บทที่ 2

แนวคิดพื้นฐานทางโทรนิทัศน์

สสารทุกชนิดย่อมมีการหักเหและการเปล่งรังสีของลำแสงพลังงานในรูปแบบรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า มีการแปรผันสัมพันธ์กับการหักเหหรือเปล่งรังสี ซึ่งเป็นการทำงานของความยาวคลื่น องค์ประกอบนี้เรียกว่า สัญญาณคลื่นรังสี (Spectral signature) ของวัตถุที่พิจารณา ดังนั้นการได้มาของข้อมูลวัตถุในสถานะข้อมูล ควรสอดคล้องกับคลื่นที่สามารถใช้จำแนกและหาค่าสถานะนั้นสำหรับดาวเทียมการวัดอย่างมีประสิทธิภาพในคลื่นช่วงคลื่นแสงจำนวนหนึ่ง สัญญาณคลื่นของวัตถุหนึ่งจะสอดคล้องกับพลังงานรังสีสัญญาณที่ระดับความแตกต่างกันในแต่ละวัตถุ

การหาค่าคลื่นรังสีที่สะท้อนหรือเปล่งรังสีของวัตถุในห้องทดสอบในสภาพที่กำหนดไว้และให้ผลออกมาได้ แต่ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องในโทรนิทัศน์ดาวเทียมค่อนข้างซับซ้อนกว่า อาทิเช่น ตำแหน่งของแหล่งให้แสงอย่างดวงอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่พิจารณาขึ้นกับเวลาที่ผ่านของดาวเทียม นอกจากนี้ฤดูกาล และตำแหน่งพิกัดเส้นรุ้งเส้นแวง

จากเหตุการณ์ดังกล่าว การสังเกตคลื่นรังสีจึงไม่ได้มีค่าเท่ากันหมด เนื่องจากสภาพพื้นผิวธรรมชาติ ไม่ได้ฟุ้งกระจายหรือแผ่รังสีอย่างสมบูรณ์ คุณสมบัติเชิงแสงขึ้นกับมุมที่สองเล็งไปและความสว่างชัด จากการเปลี่ยนฤดูกาลของโลก จึงต้องกล่าวพาดพิงไปถึงการรบกวนของชั้นบรรยากาศและความยาวคลื่น

ข้อสังเกตของคลื่นรังสีสัญญาณในโทรนิทัศน์ครอบคลุมในแง่ที่เกี่ยวข้องถึงปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน บทนี้จะกล่าวถึงและวิเคราะปรากฏการณ์จากช่วงคลื่นสายตามองเห็นถึงคลื่นอินฟราเรดช่วงความร้อน ทั้งนี้เพื่อผลที่ตามมาในการแปลความข้อมูลดาวเทียม อย่างไรก็ตามการทบทวนนิยามที่สัมพันธ์กับรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ การสะท้อนและการเปล่งรังสีของวัตถุ เช่นเดียวกันกับการส่งผ่านชั้นบรรยากาศ คุณสมบัติเชิงแสงของธาตุองค์ประกอบในผิวธรรมชาติที่วิเคราะห์ เช่น หิน ดิน พืชพรรณที่ปกคลุมและผิวน้ำ

2.1 นิยามและความหมาย

ในอดีตที่ผ่านมาเทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial photograph) และทางภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite imagery) เป็นคำที่ใช้แยกจากกัน ต่อมาได้มีการกำหนดศัพท์ให้รวมใช้เรียก

คำทั้งสองรวมกัน ตลอดจนถึงเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวกับข้อมูลซึ่งได้จากตัวรับสัญญาณระยะไกล ที่เรียกว่า Remote sensing ดังนั้นก่อนอื่นควรจะทำความเข้าใจกับคำว่า Remote sensing ก่อน

คำว่ารีโมทเซนซิ่ง (Remote sensing) เป็นประโยคที่ประกอบขึ้นมาจากการรวม 2 คำ ซึ่งแยกออกได้ดังนี้ คือ

Remote = ระยะไกล หรือ โทร

Sensing = การรับรู้ หรือ นิทัศน์

ดังนั้นคำว่า Remote sensing จึงหมายถึง "การรับรู้จากระยะไกล" หรือ "โทรนิทัศน์" โดยมีนิยามความหมายนี้ได้กล่าวไว้ว่า "เป็นการสำรวจตรวจสอบคุณสมบัติสิ่งใดๆ ก็ตาม โดยที่มิได้สัมผัสกับสิ่งเหล่านั้นเลย"

โดยความหมายรวม โทรนิทัศน์จึงจัดเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่หรือปรากฏการณ์จากเครื่องมือบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล 3 ลักษณะ คือ คลื่นรังสี (Spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal)

ปัจจุบันข้อมูