ง ดาวเทียม SPOT-1 ซึ่งมีรายละเอียดภาพสูงถึง 10 เมตร ขึ้นสู่วงโคจร ต่อมาในปี พ.ศ.2530 ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความก้าวหน้าทางโทรสัมผัสประเทศหนึ่งได้ส่งดาวเทียม MOS-1 ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจทางด้าน สมุทรศาสตร์และมีเครื่องมือสำรวจเป็นระบบเรดาร์ นอกจากนี้ยังมีโครงการอื่นที่กำลังพัฒนาเพื่อส่งขึ้น ปฏิบัติการได้แก่

ก. SEOS (Synchronous Earth-Observing Satellite) เป็นดาวเทียมที่คล้ายคลึงกับ GOES แต่มีลักษณะพิเศษคือ สามารถถ่ายภาพขยายซึ่งมีรายละเอียดของภาพใกล้เคียงหรืออาจจะดีกว่า LANDSAT ใช้ในการติดตามเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเช่น พายุ น้ำท่วม ไฟไหม้ป่า

ข. MMS (Multimission Modular Spacecraft) มีการทำงานในลักษณะดาวเทียมที่เล็งประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นแกนกลาง ซึ่งสามารถบรรจุทุก module สำหรับพลังงาน ระบบควบคุมการโคจร และอุปกรณ์การเก็บข้อมูลที่ต้องการ อุปกรณ์นี้จะเปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละโครงการ การส่งนั้นอาศัยดาวเทียมหรือกระสวยอวกาศดวงอื่นส่งขึ้น

ค. STEREO SAT ใช้งานด้านธรณีวิทยา โดยเฉพาะประกอบด้วย sensor 2 ตัว ทำมุม 45-60 องศาซึ่งกันและกัน สามารถถ่ายภาพในทิศทางด้านหน้าและด้านหลังของดาวเทียมได้ ให้รายละเอียดของภาพประมาณ 10-15 เมตร เป็นดาวเทียมที่ส่งขึ้นโคจรในลักษณะของ MMS หรือเป็นแบบดาวเทียมชุด AEM เช่น HCMM ก็ได้

ง. RADARSAT ส่งขึ้นโดยประเทศแคนาดาเมื่อปี พ.ศ.2533 เพื่อศึกษาสภาพน้ำแข็งในบริเวณมหาสมุทรอาร์กติกและขั้วโลกเหนือ มีเครื่องมือสำรวจเป็นระบบเรดาร์

จ. เป็นที่น่าสังเกตว่าการพัฒนาดาวเทียมสำรวจโลกในอนาคตจะเน้นด้านความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล และการปรับปรุงด้านรายละเอียดของภาพให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะเป็นดาวเทียมขนาดเล็กเฉพาะทาง สำหรับใช้ในการศึกษาวิชาในแต่ละสาขา

4.4.3 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพ (LANDSAT)

ดาวเทียมนี้เป็นดาวเทียมที่ออกแบบเพื่อนำเทคโนโลยีทางอวกาศและโทรสัมผัสมาใช้ในการสำรวจและจัดการทรัพยากรธรรมชาติบนพื้นผิวโลก

ก. ดาวเทียม LANDSAT-1,-2 และ-3 องค์การนาซา (NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกคือ LANDSAT-1 ขึ้นสู่วงโคจรรอบโลกในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2515 เพื่อสำรวจและบันทึกข้อมูลของโลก แล้วส่งข้อมูลมายังสถานีรับสัญญาณทางภาคพื้นดินก่อนที่จะผ่านขบวนการต่างๆ เพื่อส่งข้อมูลเหล่านั้นไปให้ผู้ใช้อื่นๆ ต่อมาได้ส่งดาวเทียม LANDSAT-2 ขึ้นสู่วงโคจรในเดือนมกราคม พ.ศ.2518 จากนั้นเพื่อให้การสำรวจและบันทึกข้อมูลเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงมีการส่งดาวเทียม LANDSAT-3 ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ.2521 คุณสมบัติทางเทคนิคและการทำงานของระบบต่าง ๆ มีดังนี้

1. ดาวเทียมและวงโคจรของ LANDSAT 1-3 (ตาราง 4.4.1 และ 4.4.2 และรูปที่ 4.4.1) มีลักษณะสำคัญดังนี้

- น้ำหนัก 950 กิโลกรัม (2,100 ปอนด์)
- ความสูง 3 เมตร (10 ฟุต)
- ความกว้าง 4 เมตร (13 ฟุต)

- แผ่นรับแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งต่อกับแบตเตอรี่ เพื่อให้พลังงานในการควบคุมการสำรวจและบันทึก และให้พลังงานกับเครื่องส่งสัญญาณข้อมูลบนดาวเทียม แบตเตอรี่นี้ใช้เมื่อดาวเทียมโคจรไปอยู่ทางด้านมืดของโลกเท่านั้น และ

- ระดับความสูงของวงโคจร 920 กิโลเมตร (575 ไมล์) และโคจรเป็นวงกลมใกล้ขั้วโลก โดยผ่านเส้นศูนย์สูตรที่มุม 99 องศา จำนวนรอบของการโคจร 14 รอบ/วัน

ตารางที่ 4.4.1 ข้อมูลของดาวเทียมโครงการ LANDSAT (Earth Programme, ESA and EOSAT brochures ใน สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

ชื่อดาวเทียม	ระยะเวลาทำงาน	ระบบบันทึก	การใช้ประโยชน์ (Application)
LANDSAT-1	launched : 22/7/72 retired : 6/1/78	MSS, RBV	Land
LANDSAT-2	launched : 22/1/75 retired : 22/1/80 launched : May, 1980 retired : 25/2/82	MSS, RBV	Land
LANDSAT-3	launched : 5/3/78 retired : 30/11/82	MSS, RBV	Land
LANDSAT-4	launched : 16/7/82	MSS, RBV	Land
LANDSAT-5	launched : 1/3/84	MSS, RBV	Land
LANDSAT-6	launched : 1Q 1988	MSSE, TM, ETM-1*	Land
LANDSAT-7	launched : 2Q 1991	MSSE, TM, ETM-2**	Land

ETM-1* : Enhanced Thematic Mapper with 15 meter panchromatic band

ETM-2** : Enhanced 15 meter panchromatic band with expansion to 60 m Thermal infrared (TIR) Bands (8-11.5 micrometer)

ตารางที่ 4.4.2 ลักษณะสมบัติของ LANDSAT (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

Parameters	LANDSAT-1, 2, 3	LANDSAT-4, 5
Nominal altitude	920 km	705 km
Inclination	99°	98°
Orbital period	103 min (14 orbits/day)	99 min (14.5 orbits/day)
Distance between contiguous orbits	2,760 km	2,752 km
Repetitive cycle	18 days	16 days
Equatorial crossing time (local)	8.50-9.30 a.m. nominal	9.45 a.m. nominal
on board sensors	MSS, RBV,DCS	MSS, TM
Ground coverage	185 km ²	185 km ²
Sidelap at equator	14%	7.6%
Time lapse of adjacent paths (westward)	1 day	7 day

รูป 4.4.1 ลักษณะของดาวเทียม LANDSAT 1-3 (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

รูป 4.4.2 Multispectral Scanning Arrangement (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

(ใช้เวลา 103 นาที/รอบ) และกลับมาที่เดิมบนตำแหน่งต่างๆ ของโลกเวลา 9.30 น. ของเวลาท้องถิ่นใน ทุกๆ 18 วัน ด้วยการคงที่และสม่ำเสมอในการกลับมายังจุดเดิมในเวลาเดิมทำให้เราได้ข้อมูลที่อยู่ในเวลา เดียวกันทุกครั้ง ซึ่งเป็นการง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างมาก

ผิวโลกซึ่งได้รับการสำรวจและบันทึกโดย LANDSAT ในแต่ละวันรวม 14 แนวนั้น อยู่ห่าง กัน 2,800 กิโลเมตรที่เส้นศูนย์สูตร แนวนั้นแต่ละแนวนั้นกล้องบันทึกสามารถมองเห็นหน้ากว้าง 185 กิโลเมตร (115 ไมล์) ในวันต่อไปดาวเทียมจะโคจรผ่านในทางทิศตะวันตกห่างออกไปจากจุดเดิม 170 กิโลเมตรที่เส้นศูนย์สูตร โดยมีความกว้างของแนว 185 กิโลเมตร ลักษณะเช่นนี้ทำให้ได้พื้นที่ซ้ำกัน (overlap) 14% ที่เส้นศูนย์สูตร ซึ่งทำให้ระยะทางอย่างน้อย 15 กิโลเมตรของแต่ละด้านของแนวโคจร ได้รับการสำรวจซ้ำกัน พื้นที่ที่ซ้ำกันนี้เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มของเส้นรุ้ง (latitude) โดยเพิ่มขึ้น 19% ที่เส้นรุ้ง 20 องศา และ 34% ที่เส้นรุ้ง 40 องศา ข้อได้เปรียบที่สำคัญของการซ้อนทับ(overlap) คือมี โอกาส 2 ครั้งใน 2 วัน ที่จะได้ข้อมูลในส่วนหนึ่งของพื้นที่ซ้ำกัน จากการส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงที่ 2 (LANDSAT-2) ขึ้นโคจรทำให้ได้ระยะเวลาโคจรรอบโลกลดลงเป็นครึ่งหนึ่งคือเพียง 9 วัน ในช่วงที่ ดาวเทียม LANDSAT-1 ยังทำงานอยู่

(2) เครื่องมือสำรวจและบันทึกข้อมูล LANDSAT-1, 2 และ 3 มี เครื่องมือ 2 ระบบคือ Multispectral Scanner (MSS) แสดงดังรูปที่ 3.9 และกล้องแบบ Return System, DCS) 2 เครื่อง และ เครื่องบันทึกแบบ Video 1 เครื่อง

สมบัติของระบบ MSS มี 4 ช่วงคลื่น ซึ่งใช้รับพลังงานที่สะท้อนกลับมาจากผิวโลกโดยวัตถุ ต่างๆ ภายในมุมที่เครื่องมือมองเห็น ดังนั้นความเข้มของพลังงานเหล่านี้จึงถูกบันทึกไว้พร้อมกัน ใน 4 ช่วงคลื่น เครื่องมือบันทึกข้อมูล LANDSAT มีความไวต่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่ตา มองเห็นและส่วนหนึ่งของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

สมบัติของแต่ละช่วงคลื่นนั้นแตกต่างกัน เพราะความไวและการตอบสนองต่อลักษณะต่างๆ ไม่ เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงคลื่นที่ใช้ การแบ่งช่วงคลื่นของระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 มี 4 ช่วงคลื่นดังนี้

- แบนด์ 4 (ความยาวคลื่น 0.5-0.6 ไมโครเมตร) อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น มีความสามารถในการผ่านทะลุน้ำมากกว่าแบนด์อื่น นำไปใช้ในการตรวจตะกอนหรือความขุ่นขึ้นในน้ำได้ดี ใช้ดูความแตกต่างของพืชพันธุ์สีเขียวกับสิ่งปกคลุมอย่างอื่น และใช้บอกลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้ดี

- แบนด์ 5 (ความยาวคลื่น 0.6-0.7 ไมโครเมตร) อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ใช้แยกสิ่งที มนุษย์ทำกับสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (topographic features) ใช้แยกประเภทของพืชพันธุ์สี เขียวเมื่ออยู่รวมกับสิ่งปกคลุมต่าง ๆ

- แบนด์ 6 (ความยาวคลื่น 0.7-0.8 ไมโครเมตร) อยู่ระหว่างช่วงต่อของคลื่นที่ตามองเห็น กับคลื่นอินฟราเรดใกล้ เหมาะอย่างยิ่งในการศึกษาความแตกต่างของการใช้ที่ดิน และใช้ตรวจปริมาณ วัสดุสีเขียวในพืชพันธุ์ (green biomass)

- แบนด์ 7 (ความยาวคลื่น 0.8-1.1 ไมโครเมตร) อยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ใช้แยกบริเวณพื้นดินและน้ำออกจากกัน และใช้แยกความแตกต่างระหว่างพืชพันธุ์กับดินได้ดี เหมาะมากในกิจการด้านธรณีวิทยา

กระเจกสะท้อนพลังงานที่ใช้ในเครื่อง MSS วางทำมุม 45 องศากับผิวโลกเอียงไปประมาณ 2.9 องศา ทำการสแกนหรือกวาดมุมบันทึกข้อมูลผิวของโลกจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกภายในแนวเส้น 185 กิโลเมตร การกวาดแต่ละครั้งของกระเจกหมุนสามารถรับพลังงานที่สะท้อนจากผิวพื้นของโลกเป็นแนวเส้นตรง 6 เส้น (1 เส้น สำหรับตัวรับสัญญาณหรือ detector) และส่งพลังงานเหล่านี้ไปยังชุดกระเจกที่อยู่กับที่คู่หนึ่งของ fiber optics ก่อน เพื่อที่จะส่งต่อไปยังตัวรับ detector สัญญาณจากแต่ละเส้นจะถูกส่งไปยังแต่ละตัวรับซึ่งมีตัวรับ 6 ตัว สำหรับแต่ละแบนด์ หรือมี 24 ตัวรับ ใน 4 แบนด์ (รูป 4.4.2) เมื่อกระเจกกลับมากวาดครั้งต่อไปก็จะพบว่าดาวเทียมได้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าแล้ว 474 เมตร

ในแต่ละเส้นของพลังงานที่กระเจกหมุนรับมาถูกแบ่งเป็น 32,000 สัญญาณ แต่ละสัญญาณถูกรับด้วย fiber optic แล้วส่งต่อไปยังตัวรับในแต่ละแบนด์ เมื่อตัวรับแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน เพื่อทำเป็นภาพถ่าย โดยหนึ่งหน่วยของภาพ (picture element) หรือเรียกย่อๆ ว่า “pixel” มีพื้นที่เทียบเท่ากับ 80 X 80 ตารางเมตรบนผิวโลก ในแต่ละ 80 X 80 ตารางเมตรของพื้นที่บนผิวโลกนี้ประกอบด้วยสิ่งต่างๆที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นสิ่งที่แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างสัญญาณหนึ่งกับอีกสัญญาณหนึ่งคือ ระดับความเข้มของพลังงานนั่นเอง

สำหรับระบบ Return Beam Vidicon (RBV) เป็นระบบที่ใช้กล้องถ่ายภาพของดาวเทียม LANDSAT-1 และ 2 ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพขนาด medium resolution 3 กล้อง ซึ่งถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ 185 X 185 ตารางกิโลเมตรพร้อมกัน (รูป 4.4.3) กล้องแต่ละกล้องมีฟิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นต่างกัน โดยกล้องที่หนึ่งเก็บข้อมูลในช่วงคลื่น 0.475-0.575 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของคลื่นแสงสีน้ำเงิน-เขียว ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความลึกของทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ บึง และปากแม่น้ำ ส่วนกล้องที่สองเก็บข้อมูลในช่วงคลื่น 0.580-0.680 ไมโครเมตร (ช่วงแสงสีเขียว-เหลือง) ซึ่งลดความสอดแทรกจากบรรยากาศ (atmospheric interference) และให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายตัวของสิ่งเฉพาะปลูกทั่วไป ส่วนกล้องที่สามให้ข้อมูลเฉพาะในช่วงคลื่นสีแดง-อินฟราเรด (ความยาวคลื่น 0.690-0.830 ไมโครเมตร) ซึ่งให้ข้อมูลความแตกต่างระหว่างบริเวณที่เป็นน้ำกับบริเวณที่ไม่ใช่น้ำอย่างชัดเจน รวมทั้งการกระจายตัวและลักษณะการเจริญเติบโตของพืชได้ดี สำหรับระบบ RBV ของ LANDSAT-3 ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพ 2 กล้องติดกัน ทำให้ภาพที่ได้แต่ละภาพมีขนาด 1/4 ของภาพเดิม และปรากฏเป็น 2 ภาพติดกัน โดยถ่ายในช่วงคลื่น 0.505-0.750 ไมโครเมตร เพียงช่วงคลื่นเดียว กล้องๆหนึ่งถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ 98 X 98 ตารางกิโลเมตร เมื่อกล้องทั้งสองถ่ายภาพพร้อมกันโดยมีการถ่ายภาพซ้อนเหลื่อมกันด้านข้าง (side lap) 13 กิโลเมตร ทำให้ภาพคู่หนึ่งๆ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 183 X 98 ตารางกิโลเมตร และถ่ายภาพอีกคู่หนึ่งมี over lap 16 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นภาพ RBV 4 ภาพ จึงเกือบ

เท่ากับ MSS 1 ภาพ และครอบคลุมพื้นที่ 183 X 180 ตารางกิโลเมตร ภาพ RBV สามารถบันทึก รายละเอียดประมาณ 40 เมตร การเพิ่ม Spatial Resolution ในระบบ RBV ของ LANDSAT-3 นี้ ช่วยให้ การวิเคราะห์เกี่ยวกับระบบทางน้ำ(drainage) และภูมิลักษณะ(landform) เป็นไปได้ง่ายขึ้น และเมื่อนำมา วิเคราะห์พร้อมกับข้อมูลที่ได้จากระบบ MSS จึงช่วยในการวิเคราะห์พืชพันธุ์และสิ่งปกคลุมดินได้ดี ยิ่งขึ้น

(3) ระบบการเก็บข้อมูล(Data Collection System) หน้าที่ของดาวเทียม LANDSAT อีกประการหนึ่งคือ เป็นดาวเทียมสื่อสารในการส่งข่าวสารที่เกี่ยวกับน้ำ อุณหภูมิพื้นดิน ไหล และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวกับสถานะแวดล้อมจากสถานีที่ห่างไกลและไม่มีคนเฝ้าบนพื้นดินไปยัง สถานีกลางแห่งใดแห่งหนึ่ง สถานีภาคพื้นดินดังกล่าวจะมีหน้าที่ให้ข้อมูลอย่างต่อเนื่องของเหตุการณ์ต่าง ๆ เช่น ระดับน้ำ การไหลของแม่น้ำลำธาร กระแสน้ำ น้ำขึ้น-ลง ปริมาณและความถี่ของฝน ความลึก ของหิมะ อุณหภูมิและลักษณะของภูเขาไฟ เป็นต้น เมื่อดาวเทียมรับข้อมูลแล้วจึงส่งต่อไปยังสถานีรับ สัญญาณที่ต้องการ

การรับและส่งข้อมูลจากดาวเทียม(Telemetry of Satellite Data) สามารถทำได้ เนื่องจากบนดาวเทียมมีเทปบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า “Wideband Video Tape Recorder (หรือ WVTR)” 2 เครื่อง ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่เก็บได้ในบริเวณที่อยู่นอกเขตสถานีรับภาพ พื้นดิน โดยข้อมูลเหล่านี้ถูกส่งมายังสถานีรับภาคพื้นดินเมื่อดาวเทียมโคจรมายู่ในรัศมีของสถานีรับนั้น

ข. ดาวเทียม LANDSAT-4 และ-5(รูป 4.4.4) ได้รับการออกแบบให้มีระบบซับซ้อนกว่าดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 ตัวยานดาวเทียมเป็นแบบ MMS (Multimission Modular Spacecraft) ซึ่ง ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในด้าน การให้พลังงาน การควบคุมความสูงและวิถีโคจรของดาวเทียม (Altitude and Attitude control) การจัดการข้อมูล (Data handling) การสื่อสาร (Communications) และ ระบบขับเคลื่อน (Propulsion module) ตัวยานแบบ MMS นี้ ออกแบบมาให้สามารถซ่อมแซมได้ด้วย กระสวยอวกาศ (Space Shuttle) ส่วนเครื่องมือเฉพาะกิจที่ติดกับยานประกอบด้วยเครื่อง Multispectral Scanner (MSS), Thematic Mapper (TM), ระบบการถ่ายทอดข้อมูลเครื่องมือสื่อสารและจานรับส่ง สัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง และแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์(Solar array) ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า ได้ถึง 2 กิโลวัตต์

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ถูกปรับปรุงให้มีความสามารถในการควบคุมวิถีโคจรของ ดาวเทียมเพิ่มขึ้น โดยกำหนดความถูกต้องได้ภายใน 0.01 องศา (1 sigma) และเสถียรภาพภายใน 10^{-6} องศาต่อวินาที นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดความคลาดเคลื่อนของมุม (angular displacement sensor) ซึ่งติด อยู่บนเครื่อง TM สำหรับให้ข่าวสารที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นเพื่อนำมาแก้ไข ผลของการสั่นกระตุกที่มีต่อ ข้อมูลภาพ

ความก้าวหน้าสำคัญอีกประการหนึ่งในระบบดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 คือ การ ใช้การสื่อสารระบบ Tracking and Data Relay Satellite (TDRS) ซึ่งเป็นระบบที่

ถ่ายทอดข้อมูลจากดาวเทียมไปสู่โลกในเวลาใกล้เคียงกับเวลาถ่ายภาพ (real time) ทำให้ช่วยจัดการใช้เครื่องบินตกเหวที่มีข้อจำกัดด้านอายุการใช้งานได้มาก

รูป 4.4.3 ระบบ RBV ของดาวเทียม LANDSAT-1 และ 2 (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

รูป 4.4.4 ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

งานรับส่งสัญญาณ TDRS ที่ติดบนดาวเทียม LANDSAT-4 และ-5 จะส่งสัญญาณ คำสั่ง (Command signals) สัญญาณเทเลเมตรี (Telemetry signals) และถ่ายทอดข้อมูล TM และ MSS ผ่านงานรับส่งสัญญาณ TDRS ที่มีวงโคจรคงที่ดวงใดดวงหนึ่งในจำนวน 2 ดวง ไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินที่ White Sands ในรัฐนิวเม็กซิโก ระบบ TDRS นี้ใช้ ความถี่ช่วง KU-band (12.5-18.0 GHz) ในการสื่อสารกับภาคพื้นดิน ซึ่งช่วยในการส่ง ข้อมูล TM และ MSS ได้ในเวลาเดียวกัน ข้อมูลจากสถานี White Sands ถูกส่งผ่าน ดาวเทียมสื่อสารภายในสหรัฐฯ ที่เรียกว่า “DOMSAT (Domestic Communication Satellite)” ไปยัง Goddard Space Flight Center (GSFC) ใน Greenbelt รัฐ เมริแลนด์ เพื่อทำการผลิตข้อมูล ข้อมูล MSS ที่แก้ไขทาง Radiometric จึงถูกส่งไปในรูปของ Digital ให้ศูนย์ข้อมูล EROS ที่เมือง Sioux Falls รัฐเซาธ์ดาโกต้า เก็บไว้ในเทป คอมพิวเตอร์ที่มีความหนาแน่นสูง (HDDT) เพื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มต้นฉบับเนกาตีฟ 24.1 มม. (9 นิ้ว) ส่วนข้อมูล TM มักไม่มีการส่งสัญญาณต่อ แต่ผลิตเป็นฟิล์มต้นฉบับและเทป CCT(Computer Compatible Tape) ที่ GSFC แล้วจึงส่งไปที่ EROS โดยทาง เครื่องบิน

นอกจากนี้ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ยังสามารถถ่ายทอดข้อมูลให้สถานีรับสัญญาณ ภาคพื้นดินทั่วโลกที่อยู่ในรัศมีได้โดยตรง โดยใช้ความถี่ช่วง X-band (8.0-12.5 GHz) เพื่อส่งข้อมูลทั้ง TM และ MSS สำหรับสถานี ที่ไม่สามารถรับสัญญาณในความถี่ช่วง X-band ได้ จึงรับข้อมูลเฉพาะ MSS โดยใช้ความถี่ช่วง S-band (2.0-4.0 GHz) สำหรับไทยเราสัญญาณเหล่านี้ได้ อนึ่งรายละเอียดของ ดาวเทียม LANDSAT-4 และ-5 มีดังนี้

(1) วงโคจรและรัศมีครอบคลุม ดาวเทียม LANDSAT-4 และ-5 โคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์(Sun synchronous)เป็นวงกลมผ่านขั้วโลกเช่นเดียวกับ LANDSAT-1, 2 และ 3 แต่ต่างกันที่ความ สูงของวงโคจรและเวลา ดาวเทียม LANDSAT-1, -2 และ -3 โคจรสูงจากพื้นผิวโลกในระยะห่าง 920 กิโลเมตร (570 ไมล์) โดยใช้เวลาโคจรรอบโลก 103 รอบ/นาทีก หรือ 14 รอบ/วัน และบันทึกข้อมูล ครอบคลุมทั่วโลกภายใน 18 วัน สำหรับดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีวงโคจรสูงจากพื้นผิวโลก (บริเวณใกล้ขั้วโลก) เป็นระยะ 705 กิโลเมตร (431 ไมล์) และสูงกว่านั้นในบริเวณเส้นศูนย์สูตร ใช้เวลา โคจรรอบโลกประมาณ 99 นาที/รอบ หรือ 14.5 รอบ/วัน และบันทึกข้อมูลครอบคลุมทั่วโลกภายใน 16 วัน

การที่ดาวเทียมLANDSAT-4 และ-5 มีวงโคจรต่ำลง เนื่องจากใช้ระบบบันทึกภาพแบบ TM ซึ่งมี รายละเอียดของภาพ 30 เมตร ทำให้มีผลต่อรัศมีครอบคลุมของการบันทึกข้อมูลบนพื้น โลกที่ เปลี่ยนแปลงไปตามดาวเทียมLANDSATดวงก่อน ๆ สำหรับดาวเทียม LANDSAT-4 และ-5 ที่มีระยะ ระหว่างวงโคจรที่ 1 กับ 2 ของวันเดียวกันห่างกัน 2,752 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตรและพื้นที่ในระยะห่าง นี้จะถูกบันทึกข้อมูลทั้งหมดภายใน 16 วัน และการบันทึกข้อมูลในแนวแรกกับแนวที่สองนั้นใช้เวลาห่าง

กัน 7 วัน ซึ่งต่างกับ LANDSAT-1, 2 และ 3 ที่มีวิธีการโคจรบันทึกข้อมูลในแนวถัดไปต่างกันเพียงวันเดียวเท่านั้น

ภาพแต่ละเฟรมมีการซ้อนเหลื่อมกันด้านข้าง (side lap) ที่เส้นศูนย์สูตรประมาณ 7.6% และเพิ่มขึ้นเมื่อโคจรเข้าสู่ขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน เพราะความกว้างของแนวที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูล (185 กิโลเมตร) คงที่ตลอดในแนวเหนือ-ใต้

ด้วยเหตุที่ระยะเวลาของการโคจรครบรอบเท่ากับ 16 วัน และมีรัศมีครอบคลุมการถ่ายภาพทั่วโลกจำนวน 223 แนว (เริ่มจากแนวที่ 001 ตรงบริเวณเส้นศูนย์สูตรที่เส้นแวงที่ 64.95 องศาตะวันตก และเรื่อยไปถึงแนวที่ 223) จึงไม่สามารถแบ่งแนวการโคจรให้เป็นไปตามแนวเดิมของระบบสากล (Worldwide Reference System, WRS) ของ LANDSAT ดังก่อน ๆ ซึ่งมี 251 แนวได้ ดังนั้นระบบสากล WRS ของ LANDSAT -4 และ -5 จึงมีเพียง 223 แนว ส่วนหมายเลขของแถว (Row) ยังคงใช้ตามระบบเดิม โดยแถวที่ 60 (นับจากบนลงมา) จะซ้อนกับเส้นศูนย์สูตรพอดี จำนวนของแถวมีทั้งสิ้น 248 แถว

(2) ระบบการบันทึกภาพ (Sensors) เครื่องบันทึกภาพของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มี 2 ระบบคือ Multispectral Scanner (MSS) และ Thematic Mapper (TM) ซึ่งทั้งสองระบบใช้การแกว่งของกระจกรับแสงสะท้อนจากทรัพยากร (วัตถุหรือพื้นที่) ในแนวระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม

ความแตกต่างพื้นฐานระหว่างระบบ MSS กับ TM มีอย่างน้อย 2 ประการคือ 1) ระบบ TM มีการกวาดรับข้อมูลใน 2 ทิศทาง เพื่อจะช่วยลดอัตราการกวาด (scan rate) และมีเวลาพอที่จะให้ความถูกต้องด้านข้อมูลเชิงกลืน (radiometric) ดีขึ้น และ 2) แผงตัวรับ TM ที่ติดอยู่บนระนาบโฟกัสปฐมภูมิ (Primary focal plane) ซึ่งยอมให้แสงที่เข้ามากระทบตัวรับโดยไม่ต้องผ่าน fiber optics อันจะช่วยลดการสูญหายของความเข้มของรังสีที่เข้ามา อย่างไรก็ตามระบบ TM ก็ยังต้องมีแผงตัวรับ (detector) เรียงเป็นแนวขนานเท่าๆกันหลายๆแถวติดที่ระนาบโฟกัส เพื่อแยกช่วงคลื่นรังสีต่างๆออกจากกัน ทำให้ไม่สามารถบันทึกจุดเดียวกันบนพื้นดินในช่วงคลื่นทั้ง 7 แบนด์ได้พร้อมกันทันที ดังนั้นเพื่อให้ภาพ TM ของแต่ละแบนด์ซ้อนทับกันได้สนิทจึงขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของเวลาการบันทึกแต่ละแบนด์และความสม่ำเสมอของการเคลื่อนที่ของกระจกกวาดภาพ

(3) ระบบ Multispectral Scanner (MSS) ดาวเทียม LANDSAT-4 และ -5 มีระบบ MSS เหมือนดาวเทียมก่อน ๆ โดยใช้กระจกแกว่งรับแสงสะท้อนจากทรัพยากรบนพื้นโลก ซึ่งมักกวาดเป็นเส้นติดต่อในระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ดาวเทียม กระจกขยับครั้งหนึ่งทำให้เกิดการกวาดภาพ 6 เส้น พร้อมกันทุกช่วงคลื่นโดยแบ่งออกเป็น 4 ช่วงคลื่นคือ

- แบนด์ 4 ในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน-เขียว (ความยาวคลื่น 0.5-0.6 ไมโครเมตร) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความตื้นลึกของน้ำ และการกระจายของตะกอนในน้ำ

- แบนด์ 5 ในช่วงคลื่นแสงสีแดง (ความยาวคลื่น 0.6-0.7 ไมโครเมตร) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศ ทางน้ำ ถนน แหล่งชุมชน การใช้ที่ดิน ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างของพืชพรรณ ป่าไม้ และพื้นที่เพาะปลูก

- แบนด์ 6 ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่น 0.7-0.8 ไมโครเมตร) แสดงความแตกต่างของพื้นดินกับพื้นน้ำเช่น แม่น้ำ ลำคลอง พื้นที่น้ำท่วม ตลอดจนธรณีสัณฐาน และโครงสร้างทางธรณีวิทยา

- ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่น 0.8-1.1 ไมโครเมตร) ให้รายละเอียดคล้ายคลึงกับแบนด์ 6

ภาพ MSS ภาพหนึ่งครอบคลุมพื้นที่ 185 X 185 ตารางกิโลเมตร และมีรายละเอียดของภาพประมาณ 80 เมตร

(4) ระบบ Thematic Mapper (TM) แบ่งเป็น 7 ช่วงคลื่นคือ

- แบนด์ 1 ในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน (ความยาวคลื่น 0.45-0.52 ไมโครเมตร) ออกแบบเพื่อให้สามารถทะลุทะลวงน้ำได้ จึงเป็นประโยชน์ในการทำแผนที่บริเวณชายฝั่ง และแสดงความแตกต่างระหว่างดินกับพืชพรรณ และป่าผลัดใบกับป่าสนซึ่งไม่ผลัดใบได้ดี

- แบนด์ 2 ในช่วงคลื่นแสงสีเขียว (ความยาวคลื่น 0.52-0.60 ไมโครเมตร) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับค่าการสะท้อนแสงสีเขียว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของพืช จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์วิจัยทางด้านการเกษตร

- แบนด์ 3 ในช่วงคลื่นแสงสีแดง (ความยาวคลื่น 0.63-0.69 ไมโครเมตร) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ของพืช ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการแยกชนิดของพืชพรรณ

- แบนด์ 4 ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่น 0.76-0.90 ไมโครเมตร) มีประโยชน์ในการกำหนดปริมาณมวลชีวะ (biomass) และการจำแนกแหล่งน้ำ

- แบนด์ 5 ในช่วงคลื่นอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 1.55-1.75 ไมโครเมตร) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณความชื้นของดิน และใช้ในการแยกความแตกต่างระหว่างหิมะกับเมฆ

- แบนด์ 6 ในช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 10.40-12.50 ไมโครเมตร) เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ความเครียดของพืชพรรณ (เช่น ขาดน้ำ, แมลงทำลาย) การจำแนกความชื้นในดิน และการหาแหล่งความร้อน

- แบนด์ 7 ในช่วงความยาวคลื่น 2.08-2.35 ไมโครเมตร มีศักยภาพในการจำแนกชนิดของหิน และการทำแผนที่แสดงแหล่งน้ำยาร้อน (hydrothermal) จึงเหมาะมากในทางธรณีวิทยา

แม้ว่าแบนด์วิธขนาดความเท่าของช่วงคลื่นหรือ (bandwidth) ในระบบ TM จะแคบกว่า และขนาดของ pixel จะเล็กกว่าของระบบ MSS แต่ระบบ TM ได้ถูกปรับปรุงให้มีความไวเชิงคลื่นมากขึ้นทั้ง 7 แบนด์ ซึ่งมีผลให้ค่าตัวเลขของระดับข้อมูลเพิ่มขึ้นจาก 64 เป็น 256 อีกทั้งมีการปรับปรุงรายละเอียดของระวาง (spatial resolution) ในทุกช่วงคลื่น (ยกเว้นแบนด์ 6) และขนาดของ pixel หรือรายละเอียดของภาพก็ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นคือเหลือ 30 เมตร ทำให้สามารถแยกรายละเอียดบนภาพพื้นดินขนาดเล็ก

ประมาณ 900 ตารางเมตร (หรือประมาณ 0.56 ไร่)ได้ ส่วนแบนด์ 6 มีขนาดของ pixel 120 เมตรบนภาคพื้นดิน

ระบบ TM สามารถเก็บข้อมูลเชิงคลื่น(radiometric) ของทั้ง 7 แบนด์ โดยใช้ชุดตัววัด (detector) ของแผงระนาบโฟกัสปฐมภูมิและแผงระนาบโฟกัสที่มีการระบายความร้อน ขณะที่กระจกขับและกวาดมุมตามแนวถ่ายภาพของ TM ทั้งการกวาดไปและกลับ 7 ครั้งต่อวินาทีในทิศทางปกติกับแนวโคจรนั้น ยิ่งกว่านั้นกระจกยังสร้างเส้นขนาน 16 เส้นในแบนด์ 1-5 และ 7 และ 4 เส้นในแบนด์ 6 โดยบันทึกข้อมูลไว้ในระหว่างการกวาดไป(ตะวันตกไปตะวันออก) และการกวาดย้อนกลับ (ตะวันออกไปตะวันตก) สำหรับกล้องโทรทรรศน์แบบ Ritchey Chretien สร้างภาพที่กวาดได้บนระนาบโฟกัสปฐมภูมิในขณะที่ตัวแก้เส้นการกวาดทำงานอยู่ เพื่อให้เกิดแนวการกวาดไปข้างหน้าและย้อนกลับเป็นแนวต่อจากกัน ระนาบโฟกัสปฐมภูมิของแบนด์ 1-4 มีแผง detector 16 ตัวเพื่อแปลงพลังงานของภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าระดับต่ำ แล้วขยายสัญญาณและเปลี่ยนเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลขนาด 8 บิต (bits) ซึ่งจะนำมาแบ่งออกเป็นสายข้อมูลที่มีอัตรา 84.9 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) สำหรับส่งสัญญาณไปยังภาคพื้นดิน

จากแผนที่แสดงขอบเขตรับสัญญาณจากดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด ซึ่งสถานีรับสัญญาณฯ ของประเทศไทยรับสัญญาณได้ (รูป 4.4.5) พบว่าภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละภาพคลุมพื้นที่ 185 X 185 ตารางกิโลเมตร โดยตำแหน่งของภาพระบุด้วยตัวเลขระบบอ้างอิงโลก (WRS หรือ World Reference System) ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 1 คู่ เช่น 130-50 หมายถึงภาพที่มีศูนย์กลางอยู่ตรงเขตชายแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศพม่าบริเวณจังหวัดกาญจนบุรี โดยเลข 130 หมายถึงแนว(path)ที่ 130 นับจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก ส่วนเลข 50 หมายถึงแถว (row) ที่ 50 โดยนับจากทิศเหนือลงมาถึงใต้

ค. ดาวเทียม SPOT (Le System Probatoire D'Observation De La Terre) (รูป 4.4.6) มีขีดความสามารถให้รายละเอียดภาคพื้นดิน 20 เมตร (ในระบบกล้องหลายช่วงคลื่น) และ 10 เมตร (ในระบบกล้องขาวดำ) มีอุปกรณ์ถ่ายภาพด้านข้างทำให้ถ่ายภาพบริเวณเดิมได้ซ้ำกันหลาย ๆ วัน เพื่อนำมาศึกษาในลักษณะภาพสามมิติ (Stereo image) ได้

(1) วงโคจร ดาวเทียม SPOT-1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2529 มีน้ำหนักแรกเริ่มสู่วงโคจรประมาณ 1,750 กิโลกรัม มีขนาด 2X2X3.5 เมตร และมีแผงรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ (solar panel) ยาว 15.60 เมตร โคจรในลักษณะสัมพันธ์กับ ดวงอาทิตย์(Sun synchronous) ทำมุมเอียง 98.70 องศา ในระดับความสูง 830 กิโลเมตร โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลาประมาณ 10.30 น. และโคจรกลับมาบริเวณเดิมทุก 26 วัน โดยมีวงโคจรรอบโลก 369 รอบ

(2) อุปกรณ์ ดาวเทียม SPOT-1 ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ตัวดาวเทียม (platform) ระบบกล้องและระบบการส่งสัญญาณระยะไกล ระบบกล้องประกอบด้วยกล้อง HRV (High Resolution Visible) 2 ตัวคือ ระบบหลายช่วงคลื่น (MSS) ที่ประกอบด้วย 3 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงคลื่นอินฟราเรดใกล้ โดยมีรายละเอียดของภาพบนพื้นดิน 20 เมตร และระบบช่วงคลื่นเดียว

(panchromatic) มีรายละเอียดของภาพ 10 เมตร รายละเอียดเกี่ยวกับ ดาวเทียม SPORT-1 แสดงใน ตารางที่ 4.4.3

รูป 4.4.5 แผนที่แสดงขอบเขตรับสัญญาณจากดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด
(กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม, 2538)

รูป 4.4.6 ดาวเทียม SPOT (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

ตารางที่ 4.4.3 รายละเอียดของดาวเทียม SPOT-1 (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

ลักษณะสมบัติของเครื่อง HRV	ช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมชนิดให้ ภาพสี (Multispectral mode)	ช่วงความยาวคลื่นชนิดให้ภาพขาว- ดำ (Panchromatic mode)
Spectral bands	0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89 m	0.51-0.73 m
Instrument field of view	4.13 ^o	4.13 ^o
Ground sampling interval(nadir viewing)	20 m x 20 m	10 m x 10 m
Number of pixels perline	3,000	6,000
Ground swath width (nadir viewing)	60 km	60 km
Pixel coding format	3 x 8 bits	6 bits DPCM*
Image data bit rate	25 megabits/sec	25 megabits/sec

DPCM (Digital Pulse Code Modulation) : mode of data compression that does not degrade the radiometric accuracy of the image data (256 grey levels)*

(3) ระบบการถ่ายภาพ เนื่องจากดาวเทียม SPOT-1 ใช้กระจกที่สามารถบังคับได้ (Steerable mirror) จึงสามารถถ่ายภาพในระบบที่แตกต่างกันได้ 2 ระบบคือ

- ระบบการถ่ายภาพในแนวดิ่ง (Nadir viewing) อุปกรณ์ HRV ทั้งสองชุดสามารถถ่ายภาพครอบคลุมแนวถ่ายภาพที่อยู่ชิดกันได้ ทำให้แนวถ่ายภาพทั้งหมดมีความกว้าง 117 กิโลเมตร มีพื้นที่ซ้อนกันด้านข้าง 3 กิโลเมตร (รูป 4.4.7) ส่วนแนวถ่ายภาพที่อยู่ชิดกันบริเวณศูนย์สูตรกว้างประมาณ 108 กิโลเมตร ดังนั้นการถ่ายภาพครอบคลุมทั่วโลกสามารถทำได้ด้วยการปรับกล้องในลักษณะนี้

- ระบบการถ่ายภาพแนวเฉียง (Off-nadir viewing) ใช้วิธีการปรับกระจกปฏิบัติการให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยการควบคุมจากภาคพื้นดินสามารถตรวจสอบพื้นที่ตามที่ต้องการซึ่งอยู่ในแนวกว้าง 950 กิโลเมตร คร่อมกลางแนวโคจรของดาวเทียมได้ โดยพื้นที่ที่จะสำรวจนั้นไม่จำเป็นต้องอยู่ตรงกลางแนวโคจร ความกว้างของแนวถ่ายภาพทั้งสองแนวมองจะแตกต่างกัน โดยการถ่ายภาพในแนวดิ่งมีความกว้าง 60 กิโลเมตร และแนวเฉียงกว้าง 80 กิโลเมตร (รูป 4.4.8)

คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในดาวเทียมเป็นตัวควบคุมระบบโปรแกรมในการบันทึกข้อมูลทั้งหมด การบันทึกข้อมูลทั้งสองวิธีเป็นไปอย่างต่อเนื่องกัน รวมทั้งเปลี่ยนแปลงทิศทางการถ่ายภาพของอุปกรณ์การโคจรกลับมาบริเวณเดิมทุกๆ 26 วัน เป็นช่วงระยะเวลาไม่เพียงพอสำหรับการสังเกตและติดตามปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่บนพื้นผิวโลก แต่ด้วยคุณสมบัติพิเศษของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลนี้ สามารถถ่ายภาพเฉียงในบริเวณศูนย์สูตรได้ 7 แนวโคจร และ 11 แนวโคจร (ในเขตละติจูด 45 องศา) (รูป 4.4.9) ฉะนั้นการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่สนใจสามารถดำเนินการได้จากข้อมูลบริเวณนั้นทุก ๆ 5 วัน

ความสามารถสำคัญอีกประการหนึ่งของอุปกรณ์ HRV คือการถ่ายภาพแนวเฉียงที่เกิดจากมุมถ่ายภาพของการโคจร 2 แนว ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นภาพซ้อนซึ่งนำมาศึกษาในลักษณะภาพ 3 มิติได้ (รูป 4.4.10) โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของวงโคจรทั้งสองกับความสูงจากพื้นโลกของดาวเทียมที่บริเวณศูนย์สูตรมีค่า 0.75 และที่เขตละติจูด 45 องศา มีค่า 0.50

ง. ดาวเทียม MOS-1 เป็นดาวเทียมสำรวจพื้นพิภพและสมุทรศาสตร์ ถูกส่งขึ้นไปโคจรเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2530 โดยโคจรสูงจากพื้นโลก 909 กิโลเมตร ในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ทำมุมเอียง 99 องศา ใช้สำรวจข้อมูลและถ่ายภาพระหว่างเวลาท้องถิ่น 10.00-11.00 น. ทุกวัน และโคจรกลับมาสำรวจบริเวณเดิมทุก 17 วัน โดยใช้เวลาในการโคจร 14 รอบ/วัน หรือ 103 นาที/รอบ

(1) ระบบอุปกรณ์สำรวจ มีข้อมูล 4 ระบบ ดังแสดงในตาราง 4.4.4

- MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) บันทึกภาพใน 4 ช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น 2 ช่วงคลื่น และช่วงคลื่นอินฟราเรด 2 ช่วงคลื่น มีความยาวคลื่นเช่นเดียวกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT ระบบถ่ายภาพของ MESSR ประกอบด้วยกล้อง 2 ชุด แต่ละชุดมีกล้องถ่ายภาพ 2 ตัว โดยถ่ายภาพ 2 ช่วงคลื่น/กล้อง ระบบถ่ายภาพเป็นแบบ Push Broom Scanning มีตัวรับ 2,048 ตัว สำหรับถ่ายภาพในระยะทางกว้าง 100 กิโลเมตร มีรายละเอียดของภาพเท่ากับ 50 เมตร

รูป 4.4.7 ระบบการถ่ายภาพแนวตั้งของดาวเทียม SPOT (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

รูป 4.4.8 ระบบการถ่ายภาพของดาวเทียม SPOT แนวตรงและแนวเฉียง (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

รูป 4.4.9 ความสามารถในการบันทึกภาพได้ 7 แนวที่เส้นศูนย์สูตร และ 11 แนวโคจรที่ละติจูด 45 องศา ของอุปกรณ์
บันทึกข้อมูลของดาวเทียม SPORT-1 (สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

รูป 4.4.10 ระบบการถ่ายภาพแนวเฉียงทำให้ได้ภาพที่สามารถศึกษาเป็นระบบสามมิติได้ (สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์ และ
คณะ, 2532)

ตารางที่ 4.4.4 Characteristics of MOS-1 Observational Equipments (สุรัชชัย รัตน์เสริมพงศ์ และคณะ, 2532)

Item Observation equipment	MESSR	VTIR	MSR
Objective	sea surface color, land use, etc.	sea surface temperature, etc.	water vapor content, liquid water content, ice and snow distribution, etc.
Observation wavelength (μm)	0.51-0.59 0.61-0.69 0.72-0.80 0.80-1.10	0.50-0.70 6.00-7.00 10.50-11.50 11.50-12.50	-
Observation frequency (GHz)	-	-	23.8 $\pm$ 0.2 31.4 $\pm$ 0.25
Swath width(km)	100(each optic)	1,500	317
Scanning method	Electronic scanning	Mechanical scanning	Mechanical scanning

- VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer) บันทึกภาพใน 4 ช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น 1 ช่วงคลื่น และช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรด 3 ช่วงคลื่น ระบบถ่ายภาพเป็นแบบกระจกกวาด(mirror scan) โดยใช้กระจกแบบหมุนรอบ(rotating mirror) ซึ่งใช้กวาดภาพในขนาด 1,500 X 1,500 ตารางกิโลเมตร โดยที่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นมีรายละเอียดของภาพ 900 เมตร ส่วนในช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดมีรายละเอียดของภาพ 2,700 เมตร ระบบนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่าง ๆ ในทะเล การปกคลุมของเมฆและไอน้ำได้ดี

- MSR (Microwave Scanning Radiometer) ถ่ายภาพด้วยระบบ Passive Microwave Radiometer ทำการบันทึกข้อมูลในช่วงความถี่ 23 และ 31 GHz ในช่วงเวลา 10 และ 47 megasec (รวมมีข้อมูล 4 แบนด์) โดยจะกวาดภาพในลักษณะกวาดแบบกรวย(conical scan) ความกว้างช่วงถ่ายภาพ 317 กิโลเมตร และจะบันทึกภาพตลอดแนวความยาวของ track ซึ่งมีความยาวสูงสุด 5,000 กิโลเมตร โดยที่ในช่วงความถี่ 23 GHz มีรายละเอียดของภาพ 30 กิโลเมตร และในช่วงความถี่ 31 GHz มีรายละเอียดของภาพ 10 กิโลเมตร ระบบนี้ให้ประโยชน์ในการสำรวจปริมาณไอน้ำและน้ำในบรรยากาศ ลมทะเล การแผ่ปกคลุมของหิมะและของน้ำแข็งในทะเล

- DCS (Data Collection System) เป็นระบบสำหรับเก็บข้อมูลทางด้านสมุทรศาสตร์ และสามารถวัดตำแหน่งของ DCP (Data Collection Platform) ได้เช่น ตำแหน่งของเรือหรือทุ่น

(2) สถานีรับสัญญาณดาวเทียม MOS-1 มี 9 แห่งทั่วโลกคือ ประเทศญี่ปุ่น ที่ Hatoyama, Showa Base และ Kumamoto; ของ ESA (European Space Agency) ที่ Tromso, Fucino, Maspalomas, Kiruna; ประเทศออสเตรเลีย ที่ Alice Springs และในประเทศไทยที่กรุงเทพฯ สำหรับสถานีรับสัญญาณดาวเทียม MOS-1 ในประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณสถานีรับสัญญาณดาวเทียม LANDSAT สามารถรับ

ข้อมูลได้ 3 ระบบคือ MESSR, VTIR และ MSR ระบบรับและบันทึกข้อมูลที่ติดตั้งในสถานีฯ ประเทศไทยประกอบด้วย

- จานอากาศ (Antenna) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เมตร รับสัญญาณสำหรับข้อมูล MESSR และ VTIR ในช่วง X-band (ความถี่คลื่น 8 GHz) และรับสัญญาณสำหรับข้อมูล MSR ในช่วง S-band (ความถี่คลื่น 2.2 GHz)

- ระบบบันทึกข้อมูล ทำการบันทึกข้อมูล MESSR, VTIR, MSR, TLM (Telemetry Data) และ Time Signal ลงใน HDDT ขนาด 28 Tract อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูล MESSR และ VTIR เท่ากับ 8.78 Mbps (High Data Rate) ส่วนข้อมูล MSR และ TLM บันทึกด้วยอัตรา 2,000 bps และ 1024 bps (Low Data Rate)

- อุปกรณ์แสดงผลภาพอย่างรวดเร็ว (Quick Look Display Equipment) ประกอบด้วย

1. เครื่องแสดงผลภาพ (Image Display) สำหรับแสดงผลภาพขณะที่ได้รับสัญญาณ ซึ่งเป็นภาพจากระบบใดระบบหนึ่งคือ MESSR, VTIR หรือ MSR โดยข้อมูล MESSR สามารถแสดงเป็นภาพสีผสมจาก 3 แบนด์ ส่วน VTIR และ MSR จะเป็นภาพสีเท็จ (Pseudo colour) ของแบนด์ใดแบนด์หนึ่ง และ

2. อุปกรณ์ถ่ายภาพ สามารถถ่ายภาพข้อมูลจากระบบใดระบบหนึ่งคือ MESSR, VTIR หรือ MSR ซึ่งภาพที่ถ่ายนี้อาจเป็นคอนทราสต์ที่แสดงบนจอภาพก็ได้

- (3) การผลิตข้อมูล ข้อมูลที่บันทึกลงใน HDDT จะนำมาผลิตเป็นข้อมูลใน 2 รูปแบบคือ ฟิล์ม (ขนาด 240 มม สำหรับ MESSR และ VTIR, ขนาด 70 มม สำหรับ MSR) และเทปข้อมูล CCT สำหรับเทปข้อมูล CCT โดยทั่วไปให้บริการแก่ผู้ใช้แบ่งเป็น 6 ระดับคือ

- LEVEL 0 หมายถึง ข้อมูลดิบที่ยังมิได้ทำการปรับแต่งแก้ไขความ ถูกต้องแต่อย่างใด

- LEVEL 1 หมายถึง ข้อมูลที่ได้มีการปรับแก้ทางด้าน Radiometric เพียงอย่างเดียว

- LEVEL 2 หมายถึง ข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย การปรับแก้ทาง Radiometric และ System Geometric Correction

- LEVEL 3 หมายถึง ข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขที่มีความถูกต้องสูง (Precision Correction) ซึ่งประกอบด้วย การปรับแก้ทางด้าน Radiometric และ Geometric Correction โดยใช้ GCP (Ground Control Point) ที่มีเฉพาะข้อมูลในระบบ MESSR

- LEVEL 4 หมายถึง ข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขที่มีความถูกต้องสูง ซึ่งประกอบด้วย การปรับแก้ทางด้าน Radiometric และการซ้อนภาพ (Registration Correction) กับภาพอ้างอิงที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งมีเฉพาะข้อมูลในระบบ MESSR

- LEVEL 5 หมายถึง ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิของผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature) มีเฉพาะในข้อมูลระบบ VTIR

4.4.4 คุณภาพและข้อดีของการสำรวจด้วยระบบ Multispectral Scanner (MSS)

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีส่วนช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติของโลก โดยอาศัยข้อมูลที่ได้เปรียบของระบบการกวาดภาพหรือสแกนเนอร์ชนิดหลายช่วงคลื่น และข้อได้เปรียบของวงโคจรซึ่งเวียนมาบรรจบกันเป็นประจำ สมบัติของระบบ Multispectral Scanner ที่แตกต่างจากกล้องถ่ายภาพธรรมดา มีดังนี้

ก) ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บอยู่ในลักษณะตัวเลข (digital data) ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่มีปริมาณมากเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ข่าวสารที่ต้องการสำหรับพื้นที่กว้างใหญ่ในเวลาอันสั้น

ข) ข้อมูลต้นฉบับที่รับได้สามารถส่งมายังสถานีรับภาคพื้นดินได้ทันที เนื่องจากอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า

ค) ข้อมูลที่ได้สามารถทำให้มี Spatial resolution, radiometric และ geometric fidelity สูง โดยใช้ขบวนการต่าง ๆ ทางคอมพิวเตอร์ และ

ง) ข้อมูลสามารถเก็บในช่วงคลื่นอินฟราเรดได้ ซึ่งเลขขอบเขตการทำงานของฟิล์มบันทึกภาพของกล้องถ่ายภาพได้

การถ่ายภาพจากดาวเทียมช่วยให้ได้ภาพที่มีลักษณะพิเศษ เนื่องจากดาวเทียมที่ใช้มีสมบัติเฉพาะ คือ ก) การมองเห็นและเก็บข้อมูลได้ในบริเวณกว้างขวาง (synoptic view) การที่ดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3 โคจรสูงจากพื้นโลก 920 กิโลเมตร (570 ไมล์), และดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 โคจรสูงจากพื้นผิวโลกในบริเวณใกล้ขั้วโลกเป็นระยะ 750 กิโลเมตร (431 ไมล์) ทำให้ได้ภาพครอบคลุมบริเวณกว้างมากคือ 34,000 ตารางกิโลเมตร (13,000 ตารางไมล์) เมื่อประกอบกับลักษณะที่คงที่ของการส่องสว่างจากดวงอาทิตย์ ช่วยให้ข้อมูลที่ได้สามารถบอกตำแหน่ง ความกว้าง หรือปริมาณที่มีอยู่ของทรัพยากรชนิดต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง และ ข) การกลับมาที่เดิมเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลอีก (repetitive coverage) อันเป็นผลมาจากการที่ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 โคจรกลับมาถ่ายภาพยังจุดเดิมทุก 16 วัน ซึ่งก่อให้เกิดผลดีคือ (1) ทำให้ใช้ข้อมูลบริเวณเดียวกัน แต่ต่างกันในช่วงเวลาหรือฤดูกาลมาเปรียบเทียบ เพื่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้เช่น พืชพันธุ์ธรรมชาติ การขยายตัวของเขตเมือง เป็นต้น และ (2) ช่วยให้มีโอกาสที่จะได้ข้อมูลที่ไม่มีเมฆปกคลุม (ค) การเก็บและบันทึกข้อมูลตามเวลาเดิมอย่างสม่ำเสมอ (Uniformity over time) เนื่องจากดาวเทียมจะโคจรถึงบริเวณเดิมในเวลาที่ไม่ใกล้เคียงหรือเวลาเดียวกันในแต่ละวงโคจร ทำให้ข้อมูลที่ได้เกิดจากการส่องสว่างที่ใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ จึงสามารถใช้ข้อมูลในการศึกษาด้านต่าง ๆ เช่น การพังทลายของดิน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เป็นต้น และอย่างสุดท้ายคือ ง) ความสม่ำเสมอและคงที่ในบริเวณกว้างของการเก็บข้อมูล (Uniformity over vast areas) ประกอบด้วยปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่คงที่ ช่วยให้สามารถนำภาพที่

ได้มาต่อกันทำเป็นภาพโมเสคได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว สามารถนำมาศึกษาลักษณะโครงสร้างใหญ่ ๆ เช่น โครงสร้างทางธรณีวิทยาได้อย่างเด่นชัด

อนึ่งลักษณะเฉพาะของดาวเทียมต่างๆได้รวบรวมและสรุปในตาราง 4.4.5

ตาราง 4.4.5 ลักษณะเฉพาะของดาวเทียมสำรวจพิภพที่ใช้งานโทรสัมผัส(pt = วิธี panchromatic) (จาก Whatetey, 1995)

4.5 การวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมด้วยสายตา

โครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมของทางองค์การนาซา(NASA) ได้เกิดขึ้นหลังจากที่สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติดวงแรกชื่อ ERTS หรือ LANDSAT-1 ขึ้นโคจรรอบโลก ดาวเทียมดวงนี้ได้อำนวยความสะดวกแก่ชาวโลกอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ไทยได้นำข้อมูลมาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2515 การที่นักสำรวจจะนำข้อมูลไปใช้ได้มากน้อยเพียงใดนั้น ควรต้องเรียนรู้ถึงคุณลักษณะของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งมีวิธีการหลายวิธีด้วยกัน สำหรับวิธีการแปลความหรือวิเคราะห์ข้อมูลที่จะได้กล่าวต่อไปนี้เป็นวิธีการที่ทุกท่านสามารถทำการวิเคราะห์ด้วยตนเองได้โดยใช้เครื่องช่วยประกอบเพียงเล็กน้อย ประหยัดค่าใช้จ่ายและรวดเร็ว แต่ความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์หรือนักสำรวจเอง

4.5.1 ความรู้เบื้องต้นการเกิดภาพ

ก) แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) จุดประสงค์ที่สำคัญของ โทรมัลส์คือ การตรวจหาและการบันทึกข้อมูลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ถ้าเราสามารถทำให้มีสัญญาณที่ได้จากวัตถุที่ต้องการตรวจหามากกว่าสัญญาณจากวัตถุที่ไม่ต้องการ เพื่อให้การตรวจหามีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข) แหล่งพลังงาน(Energy Source) แหล่งพลังงานที่สำคัญคือ ดวงอาทิตย์ แสงหรือพลังงานที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลกนั้นผ่านชั้นบรรยากาศ เมฆ และฝุ่นละออง จนกระทั่งลงสู่ผิวโลก จากการที่สภาพบนพื้นผิวโลกมีความแตกต่างกันเช่น เป็นภูเขา ป่าไม้ ทุ่งหญ้า ทุ่งนา แหล่งน้ำ พื้นดินและหินที่อยู่อาศัย และสิ่ง ก่อสร้าง เป็นต้น ทำให้มีผลต่อการสะท้อน การดูดซึม และการยอมให้พลังงานผ่านไป ดังนั้นปริมาณแสงหรือพลังงานที่ผ่านออกมาจากดวงอาทิตย์ลงสู่พื้นผิวโลกและสะท้อนกลับขึ้นไปนั้นย่อมมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุนั้นๆ ด้วย

ค) การสะท้อนของแสงหรือพลังงาน(Reflection) ขึ้นอยู่กับลักษณะและสภาพผิวของวัตถุนั้นๆ ส่วนปริมาณของพลังงานที่สะท้อนหรือส่งออกมาจากวัตถุต่างๆ ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่สะท้อนหรือส่งออกมาจากวัตถุหนึ่งซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัว ทำให้บอกชนิดของวัตถุได้

ง) การดูดซึมแสง (Absorption) เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตเลนส์กรองแสง เพื่อสกัดกั้นหรือยอมให้แสงที่ต้องการผ่านได้หรือไม่ได้

จ) การทะลุผ่านของแสง (Transmittance) ปริมาณแสงหรือพลังงานที่ทะลุผ่านวัตถุได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดตัวกลางของวัตถุนั้น ๆ

4.5.2 ชนิดภาพจากดาวเทียม

ภาพจากทางดาวเทียมเป็นภาพที่ได้จากเครื่องมือบันทึกภาพที่ติดตั้งบนดาวเทียมชนิดต่าง ๆ เช่น LANDSAT, SPOT, MOS-1 และ NOAA ซึ่งแต่ละดวงก็มีวิธีการบันทึกที่แตกต่างกันออกไป ชนิดของภาพที่ถูกนำมาใช้ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติได้แก่ ภาพที่ได้จาก

ระบบMSS และTMของดาวเทียมLANDSAT, ภาพPanchromaticจากดาวเทียม SPOT, และภาพจากดาวเทียมทั้งสองมีทั้งภาพขาว-ดำและภาพสีผสม ความแตกต่างของภาพขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูลไว้

4.5.3 มาตรฐานของภาพ

ก) ภาพจากดาวเทียม LANDSAT โดยทั่วไปนิยมใช้มาตรฐาน 1:1,000,000, 1:500,000, 1:250,000 และ 1:100,000

ข) ภาพจากดาวเทียม SPOT มีมาตรฐาน 1:200,000, 1:100,000 และ 1:50,000

ค) ภาพจากดาวเทียม NOAA มีมาตรฐาน 1:2,000,000 และ 1:5,000,000

หลักการแปลภาพ

หลักการแปลภาพที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นหลักการที่ใช้ทั่วไปทั้งในการแปลภาพจากดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศสำหรับเป็นแนวทางนำไปใช้ในการแปลภาพ เพื่อศึกษาข้อมูลในงานด้านต่างๆ ได้แก่ งานสำรวจด้านธรณีวิทยาและแหล่งแร่ งานสำรวจการใช้ที่ดิน งานสำรวจสภาพภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน งานสำรวจและจำแนกลักษณะดิน งานสำรวจด้านอุทกวิทยา และการสำรวจทำแผนที่ป่าไม้ เป็นต้น ภาพที่นำมาแปลมีสมบัติแตกต่างกันจำแนกได้ตามวิธีการและอุปกรณ์ในการบันทึกภาพ ตามขนาดช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เลือกใช้ ตลอดจนตามกรรมวิธีการผลิตภาพและการปรับปรุงภาพ (enhancement) ในที่นี้จะเรียกภาพถ่ายจากดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศว่า “ภาพโทรสัมผัส (Remote Sensing Imagery)”

ก) การแปลภาพ หมายถึง การแปลหรือตีความจากลักษณะที่ปรากฏบนภาพ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สามารถนำมาประกอบเป็นเรื่องราวที่ศึกษาทั้งในด้านเนื้อหาวิชาและปริมาณวิเคราะห์ เช่น การแปลหรือตีความภาพในงานสำรวจด้านธรณีวิทยา งานสำรวจและจำแนกลักษณะดิน งานสำรวจและจำแนกลักษณะการใช้ที่ดิน งานสำรวจด้านอุทกวิทยา และงานด้านป่าไม้ เหล่านี้เป็นต้น การแปลหรือตีความภาพตามแนวความคิดของ Estes and Simonet (1975) ใน บุญชนะ กลั่นคำสอน (2532) ได้อธิบายว่าเป็นการทำงานของสมองใน 3 ขั้นตอนด้วยกัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นในสมองเพียงขั้นตอนเดียวหรือทั้ง 3 ขั้นตอนก็ได้โดยเกิดขึ้นพร้อมกันหรือไม่พร้อมกันก็ได้เช่นกัน ขั้นตอนนั้นได้แก่

(1) การวัดขนาดและรูปร่างของสิ่งที่ปรากฏในภาพ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งการคาดคะเน การเปรียบเทียบ หรือเป็นการวัดค่าแท้จริงก็ได้

(2) การพิจารณาจำแนกลักษณะและความแตกต่างของข้อมูลที่ปรากฏในภาพ ทั้งในด้านความแตกต่างของสีและความเข้มในภาพ ลักษณะรูปแบบของการกระจายตัวและเรียงตัวของสิ่งที่ปรากฏในภาพ ตลอดจนลักษณะพิเศษที่สื่อความหมายของสิ่งที่ศึกษา และ

(3) การแปลความหมายต้องอาศัยทั้งข้อมูลที่ปรากฏให้เห็นในภาพ เหตุผลและหลักฐานอื่นๆประกอบ จึงสามารถแปลความหมายได้ แต่ในบางครั้งการแปลภาพต้องดำเนินงานเป็นลำดับขั้นตอนเช่น การพิจารณาสิ่งที่ปรากฏบนภาพ การวิเคราะห์และหาหลักฐานประกอบ เป็นต้น งานแปลภาพจึงแตกต่างกันไปตามชนิดของข้อมูลและเนื้อหา ตลอดจนรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการแปลความหมายจากภาพ แต่ก็มีลำดับขั้นตอนที่เป็นไปตามแนวทางวิทยาศาสตร์เสมอ กล่าวคือ “นั่งเทียน” ไม่ได้

ข) วิธีการและอุปกรณ์ใช้ในการแปลภาพ การแปลภาพด้วยตาเปล่ามีลักษณะเช่นเดียวกับการมองเห็นภาพทั่วไป ข้อมูลที่มองเห็นจะผ่านระบบประสาทตาไปยังสมองซึ่งทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลจากลักษณะของความเข้มและสีภาพ รูปร่าง ขนาด รายละเอียดของปัจจัยการแปลภาพ ตำแหน่งและความสัมพันธ์ รวมถึงการนับจำนวน การวัดขนาดทั้งในทางราบและทางตั้ง วิธีการแปลภาพแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

(1) การแปลภาพโศด หรือภาพเดี่ยว (Mono-visual Interpretation) และ

(2) การแปลภาพสามมิติ (Stereo-visual Interpretation) โดยใช้ภาพ 2 ภาพที่ซ้อนเหลื่อมกัน และผู้แปลต้องอาศัยตาที่สามารถมองเห็นได้ดีทั้งสองข้างจึงจะเห็นเป็นภาพสามมิติได้

การเลือกวิธีแปลภาพจึงต้องขึ้นอยู่กับสมรรถนะทางสายตาของผู้แปลภาพ ลักษณะของการบันทึกภาพ ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับช่วยในการแปลภาพด้วย

ในการแปลภาพอาจอาศัยเครื่องมืออุปกรณ์ประกอบเพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องยิ่งขึ้นได้แก่ แสง แว่นขยาย กล้องดูภาพสามมิติ (Stereoscope) ซึ่งมีทั้งแบบกระเป๋่า แบบตั้งโต๊ะ รวมไปถึงเครื่องมือที่ให้ความสะดวกมากยิ่งขึ้นเช่น Zoom Stereoscope, Additive viewer เป็นต้น การประกอบแผนที่ในงานแปลภาพอาศัยเครื่องมือที่ช่วยถ่ายทอดข้อมูลลงบนแผนที่ เช่น Sketchmaster, Stereosketch, Optical pantograph หรือ Zoom Transferscope ซึ่งมีใช้ทั้งแบบภาพเดี่ยว(mono) และภาพสามมิติ(stereo) ในปัจจุบันยังมีวิธีการและอุปกรณ์ในการเตรียมภาพอีกหลายลักษณะที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือและวิธีการในการเตรียมภาพเพื่อเน้นให้ข้อมูลที่ต้องการจะศึกษามีความเด่นชัดแตกต่างไปจากข้อมูลอื่นๆ วิธีการมีทั้งระบบแสงและระบบอิเล็กทรอนิกส์ รวมเรียกว่า “Enhancement” ช่วยในการศึกษาข้อมูลจากภาพเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูงเช่น Edge enhancement ช่วยในการเตรียมภาพเพื่อการศึกษาข้อมูลประเภทแนวเส้นได้เด่นชัดขึ้น Optical enhancement ช่วยในการพิมพ์ภาพให้เกิดการแยกแยะได้สูง(high contrast) โดยเฉพาะในเรื่องการศึกษาขอบเขตของน้ำผิวดินหรือชนิดหินทำให้เห็นชัดขึ้น เป็นต้น

ค) วิทยาการการแปลภาพ การแปลภาพเป็นวิทยาการที่ต้องอาศัยความสามารถของผู้แปล เครื่องมือในการแปลภาพเป็นเพียงเครื่องอำนวยความสะดวกให้แปลภาพได้ รวดเร็วและถูกต้องมากยิ่งขึ้น ยังไม่มีเครื่องมือและวิธีการที่สามารถนำมาใช้แทนการแปลภาพได้ทั้งระบบ ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีบทบาทในการแปลข้อมูลมากขึ้น ช่วยให้งานการแปลภาพถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น

โดยเฉพาะในกรณีที่ความแตกต่างของข้อมูลไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทมากในการแปลภาพในอนาคต ความถูกต้องในการแปลภาพขึ้นอยู่กับ ความชำนาญของผู้แปล ดังนั้นผู้แปลจึงต้องมีความรู้พื้นฐานอย่างดีในงานนั้น เข้าใจถึงระบบและวิธีการที่บันทึกภาพ มีความละเอียดและความสังเกตลักษณะปัจจุบันที่ปรากฏบนภาพ และสามารถนำปัจจัยเหล่านั้นมาประมวลให้ได้เรื่องราวสอดคล้องกับงานที่สำรวจได้อย่างมีเหตุผล วิทยาการ แปลภาพจึงเป็นทั้งวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ร่วมกัน ซึ่งต้องอาศัยความสามารถของตัวบุคคลเป็นหลัก สิ่งที่ปรากฏบนภาพอาจไม่แสดงสื่อความหมายของข้อมูลพื้นผิวโลกโดยตรง แต่ต้องอาศัยวิธีการศึกษาข้อมูลประเภทอื่นเพื่อให้โยงกลับมาหาข้อมูลที่ต้องการได้เช่น การศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยา ต้องอาศัยจากลักษณะที่ปรากฏบนภาพหลายๆ อย่างประกอบเช่น ลักษณะภูมิประเทศ ทางน้ำ ชนิดความลาดชัน พืช และการใช้ดิน จึงเข้าใจหรือทราบข้อมูลธรณีวิทยาของบริเวณนั้นๆ ได้ สรุปว่าการแปลภาพเป็นลักษณะของการศึกษาปัจจัยซึ่งเป็นหลักฐานที่ปรากฏในภาพ แล้วอนุมานให้ทราบถึงสิ่งที่ปรากฏในภูมิประเทศโดยมีหลักฐานประกอบยืนยันและพิสูจน์ได้ การนำภาพโทรสัมผัสมาใช้อ้างอิงมีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อช่วยให้การสำรวจและการศึกษาข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดทั้งเวลา กำลังคน และค่าใช้จ่าย เพิ่มประสิทธิภาพในการสำรวจในภูมิประเทศให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดความถูกต้องตามความต้องการในรายละเอียดของงานนั้น

ประสิทธิภาพในการแปลภาพและผลงานของการแปลภาพ จึงขึ้นอยู่กับความสามารถและความชำนาญของผู้แปลเป็นสำคัญ ในการแปลภาพให้ได้ผลงานดีซึ่งผู้แปลต้องมีความรู้ทั้งในด้านเนื้อหาวิชาและความเข้าใจในสมบัติของภาพที่ใช้แปลเป็นอย่างดี ผู้แปลภาพซึ่งมีความชำนาญจะสามารถศึกษาข้อมูลได้ลึกซึ้ง รวดเร็ว มีความถูกต้อง และสามารถสร้างระบบงานตรวจสอบในภูมิประเทศเพื่อสนับสนุนการแปลภาพในบริเวณนั้นอย่างมีประสิทธิภาพได้ดีกว่าผู้อื่น คุณสมบัติประจำตัวของผู้แปลที่ควรมีคือ

(1) ความสามารถทางสายตา(Visual acuity) การมองเห็นของคนทั่วไปควรกระทำให้ได้ใน 3 ลักษณะนี้คือ มีความสามารถดังต่อไปนี้

1) การมองเห็นได้ชัดในระยะไกลและใกล้ เช่น ในการอ่านหนังสือที่มีขนาดที่ทำให้เกิดมุม 5 ลิปดา สายตาก็ดีสำหรับความชัดในระยะไกลจะอ่านได้ชัดเจนที่ระยะ 6 เมตร และความชัดในระยะใกล้จะอ่านได้ที่ 40.7 เซนติเมตร) 2) การมองเห็นภาพสามมิติ ผู้ที่มองเห็นสามมิติได้ต้องมีสายตาปกติทั้ง 2 ข้าง เพราะการแปลภาพให้ได้ผลสูงสุดมักได้จากการแปลภาพสามมิติ ผู้ที่ขาดสมบัติทางด้านนี้จึงมีข้อจำกัดในการทำงานมาก แต่ก็สามารถแปลภาพได้ และ 3) การมองเห็นสี ความสามารถในการมองเห็นความแตกต่างของสีเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการแปลภาพ เพราะสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏบนภาพมีลักษณะของสีหรือความเข้มของภาพแตกต่างกันไป ผู้ที่มีความสามารถในการเห็นความแตกต่างของสีและความเข้มของภาพได้ละเอียดเท่าใด ย่อมจะมีประสิทธิภาพของการแปลภาพมากขึ้นเท่านั้น ส่วนผู้ที่บอดสีอาจมีข้อจำกัดบ้างในการแปลภาพสี แต่ถ้าเห็นความแตกต่างได้ ประสิทธิภาพของการแปลภาพก็ไม่ลดไปจากเดิมมากนัก

(2) ความสามารถทางจิตใจ (Mental acuity) ผู้แปลภาพต้องมีทักษะในการสังเกตและรวบรวมเหตุผลเพื่อนำไปสู่การตัดสินใจว่าสิ่งที่ปรากฏให้เห็นในภาพนั้นเป็นอะไร สามารถแยกและตัดสินใจได้ว่าข้อมูลที่แปลได้มีความถูกต้องและมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด จึงสามารถช่วยในการทำงานและตรวจสอบในภูมิประเทศได้อย่างถูกต้องและประหยัด การฝึกฝนให้จิตใจมีความสามารถตัดสินใจในการแปลภาพอย่างมีระบบได้ จึงมีความสำคัญต่อการแปลภาพเป็นอย่างยิ่ง การแปลภาพในลักษณะที่ขาดความเชื่อมั่น มีแต่ความสงสัย มักทำให้ต้องตรวจสอบอีกทุกตารางนิ้วซึ่งไม่ใช่หลักของการแปลภาพ ในทางตรงกันข้าม การแปลภาพโดยไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องเลย ก็ไม่ใช่ลักษณะของการแปลภาพที่ถูกต้อง

การขาดความสามารถทางใดทางหนึ่งไปไม่ได้หมายความว่า จะแปลภาพไม่ได้ เป็นแต่เพียงเกิดข้อจำกัดในการแปลภาพเท่านั้น ผู้แปลจึงจำเป็นต้องตรวจสอบความสามารถของตน เพื่อให้ทราบขอบเขตจำกัดในการแปลภาพด้วย

4.5.3 แนวทางการใช้ประโยชน์จากภาพดาวเทียม

ภาพจากดาวเทียมเป็นภาพของสิ่งที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกโดยย่อส่วนมาจากของจริง จึงสามารถจำลองลักษณะและสิ่งที่พื้นผิวโลกได้ใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นการศึกษาข้อมูลใดๆ ที่ปรากฏ บนพื้นผิวโลกหรือใกล้พื้นผิวโลก(รวมทั้งเหนือหรือใต้พื้นผิวโลก)สามารถใช้ภาพจากดาวเทียมแทนการศึกษาในภูมิประเทศจริง ซึ่งอาจเป็นเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งทำให้นักสำรวจประหยัดทั้งเวลา ค่าใช้จ่าย และกำลังคน แต่อย่างไรก็ดี การแปลภาพอาจมีการผิดพลาดได้เสมอ จึงต้องอาศัยการสำรวจและตรวจสอบภูมิประเทศจริงแทบทุกครั้ง ภาพจากดาวเทียมจึงมีลักษณะที่เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาหาข้อมูลทุกชนิดได้

แนวทางการใช้ประโยชน์จากภาพดาวเทียมในการศึกษาข้อมูลทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นการศึกษา และสำรวจข้อมูลใดๆ ควรมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก) การวางแผน(Planning) ในการดำเนินงานสำรวจให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการวางแผนงาน และการเตรียมงานทั้งในด้านเนื้อหาวิชา ตลอดจนค่าใช้จ่าย กำลังคน ยานพาหนะ การกำหนดพื้นที่และบริเวณที่ทำการสำรวจ ภาพจากดาวเทียมที่มีมาตราส่วน ครอบคลุมบริเวณที่ศึกษาทั้งหมดช่วยให้ทราบถึงสภาพที่แท้จริงของบริเวณนั้นๆ ได้ ก่อนสำรวจจริงง่ายต่อการเข้าถึงพื้นที่ ทำให้การวางแผนและเตรียมงานเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศดีกว่าการใช้แผนที่แต่เพียงอย่างเดียว เมื่อมีเวลามากเพียงพอในการศึกษาข้อมูลรายละเอียดอาจทำได้จากการแปลภาพที่มีมาตราส่วนละเอียดขึ้น การศึกษาข้อมูลล่วงหน้าทำได้โดยเปรียบเทียบกับเอกสารข้อมูลที่มีอยู่แล้ว(literature Survey) หรือโดยการศึกษาแปลความหมายคร่าวๆ(rough interpretation) จากภาพโดยตรง วิธีการดังกล่าวช่วยให้ทราบข้อมูลต่างๆของบริเวณที่ศึกษา กำหนดขอบเขตบริเวณที่จะสำรวจให้ลดลง เพื่อให้ได้ข้อมูลในรายละเอียดเฉพาะที่ต้องการทำงานได้มากขึ้น สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสำรวจทำแผนที่ได้มากกว่าการสำรวจโดยไม่ใช้ภาพจากดาวเทียมประกอบการศึกษาเลย

ข) การสำรวจในภูมิประเทศจริง(Ground-truth survey) ภาพจากดาวเทียมที่มีมาตราส่วนใหญ่พอสำหรับการกำหนดตำแหน่งในภูมิประเทศนั้นช่วยในการทำงานได้ดีกว่าแผนที่แถบทุกชนิด ทั้งนี้เพราะแผนที่ให้รายละเอียดแสดงไว้น้อยกว่ารายละเอียดที่ปรากฏบนภาพจากดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ ภาพจากดาวเทียมมักมีข้อมูลใหม่กว่าแผนที่เสมอ อีกทั้งช่วยประโยชน์ได้มากในบริเวณที่ไม่มีแผนที่ เนื่องจากภาพจากดาวเทียมมีสมบัติทางเรขาคณิตและสามารถนำมาปรับตามวิธีทางแผนที่หรือโฟโตแกรมเมตรี(Photogrammetry)ให้เป็นแผนที่ถูกต้องได้ ที่สำคัญคือภาพ โทรมัผัสโดยเฉพาะภาพถ่ายทางอากาศที่มีมาตราส่วนใหญ่มักให้รายละเอียดใกล้เคียงกับลักษณะภูมิประเทศจริง จึงสะดวกต่อการใช้งาน แม้ผู้ใช้งานมีความรู้จำกัดเกี่ยวกับแผนที่ก็สามารถฝึกให้ใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายทางอากาศได้ และในการสำรวจบันทึกข้อมูลก็สามารถเขียนบันทึกได้โดยตรงบนภาพดาวเทียมนั้น

ค) การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล(Data analysis) เมื่อสำรวจข้อมูลได้แล้ว การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ภาพจากดาวเทียมนับว่ามีประโยชน์มาก ทั้งนี้เพราะภาพดาวเทียมมีข้อมูลหลายด้านปรากฏให้เห็นได้ในเวลาเดียวกัน ในการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลแบบบูรณาการ (intergration) จำเป็นต้องอาศัยภาพดาวเทียมช่วยในการทำงานมากยิ่งขึ้น

ง) การเสนอผลงาน(Presentation) ภาพจากดาวเทียมมีคุณสมบัติคล้ายแผนที่และมีรายละเอียดแทนของจริงได้มากกว่าแผนที่ การเสนอผลงานจึงนำมาใช้แทนแผนที่ได้อย่างดี ในบางกรณีอาจมีการปรับปรุงคุณภาพให้ใกล้เคียงแผนที่ แล้วเขียนสัญลักษณ์และข้อมูลที่จำเป็น เช่น มาตราส่วน ทิศ และพิกัดลงบนภาพพร้อมกับข้อมูลที่ต้องการแสดง ซึ่งช่วยให้การเสนอผลงานง่ายต่อการเข้าใจยิ่งขึ้น

4.5.6 สื่อการแปลภาพ

การแปลภาพเป็นการศึกษาข้อมูลที่พื้นผิวโลก โดยวิธีอาศัยการพิจารณาจากลักษณะที่ปรากฏให้เห็นบนภาพซึ่งเรียกว่า “ข้อมูลภาพ”(image data) การศึกษาเพื่อกำหนดเลือกใช้ข้อมูลภาพเพื่อเป็นสื่อให้ทราบถึงข้อมูลที่ต้องการศึกษาที่พื้นผิวโลกเรียกว่า “การกำหนดสื่อการแปลภาพ” ลักษณะที่ปรากฏในภาพซึ่งนำมาใช้เป็นสื่อแสดงความหมายเรียกว่า “สื่อการแปลภาพ” ความมุ่งหมายในการแปลภาพเป็นความพยายามในการศึกษาข้อมูลภาพ เพื่อให้ข้อมูลที่ต้องการศึกษามีความถูกต้องตามเป็นจริง สื่อการแปลภาพจึงมีความสำคัญต่อการแปลภาพ ซึ่งโดยทั่วไปผู้แปลภาพต้องเป็นผู้กำหนดขึ้นเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการศึกษาข้อมูลนั้นๆ เสียก่อน

ในการแปลภาพอาจกำหนดสื่อการแปลภาพโดยอาศัยข้อมูลภาพ เช่น บริเวณสีดำในภาพอินฟราเรดแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นน้ำ ถ้าบริเวณสีดำนั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมแสดงว่าเป็นสระน้ำ แต่ถ้าบริเวณสีดำนั้นถูกแบ่งออกเป็นแปลง แสดงว่าเป็นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือนาเกลือ หากพิจารณาร่วมกับสภาพแวดล้อมและการศึกษาภาพในช่วงฤดูกาลต่างกัน จะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกับนาเกลือได้ เป็นต้น จากตัวอย่างดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการกำหนดสื่อการแปลภาพอาจกำหนดได้จากข้อมูลภาพเพียงอย่างเดียวหรือหลายๆอย่างประกอบกัน

ก) ข้อมูลภาพ เป็นลักษณะปรากฏบนภาพที่ได้จากการบันทึกพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามช่วงคลื่นต่างๆของวัตถุที่พื้นผิวโลก วัตถุที่มีสมบัติแตกต่างกันย่อมสามารถสะท้อน(reflection) หรือแผ่รังสี(radiation)พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่บันทึกได้แตกต่างกันนี้แสดงให้เห็นบนภาพได้ด้วยสีหรือความเข้มที่ต่างกัน ในกรณีภาพขาวดำมักพบว่าความแตกต่างค่อยๆปรากฏเป็นสีดำเข้มลดหลั่นลงไปจนเป็นเทาและจางลงจนไม่มีสี ในกรณีเป็นภาพสีเราอาจพบว่าความแตกต่างปรากฏออกมาเป็นสีชนิดต่างๆ เช่น น้ำเงิน เหลือง แดง ฯลฯ สีแต่ละชนิดก็ยังปรากฏให้เห็นถึงความเข้ม(brightness) ที่แตกต่างกันออกไปได้อีก สืบบนภาพเหล่านี้อาจทำให้เป็นสีต่างๆกันได้เช่น เป็นสีคล้ายสีธรรมชาติ(natural color) เช่นเดียวกับที่ตามองเห็น หรือเป็นสีอื่นที่เรียกว่า “สีเทียม (false color)” สีเทียมที่บันทึกได้จากช่วงคลื่นต่างๆอาจนำมาบันทึกร่วมกันแล้วปรากฏเป็นสีในลักษณะที่เรียกว่า “สีเทียมผสม (false color composite)” ได้

ความแตกต่างของความเข้มในภาพขาวดำและภาพสี มักปรากฏให้เห็นเป็นเส้นแบ่งทำให้เห็นทั้งรูปร่างและขนาดได้ นอกจากนี้แล้วยังปรากฏให้เห็นที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน มีสัดส่วนเช่นเดียวกับที่เป็นจริงที่พื้นผิวโลกตามมาตราส่วนที่กำหนดขึ้นสำหรับการบันทึกและผลิตภาพนั้น และอาจจะพิจารณาได้เป็น 3 ลักษณะคือ

1. สมบัติด้านสเปกตรัม(spectral characteristics) ลักษณะที่แตกต่างกันบนภาพขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุที่สะท้อนหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเช่น ในภาพช่วงแสงที่ตามองเห็นเราอาจเห็นต้นไม้เป็นสีดำ แต่ในภาพอินฟราเรดจะเห็นต้นไม้เป็นสีขาวเนื่องจากใบไม้สะท้อนคลื่นแสงอินฟราเรดได้มาก สำหรับน้ำในภาพอินฟราเรดมักปรากฏเป็นสีดำ เพราะน้ำมีคุณสมบัติดูดกลืน(absorb)ช่วงคลื่นอินฟราเรดได้ดี น้ำมีความลึกเพียง 0.10 เมตร ก็สามารถดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดได้หมด จึงทำให้บริเวณที่มีน้ำขังอยู่เพียงตื้นๆปรากฏให้เห็นเป็นสีดำบนภาพ สมมติเสมอเท่ากันหมด

2. คุณสมบัติทางด้านภูมิสถาน (spatial characteristics) เป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรูปร่าง ขนาด และตำแหน่ง ตลอดจนการกระจายตัวของข้อมูลเช่น แม่น้ำมีลักษณะปรากฏให้เห็นเป็นเส้นทางคดเคี้ยว ส่วนถนน ทางรถไฟ หรือคลอง หรือสายไฟฟ้าแรงสูงมักมีลักษณะเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามสำหรับนักสำรวจรอยเลื่อน(ไม่ว่าเก่าหรือใหม่)มักปรากฏให้เห็นเป็นเส้นตรงด้วย เพียงแต่ว่ารอยเลื่อนที่อายุน้อย(หรือใหม่-active fault)มักเห็นคมชัดกว่าในภาพจากดาวเทียม

3. สมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา(temporal characteristics) ข้อมูลบางประเภทเช่น พืช ความชื้น น้ำบนดิน เป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล สิ่งเหล่านี้ปรากฏบนภาพแตกต่างกันตามฤดูกาลที่บันทึกภาพของบริเวณนั้นไว้

ข) การกำหนดสื่อการแปลภาพ ลักษณะของข้อมูลภาพที่กำหนดขึ้นแสดงข้อมูลที่ต้องการศึกษาซึ่งเรียกว่า “สื่อการแปลภาพ” มันมักกำหนดขึ้นจากข้อมูลภาพชนิดเดียว หรือหลายๆ ชนิดก็ได้ และอาจแสดงออกได้โดยตรงเช่น สีดำเป็นน้ำ แต่ถ้ามีลักษณะรูปร่างสีเหลี่ยมอาจแสดงว่าเป็นบ่อ กักเก็บน้ำหรือบ่อเลี้ยงปลา เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการแปลภาพต้องอาศัยข้อมูลภาพเป็นการสื่อสาร การแปลภาพสำหรับข้อมูลนั้นๆ ซึ่งอาจใช้แสดงได้ตลอด หรืออาจเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่บันทึกภาพ หรือตาม

สภาพสิ่งแวดล้อมที่อยู่โดยรอบข้อมูลนั้น ตัวอย่างเช่น ในภาพช่วงแสงที่ตามองเห็นเราอาจเห็นถนนที่ตัดผ่านบริเวณป่าไม้เป็นทางสีขาวตัดผ่านบริเวณป่าไม้ซึ่งเป็นสีดำ แต่ในภาพอินฟราเรดจะเห็นถนนเป็นทางสีเทาตัดผ่านบริเวณต้นไม้ซึ่งเป็นสีขาว ดังนั้นเมื่อต้องการทำแผนที่ถนน จึงต้องอาศัยข้อมูลภาพทั้งที่เป็นทางสีดำบนภาพช่วงแสงที่ตามองเห็น และข้อมูลภาพซึ่งเป็นทางสีขาวบนภาพอินฟราเรด มาเป็นตัวกำหนด “สื่อการแปลภาพ”

สื่อการแปลภาพที่กำหนดขึ้นจากข้อมูลภาพอันเกิดจากสมบัติด้านสเปกตรัมได้แก่ ลักษณะรูปร่าง ขนาด และความเข้มในภาพที่แตกต่างกัน เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายๆอย่างร่วมกันได้ ในบางกรณีอาจต้องพิจารณา รวมไปถึงสภาพแวดล้อม ตำแหน่งที่ตั้ง และลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพเหล่านั้นด้วย

สำหรับการศึกษาข้อมูลด้านธรณีวิทยาสำรวจแหล่งแร่ หรือในการแปลภาพบางกรณี ผู้แปลไม่สามารถแปลภาพโดยอาศัยเพียงกำหนดสื่อการแปลภาพพื้นฐานดังกล่าวได้ ทั้งนี้เพราะข้อมูลที่เกิดจากสมบัติด้านสเปกตรัมมีความคล้ายคลึงกัน หรือมีความยุ่งยากซับซ้อนจนไม่สามารถกำหนดขึ้นเป็นกฎเกณฑ์ได้ ดังนั้นในการแปลภาพนักสำรวจจึงแปลภาพโดยให้เกิดความหมายขึ้นก่อนเช่น ทางน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ พืช และการใช้ที่ดิน เป็นต้น

(1) การกำหนดสื่อการแปลภาพโดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่

- ความเข้มและสีภาพ(tone and color) ความแตกต่างของความเข้มและสีภาพช่วยให้ทราบข้อมูลที่แปลได้ หรืออาจช่วยระบุให้เห็นความแตกต่างของข้อมูลใน รายละเอียดได้เช่น ในภาพช่วงแสงที่ตามองเห็นเราอาจเห็นความต่างระดับของน้ำ แต่ในภาพช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดเราจะเห็นน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกันมีความเข้มหรือสีต่างกัน เป็นต้น

- รูปร่าง(shape) ที่เด่นชัดแตกต่างจากสิ่งอื่น และมีขนาดใหญ่พอที่จะเห็นได้บนภาพช่วยให้แปลภาพง่ายขึ้นเช่น สนามฟุตบอล คูน้ำ หรือคันดินรอบเมืองโบราณ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างไปจากทางน้ำธรรมชาติ และสามารถเห็นได้ชัดจากภาพถ่ายทางอากาศ แต่ถ้าสิ่ง เหล่านี้ปรากฏในภาพจากดาวเทียม จะมีขนาดเล็กมากเกินไป ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์

- ขนาดของวัตถุที่ต้องการแปลภาพ(size) ช่วยให้การแปลภาพได้ง่ายขึ้น เช่น การพิจารณาความแตกต่างของพืช พบว่าต้นไม้พุ่มมีขนาดเล็กและเตี้ยกว่าต้นไม้ยืนต้น เป็นต้น การวัดและพิจารณาขนาดของสิ่งที่ต้องการแปลภาพ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้การแปลภาพได้ข้อมูลที่ละเอียดขึ้น เช่น การศึกษาบริเวณที่เป็นที่อยู่อาศัยพบว่า บริเวณชุมชนแออัดมักมีบ้านขนาดเล็กปลูกติดกันไม่เป็นระเบียบ ส่วนบ้านจัดสรรมักมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณบ้านกว้างกว่า และมีการจัดเป็นระเบียบดีกว่า

- ลักษณะความละเอียดความหยาบของภาพ(texture) ถ้าสิ่งที่ต้องการแปลจากภาพปรากฏมีขนาดเล็กจนไม่สามารถแยกศึกษาโดยอิสระได้ แต่มีจำนวนมากปรากฏให้เห็นความละเอียดและความหยาบของภาพรวมๆกันเช่น บริเวณที่เป็นป่าชายเลนพบว่า ต้นไม้ใหญ่เช่น ต้นโกงกาง และต้นแสมมีลักษณะหยาบกว่าบริเวณที่เป็นป่าจาก เป็นต้น ความละเอียดความหยาบของภาพมีความสำคัญต่อการแปลภาพจากดาวเทียม ทั้งนี้เพราะภาพจากดาวเทียมมีมาตราส่วนเล็ก สิ่งต่างๆ จึงมี

ขนาดเล็กเกินกว่าจะมองเห็นแยกห่างจากกัน การแปลภาพจึงต้องพิจารณาลักษณะความละเอียดความ
หยาบของภาพเป็นหลักมากกว่าพิจารณารูปร่างและขนาดเช่น บริเวณที่ทำเหมืองมักแตกต่างไปจาก
บริเวณที่ทำนาหรือทำไร่ โดยบริเวณที่ทำเหมืองปรากฏเป็นจุดประมากกว่าบริเวณที่ทำนาหรือทำไร่

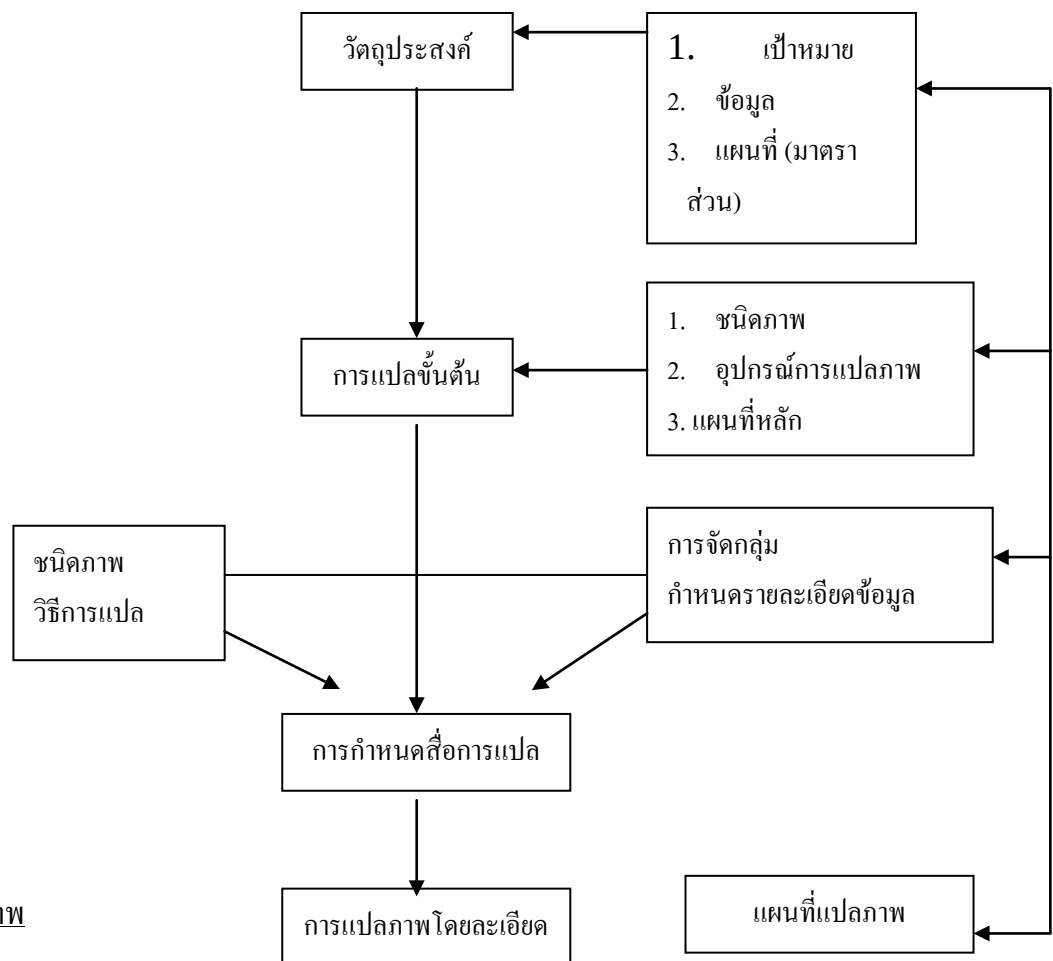
- การเรียงลวดลาย(pattern) ที่เด่นชัดทำให้แยกประเภทสิ่งที่จะแปลภาพได้ง่าย
โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะที่คนทำขึ้นเช่น ถ้าเป็นบริเวณหมู่บ้านจัดสรรมักปลูกบ้าน มีถนนและตัวอาคาร
เป็นระเบียบแตกต่างไปจากบ้านที่ต่างคนต่างปลูก บริเวณที่เป็นสวนปลูกต้นไม้ยืนต้นเช่น สวนป่า มักเห็น
เป็นแถวเป็นแนวแตกต่างไปจากป่าที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นต้น

- ตำแหน่งที่ตั้ง ความเกี่ยวพัน และสภาพแวดล้อม (location, association and enviroment) สิ่งที่ปรากฏให้เห็นบนภาพถ้ามีขนาดใหญ่พอ อาจแสดงลักษณะเด่นของ
ตนเองได้ แต่ถ้ามีขนาดเล็กจะต้องพิจารณาข้อมูลร่วมกันเช่น ป่าชายเลน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับป่าไม้
ทั่วไป แต่จากการดูสภาพแวดล้อม ตำแหน่งที่ตั้ง และความเกี่ยวพันเช่น อยู่ใกล้บริเวณที่น้ำทะเลขึ้นลง
ถึง มีทางให้น้ำทะเลเข้าออก ทำให้สามารถแยกป่าชายเลนจากป่าอื่นได้

(2) ปัจจัยการแปลภาพที่สื่อความหมาย(factors controlling image interpretation) ในการแปล
ข้อมูลบางประเภท ไม่สามารถพิจารณาได้ง่าย ๆ จาก “ปัจจัยการแปลภาพพื้นฐาน” แต่ต้องอาศัยการ
ตีความหมายเพิ่มมากขึ้นจากข้อมูลในภาพซึ่งได้ตีความจากปัจจัยพื้นฐานมาขึ้นหนึ่งแล้วเช่น การแปล
ความหมายข้อมูลด้านธรณีวิทยา จะอาศัยลักษณะที่ปรากฏให้เห็นจากการตีความจากปัจจัยพื้นฐานแล้ว
ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางน้ำ ลักษณะของพืช และการใช้ที่ดิน แล้วพิจารณาร่วมกับความรู้ที่
เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่จะศึกษาจากภาพ ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นบนภาพเหล่านี้จัดเป็น “ปัจจัยการแปล
ภาพสื่อความหมาย” การแปลภาพโดยอาศัยปัจจัยการแปลภาพที่สื่อความหมายนี้เป็นลักษณะที่แสดงให้เห็น
ถึงการศึกษาค้นคว้าข้อมูลด้วยการแปลภาพ แตกต่างไปจากการศึกษาข้อมูลด้วยวิธีการใช้คอมพิวเตอร์

ก) *ขั้นตอนการแปลภาพ(sequence of image interpretation)* การแปลภาพจาก
ดาวเทียมอาศัยขั้นตอนการแปลภาพ โดยมีหลักและวิธีการคล้ายกัน จะแตกต่างกันไปบ้างเฉพาะ
รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับประเภทของข้อมูลนั้นๆ ทั้งนี้เพราะการทำงานเป็นขั้นตอนช่วยให้ผู้แปลภาพ
(โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีผู้แปลภาพร่วมกันหลายคน) สามารถแปลภาพ(รูป 4.5.1) ได้ข้อมูลสูงสุด
และมีประสิทธิภาพ การแปลภาพมีขั้นตอนสำคัญคือ

I การวางแผน



II การแปลภาพ

III การตรวจสอบ

IV การรายงาน

รูป 4.5.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการแปลภาพจากดาวเทียม (บุญเทียม กลั่นคำสอน, 2532)

(1) การวางแผน เนื่องจากภาพจากดาวเทียมสามารถนำมาแปลให้ได้ข้อมูลสำหรับงานหลายสาขา จึงจำเป็นต้องมีวัตถุประสงค์ให้เด่นชัดลงไปว่า ต้องการแปลภาพเพื่อนำไปใช้งานด้านใด เพื่อศึกษาเรื่องใด เมื่อทราบวัตถุประสงค์ที่แน่นอนแล้ว จึงกำหนดแนวทางในการแปลภาพว่าใช้ภาพชนิดใด ถ่ายทำเมื่อใด เป็นต้น

(2) วัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนสำคัญในการแปลภาพ การกำหนดวัตถุประสงค์ของการแปลภาพขึ้นอยู่กับเป้าหมาย การนำข้อมูลที่ได้จากการแปลภาพไปใช้ประโยชน์, รายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการ, ขอบเขตบริเวณการทำงาน และมาตราส่วนของแผนที่ที่ต้องการแสดงข้อมูล และเวลาทำงานและงบประมาณที่ต้องใช้

(3) การแปลภาพขั้นต้น เป็นขั้นตอนของการตรวจสอบสมรรถนะของการแปลภาพ แม้ผู้แปลจะมีความสามารถและความชำนาญมาอย่างดี แต่ถ้าหากไม่มีภาพจากดาวเทียม ตลอดจนข้อมูลและแผนที่ต้นร่างที่เหมาะสมกับงาน การแปลภาพเพื่อให้ได้ผลดีนั้นก็อาจทำได้ยาก ในการแปลภาพขั้นต้นจึงจำเป็นต้องตัดสินใจจำแนกลักษณะและรายละเอียดข้อมูลที่ต้องการแปล โดยพิจารณาไปพร้อมๆ กันให้สอดคล้องกับภาพและวิธีการแปลภาพที่เลือกใช้ แล้วจึงกำหนดสื่อ การแปลภาพสำหรับชนิดและประเภทของข้อมูลที่ปรากฏบนภาพนั้นๆ

- ชนิดภาพและวิธีการแปลภาพ ชนิดภาพอาจแยกประเภทตามลักษณะช่วงคลื่นที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลภาพ และความแตกต่างตามขนาดมาตราส่วนของภาพ การเลือกมาตราส่วนของภาพให้เหมาะสมกับรายละเอียดของข้อมูลที่ศึกษาจัดเป็นความสำคัญขั้นแรก เพราะปริมาณงานและค่าใช้จ่ายในการแปลภาพอาจเพิ่มมากขึ้นอย่างน้อยเป็นกำลังสองของจำนวนเท่าของมาตราส่วนที่ใหญ่ขึ้นเช่น ในการแปลภาพมาตราส่วน 1:500,000 จึงมีปริมาณงานและค่าใช้จ่ายมากขึ้นเป็นสี่เท่าของการแปลมาตราส่วน 1:1,000,000 ดังนั้นการตัดสินใจเลือกใช้ภาพขนาดมาตราส่วนใดจึงเป็นสิ่งจำเป็น และต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการแปล ในการเลือกภาพชนิดต่างๆ มาแปลเช่น ภาพขาวดำ ภาพสีหรือภาพที่บันทึกตามช่วงคลื่นต่างๆ ต้องพิจารณาจากลักษณะข้อมูลที่ต้องการแปลว่า ปรากฏเด่นชัดหรือดีที่สุด ในภาพชนิดใดเช่น ลักษณะภูมิประเทศในบริเวณที่มีความสูงแตกต่างกันไม่มากนักมักเห็นได้เด่นชัดจากภาพอินฟราเรด ซึ่งบันทึกในช่วงฤดูที่มีความชื้น โดยความเข้มของสีเขียวเน้นให้เห็นสภาพภูมิประเทศได้เด่นชัดดีกว่าภาพที่บันทึกในฤดูอื่น

นอกจากการเลือกภาพดังกล่าวแล้ว วิธีการปรับปรุงภาพ (enhancement) อาจทำให้ข้อมูลที่ต้องการศึกษาปรากฏได้เด่นชัดบนภาพมากขึ้น การปรับปรุงภาพทำได้ทั้งวิธีการทางออฟติคและอิเล็กทรอนิกส์ การเลือกใช้วิธีการใดจึงขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ศึกษา ผู้แปลภาพต้องคำนึงด้วยว่าในการปรับปรุงภาพนั้นจะต้องใช้เครื่องมือและค่าใช้จ่ายสูงกว่าการแปลข้อมูลจากภาพที่ผลิตขึ้นใช้โดยทั่วไป ในการแปลภาพไม่ได้กำหนดให้ใช้ภาพชนิดใดชนิดหนึ่ง เป็นหน้าที่ของผู้แปลภาพที่กำหนดใช้ภาพเองให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องศึกษา ในการศึกษาข้อมูลบางประเภทอาจใช้ภาพหลายๆ ชนิดร่วมกันได้

- การจัดกลุ่มและกำหนดรายละเอียดข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สะดวกต่อการแปลภาพ และกำหนดขั้นตอนเพื่อให้เกิดความถูกต้อง โดยพิจารณาพร้อมกับชนิดภาพและวิธีการแปลภาพ ตัวอย่าง

การจัดกลุ่มข้อมูลและกำหนดรายละเอียดข้อมูลดังกล่าวนี้ ช่วยให้การแปลภาพทำได้เป็นขั้นตอนและได้ข้อมูลในรายละเอียดมากขึ้น ทำให้สามารถเลือกแปลภาพได้ตามความจำเป็นช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายและมีรายละเอียดของข้อมูลสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณ

- การกำหนดสื่อการแปลภาพ เป็นขั้นตอนที่ต้องตัดสินใจดำเนินการ หลังจากได้ศึกษาความเหมาะสมและความสัมพันธ์ของชนิดภาพ วิธีการแปลภาพ ตลอดจนการทดสอบจัดกลุ่มและกำหนดรายละเอียดของข้อมูลแล้ว การกำหนดสื่อการแปลภาพเป็นการตัดสินใจที่จะเลือกพิจารณาว่าปัจจัยการแปลภาพใดบ้างที่จะเลือกใช้สำหรับเป็นตัวกำหนดให้เราทราบข้อมูลที่ต้องการศึกษาจากภาพนั้นๆ ความยากลำบากของการแปลภาพและการแปลภาพให้ได้ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ที่ขั้นตอนนี้ ผู้ที่เริ่มศึกษาการแปลภาพมักประสบปัญหาในการตัดสินใจ แต่เมื่อได้ปฏิบัติงานมากขึ้นจะเกิดความชำนาญและสามารถเลือกกำหนดสื่อการแปลภาพได้ข้อมูลถูกเป้าหมายมากขึ้น เมื่อเริ่มต้นผู้แปลภาพมักนิยมแปลภาพจากสิ่งที่รู้เสียก่อน จากนั้นจึงศึกษาสิ่งที่ไม่รู้ ซึ่งทำได้โดยวิธีสังเกตจากปัจจัยการแปลภาพที่ปรากฏให้เห็นแล้วทำการตรวจสอบดูว่าสิ่งที่เห็นในภาพนั้นเป็นข้อมูลชนิดใด ในการตรวจสอบอาจทำได้ทั้งจากเอกสารและการตรวจสอบในภาคสนาม

ในการกำหนดสื่อการแปลภาพ ผู้แปลอาจทราบและเข้าใจเองได้โดยลำพัง แต่ในกรณีที่มีการทำงานร่วมกันหลายคน จำเป็นต้องทำความเข้าใจร่วมกันให้ชัดเจน และยึดถือแนวทางร่วมกันตลอดเวลาที่แปลภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้แปลแตกต่างกัน ในทางปฏิบัติมักใช้วิธีกำหนดและจัดกลุ่มข้อมูลเสียก่อน จากนั้นจึงลงมือแปลภาพ นอกจากนั้นควรทำความเข้าใจสัญลักษณ์หรือเครื่องหมายแผนที่ให้เป็นอย่างเดียวกันอีกด้วย

4.5.7 การแปลภาพ

การแปลภาพเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาข้อมูลทั้งบริเวณ แล้วรวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบขึ้นเป็นแผนที่แปลภาพ โดยขั้นตอนการดำเนินงานอาจจำแนกได้เป็น 6 ขั้นตอน คือ

ก) การเตรียมภาพบริเวณที่ศึกษา ผู้แปลอาจใช้ภาพเพียงภาพเดียวหรือหลายภาพ ในกรณีที่ใช้ภาพหลายภาพ ผู้แปลควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับภาพเหล่านั้นให้รู้ว่าภาพใดเป็นภาพส่วนไหนของบริเวณที่ศึกษา ผู้แปลอาจทำเครื่องหมายให้รู้หรือจัดทำเป็นแผนที่คร่าวๆ แสดงตำแหน่งภาพ โดยเขียนแนวบินและเลขที่ภาพกำกับไว้ นอกจากนั้นแต่ละภาพควรศึกษาให้ทราบทิศและมาตราส่วนของภาพนั้นๆ ในการเตรียมการ ผู้แปลภาพอาจนำภาพมาต่อเป็นแผ่นเดียวทั้งบริเวณเรียกว่า “การทำภาพต่อ หรือโมเสค (mosaic)” ซึ่งช่วยให้เข้าใจข้อมูลทั้งบริเวณได้สะดวกขึ้น เมื่อต้องการศึกษารายละเอียด ก็แปลข้อมูลภาพเป็นภาพ ๆ ไป

ข) วิธีการแปลภาพ โดยทั่วไปนิยมเริ่มต้นแปลบริเวณที่ผู้แปลทราบข้อมูลดี แล้วขยายขอบเขตไปยังบริเวณที่ไม่ทราบข้อมูลต่อไปจนครบบริเวณ หรือเริ่มแปลจากข้อมูลที่ยากก่อนแล้วจึงแปลข้อมูลที่ยากกว่าในภายหลัง ในกรณีมีภาพหลายภาพ บางคนนิยมแปลรายละเอียดของแต่ละภาพจนแล้วเสร็จเป็นภาพๆ ไป ในกรณีที่นิยมแปลข้อมูลเป็นหลายๆ ทีละภาพจนตลอดทั้งบริเวณเสียก่อน ผู้แปลจะเริ่มจากข้อมูลที่แปลได้ง่ายก่อนแล้วแปลข้อมูลที่ยากเพิ่มขึ้น ซึ่งจะต้องดูภาพซ้ำกลับไปกลับมาหลายทีมากกว่าจะเสร็จงาน วิธีการแปลภาพเช่นนี้ต้องแปลภาพซ้ำกลับไปกลับมาหลายครั้งทำให้เสียเวลา แต่ได้ประโยชน์เนื่องจากผู้แปลสามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ และมีโอกาสเปรียบเทียบข้อมูลได้ตลอดทั้งบริเวณ ทำให้เข้าใจและแปลข้อมูลที่ยากได้เร็วขึ้น

ค) การประกอบแผนที่ เป็นขั้นตอนที่รวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบเป็นแผนที่แปลภาพ ผู้แปลอาจเลือกใช้ได้หลายวิธีเช่น การนำภาพมาต่อกัน(uncontrolled mosaic) หรือการใช้เครื่องมือถ่ายภาพตัดข้อมูลจากภาพลงบนแผนที่พื้นฐาน(base map) ที่เลือกใช้ เครื่องมือและวิธีการประกอบแผนที่ที่มีหลายแบบเช่น Sketch-master, Stereo-sketch master, Zoom Transferscope หรือ Zoom Stereo Transferscope เป็นต้น การประกอบแผนที่จากภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับแผนที่ เช่น ภาพจากดาวเทียมทำได้ง่าย แต่การประกอบแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศจำเป็นต้องใช้เครื่องมือจึงจะได้แผนที่ซึ่งมีความถูกต้องสูง ในการทำแผนที่แปลภาพควรกำหนดสัญลักษณ์เช่นเดียวกับที่ใช้ในการแปลภาพ และควรกำหนดตำแหน่งกับเลขที่ของภาพกำกับด้วย เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบแก้ไขข้อมูลในโอกาสต่อไป

ง) การตรวจสอบ เป็นขั้นตอนของการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการแปลภาพโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เป็นจริง ซึ่งอาจจะทำได้ทั้งจากการตรวจสอบโดยอาศัยเอกสารหรือจาก การตรวจในภาคสนาม ในการตรวจสอบจากเอกสารที่มีผู้สำรวจแล้วย่อมเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและทำได้รวดเร็วกว่า สำหรับการตรวจสอบในภาคสนามเป็นสิ่งจำเป็นและถูกต้องกว่าวิธีอื่น แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและเสียเวลามาก ดังนั้นจึงควรพิจารณาตามความจำเป็นและโอกาสมากกว่าการตั้งเป็นหลักเกณฑ์ว่าผู้แปลภาพจะต้องออกปฏิบัติงานในภาคสนามเสมอไป การตรวจสอบสามารถทำได้หลายขั้นตอน(เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผน) และในทุกขั้นตอนการทำงานที่โอกาสจะอำนวยให้ และตามความจำเป็นที่ต้องการตรวจสอบข้อมูล ดังแสดงไว้ในแผนภูมิแสดงขั้นตอนการแปลภาพ (รูป 4.5.1) ในขั้นการวางแผนมักเป็นการตรวจสอบและศึกษาเพื่อให้สามารถนำข้อมูลมากำหนดแผนงาน การกำหนดสื่อการแปลภาพทำเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการที่ใช้สื่อการแปลภาพที่กำหนดขึ้นก่อนที่จะลงมือแปลภาพในรายละเอียด สำหรับการตรวจสอบขั้นสุดท้ายคือ การตรวจสอบผลของการแปลภาพ ด้วยวิธีการตรวจสอบตัวอย่าง การตรวจสอบแก้ไขปัญหาที่ยังค้างอยู่จากการแปลภาพ หรือการตรวจสอบเพื่อต้องการข้อมูลในรายละเอียดเพิ่มเติมจากที่ได้ในแปลภาพ เป็นต้น การกำหนดบริเวณและวิธีการตรวจสอบควรกำหนดให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อให้สามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ในการดำเนินงานตรวจสอบจำเป็นที่จะต้องเตรียมงานแปลภาพสำหรับบริเวณที่จะตรวจสอบ เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้อย่างสะดวกรวดเร็วและมีเป้าหมายเด่นชัด

จ) การรายงานผล เป็นขั้นตอนของการแก้ไขจัดทำรายงานให้สมบูรณ์ รวมถึงการประยุกต์ผลงานให้ตรงตามเป้าหมาย ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการแก้ไขแผนที่ข้อมูลให้ถูกต้องเสียก่อน ในกรณีที่เป้าหมายของงานเป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากการแปลภาพ อาจจะต้องนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ต่อไป ข้อมูลที่ศึกษาได้จากภาพโทรสัมผัสจัดเป็นข้อมูลปฐมภูมิ ดังนั้นการวิเคราะห์และรายงานผลจึงไม่แตกต่างไปจากการทำรายงานโดยทั่วไป แต่เนื่องจากรายละเอียดของข้อมูลที่ได้มีขอบเขตจำกัดด้วยสมรรถนะของภาพซึ่งได้แก่ รายละเอียดของภาพ ชนิดของภาพ วิธีการที่ใช้ในการแปลภาพ ปริมาณงานและขอบเขตของการตรวจสอบความถูกต้องในการแปลภาพ เป็นต้น ดังนั้นการเขียนรายงานจึงควรเน้นและระบุไว้อย่างเด่นชัดสำหรับผู้ที่ให้นำผลงานไปใช้ต่อไป ผลงานการแปลภาพจะปรากฏเป็นแผนที่แสดงข้อมูลเป็นหลักใหญ่ ซึ่งเป็นการแสดงถึงลักษณะการกระจายตัวทั้งชนิดและปริมาณของข้อมูลเช่นเดียวกับการทำแผนที่โดยทั่วไป

4.6 การวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์

4.6.1 ข้อมูลดาวเทียมเชิงตัวเลข (Digital Image Data)

ข้อมูลพื้นผิวโลกที่ได้จากการถ่ายภาพของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร เช่น LANDSAT, SPOT และ MOS-1 แล้วส่งมายังสถานีรับภาคพื้นดินนั้นมิใช่ภาพโดยตรง หากแต่เป็นสัญญาณภาพหรือข้อมูลภาพ (image data) จากนั้นสถานีรับภาคพื้นดินจึงผลิตข้อมูลออกในรูปของฟิล์มและเทปซึ่งเรียกว่า “เทป ซี.ซี.ที. (Computer Compatible Tape, CCT)” ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกอยู่ในเทป ซี.ซี.ที. บันทึกเป็นค่าตัวเลข ซึ่งจะสามารถนำไปวิเคราะห์และประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ส่วนสำคัญของข้อมูลดาวเทียมเชิงตัวเลข ได้แก่

ก) โครงสร้างของภาพ(Image Structure) โดยปกติเทป ซี.ซี.ที. บรรจุข้อมูลเชิงตัวเลขทั้งภาพ(full scene) และทุกช่วงคลื่นที่ถ่ายภาพเช่น ข้อมูลระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT มี 4 ช่วงคลื่น(แบนด์) ภาพหนึ่งๆครอบคลุมพื้นที่ 185 X 185 ตารางกิโลเมตร แต่ละแบนด์ของข้อมูลดาวเทียมเชิงตัวเลขประกอบไปด้วยจุดภาพ (picture element หรือ pixel) ขนาดเท่าๆกัน เรียงตัวกันเป็นแถวตลอดแนวการกวาดภาพของกระจก เป็น 1 บรรทัด (scanline หรือ line) แนวกวาดหนึ่งๆ ประกอบด้วยจุดภาพประมาณ 3,200 จุดภาพ และทั้งภาพมีข้อมูล 2,340 บรรทัดภาพ (รูป 4.6.1) 1 จุดภาพของข้อมูลระบบ MSS มีความละเอียดของภาพ (resolution) 80 เมตร

ข) ค่าความเข้มสีเทา (Gray-scale intensity value) ข้อมูลภาพจริงๆ คือ ความสว่าง (brightness) ของแต่ละจุดภาพ ซึ่งแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุ สำหรับข้อมูลเชิงตัวเลขที่ใช้แทนความสว่างของแต่ละจุดภาพนั้นมีค่าตั้งแต่ 0-63 (64 ระดับ), 0-127 (128 ระดับ) หรือ 0-255 (256 ระดับ) โดย 0 แทนสีดำ และค่าตัวเลขเหล่านี้สูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีความสว่างมากขึ้น ซึ่งค่าสูงสุดคือ 63, 127 หรือ 255 แทนสีขาว ค่าตัวเลขซึ่งแตกต่างกันระหว่างสีดำจนถึงสีขาวนี้เรียกว่า “ค่าความเข้มสีเทา” หนังสือบางเล่มเรียกค่าตัวเลขนี้ว่า “Digital Number (DN)”

รูป 4.6.1 ตัวอย่างโครงสร้างของภาพข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS (กันยา ทิษยากร, 2532)

การที่ค่าความสว่างสูงสุดของข้อมูลมีหลายค่า (63, 127 หรือ 255) เนื่องจากในการผลิตเทป ซี.ซี.ที. นั้น มักกำหนดให้ค่าความสว่างสูงสุดของข้อมูลแตกต่างกันไป เมื่อมีขบวนการผลิตที่แตกต่างกันเช่น ข้อมูลดิบ(raw) มีค่าความเข้มสีเทาของข้อมูลระหว่าง 0-63 ส่วนข้อมูลที่ผ่านขบวนการแก้ไขแบบมีระบบหรือ“system” มีค่าความเข้มสีเทาของข้อมูลระหว่าง 0-127 สำหรับข้อมูลที่ผ่านขบวนการแก้ไขแบบแม่นยำหรือ“precision” มีค่าความเข้มสีเทาของข้อมูลระหว่าง 0-255

ค) ปริมาณข้อมูล ข้อมูลระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT แบบด์หนึ่งๆ จะมีปริมาณข้อมูลเท่ากับ 3,200 จุดภาพ X 2,340 บรรทัดภาพ หรือประมาณ 7.5 ล้านจุดภาพ ต่อ 1 แบบด์ ดังนั้นข้อมูลระบบ MSS 4 แบบด์ จะมีปริมาณข้อมูลประมาณ 30 ล้านจุดภาพ (หรือ 30 Mbyte) ส่วนข้อมูลระบบ TM ของดาวเทียม LANDSAT ซึ่งถ่ายภาพใน 7 ช่วงคลื่น มีรายละเอียดของภาพ 30 เมตร จะให้จำนวนจุดภาพในหนึ่งแนวของการกวาดภาพของกระจกถึง 6,120 จุดภาพ และ 1 ภาพ จะมีข้อมูล 5,728 บรรทัด ดังนั้นข้อมูลระบบ TM ชนิด Bulk Full Scene แบบด์หนึ่งๆ จะมีปริมาณถึง 6,120 จุดภาพ X 5,728 บรรทัดภาพ หรือประมาณ 35 ล้านจุดภาพต่อแบบด์ (หรือประมาณ 245 ล้านจุดภาพต่อ 7 แบบด์) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล MSS แล้ว TM จะมีปริมาณข้อมูลมากกว่าถึง 8 เท่า ดังนั้นในการนำข้อมูลระบบ TM มาวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบที่ใช้อยู่จะต้องมีหน่วยเก็บข้อมูลจากแม่เหล็กขนาดใหญ่พอสมควร

ดังนั้นการบันทึกข้อมูล TM ที่ความหนาแน่น 6250 BPI จะช่วยให้ใช้เทปในการบันทึกข้อมูลน้อยลงคือ สิ้นเปลืองน้อยลง และการผลิตข้อมูลเฉพาะส่วนแบบ “Quadrant” (1/4 ภาพ) และแบบ “Geocoded” (มีขนาดเท่ากับ 4 Map Sheets สำหรับข้อมูลทั้งภาพจะตกประมาณ 30 Map Sheets) จะช่วยให้ปริมาณข้อมูลลดน้อยลง ซึ่งผู้จะใช้จะสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม

ง) ขนาดจุดภาพ ขนาดจุดภาพมีขนาดไม่เท่ากันในแต่ละระบบการถ่ายภาพ โดยขนาดจุดภาพจะเล็กลงเมื่อมีรายละเอียดของภาพดีขึ้น และขนาดของจุดภาพนี้ใช้สำหรับคำนวณพื้นที่จุดภาพด้วยเช่น ข้อมูลระบบ MSS ปกติมีขนาด 57 X 79 ตารางเมตร แต่เมื่อผ่านการแก้ไขเชิงเรขาคณิตเพื่อให้สอดคล้องกับแผนที่ 1:50,000 แล้วจะมีขนาด 50 X 50 ตารางเมตร ซึ่งไม่ว่าจุดภาพมีขนาด 59 X 79 ตารางเมตร หรือ 50 X 50 ตารางเมตร แต่รายละเอียดของภาพก็ยังคงเป็น 80 เมตร, สำหรับข้อมูลระบบ TM ปกติมีขนาด 30 X 30 ตารางเมตรแต่เมื่อผ่านการแก้ไขเชิงเรขาคณิตแล้วมีขนาด 25 X 25 ตารางเมตร ก็ยังคงมีรายละเอียดของภาพถ่าย 30 เมตรเท่าเดิม, สำหรับดาวเทียม SPOT ใช้ข้อมูลในระบบ MSS มีขนาด 20 X 20 ตารางเมตร และในระบบ Panchromatic มีขนาด 10 X 10 ตารางเมตร ส่วนดาวเทียม MOS-1 ที่ใช้ข้อมูลในระบบ MESSR มีขนาด 50 X 50 ตารางเมตร

4.6.2 การสร้างข้อมูลภาพตัวเลข (Digital Image Processing Method)

การสร้างข้อมูลภาพตัวเลข สามารถแยกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก) การสร้างภาพกลับคืน (Image Restoration) บางครั้งเรียกว่า “Cosmetic Process” เป็นการปรุงแต่งข้อมูลโดยการหาและชดเชย หรือแก้ไขความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (data errors) คลื่นรบกวน (noise) และความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (geometric distortion) ที่เกิดขึ้นในขบวนการกวาดภาพและส่งข้อมูลอื่นเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ในเครื่องกวาดรับข้อมูล มุมแสดงอาทิตย์ที่ต่างกันและการแตกกระจายของการแพร่สนามแม่เหล็กในบรรยากาศ เพื่อสร้างภาพให้มีความถูกต้องตามความเป็นจริง โดยมักทำแยกกันไปแต่ละแบนด์ และจำเป็นต้องทำก่อนขบวนการอื่นใด ขบวนการที่สำคัญคือ

(1) การซ่อมข้อมูลหาย (Drop-outs repair) เป็นการตรวจแก้ข้อมูลที่หายไป สืบเนื่องมาจากการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพไม่สมบูรณ์หรือเสีย ทำให้ค่าตัวเลขความสว่างของข้อมูลเป็นศูนย์หมด การแก้ไขทำได้โดยเติมค่าของบรรทัดที่ขาดหายไป ด้วยค่าเฉลี่ยของบรรทัดที่อยู่เหนือและใต้บรรทัดที่หายไป

(2) ระยะเคลื่อนจากการกวาด (Scanline offset) เกิดจากการเลื่อนตำแหน่งของแนวกวาดขณะบันทึกข้อมูล มีผลให้ตำแหน่งภาพเมื่อเทียบกับแนวกวาดอื่น ๆ เลื่อนไป จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขให้กลับมาอยู่ในตำแหน่งที่ควรจะเป็น

(3) การแก้ค่าบรรยากาศ (Atmospheric correction) เป็นการตรวจแก้ข้อมูลอื่นเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ซึ่งมักกระทำกับแบนด์ที่มีความยาวคลื่นสั้นเช่น แบนด์ 4 และ 5 ในระบบ MSS เนื่องจากในช่วงคลื่นสั้นทำให้เกิดการกระจัดกระจายเมื่อกระทบละอองน้ำในบรรยากาศ มีผลคล้ายกับ ปรากฏการณ์ของการถ่ายภาพเมื่อมีหมอกแดดคลุมอยู่เหนือภูมิประเทศ โดยมากการแก้เรขาคณิตภาพจากแบนด์ 7 เป็นหลัก เพราะมีช่วงความยาวคลื่นยาวจึงไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว

การปรับแก้ในส่วนของการ Dropouts repair, Scanline offset และ Atmospheric correction รวมเรียกว่า “Radiometric correction” หรือการแก้ระดับสีเทา

(4) การแก้ไขเรขาคณิต(Geometric correction) เป็นการแก้ไขความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตที่เกิดจากความโค้งผิวโลก ความเร็วของโลก ในการหมุนรอบตัวเอง และความบกพร่องของอุปกรณ์รับสัญญาณ มีสาเหตุของความผิดพลาด 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (รูป 4.6.2)

- ความเพี้ยนอย่างเป็นระบบ(Nonsystematic distortion) เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นไม่แน่นอนเช่น ความผิดพลาดสืบเนื่องมาจากดาวเทียม คือ การทรงตัวและความสูงของดาวเทียม (altitude and attitude) อัตราการเคลื่อนที่ของดาวเทียม รวมทั้งความผิดพลาดที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก (earth rotation)

- ความเพี้ยนอย่างเป็นระบบ(Systematic distortion) เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างคงที่เช่น ความผิดพลาดจากการกวาดภาพ (scanner distortion) ความเอียงในการกวาดภาพ (scan skew) และความเร็วการกวาดแกว่งของกระจก (mirror velocity)

ซึ่งการแก้ไขโดยปกติมักอ้างอิงกับสิ่งที่เป็มาตรฐานเช่น แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000(ของกรมแผนที่ทหาร) จากนั้นจึงทำการเลือกจุดพิกัดหรือที่เรียกว่า “Ground Control Point (GCP)” ที่เห็นเด่นชัดทั้งบนภาพดาวเทียมและแผนที่ภูมิประเทศ เช่นจากโค้งถนนหนึ่งไปยังอีกโค้งหนึ่งหรือจากวัดหนึ่งไปสู่อีกวัดหนึ่งใกล้ๆ ค่า GCP เหล่านี้ ช่วยในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดในแผนที่ภูมิประเทศ(ละติจูดและลองจิจูด) และค่าพิกัดจากภาพดาวเทียม(line-pixel) ที่เรียกว่า “Mapping Function” สำหรับใช้ในการปรับแก้ภาพดาวเทียมให้มีความถูกต้องต่อไป

ข) การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) เป็นขบวนการปรับปรุงค่าระดับ สีเทาของข้อมูลที่เราสนใจ เพื่อให้ภาพเหล่านั้นดูชัดเจนยิ่งขึ้น โดยปกติขบวนการต่างๆ ในขั้นนี้จะทำให้ค่าระดับสีเทาของข้อมูลที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมากดังนั้นในการทำต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม และเลือกทำทีละแบบแยกจากกัน การปรับปรุงภาพมีหลายวิธีที่สำคัญมีดังนี้

(1) การเน้นความแตกต่าง(Contrast enhancement) เป็นการปรับแต่งความเข้มของภาพ โดยยัดให้ภาพเชิงตัวเลขเดิมที่เกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงความเข้มแคบๆ ให้กระจายออกกว้างขึ้น เป็นผลให้ได้ภาพที่มีความเข้มดีขึ้น การยัดค่าเชิงคณิตศาสตร์นี้ สามารถกระทำได้หลายวิธีเช่น

- การยัดเชิงเส้น(Linear contrast stretch) เป็นการขยายพิสัย(range)ของค่าความเข้มเดิมให้มีค่ามากขึ้นจนเต็มช่วง 0-255 (จุดปลาย หรือ end point) เช่นการขยายค่าความเข้มเดิม จาก 10-120 เป็น 0-255(จุดปลาย) ดูตาราง 4.6.1

รูป 4.6.2 รูปแบบความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตของภาพจากดาวเทียม LANDSAT (Bernstein & Ferneyhough, 1975)

ตาราง 4.6.1 หลักของ binary code โดยใช้ระบบตัวเลข 8 bits (จาก Whateley, 1995)

- การยืดเชิงแผนภูมิแท่ง(Histogram equalization stretch) เป็น non-linear contrast stretch จุดประสงค์ในการใช้วิธีนี้คือ พยายามเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่ปกติให้เป็นแบบปกติ และลดความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืดให้น้อยลง

- Piecewise stretch เป็นการขยายพิสัยของค่าความเข้มเดิม โดยการแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ช่วง และในแต่ละช่วงจะขยายให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 โดยที่จุดปลาย(end points) ของแต่ละช่วงจะเป็นค่าใดๆ ก็ได้ตามที่ต้องการเช่น แบ่งการขยายค่าความเข้มเดิมจาก 10-120 ให้เป็น 0-255(จุดปลาย) ดังนี้

10 - 60	เป็น	0 - 100 (จุดปลาย)
61 - 100	เป็น	101 - 220 (จุดปลาย) หรือ
101 - 120	เป็น	221 - 255 (จุดปลาย)

(2) การแบ่งระดับความเข้ม(Density slice) เป็นขบวนการที่แปลงค่าความเข้มของภาพที่เกิดในลักษณะต่อเนื่องเข้าเป็นกลุ่มๆ ทำให้เกิดการจำแนกหรือแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบหยาบกว่าข้อมูลเดิม แต่ทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์เพราะเหลือจำนวนของประเภทข้อมูลน้อยลง ในแต่ละช่วงที่แบ่งออกนี้ อาจแทนด้วยค่าตัวเลขตัวหนึ่ง อักษรตัวหนึ่งหรือสีใดสีหนึ่งแล้วแต่ชนิดของอุปกรณ์และความประสงค์ของผู้ใช้

(3) การเน้นขอบความเข้ม(Edge enhancement) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เน้นให้ความแตกต่างของระดับสีเทาของข้อมูลให้ชัดเจนขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของจุดภาพโดยการเปรียบเทียบกับจุดภาพข้างเคียง โดยแสดงออกในลักษณะสัญลักษณ์

(4) การกรองข้อมูลเชิงระยะเวลาและทิศทาง(Spatial and directional filtering) เป็นวิธีที่กรองข้อมูล โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า “filtering” มีหลายวิธีเช่น

- Low-pass filter (LPF) เป็นการสร้างภาพใหม่ โดยที่ค่าความเข้ม ในแต่ละจุดภาพของข้อมูลภาพใหม่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มเดิมโดยรอบจุดภาพนั้น จำนวน $n \times m$ จุดภาพ ค่า n และ m จะต้องเป็นเลขคู่เสมอ เช่น 3×3 , 3×101 , 5×7 เป็นต้น ขนาด $n \times m$ นี้เรียกว่า “BOXCAR”

- High-pass filter (HPF) เป็นการสร้างภาพใหม่ โดยการเอาค่าความเข้มที่ได้ในแต่ละจุดภาพของ LPF ไปลบออกจากค่าความเข้มเดิม (original)

$$HPF = \text{Original} - LPF$$

(5) การต่อภาพ(Digital mosaics) เป็นวิธีที่ใช้สร้างภาพต่อของข้อมูลดาวเทียม โดยลดหรือขจัดความแตกต่างระหว่างกรอบภาพที่อยู่ประชิดกัน ไม่ให้มีความเข้มแตกต่างกัน แล้วรวมข้อมูลทั้งสองเข้าด้วยกันโดยแปลงให้เข้ากับจุดควบคุม หลังจากนั้นก็จัดจุดภาพที่ซ้ำซ้อนกันออกไปให้เหลือเพียงชุดเดียว แล้วทำการยืดค่าความเข้มพร้อมกันทั้งหมด ทำให้ค่าความเข้มของภาพสม่ำเสมอดี

ค) การดึงเอาข้อมูลมาใช้ (Information Extraction) เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อจำแนกความแตกต่างของข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ จาก 2 ขั้นตอนแรกที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลแต่ละแบนด์ให้ถูกต้องหรือดียิ่งขึ้น ซึ่งผลที่ได้รับจะช่วยให้การมองและช่วยประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูล แต่ในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่เรานำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตัดสินใจและจำแนกความแตกต่างของข้อมูลให้เด่นชัดยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลตั้งแต่ 2 แบนด์ขึ้นไปมาประกอบกัน ขบวนการที่สำคัญได้แก่

(1) การหาอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (Ratio image) เป็นการจำแนกความแตกต่างของข้อมูล โดยการนำค่าความเข้มของแบนด์หนึ่งมาหารกับค่าความเข้มของอีกแบนด์หนึ่ง ในแต่ละจุดภาพที่ตรงกันเช่น $4/5$, $4/6$, $5/7$, ฯลฯ มีประโยชน์ เช่น

- แสดงความแตกต่างของค่าความเข้มได้เด่นชัดขึ้นเช่น โดยปกติพืชจะสะท้อนแสงมากในช่วงคลื่นอินฟราเรด (แบนด์ 6 และ 7 ของระบบ MSS) ดังนั้นอัตราส่วนใดก็ตามที่หารด้วยแบนด์ 6 หรือ 7 จะทำให้พืชมีค่าความเข้มมากยิ่งขึ้น หรือในแบนด์ 4 และ 5 พืช จะออกสีน้ำตาล ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างแบนด์ 4 ต่อแบนด์ 5 จะทำให้พืชออกสีสว่าง (สีขาว)

- ลดความแตกต่างของค่าความเข้มของข้อมูลหน้าเขาและหลังเขา (ส่วนที่รับแสงกับเงา)

- ทำให้เห็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาเด่นชัดขึ้น ที่นักสำรวจควรพิจารณา เช่น อัตราส่วนระหว่างแบนด์ 5 ต่อแบนด์ 6 และแบนด์ 5 ต่อแบนด์ 7

อัตราส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ “ค่าต่างหารค่าบวก” หรือ “difference over sum” เช่น อัตราส่วนระหว่าง $5-7/5+7$ ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่าดัชนีพืช (Vegetation Index หรือ VI) เป็นอัตราส่วนที่นิยมใช้มากในการศึกษาถึงความเป็นพืช

(2) การจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) สามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- การจำแนกไม่ชำนาญพื้นที่ (Unsupervised classification) โดยมากมักใช้กับพื้นที่ที่เราไม่รู้จักสภาพพื้นที่เลย วิธีการจำแนกเรียกว่าการรวมกลุ่ม (“Clustering”) เป็นการจำแนกโดยอาศัยสมบัติของค่าสถิติของพื้นที่นั้นๆ แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ขยายอาณาบริเวณนั้นออกไปเรื่อยๆ จนขยายต่อไปอีกไม่ได้

- การจำแนกชำนาญพื้นที่ (Supervised classification) เป็นวิธีการจำแนกที่ผู้วิจัยต้องมีความรู้เกี่ยวกับพื้นที่ที่ทำการศึกษาเช่น รู้ว่าประเภทข้อมูลที่จะทำการจำแนกนั้น มีกี่ประเภท อะไรบ้าง การจำแนกอาศัยค่าเชิงสถิติมาช่วยในการจำแนก ค่าสถิติที่สำคัญได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของแต่ละประเภทข้อมูล ซึ่งโดยปกติค่าสถิติเหล่านี้หาได้จากการเลือกประเภทข้อมูลตัวอย่าง (training area) วิธีการที่นิยมใช้คือ Parallelepiped classification, Minimum distance classification และ Maximum likelihood classification

4.6.3 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม

ขั้นตอนการประมวลผลนี้มีรายละเอียดคล้ายคลึงกับการสร้างข้อมูลภาพตัวเลข(Digital Image Processing Method) โดยที่ในปัจจุบันมีแหล่งที่มาของข้อมูลดาวเทียมมากมาย (ตาราง 4.6.3) แต่ในขั้นตอนนี้จะกล่าวในแง่ของการลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติก่อนหรือหลัง อาจแบ่งกว้างๆตามลักษณะการทำงานเป็น 4 ขั้นตอน(รูป 4.6.3)

ก) การเตรียมข้อมูลเบื้องต้น(Data Preparation)

(1) การเลือกแบนด์และจำนวนแบนด์(Band selection) จากการที่ค่าความเข้มของวัตถุในแต่ละแบนด์ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์และจำนวนแบนด์ที่เหมาะสม จะช่วยให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องและใช้เวลาคอมพิวเตอร์ไม่มากเช่น การศึกษาด้านการใช้ที่ดิน ปกติใช้ 3 หรือ 4 แบนด์เช่น แบนด์ 2, 3 และ 4 หรือแบนด์ 2, 3, 4 และ 5 สำหรับข้อมูลระบบ TM เป็นต้น

(2) การแสดงภาพ(Image display) เป็นการเรียกข้อมูลจากเทป ซี.ซี.ที. ซึ่งอยู่ในรูปของตัวเลขมาแสดงเป็นภาพ ปัจจุบันการแสดงผลสามารถแสดงผลออกมาทางจอโทรทัศน์ (video display) โดยการเปลี่ยนค่าตัวเลขในแต่ละช่วงมาเป็นค่าความเข้มของแสง เป็นภาพขาว-ดำ ได้พร้อมกัน 3 แบนด์ และเมื่อให้ความเข้มของแสงเป็นสีต่างๆ กัน (สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน)ในแต่ละแบนด์ แล้วนำมาซ้อนเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดภาพสีผสม(color composite)ขึ้น(ดูตาราง 4.6.2) สำหรับภาพสีผสมที่นิยมใช้คือ ภาพสีผสมเสริมจ(false-color composite) ซึ่งพืชพรรณจะมีสีออกสีแดง

ตาราง 4.6.2 สีผสมที่ใช้กับภาพดาวเทียม LANDSAT MSS แบนด์ต่างๆ

ตาราง 4.6.3 แหล่งที่สามารถหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภาพจากดาวเทียม (Whateley, 1995)

รูป 4.6.3 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล ตั้งแต่นำเข้า CCT จนถึงได้แผนที่ หรือภาพพิมพ์และ ข้อมูล CCT ใหม่ (กันชา พิทยากร, 2532)

(3) การสร้างแผนภูมิแท่ง(Histogram) สำหรับดูการกระจายของข้อมูล รูป 4.6.4 แสดงตัวอย่างการกระจายของข้อมูลระบบ TM แบนด์ 4 ซึ่งโดยปกติช่วงคลื่นแบนด์ 4 (อินฟราเรด) จะแสดงความแตกต่างระหว่างน้ำและแผ่นดินได้อย่างชัดเจน จากแผนภูมิแท่งสามารถบอกให้ทราบว่า ค่าต่ำสุดคือ 3 ค่าสูงสุดคือ 134 โดยที่ค่าระหว่าง 3-19 คือ น้ำและค่าระหว่าง 20-134 คือ แผ่นดิน นอกจากนี้ยังคำนวณค่าสถิติอื่นๆ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation), ค่ากึ่งกลาง (median), และค่าที่เกิดซ้ำมากที่สุด (mode) ซึ่งค่าเหล่านี้ช่วยผู้วิจัยในการทำงานขั้นต่อไป

ข) การปรับปรุงข้อมูลก่อนการวิเคราะห์(Pre-processing Enhancement) เป็นขบวนการเบื้องต้นที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีเปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องสูง ขบวนการต่างๆนี้คล้ายกับที่ได้กล่าวข้างต้นในหัวข้อนี้ กล่าวคือประกอบด้วย (1) การแก้ระดับสีเทา(Radiometric correction), (2) การแก้เชิงเรขาคณิต(Geometric correction),

(3) การปรับปรุงภาพ(Image enhancement)ซึ่ง Image enhancement นี้เป็นการเน้นประเภทข้อมูลที่สนใจ ขึ้นอยู่กับชนิดของการประมวลผลข้อมูลในสาขาต่างๆ เช่น การเอาระดับสีเทาของจุดภาพข้างเคียงมาลบกันเพื่อเน้นอาณาเขตของข้อมูลประเภทเดียวกัน การยืดค่าสีเทา การปรับค่าสีเทาโดยแทนด้วยสัญลักษณ์ ตัวอักษร หรือสีที่ต่างกัน เป็นต้น รูป 4.6.5 แสดงตัวอย่างแผนภูมิแท่งก่อนและหลังการยืดค่าสีเทา

(4) การปรับแก้ภาพซ้อน(Image registration) เป็นการซ้อนภาพจากดาวเทียมต่างดวงกัน หรือข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันแต่ต่างระยะเวลากัน โดยอาศัยกระบวนการแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิตและให้จุดพิกัดที่แน่นอน(ground control point)ของแต่ละภาพซ้อนกันมากที่สุด ซึ่งประโยชน์นี้คือ ทำให้นักสำรวจสามารถศึกษาความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ละเอียดมากขึ้น

(5) การเทียบเคียงภาพ(Image correlation) โดยอาศัยความรู้เชิงสถิติช่วยในการแยกประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนกให้มีความแตกต่างเชิงสถิติมากขึ้น (statistical separability) ซึ่งช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้นว่า การประมวลผลโดยละเอียดในขั้นตอนถัดไปนั้นจะทำได้หรือไม่

ค) กระบวนการวิเคราะห์ และจำแนกประเภทข้อมูลเชิงสถิติ(Statistical Analysis and Classification Process) มีองค์ประกอบดังนี้

(1) การกดข้อมูล(Data compression) ในการวิเคราะห์ข้อมูลหลายช่วงคลื่นเช่นข้อมูลระบบ MSS ซึ่งมี 4 ช่วงคลื่น หรือแทนในระนาบเป็นสี่มิติ สิ่งสำคัญคือทำอย่างไรจึงสามารถเลือกมิติที่ถูกต้องและให้ความสำคัญของข้อมูลที่วิเคราะห์มากที่สุดได้ ซึ่งเรียกว่า “image transformation” เช่น Principle Component ที่ต้องใช้เวลาคอมพิวเตอร์เป็นอย่างมาก ฉะนั้นจึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก

(2) การจำแนกประเภทข้อมูล(Classification) ซึ่งในขั้นนี้นักสำรวจเป็นผู้รู้จักคุ้นเคยกับพื้นที่ที่อยู่แล้ว จึงอธิบายเฉพาะการจำแนกจำนวนพื้นที่ โดยมีขั้นตอนการทำงานโดยย่อๆ ดังนี้ คือ

รูป 4.6.4 ตัวอย่างการกระจายของข้อมูล และแผนภูมิแท่งของข้อมูลระบบ TM แบบนค้ 4 (กันชา
ทิสยากร, 2532)

รูป 4.6.5 แผนภูมิแท่งข้อมูลเดิมเปรียบเทียบกับแผนภูมิแท่งข้อมูลที่ได้รับการขัดค่าสีเทา (กันชา ทิศากร, 2532)

ก. การเลือกประเภทข้อมูลตัวอย่าง (training area) โดยการลากกรอบขนาดเล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยม หรือรูปใด ๆ ซึ่งเรียกว่า “training area” ลงบนพื้นที่ที่เราทราบแน่ชัดว่าเป็นประเภทข้อมูลอะไร เช่น ผาหินน้ำใส น้ำขุ่น ป่า นาข้าว เป็นต้น (รูป4.6.6) สำหรับเป็นตัวแทนของประเภทข้อมูลที่ต้องการศึกษา โดยอาจเลือกข้อมูลตัวอย่าง(training area) มากกว่า 1 แห่งก็ได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีที่สุด จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าสถิติของแต่ละประเภทข้อมูลตัวอย่าง สำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง และใช้งานต่อไป

ข. การวิเคราะห์ค่าสถิติ ค่าสถิติที่สำคัญได้แก่ ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, covariance matrix และ/หรือ correlation matrix (รูป4.6.6) นอกจากนี้ยังมีกราฟหรือแผนภูมิแท่ง ซึ่งช่วยประกอบการวิเคราะห์ค่าสถิติได้ ดังตัวอย่างในรูป 4.6.7 และ 4.6.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของประเภทข้อมูลตัวอย่างแต่ละประเภทระหว่าง 2 แบนด์ ซึ่งช่วยบอกการซ้อนทับของข้อมูล(overlap)ได้ และหากมีการซ้อนทับของข้อมูลมากก็ต้องรวมเป็นประเภทข้อมูลเดียวกัน

ค. การจำแนกประเภท(ข้อมูล) ค่าสถิติที่ได้ปรับปรุงแก้ไขจนเป็นที่พอใจถูกนำมาใช้ในการจำแนกประเภท(ข้อมูล)ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยปกติผลจากการจำแนกประเภทข้อมูลในครั้งแรกนี้อาจมีความ ผิดพลาดอยู่บ้าง ซึ่งนักสำรวจหรือนักธรณีวิทยาควรตรวจสอบความถูกต้องในภาคสนาม(ground truth)เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับสภาพพื้นที่จริง แล้วทำการแก้ไขผลการจำแนก โดยการปรับแก้ ข้อมูลตัวอย่างหรือเลือกข้อมูลตัวอย่างใหม่ จนกว่าจะได้ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าพอใจ

ง. การแต่งข้อมูลหลังจำแนกประเภท(Post-processing) บางครั้งเรียกว่า “smoothing” มีความจำเป็นเนื่องจากเกิดความไม่ต่อเนื่องของจุดภาพตัวอย่างเช่น เส้นถนน ขอบเขตหิน ขอบพื้นที่เพาะปลูก เป็นต้น หรือเป็นการปรับแต่งข้อมูลโดยการปรับจุดภาพข้างเคียงที่อยู่ภายใต้สภาวะเดียวกันให้เป็นประเภทเดียวกัน เพื่อสะดวกในการทำแผนที่ไม่ให้มีความละเอียดของข้อมูลมากเกินไป

4.7 การประยุกต์ภาพจากดาวเทียมด้านธรณีวิทยา

ข้อนี้ นับว่าเป็นหัวใจสำคัญของบทที่นักสำรวจควรให้ความสำคัญ ภาพจากดาวเทียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาและสำรวจธรณีวิทยา ธรณีสัณฐาน ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2515 โดยนำภาพจากดาวเทียมมาใช้ควบคู่กับภาพถ่ายทางอากาศเพื่อช่วยในการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยา พื้นฐานของบริเวณต่างๆ การศึกษาลักษณะและสภาพของพื้นผิวโลก(ธรณีสัณฐานวิทยา)อาจหาได้จาก Gaetz และคณะ(1983) และ Peters(1987)การสำรวจศึกษาเพื่อทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของหินชนิดต่างๆ(ธรณีวิทยา)รวมทั้งโครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของหินต่างๆ(ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2538) และการสำรวจหาแหล่งแร่(Nash และคณะ, 1980) และแหล่งทรัพยากรธรรมชาติเช่น ถ่านหิน น้ำมัน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน หนังสือที่ดีเกี่ยวกับโทษสัณสัถทางธรณีวิทยา ได้แก่ Drury (1987, และ Drury (1993) ในแง่การสำรวจแร่ ภาพจาก

ดาวเทียมนอกจากจะช่วยในเรื่องให้ข้อมูลการทำแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณกว้างจนถึงรายละเอียด เนื่องจากมีความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเป็นช่วงกว้าง

รูป 4.6.6 ข้อมูลตัวอย่าง (training area) แต่ละประเภทข้อมูลในพื้นที่บางประกง
(กันยา ทิสยากร, 2532)

รูป 4.6.7 ตัวอย่างค่าสถิติข้อมูลตัวอย่าง (กันยา ทิสยากร, 2532)

รูป 4.6.8 ความสัมพันธ์ของข้อมูลตัวอย่าง แต่ละประเภทข้อมูลที่เรียกว่า “Multidimensional Scaling; MDS) (กันยา ทิสิกกร, 2532)

(ดูรูป 4.7.1)แล้วยังช่วยตรวจหาบริเวณที่มีการเปลี่ยนสภาพด้วยน้ำยาร้อน(hydrothermal alteration area) ซึ่งเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่(ดูรูป 4.7.2) นอกจากนั้นยังช่วยในเรื่องการตรวจหาแนวรอยแตกทั้งในมาตราส่วนขนาดใหญ่ และมาตราส่วนขนาดเล็ก ที่นักสำรวจส่วนใหญ่เชื่อว่าเป็นตัวควบคุมการเกิดแร่มากที่สุด(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 9)

4.7.1 ภาพจากดาวเทียมสำหรับงานสำรวจทางธรณีวิทยา

เนื่องจากภาพที่บันทึกจากดาวเทียมแต่ละภาพครอบคลุมพื้นที่กว้างเช่น ภาพจากดาวเทียม LANDSAT ครอบคลุมพื้นที่ 185 X 185 ตารางกิโลเมตร ภาพจากดาวเทียม SPOT ครอบคลุมพื้นที่ 60 X 60 ตารางกิโลเมตร และภาพจากดาวเทียม MOS-1 ครอบคลุมพื้นที่ 100 X 90 ตารางกิโลเมตร จึงเป็นประโยชน์สำหรับงานสำรวจธรณีวิทยาและแหล่งแร่บริเวณกว้างได้มาก เพราะโครงสร้างทางธรณีและธรณีสัณฐานขนาดใหญ่มักปรากฏให้เห็นทั้งหมดในภาพเดียวกัน ช่วยให้การศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ของโครงสร้างเหล่านี้สะดวกขึ้น ซึ่งแต่เดิมต้องเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายสูงเพื่อให้เห็นโครงสร้างต่างๆ เหล่านี้ได้ในเวลาเดียวกันในแง่การสำรวจ ภาพจากดาวเทียมนอกจากจะช่วยในเรื่องให้ข้อมูลการทำแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณกว้างจนถึงรายละเอียด เนื่องจากมีความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเป็นช่วงกว้าง(ดูรูป 4.7.1)แล้ว ยังช่วยตรวจหาบริเวณที่มีการเปลี่ยนสภาพด้วยน้ำยาร้อน(hydrothermal alteration area) ซึ่งเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่(ดูรูป 4.7.2) นอกจากนั้นยังช่วยให้เรื่องการตรวจหาแนวรอยแตกทั้งในมาตราส่วนขนาดใหญ่และมาตราส่วนขนาดเล็ก ที่นักสำรวจส่วนใหญ่เชื่อว่าเป็นตัวควบคุมการเกิดแร่มากที่สุด (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 9) ภาพจากดาวเทียมจึงช่วยให้นักธรณีวิทยาได้เห็นข้อมูลต่างๆเพิ่มขึ้น และมีความถูกต้องมากกว่าเดิม ข้อมูลที่แต่ปรากฏให้เห็นได้เด่นชัดบนภาพจากดาวเทียมเช่นแนวเส้นโครงสร้าง(lineament)และโครงสร้างรูปโค้ง(circular feature) เป็นต้น นอกจากนั้นภาพจากดาวเทียม SPOT ยังสามารถให้ภาพสามมิติได้ซึ่งช่วยให้การแปลภาพทำได้ถูกต้องรวดเร็วมากขึ้นเป็นประโยชน์ต่อการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่และธรณีสัณฐานวิทยาได้มากยิ่งขึ้นด้วย

4.7.2 แนวทางการแปลความหมายภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับงานสำรวจทางธรณีวิทยา

การแปลความหมายภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับการสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาต้องอาศัยวิธีการอ่านข้อมูลพื้นฐานที่เห็นได้โดยตรงเช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะของทางน้ำ ลักษณะการใช้ที่ดิน ตลอดจนสีและโทนภาพ มาประมวลร่วมกันแล้วแปลความหมายทางด้านธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานอีกขั้นหนึ่ง การแปลความหมายจึงต้องอาศัยความเข้าใจอย่างดีถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพื้นฐานกับความหมายทางธรณีวิทยา ผู้แปลต้องมีความรู้ในด้านธรณีวิทยาดีเพียงพอ ต้องเข้าใจถึงขั้นตอนการแปลภาพ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และการสังเกตที่ดี และรู้จักการกำหนดเป้าหมายของการแปลภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ปรากฏให้เห็นในภาพมากที่สุด แล้วจึงนำมาประมวลสรุปเป็นข้อมูลด้านธรณีวิทยา 1:1,000,000, 1:500,000, 1:250,000 หรือ 1:50,000 ซึ่งได้แก่ ภาพขาวดำ หรือภาพสีผสม

รูป 4.7.1 ข้อมูลการถ่ายซ้ำ และความละเอียดของดาวเทียมบางดวง (Whatetey, 1995)

รูป 4.7.2 รูปแบบการสะท้อนของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มองเห็นและ IR(หรือInfrared) แสดงถึงรูปแบบการสะท้อนของดินที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ในบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนสภาพโดยน้ำขังร้อน เมื่อเทียบกับพื้นที่เขียว (คัดแปลงจาก Settle และคณะ, 1984)

ซึ่งเป็นภาพที่ผลิตให้ใช้อยู่ในปัจจุบัน และการแปลภาพโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการเน้นข้อมูลที่ต้องการศึกษาให้เด่นชัดยิ่งขึ้น เพื่อสะดวกในการแปลภาพ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการ Enhancement ตามวิธีการต่าง ๆ

4.7.3 แนวทางการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับงานสำรวจธรณีวิทยา

การที่ภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละภาพครอบคลุมพื้นที่ค่อนข้างกว้างทำให้มองเห็นข้อมูลในเวลาเดียวกันเป็นบริเวณกว้างขวาง จึงง่ายต่อการเข้าใจความหมายในด้านธรณีวิทยา การสำรวจหาแหล่งแร่ ภูมิลักษณะ และ ธรณีแปรสัณฐานที่มีขนาดใหญ่ๆ ได้อย่างดี นอกจากนั้นการบันทึกภาพโดยวิธีแยกช่วงคลื่นออกเป็นแบนด์ต่างๆ ทั้งในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและคลื่นอินฟราเรด และการบันทึกภาพทุก 16, 26 และ 17 วัน จากดาวเทียม LANDSAT, SPOT และ MOS-1 ตามลำดับ ช่วยให้ทราบข้อมูลในช่วงฤดูกาลต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะข้อมูลด้านอุทกวิทยา สำหรับแนวทางการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการสำรวจธรณีวิทยาและงานที่มีผู้เคยทำมีดังต่อไปนี้

ก) งานสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยา (Geological Mapping) แสดงถึงการกระจายตัวของหินชนิดต่างๆ ตลอดจนโครงสร้างแสดงความสัมพันธ์ของชั้นหินต่างๆ ภาพจากดาวเทียมแสดงให้เห็นขอบเขตของหินได้ชัดเจน ภาพจากดาวเทียมให้ข้อมูลอย่างมากมาต่อพัฒนาการทำแผนที่ธรณีวิทยาทั้งในบริเวณที่เคยมีคนทำแผนที่ก่อนหน้านี้แล้ว(known-mapped area) เช่น ประเทศไทย หรือ บริเวณที่ไม่มีข้อมูลธรณีวิทยาอยู่เดิม(unknown-mapped area) เช่น ประเทศพม่า, ลาว, และกัมพูชา (ดู Bender, 1983, ESCAP, 1994) ดังนั้นประเทศในโลกที่สามจึงสามารถผลิตแผนที่ธรณีวิทยาได้โดยอาศัยข้อมูลภาพจากดาวเทียมโดยไม่จำเป็นต้องออกภาคสนามเพื่อทำแผนที่ทั้งหมดเนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายที่แพง ในปัจจุบันประเทศพัฒนาแล้วในโลกเมื่อเริ่มต้นศึกษาธรณีวิทยابริเวณกว้างในพื้นที่หนึ่ง ส่วนใหญ่เริ่มต้นด้วยการแปลภาพจากดาวเทียม แล้ววิ่งตามด้วยการออกภาคสนามเพื่อสำรวจธรณีวิทยาเบื้องต้น (reconnaissance survey) เพื่อตรวจหาพื้นที่ที่น่าสนใจ ดังนั้นแผนที่ที่สร้างขึ้นจึงกำหนดบริเวณที่มีความน่าสนใจเรื่องการสำรวจแหล่งแร่ได้(defining exploration target zones) ต่อมาจึงเริ่มทำการถ่ายภาพทางอากาศโดยละเอียดและออกภาคสนามเพื่อเลือกทำรายละเอียดเป็นจุดๆ สืบไป แหล่งแร่พื้นผิวเกิดกับที่มีเปลือกปน เช่น แหล่งแร่เกรอะกรัง(gossans)ซึ่งวางตัวเหนือบริเวณให้แร่ที่อยู่ระดับลึกลงไปถูกกำหนดได้จากภาพสีผสมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแบนด์ได้(enhanced false-colour ratio composites, ดูหัวข้อ 4.6.2)ซึ่งไม่สามารถตรวจจับได้ในภาพจากดาวเทียมทั่วไป(Whateley, 1995)เช่นที่ศึกษาบริเวณแหล่งทองแดงลายดอก Silver Bell (ดู Abrams และคณะ, 1984) โดยการทำแผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพหิน(alteration map)

ในการวิเคราะห์ธรณีวิทยابริเวณกว้างภาพจากดาวเทียมที่เลือกใช้ควรเป็นแบบที่มีมุมแสงอาทิตย์ต่ำ(low-sun angle) ซึ่งในแถบประเทศหนาวได้แก่ฤดูใบไม้ร่วงจนถึงฤดูใบไม้ผลิ ทำให้สามารถเน้นลักษณะภูมิประเทศได้ดี การวิเคราะห์แนวเส้นโครงสร้าง(lineaments) ด้วยสายตาทำได้ดีและรวดเร็วในภาพพิมพ์ ต่อจากนั้นจึงทำการบันทึกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ทิส และความ

หนาแน่นของแนวเส้น โดยการทำแผนภูมิดอกกุหลาบ(rose diagram) การศึกษาภาพจากดาวเทียม การศึกษาภาพจากดาวเทียมที่แหล่งทองแดงลายดอก Helvetia ในรัฐโอริโซนา อเมริกา แนวเส้น 3 แนว สอดคล้องกับเหตุการณ์การเปลี่ยนสถาบัน หินในยุคพรีแคมเบรียน ยุคพาโลโอโซอิก และยุค Laramide (Abrams และคณะ, 1984)

แนวเส้นที่เห็นได้ชัดที่สุดจากภาพดาวเทียมคือรอยเลื่อน รอยแตก และแนวรอยแตกโค้ง เมื่อใช้สถิติวิเคราะห์ทำให้เราได้ทราบถึงรูปแบบแห่งแรง(stress pattern)ได้ง่าย ซึ่งนำไปสู่แหล่งแร่ใต้ดินที่มองไม่เห็น แนวเส้นหลัก เช่น ที่ขนานกับเส้นรุ้งที่ 38 ของอเมริกา เชื่อกันว่าเป็นแหล่งที่หินอัคนีมีการแทรกคืบขึ้นมามากและเอาน้ำแร่(mineralizing fluids)เข้ามาด้วย(Heyl, 1972) ในบริเวณที่เป็นโซนอ่อนตัวของเปลือกโลก เพราะเป็นบริเวณที่มีรอยเลื่อนและโครงสร้างฐานลึก(deep-seated basement structure) ในหลายแห่งพบว่าจุดที่มีการตัดกันของแนวเส้นเป็นบริเวณที่ให้แหล่งแร่มากที่สุด(ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2539, 2540) ขอบเขตของหินอัคนีซึ่งแทรกตัวเข้ามาและโผล่ให้เห็นที่ผิวโลก จากการศึกษาขอบเขตหินอัคนีบริเวณภาคตะวันตกและตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศ โดยการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศและภาพจากดาวเทียม แสดงให้เห็นขอบเขตของหินอัคนีได้ชัดเจน แต่การแปลข้อมูลจากภาพดาวเทียมทำได้รวดเร็วกว่ามาก(ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2539, 2540) นอกจากนี้ยังพบว่าขอบเขตของหินปูนที่โผล่ให้เห็นเป็นบริเวณกว้างสามารถเห็นชัดเจนบนภาพจากดาวเทียม (ทิวา ศุภจรรยา, 2526)

การศึกษาแผนที่ธรณีวิทยาในบริเวณซึ่งเป็นที่ราบ หรือบริเวณที่มีความสูง ต่างระดับไม่มากนัก (low relief area) ภาพจากดาวเทียมสามารถให้ข้อมูลได้ดี โดยเฉพาะการเลือกศึกษาจากภาพบันทึกภายหลังจากฤดูฝน (Supajanya, 1981) สำหรับในบริเวณที่มีความต่างระดับมาก (high relief area) เช่น บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย ก็สามารถศึกษาภาพจากดาวเทียมโดยการผสมดิซิงค์ใช้แบนด์ 7, 5 และ 4 ศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะแนวเลื่อนต่างๆ และทำแผนที่ธรณีวิทยาได้ (สมพงษ์ จันท์มี และคณะ, 2524, ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2541)

ในการทดลองศึกษาข้อมูลด้านธรณีวิทยาจากภาพจากดาวเทียมบริเวณแอ่งที่ราบโคราชภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่า การทำแผนที่โครงสร้างทางธรณีในบริเวณซึ่งมีการทับถมตัวของตะกอนยุคเทอร์เทียร์ ที่ประกอบด้วยหินดินดานและหินทราย โดยใช้ภาพจาก ดาวเทียมแบนด์ 7 ที่บันทึกหลังฤดูฝนสามารถเห็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้ชัดเจนได้แก่ ลักษณะของ plastic folding และ gravel-petrified wood bed เป็นต้น (Supajanya, 1981)

ผลการศึกษาเรื่อง “การแปลภาพโทรสัมผัส เพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยาบบริเวณจังหวัดขอนแก่น และข้างเคียง” โดย Hokjaroen (1986) แสดงให้เห็นชัดเจนว่าสามารถใช้การแปลความหมายจากภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่องานทำแผนที่ธรณีวิทยาได้ทั้งการจำแนกลักษณะฐานธรณีวิทยา รูปแบบของทางน้ำ หน่วยหินและโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ นอกจากนี้ยังช่วยให้หาความสัมพันธ์ของโครงสร้างทางธรณีวิทยากับลักษณะของหมวดหินมหาสารคามและชุดหินที่มีอายุอ่อนกว่าได้ รวมทั้งการประยุกต์ข้อมูลบางอย่างที่ศึกษาได้จากภาพดาวเทียมเช่น แนวการแพร่กระจายของ

แหล่งกรวดและลูกกรัง รูปแบบจากรอยแตกของเนื้อหิน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการสำรวจหาแหล่งวัสดุก่อสร้าง และแหล่งน้ำบาดาลได้อีกด้วย (สมยศ สกเจริญ และหล้า อาจวิชัย, 2529)

ข) งานสำรวจด้านธรณีสัณฐาน (Geomorphological Studies) ในปัจจุบันได้ มุ่งทำการสำรวจในระดับกว้างๆ เช่น การสำรวจระดับประเทศหรือระดับทวีป โดยการนำภาพมา ต่อกันเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งช่วยให้การศึกษามีความต่อเนื่อง สามารถศึกษาในลักษณะเชิงเปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น ซึ่งแต่เดิมการศึกษามักมุ่งแต่ในรายละเอียดหรือจำกัดเฉพาะบริเวณ ภาพจากดาวเทียมช่วยให้การประสานข้อมูลต่างๆ เหล่านี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์ของภาพจากดาวเทียมในด้านนี้เช่น การศึกษาสภาพภูมิประเทศในทะเลทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปแบบและการกระจายตัวของสันทรายในทะเลทรายต่าง ๆ ทั่วโลก (Mc Kee, 1979)

การศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ของลักษณะภูมิประเทศกับโครงสร้างทางธรณีนับเป็นก้าวสำคัญในการศึกษาธรณีสัณฐาน ภาพจากดาวเทียมช่วยให้เห็นข้อมูลอย่างกว้างๆ ได้เด่นชัดขึ้นเช่น สภาพภูมิประเทศกับแนวเลื่อนขนาดใหญ่ซึ่งหลายส่วนยังเป็นรอยเลื่อนมีพลังและมีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวด้วย (คูปญญา จารุศิริ และคณะ, 2541) การนำภาพจากดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจธรณีสัณฐานในประเทศไทย มีหลายลักษณะเช่น การสำรวจเพื่อหาประสิทธิภาพการทำแผนที่บริเวณกว้าง (Regional Mapping) ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ อภิสัทรี เอี่ยมหน่อ และเอิบ เขียวรินทร์ (2524) ได้แสดงให้เห็นว่าภาพจากดาวเทียมสามารถนำมาทำแผนที่แบ่งหน่วยพื้นที่ดินตามหลักสากลเป็นอย่างดี

ผ่องศรี วานาสิน และทิวา สุภจรรยา (2523) ได้ศึกษาแนวชายฝั่งทะเลเดิมในบริเวณที่ราบเจ้าพระยาตอนล่าง โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมผสมผสานกับข้อมูลที่ได้จากแผนที่ภูมิประเทศ ช่วยลากแนวชายฝั่งซึ่งมีข้อมูลถูกต้องเพียงพอกับการศึกษาหาความสัมพันธ์ของแนว ชายฝั่งทะเล กับเมืองโบราณบนแนวชายฝั่งทะเลได้อย่างเหมาะสม

การศึกษาถึงรูปแบบและการกระจายของสันทรายที่เกิดจากการทำงานของลมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า ข้อมูลภาพจากดาวเทียมแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของสันทรายในภูมิภาคนี้ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำชีและมูล สันฐานดังกล่าวเกิดจากการทำงานของลมในช่วงฤดูแล้ง (ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) ซึ่งพัดผ่านภูมิภาคนี้ประจำ ได้พัดพาเอาตะกอนที่เกิดจากการทับถมของที่ราบลุ่มน้ำ (flood plain) มาสะสมบริเวณฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของลำน้ำอีกครั้งหนึ่ง บริเวณที่ได้รับอิทธิพลของลมนี้มีความยาวมากกว่า 100 กิโลเมตร (ทิวา สุภจรรยา และสมยศ สกเจริญ 2526) นอกจากนี้การใช้ภาพจากดาวเทียมแบนด์ 5 และ 7 ศึกษา ลักษณะภูมิประเทศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถแบ่งพื้นที่ที่ออกได้เป็นบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล ที่ราบลุ่มแม่น้ำ ที่เนินลูกฟูก และเขตภูเขา ซึ่งทำได้อย่างรวดเร็วและได้ผลดีกว่าการใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 และ 1:250,000 (เกียรติ จิวกุล, 2523) นอกจากนี้ยังใช้ภาพจากดาวเทียม ศึกษาสภาพภูมิประเทศในจังหวัดภาคใต้ เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์กับชุมชนโบราณ พบว่า สามารถ

นำมาแสดงให้เห็นสภาพแนวชายฝั่งทะเลเดิม ตลอดจนเส้นทางข้ามคาบสมุทรได้เป็นอย่างดี (ทิวา สุขจรยา, 2525)

ค) การสำรวจทรัพยากรธรณี(Mineral Resource Investigation) โดยทั่วไปทรัพยากรธรณีมักอยู่ใต้ดินหรืออยู่ในเขตบริเวณภูเขา การนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาสำรวจแหล่งแร่เป็นเพียงการศึกษาข้อมูลสภาพแวดล้อมที่สัมพันธ์กับการเกิดแร่เท่านั้น เป้าหมายของการสำรวจก็เพื่อกำหนดบริเวณที่น่าจะพบแหล่งแร่ โดยอาศัยสภาพแวดล้อมทางธรณีของแหล่งแร่เป็นเกณฑ์ แล้วจึงทำการสำรวจในรายละเอียดด้วยวิธีการอื่นตั้งแต่การสำรวจบนภาคพื้นดินไปจนถึงการเจาะสำรวจ การใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อการสำรวจแหล่งทรัพยากรธรณีในขั้นนี้สามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

(1) การทำแผนที่พื้นฐานเพื่อการสำรวจทรัพยากรธรณี ทรัพยากรธรณีแต่ละชนิดมีธรรมชาติการกำเนิดและลักษณะของการสะสมตัวโดยเฉพาะของตัวเอง ขึ้นอยู่กับชนิดของหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมกับการเกิดแร่ชนิดนั้นหรือกลุ่มแร่นั้น (Heidecker & Supajanya, 1981) ภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วยให้สามารถทำแผนที่อย่างกว้าง ๆ เพื่อแสดงหินและโครงสร้างดังกล่าวได้

(2) การทำแผนที่เพื่อวิเคราะห์หาแนวเส้นโครงสร้าง(lineaments) Circular Structure, Fracture traces และ fault traces แผนที่แสดงแนวเส้นโครงสร้างนี้มีประโยชน์ที่นำไปใช้พิจารณาทั้งในด้านโครงสร้างทางธรณีวิทยาและแสดงการพัฒนาในด้านการแปรสัณฐานเปลือกโลก(Crustal Tectonic) ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังช่วยใน การสำรวจและกำหนดแหล่งแร่ชนิดที่ต้องอาศัย แนวอ่อนตัว (weakzone) ในเปลือกโลกซึ่งเป็นช่องทางให้แหล่งแร่เกิดการสะสมตัว สุจิตร์ พิตรากุล และคณะ (2525) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของแหล่งแร่กับ Lineament ในบริเวณแอ่งเชียงใหม่ Jantaraniipa และคณะ (1980, 1981) ได้ศึกษาแนวเส้นโครงสร้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเพื่อหาศักยภาพของแหล่งแร่

การศึกษาแหล่งทรัพยากรธรณีจากภาพถ่ายดาวเทียมอาศัยความรู้จากสภาพแวดล้อมของแหล่งแร่และข้อมูลทางธรณีวิทยาร่วมกัน พิจารณากำหนดบริเวณที่น่าจะพบแหล่งแร่มากที่สุด ในการศึกษาข้อมูลของแต่ละบริเวณจึงมีสภาพแตกต่างกัน การเลียนแบบและวิธีการเป็นเพียงแนวทางหนึ่งในด้านเทคโนโลยี แต่ในการตัดสินใจและการศึกษาให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษา และกำหนดแนวทางขึ้นใช้เฉพาะในแต่ละบริเวณ และถ้าสนับสนุนให้มีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางและเอาใจจริงเอา จัง ซึ่งเชื่อว่าจะได้ผลอย่างดี เพราะสภาพทางธรณีวิทยาของ ประเทศไทยเป็นบริเวณที่มีแร่อุดมสมบูรณ์ และมีอยู่หลายชนิดซึ่งน่าจะสำรวจหาทางนำมาใช้ประโยชน์เพื่อพัฒนาประเทศต่อไป

4.8 การประยุกต์ภาพถ่ายดาวเทียมด้านการใช้ที่ดิน

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อการจัดทำแผนที่แสดงการใช้ที่ดินในประเทศไทยเริ่มขึ้นตั้งแต่มีการส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของสหรัฐอเมริกาเมื่อปี พ.ศ.2516 ปัจจุบันได้ยอมรับว่า หลักวิชาการศึกษาดังกล่าวมีประโยชน์ และให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการทำแผนที่การใช้ที่ดินในเชิงปฏิบัติการ ควบคู่ไปกับวิธีการที่ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและการเดินสำรวจ

ในท้องที่ แม้ว่าในระยะแรกของวิวัฒนาการด้านโทรสัมผัสจะมีปัญหาและอุปสรรคเกี่ยวกับบุคลากร การถ่ายทอดเทคโนโลยี ตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัยไม่เพียงพอ แต่ด้วยความสนับสนุนและส่งเสริมจากรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม และจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการศึกษาวิจัย ทำให้การใช้ประโยชน์จากภาพจากดาวเทียมมีมากขึ้น และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าแต่ก่อน

1) ทรัพยากรที่ดินและปัญหาการใช้ที่ดิน

ที่ดิน เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ายิ่งต่อมวลมนุษย์ มีความสัมพันธ์กับการดำรงชีพของมนุษย์ สัตว์ และพืช เนื่องจากทรัพยากรที่ดินนำมาซึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์อื่น ได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค ที่ดินจึงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมนานาชาติ โดยเฉพาะประเทศที่มีการพัฒนาน้อยและประเทศที่กำลังพัฒนาทั้งหลายในโลก ทรัพยากรที่ดินเป็นทรัพยากรที่จำกัดไม่สามารถหามาทดแทนได้ และไม่สามารถหามาเพิ่มเติมให้เพียงพอแก่ความต้องการในการผลิตเครื่องอุปโภคบริโภคเพื่อบำบัดความต้องการของประชากรในประเทศที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ได้ การเพิ่มประชากรของโลกส่วนใหญ่ร้อยละ 90 เพิ่มขึ้นในประเทศในเขตร้อนของโลกหรือประเทศที่พัฒนาน้อยทั้งหลาย จึงเกิดปัญหาว่า จิตความสามารถของการผลิตปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของมนุษย์ในอนาคตจะเพียงพอหรือไม่

ปัญหาที่เกี่ยวข้องต่อมาคือ การทำลายทรัพยากรซึ่งได้แก่ ป่าไม้ และทรัพยากรสิ้นเปลืองอื่นๆ ให้หมดไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าการตัดไม้ทำลายป่ายังคงดำเนินอย่างรวดเร็วด้วยอัตราเช่นนี้ ป่าไม้ก็คงจะหมดไปภายในไม่กี่สิบปีข้างหน้า จากการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำการเกษตรกรรมหรือเพื่อทำไร่เลื่อนลอย ทำให้ธาตุอาหารในดินจะเพียงพอต่อการปลูกพืชให้ได้ผลดีภายในระยะเวลา 2-3 ปี ถ้าหากบริเวณดังกล่าวถูกปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนเป็นเวลานานหลายปี ก็จะมีดินไม่อุดมขึ้นมาใหม่บนพื้นที่ดินนั้น กลายเป็นสภาพป่าเหมือนเดิมได้อีก แต่กระบวนการดังกล่าวมักกินเวลานานหลายสิบปี ซึ่งตามความเป็นจริงในปัจจุบันเหตุการณ์เช่นนี้ไม่มีโอกาสเกิดขึ้นได้เลยในเมื่อประชากรยังเพิ่มขึ้นและมีความต้องการที่ทำมาหากินเพื่อจะผลิตอาหารให้เพียงพอ

สำหรับประเทศไทยและประเทศที่กำลังพัฒนาอื่น จะต้องผลิตอาหารจากการเกษตรในประเทศที่เพียงพอสำหรับประชากร จึงจะช่วยทำให้ประเทศมีความมั่นคงขึ้นได้โดยไม่ต้องสั่งอาหารนำเข้าจากต่างประเทศ ถ้าหากว่าปัญหาการผลิตไม่ได้รับการยอมรับและแก้ไข ปัญหาความยากจนก็จะขยายตัวออกไปมากขึ้นจนอาจเป็นสิ่งร้ายแรงเกินการแก้ไข ประชากรมากกว่าสองในสามเป็นเกษตรกรและมีจำนวนมากที่ยากจน มีที่ดินของตนเองเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย คนยากจนก็จะต้องตัดไม้ทำลายป่าต่อไปอย่างรวดเร็วมากขึ้นทุกปี การเพิ่มผลผลิตมีอยู่ทางเดียวเท่านั้นคือ ต้องใช้ที่ดินเพื่อให้เกิดผลผลิตสูงที่สุดต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย และให้สามารถใช้ได้ตลอดไปโดยมุ่งใช้แต่เพียงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก และเพิ่มศักยภาพการผลิตด้วยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การใช้ที่ดินโดยทั่วไปจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและท้องถิ่น ดังนั้นการวางแผนที่แสดงขอบเขต การใช้ที่ดินที่ถูกต้อง และให้ทันต่อเหตุการณ์เพื่อการวางแผนการผลิตทำได้ค่อนข้างลำบาก เพราะต้องใช้เวลานานกว่าแผนที่จะถึงมือ

ผู้ใช้หรือนักวางแผนก็เข้าเกินไป เพราะสภาพการใช้ที่ดินเปลี่ยนไปแล้ว ดังนั้นเพื่อให้แผนที่ที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อสำรวจและผลิตแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกต้องและรวดเร็ว

2) การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล

หลังจากมนุษย์สามารถเดินทางขึ้นไปยังอวกาศได้ วิทยาการด้านอวกาศได้ก้าวหน้าขึ้นทุกปี จนกระทั่งมนุษย์สามารถใช้ประโยชน์จากดาวเทียมที่ส่งขึ้นไปโคจรรอบโลกและดาวเคราะห์อื่น ประโยชน์เริ่มแรกที่สำคัญคือ ดาวเทียมสื่อสาร สำหรับการให้บริการถ่ายทอดโทรทัศน์ วิทยุ โทรศัพท์ และไปรษณีย์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ต่อมาจึงมีการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลด้วยดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ซึ่งการสำรวจลักษณะนี้มีใช้กันมากสำหรับกิจการทหาร ต่อมาจึงนำมาใช้ในกิจการพลเรือนด้วย ข้อมูลหรือภาพถ่ายบนผิวโลกมีคุณค่ามากในการทำแผนที่บริเวณห่างไกล ก้นดาร์ และการค้นพบสิ่งใหม่ๆ เช่น ทะเลสาบ เกาะ แนวปะการังใหม่ เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้รับอย่างกว้างขวางมากที่สุดจากข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรคือ ด้านเกษตรกรรม ภาพถ่ายจากดาวเทียมสามารถนำมาศึกษาเกี่ยวกับการเพาะปลูก พืชพรรณ และการคาดคะเนผลผลิตซึ่งนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง ลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีประโยชน์มากคือ การถ่ายภาพหรือบันทึกข้อมูลบริเวณกว้าง ในปัจจุบันความถี่ของการบันทึกข้อมูลมีตั้งแต่ 8-16 วัน มีระบบการบันทึกที่สำคัญได้แก่ ระบบ Multispectral scanner (MSS) ซึ่งเป็นการบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น ตั้งแต่ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และอินฟราเรด ทำให้ผู้ใช้สามารถศึกษาความแตกต่างของวัตถุได้ถูกต้องมากกว่าการบันทึกช่วงกว้าง ๆ เพียงช่วงเดียวดังเช่น การถ่ายภาพทางอากาศ นอกจากนี้ยังมีระบบ Thematic Mapper (TM) ที่ได้ปรับปรุงให้บันทึกข้อมูลได้ละเอียดขึ้นกว่าเดิม และแบ่งช่วงการบันทึกออกเป็นหลายช่วงคลื่นที่มากกว่าเดิม ซึ่งจะให้ข้อมูลได้หลายลักษณะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้งานขึ้น

ปัจจุบันการใช้ดาวเทียมเพื่อสำรวจทรัพยากรธรรมชาติได้มีการพัฒนาขึ้นมาก และสามารถถ่ายภาพที่มีรายละเอียดสูงขึ้นเช่น ดาวเทียมของรัสเซีย สามารถถ่ายภาพที่มีรายละเอียดของภาพขนาด 5 เมตร ดาวเทียม SPOT สามารถถ่ายภาพที่มีรายละเอียดของภาพ 10 เมตร (ในระบบขาวดำ) และ 20 เมตร (ในระบบสี) ดาวเทียม MOS-1 สามารถถ่ายภาพที่มีรายละเอียดของภาพ 30 เมตร เป็นต้น ในอนาคตแต่ละประเทศก็ยังมีโครงการที่จะส่งดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพมากกว่าในปัจจุบันขึ้นโคจรรอบโลกอีก ทั้งนี้เพื่อที่จะพัฒนาระบบการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของโลกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อประโยชน์ในการจัดการ และการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติทั้งโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงการประหยัดทางด้านค่าใช้จ่าย กำลังคน เวลา และความถูกต้องของข้อมูล

3) การประยุกต์ภาพจากดาวเทียมด้านการใช้ที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดินได้เล็งเห็นประโยชน์ของข้อมูลดาวเทียมดังที่ได้กล่าวมา จึงได้มีโครงการศึกษา และวิเคราะห์การใช้ที่ดินจากภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่อจะพิสูจน์วิทยการด้าน โทรมัผัสว่า มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการสำรวจสภาพการใช้ที่ดิน และสามารถนำผลการวิเคราะห์มาปรับแผนที่สภาพ

การใช้ที่ดินได้ ซึ่งแต่เดิมการทำแผนที่ทำโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ และการสำรวจข้อมูลภาคสนามควบคู่กันไป ซึ่งกว่าจะจัดทำแผนที่ได้ต้องใช้เวลาเป็นปีหรือหลายปี จึงทำให้แผนที่นั้นมีประโยชน์น้อยมาก เพราะเป็นข้อมูลเก่า มีอาจนำมาใช้ในการตัดสินใจในการแก้ปัญหา หรือวางแผนพัฒนาใดๆ ได้

การศึกษาและทำแผนที่การใช้ที่ดินจากภาพถ่ายจากดาวเทียม เริ่มจากการนำ ภาพถ่ายจากดาวเทียมชนิดขาวดำ ซึ่งบันทึกจากระบบ MSS มาตรฐาน 1:500,000 และ 1:250,000 ภาพสีผสม (Diazochrome) มาตรฐาน 1:1,000,000 มาวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยสายตา เพื่อจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ หลักการวิเคราะห์ภาพใช้หลักการเดียวกันกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศคือ อาศัยลักษณะต่างๆ ที่พอสังเกตได้เช่น ความแตกต่างของสี (tone contrast of colours) ขนาดและรูปร่าง (size and shape) ความหยาบละเอียดของภาพ (texture) รูปแบบต่างๆ (pattern) เงา (shadow) ตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะพื้นที่ (location and association) เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้แผนที่ภูมิประเทศประกอบกับการตรวจสอบสภาพในท้องที่จริงบางจุด เพื่อเพิ่มผลการวิเคราะห์ให้ถูกต้องมากขึ้น หลังจากนั้นจึงจัดทำเป็นแผนที่ต่อไป

จากการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างไม่หยุดยั้ง ก่อให้เกิดความก้าวหน้าในการใช้ภาพจากดาวเทียมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีบทบาทในการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมมากขึ้น ซึ่งช่วยให้เกิดความถูกต้องในการวิเคราะห์ได้มากกว่าการวิเคราะห์ด้วยสายตา และช่วยให้เกิดความรวดเร็วมากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า การวิเคราะห์การใช้ที่ดินโดยใช้คอมพิวเตอร์ ทำได้โดยนำข้อมูลจากดาวเทียมที่บันทึกไว้ในเทปแม่เหล็กที่เรียกว่า “Computer Compatible Tape, CCT” มาผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวเลข ซึ่งการวิเคราะห์แบบนี้ต้องใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาจำแนกข้อมูล โดยใช้ “software” ที่เขียนขึ้นสำหรับการวิเคราะห์โดยเฉพาะ เมื่อจำแนกผลการใช้ที่ดินแล้วคอมพิวเตอร์ยังสามารถพิมพ์ผลการวิเคราะห์เป็นภาพสี และยังสามารถมาตรฐานของภาพพิมพ์หรือแผนที่เฉพาะกิจได้อีกด้วย มาตรฐานของภาพที่ใช้แสดงผลการวิเคราะห์โดยทั่วไปคือ 1:50,000 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกันกับมาตรฐานแผนที่ภูมิประเทศ หากต้องการแสดงผลอย่างละเอียดและเด่นชัด จะกำหนดให้มีมาตรฐานใหญ่กว่านี้ได้

ผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ สามารถจำแนกสภาพการใช้ที่ดินได้อย่างเด่นชัด โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. เขตชุมชน
2. พื้นที่ปลูกพืชสวน
3. พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น
4. พื้นที่ปลูกพืชไร่
5. พื้นที่ปลูกนาข้าว
6. พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
7. พื้นที่ป่าไม้สมบูรณ์

8. พื้นที่ป่าเสื่อมโทรม
9. พื้นที่สวนป่า
10. พื้นที่ป่าพรุ
11. พื้นที่ลุ่มน้ำขัง
12. พื้นที่ที่ทิ้งร้าง
13. พื้นที่เหมืองแร่
14. พื้นที่แหล่งน้ำ

ในบางกลุ่มของการใช้ที่ดินยังสามารถจำแนกเป็นกลุ่มย่อยได้อีกเช่น พื้นที่ปลูกนาข้าว แบ่งเป็นพื้นที่ทำนาในเขตชลประทาน และพื้นที่ทำนาอาศัยน้ำฝน เป็นต้น

แม้ว่าการศึกษาการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม โดยเฉพาะข้อมูลที่ดินจากระบบ MSS จะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการสำรวจทรัพยากร แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างเช่น คุณภาพของข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่าง และขนาด (Spatial resolution) จะด้อยกว่าคุณภาพข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ การบันทึกข้อมูลได้รับผลกระทบกระเทือนจากสภาพดินฟ้าอากาศได้เช่น บันทึกข้อมูลได้ไม่ดีพอเมื่อมีเมฆมาก ระบบมีความยุ่งยากกว่าระบบภาพถ่ายธรรมดา และค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบันทึก ก่อนข้างสูง เป็นผลให้การได้ข้อมูลมาใช้ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง แต่เมื่อคำนึงถึงประโยชน์ที่ได้รับแล้วก็นับว่าคุ้มค่า

4.9 การประยุกต์ใช้ภาพจากดาวเทียมด้านสมุทรศาสตร์

ทะเลและมหาสมุทรมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลจะต้องคำนึงถึงลักษณะดังกล่าว พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำรวจได้ จึงเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับเวลาและตำแหน่งของการสำรวจ ความต่อเนื่องและการเคลื่อนไหวของมวลน้ำและมวลอากาศ ทำให้การวิเคราะห์ การทำความเข้าใจปรากฏการณ์ต่างๆ ในทะเลต้องอาศัยภาพมองที่ครอบคลุมอาณาบริเวณกว้าง

ก่อนที่เทคโนโลยีของระบบโทรสัมผัสจะพัฒนาขึ้นมา การสำรวจทางสมุทรศาสตร์ ใช้วิธีออกเรือเพื่อเก็บข้อมูลต่างๆ ต้องกำหนดสถานที่สำรวจหลายๆ สถานีในที่ต่างๆ กัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมอาณาบริเวณกว้าง ในทางอุดมคติแล้วต้องเก็บข้อมูลการสำรวจของทุกๆ สถานีในเวลาเดียวกัน หมายความว่าต้องใช้กำลังคน เรือสำรวจ และงบประมาณมหาศาล แต่ในทางปฏิบัติโดยส่วนมากจะมีเรือสำรวจเพียงลำเดียววิ่งเก็บข้อมูลไปที่ละสถานีสำรวจ ดังนั้นจึงไม่มีโอกาสที่จะได้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างในเวลาเดียวกันได้เลย

วิวัฒนาการของระบบโทรสัมผัส นับเป็นความหวังใหม่ของการศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ในปี พ.ศ.2521 สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมสำรวจ SEASAT ขึ้นสู่อวกาศ ดาวเทียม SEASAT นับเป็นดาวเทียมดวงแรกที่สร้างขึ้นมาเพื่อการสำรวจสมุทรศาสตร์โดยเฉพาะ อุปกรณ์สำรวจบน ดาวเทียม SEASAT ส่วนมากมีย่านความถี่ในช่วงไมโครเวฟเพื่อเป็นการแก้ปัญหาเมฆบดบังทะเลที่ต้องการสำรวจ ซึ่งทะเลมักมีเมฆปกคลุมอยู่กว่า 60% ตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จาก

SEASAT ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล คลื่น และระดับน้ำทะเล เป็นต้น แต่ดาวเทียมดวงนี้มีอายุเพียง 3 เดือน เนื่องจากเกิดการขัดข้องของเครื่องมือ

ในปีเดียวกันนั่นเอง สหรัฐฯ ได้เริ่มโครงการดาวเทียมชุด NIMBUS ซึ่งติดตั้งระบบที่ใช้วัดสีของน้ำทะเล (Coastal Zone Colour Scanner, CZCS) ไว้ด้วย ข้อมูลจากดาวเทียมชุดนี้ทำให้เห็นภาพมุมกว้างของมหาสมุทรด้วยขนาด spatial resolution น้อยกว่า 1 กิโลเมตร พัฒนาการของระบบโทรสัมผัสยังคงพัฒนาต่อไป และส่วนหนึ่งของพัฒนาการดังกล่าวอุทิศให้กับการศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเล อุปกรณ์สำรวจอีกหลายประเภท ดาวเทียมอีกหลายชุด ได้รับการออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการสำรวจทางทะเล

1) การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

มหาสมุทรและทะเลปกคลุมผิวโลกอยู่ประมาณร้อยละ 75 เป็นแหล่งทรัพยากรอาหารอันสมบูรณ์ เป็นแหล่งวัตถุดิบ แหล่งพลังงาน เป็นเส้นทางคมนาคม และยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวอีกด้วย การที่จะเก็บเกี่ยวประโยชน์จากทะเลให้ได้มาก และยังรักษาให้ทะเลเป็นแหล่งทรัพยากรของมนุษย์ได้อย่างสมบูรณ์นั้น ความรู้ความเข้าใจทะเลเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง วิทยาศาสตร์ทางทะเลเป็นศาสตร์ที่ศึกษาธรรมชาติของทะเล เพื่อเข้าใจทะเล และให้ทะเลทรงคุณค่าอยู่คู่กับโลกตลอดไป การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลจำแนกได้เป็น 4 สาขาดังนี้

ก) การศึกษาสมบัติทางชีวภาพของชีวิตในทะเล ความเข้าใจระบบชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในทะเล ทำให้เราเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างชีวิตทะเลนานาชนิด รู้ว่าการดำรงอยู่ของแต่ละชนิดเอื้อประโยชน์ให้แก่ชีวิตชนิดอื่น ๆ ได้อย่างไร การสูญหายไปของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งจะส่งผลถึงสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นหรือไม่ ความรู้เหล่านี้ยังช่วยให้มนุษย์สามารถกำหนดขนาด ระยะเวลาการทำประมงเพื่อให้เหมาะสมกับวงจรชีวิตของสัตว์ทะเล ทำให้รู้แม้กระทั่งวิธีการนำสัตว์ทะเลมาเพาะเลี้ยงในพื้นที่ อันจำกัดได้ การควบคุมของมนุษย์ได้

ข) การศึกษาสมบัติทางเคมีของทะเล สิ่งแรกที่จะต้องรู้คือ องค์ประกอบของ น้ำทะเลในสภาวะต่าง ๆ ถ้าต้องการคาดการณ์ว่าจะเกิดอะไรขึ้นเมื่อองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ในทะเลเปลี่ยนแปลง สิ่งที่ต้องเข้าใจให้มากที่สุดคือ ความเข้าใจในปฏิกิริยาเคมีของสารต่าง ๆ เพื่อจะอธิบายวงจรชีวิตของสารเคมีแต่ละชนิดในสภาวะต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

ค) การศึกษาสมบัติทางธรณีวิทยาของทะเล ความเข้าใจโครงสร้างทางธรณีของท้องทะเล ช่วยอธิบายสาเหตุการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์แผ่นดินไหวในหลายบริเวณของโลก การศึกษาการไหลและการตกสะสมของตะกอนทำให้เข้าใจการก่อตัวของ พื้นที่ท้องทะเล นอกจากนี้การสำรวจลักษณะทางธรณิดังกล่าวยังบอกให้ทราบถึงบริเวณที่เป็นแหล่งทรัพยากรธรณีใต้ทะเลได้

ง) การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของทะเล เนื่องจากน้ำทะเลมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นรูปของคลื่น กระแสน้ำ หรือน้ำขึ้นน้ำลง ความเข้าใจสาเหตุของการเคลื่อนไหวเหล่านี้ ทำให้เราสามารถทำนายการเคลื่อนไหวได้ล่วงหน้า ทำให้สามารถป้องกันภัยพิบัติต่าง ๆ ที่ทะเล

ก่อให้เกิดแก่นุญช์ ทราบขอบเขตการแพร่กระจายของมลพิษในทะเล และทราบการเคลื่อนย้ายที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตในทะเลอีกด้วย

2) บทบาทของระบบโทรสัมผัสในการศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

บทบาทของระบบโทรสัมผัสต่อการศึกษาศาสตร์ทางทะเลทั้ง 4 สาขามีความแตกต่างกัน แต่ไม่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เพราะมีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กันระหว่างสาขาเช่น

- ในการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของทะเล ต้องสำรวจสภาพความเค็ม (salinity) ของทะเล

- คุณสมบัติทางแสงของน้ำทะเล ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งทางฟิสิกส์ ก็เกี่ยวเนื่องกับดัชนีหักเหของน้ำทะเล ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่การศึกษาสมบัติทางชีวภาพของทะเล สนใจ

- คราบน้ำมัน เป็นหัวข้อที่อยู่ในความสนใจของการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ

ก) การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลด้านฟิสิกส์ที่ใช้ระบบโทรสัมผัสมาเกี่ยวข้อง ได้แก่

(1) อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST) อุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่ช่วยในการจำแนกมวลน้ำต่างๆ การวัดอุณหภูมิสามารถทำได้โดยตรงโดยวัดคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากผิวน้ำของน้ำทะเล ใต้น้ำในเมฆซึ่งปกคลุมทะเลอยู่ประมาณ 60% โดยเฉลี่ยตลอดเวลา เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการใช้คลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดในการสำรวจ เนื่องจากไอน้ำสามารถดูดกลืนคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดได้ วิธีแก้คือวัดคลื่นวิทยุในช่วงไมโครเวฟที่แผ่ออกมาจากผิวน้ำของน้ำทะเลแทน เพราะน้ำไม่ดูดกลืนคลื่นในช่วงนี้ แต่มีข้อเสียคือ มีความถูกต้องน้อยกว่าการวัดคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรด ถ้า SST ที่วัดด้วยระบบโทรสัมผัสนั้นที่จริงแล้วคือ skin temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิของชั้นน้ำบางๆ ประมาณ 0.02 เซนติเมตร ที่ผิวน้ำทะเล อุณหภูมินี้เย็นกว่าอุณหภูมิที่ระดับถัดไปประมาณ 0.05°C เพราะน้ำที่ผิวน้ำระเหยอยู่ตลอดเวลาตนเอง

(2) การไหลเวียนของน้ำผิวน้ำทะเล ลมเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการไหลเวียนที่ผิวน้ำทะเล จากนั้นการหมุนของโลกจะส่งผลต่อทิศทางการไหลของกระแสน้ำอีกต่อหนึ่ง การศึกษาการไหลเวียนของน้ำผิวน้ำทะเลอาจสังเกตได้จากอุณหภูมิ สีของน้ำ ความเรียบของสภาพผิวน้ำทะเล สภาพความเค็ม และขอบเขตของคราบน้ำมัน เป็นต้น ภาพที่ใช้ศึกษาควรเป็นภาพที่บันทึกจากระดับความสูงมาก ๆ เนื่องจากการไหลเวียนโดยมากครอบคลุมพื้นที่กว้าง

(3) คลื่นที่ผิวน้ำทะเล ความเข้าใจเรื่องคลื่นเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานในทะเล การเดินเรือ และการออกแบบทางวิศวกรรมชายฝั่ง ภาพถ่ายทางอากาศให้รายละเอียดเกี่ยวกับทิศทางและการเลี้ยวเบนของคลื่นบริเวณชายฝั่ง เครื่อง SAR เป็นอุปกรณ์สำรวจที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของคลื่นได้ดี แต่ไม่ให้ข้อมูลของขนาดความสูงคลื่น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับความสูงของคลื่น เพื่อหาขนาดพลังงานของคลื่น สามารถทำได้โดยใช้เครื่อง scatterometer หรือ altimeter

(4) การศึกษาการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างน้ำและอากาศ (Sea-air interaction) จะช่วยให้เกิดความเข้าใจสภาพทะเลและสภาพอากาศในท้องทะเลดีขึ้น โดยใช้คลื่นวิทยุในช่วงไมโครเวฟหาอุณหภูมิของอากาศในระดับชั้นต่าง ๆ และใช้คลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดในการศึกษาอุณหภูมิผิวน้ำทะเลประกอบ

(5) การศึกษาในสาขาสมุทรศาสตร์ฟิสิกส์อื่น เช่น การสังเกตระดับผิวน้ำทะเล การศึกษาสมบัติทางแสงของน้ำทะเล การศึกษาแนวปะทะของมวลน้ำทะเล (oceanic fronts) การสังเกตสภาพความเค็ม การสังเกตและติดตามคราบน้ำมัน เป็นต้น

ข) การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลด้านธรณีวิทยาที่ใช้ระบบโทรสัมผัสมาเกี่ยวข้องได้แก่

(1) การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอน การใช้ระบบ MSS สามารถศึกษาการแพร่ของตะกอน หาปริมาณตะกอน และพื้นที่ที่ตะกอนสะสมได้ อีกทั้งเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนยังสามารถประยุกต์ใช้ศึกษาขอบเขตบริเวณผลกระทบที่อาจเกิดจากมลพิษในน้ำบางอย่างได้

(2) การศึกษาสภาพท้องทะเลบริเวณใกล้ฝั่ง ความยาวคลื่นที่นิยมใช้ในการศึกษาท้องทะเลอยู่ในช่วง 0.55-0.58 ไมโครเมตร (แบนด์ 1 และ 2 ในระบบ TM และแบนด์ 4 ในระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT) เพราะสามารถส่องผ่านน้ำได้ลึกที่สุด จากการที่น้ำดูดกลืนคลื่นแสงช่วงต่างๆ ไม่เท่ากัน การนำข้อมูลในช่วงคลื่นต่างๆ มาพิจารณาประกอบกันจะทำให้สามารถประมาณความลึกของน้ำบริเวณต่างๆ ได้

ค) การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลด้านเคมีที่ใช้ระบบโทรสัมผัสมาเกี่ยวข้องได้แก่ การศึกษาการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ผิวน้ำทะเล โดยอาศัยหลักที่ว่า แก๊สแต่ละชนิดมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงแตกต่างกันเป็นพื้นฐาน

ง) การศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลด้านชีวภาพที่ใช้ระบบโทรสัมผัสมาเกี่ยวข้องได้แก่

(1) ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในทะเล คลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของทะเลได้ ความยาวคลื่นที่ใช้ศึกษาอยู่ในช่วง 0.4-0.7 ไมโครเมตร โดยช่วงที่ให้ข้อมูลความหนาแน่นของคลอโรฟิลล์ได้ดีมากอยู่ในช่วง 0.4-0.5 ไมโครเมตร

(2) ศึกษาลักษณะของแนวปะการัง แนวปะการังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตนานาชนิด และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีความสวยงาม การสังเกตติดตามแนวปะการังต่างๆ จะมีประโยชน์อย่างมากในทางอนุรักษ์ การศึกษาด้วยระบบโทรสัมผัสสามารถทำได้โดยใช้ระบบ MSS เนื่องจากปะการังมักเกิดอยู่ใกล้ผิวน้ำ

3) อุปกรณ์ระบบโทรสัมผัสที่ใช้ในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ทางทะเล

เนื่องจากความหลากหลายของการศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเล เครื่องวัดที่ใช้ในการศึกษาแต่ละแขนงจึงต้องมีสมบัติเฉพาะของมัน ตารางที่ 4.8.1 แสดงให้เห็นความหลากหลายของ

เครื่องมือวัดในระบบโทรสัมผัสที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ทางทะเล
ยกตัวอย่างในตารางที่ 4.8.1 มีโดยย่อ ดังนี้

ทั้งนี้หลักการของเครื่องมือวัดที่

ก) MSS/TM/AVHRR/CZCS เป็นระบบบันทึกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่มาจากวัตถุในหลายช่วงคลื่นตั้งแต่ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรด ข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นที่วัดได้จะบันทึกแยกไว้จากกัน ทำให้การวิเคราะห์หรือใช้ข้อมูลสามารถเลือกเฉพาะบางช่วงคลื่น หรือผสมข้อมูลในลักษณะต่างๆ กันได้

ข) ATSR (Along Track Scanning Radiometer) จากการวัดผลการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟที่บริเวณเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง แล้วเกิดความแตกต่างของค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง เนื่องจากผลของระยะทางที่ไม่เท่ากัน และลักษณะบรรยากาศชั้นต่างๆ ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถหาสภาพอากาศที่ระดับชั้นต่างๆ ได้

ค) HCMR (Heat Capacity Mapping Radiometer) วัดรังสีในช่วงความยาวคลื่น 0.5-1.1 และ 10.5-12.5 ไมโครเมตร หลักการทำงานคือ ดาวเทียมจะวัดอุณหภูมิของจุดต่างๆ 2 เวลาคือเวลา 02.30 น. และ 13.30 น. ตามเวลาท้องถิ่น ค่าแตกต่างที่วัดได้จากเวลาทั้งสองนำมาคำนวณหาสภาพความจุความร้อนของบริเวณดังกล่าวได้

ง) SMMR (Scanning Multifrequency Microwave Radiometer) ใช้คลื่นวิทยุช่วงความถี่ 6-40 GHz เพื่อสำรวจอุณหภูมิ และความเค็มของทะเล โดยอาศัยหลักที่ว่าสมบัติทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติในการสะท้อนคลื่นวิทยุได้

จ) ALT (Altimeter) เครื่องวัดจะส่งเรดาร์เป็นพัลส์สั้น ๆ ออกมาเป็นระยะ สัญญาณออกจากดาวเทียมถึงลงสู่พื้นเบื้องล่างเมื่อทราบระยะเวลาที่พัลส์ใช้ในการเดินทาง จะสามารถหาระยะระหว่างดาวเทียมกับผิวพื้นที่สะท้อนสัญญาณนั้นได้

ฉ) SCAT (Scatterometer) เป็นระบบเรดาร์ที่วัดค่ากระเจิงกลับของสัญญาณที่ส่งออกไปในแนวเฉียง ถ้าสิ่งที่ทำให้เกิดการกระเจิงกลับมีการเคลื่อนที่ สัญญาณที่เครื่องได้รับจะมีเฟสต่างไปจากสัญญาณที่ส่งออกไป ความแตกต่างนี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลัก doppler effect ทำให้คำนวณหาความเร็วของสิ่งทำให้เกิดการกระเจิงกลับได้

ตาราง 4.8.1 ชนิดของเครื่องวัดและการประยุกต์ด้านวิทยาศาสตร์ทางทะเล (ศุภชัย ตั้งใจตรง, 2532)

	Sensor type	Example	Measure physical parameter	General oceanographic application	Possible retrievable oceanographic parameters
Passive	Visible and near IR radiometers	MSS CZCD	Solar radiation backscattered from below and by the surface	Ocean color, water quality, bottom substrate, sea surface roughness, surface slick	Near-surface suspended sediment and phytoplankton concentration, water depth in shallow clear sea
	Thermal IR radiometer	AVHRR, ASTER, HCMM	Thermal emission from the sea surface (and some solar reflection)	Ocean surface temperature, sea -surface transfer conditions	Sea-surface temperature surface heat flux
	Microwave	SMMR	Sea-surface microwave emission, and reflected solar, and atmospheric emission	Ocean surface temperature, emissivity and environmental factor controlling it, surface films and slicks	Sea-surface temperature, surface heat flux, salinity, sea state, wind and wave conditions
Active	Altimeter	ALT	Return time of pulse	Height and slope of sea surface	Ocean currents, tides, geoid information
			Return shape of pulse	Surface roughness	Significant wave height
	Nadir-viewing radar	ALT	Strength of return pulse	Surface roughness	Sea state, surface wind speed
	Side-looking radar	SCAT SAR	Strength of return pulse in different view directions	Surface roughness, including directional information	Surface wind speed and direction, directional wave spectra
	High-resolution imaging radar	SAR	Strength of return pulse from small area as of sea surface, along with dropper information	Surface roughness	Swell wave patterns, internal wave patterns, sea-bed topography

ข) SAR (Synthetic Aperture Radar) เครื่องวัดส่งสัญญาณเรดาร์ลงสู่พื้นในแนวเฉียง คลื่นที่ผิวทะเลจะทำให้หน้าคลื่นของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมาสู่เครื่องรับจากบริเวณต่าง ๆ ใน ทะเลไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณซึ่งเป็นไปตามหลักของ Bragg Law ทำให้ คำนวณหาสภาวะของผิวทะเลว่าเรียบหรือปั่นป่วนเพียงใดได้

การพบและทำเหมืองแร่แต่เดิมมักอาศัยแหล่งที่ชาวบ้านพบบนผิวดิน แล้วจึงทำการ เจาะสำรวจเพื่อเปิดการทำเหมืองต่อไป จากการทำเหมืองมาเป็นเวลานาน ทำให้แหล่งแร่ที่พบง่าย มีแต่จะหมดไปและหาได้ยากขึ้น แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่า ได้มีการทำเหมืองจนแร่หมดสิ้นไปแล้ว แท้ ที่จริงยังมีอีกจำนวนมากที่อยู่ใต้ผิวดิน ซึ่งแหล่งแร่เหล่านี้ยังไม่มีมีการสำรวจได้อย่างทั่วถึง หรืออาจซ่อน เร้นอยู่ในที่ก้นดาร์ไม่มีคนเข้าถึง หรืออาจอยู่ลึกลงไปใต้ดินมาก การค้นหาสำรวจแหล่งแร่ไม่สามารถทำ ด้วยวิธีการง่ายๆ ดังที่ผ่านมา จึงต้องอาศัยวิธีการอื่นเช่น ธรณีฟิสิกส์ ธรณีเคมี การสำรวจข้อมูลภาคพื้นดิน และการนำภาพจากดาวเทียมมาช่วย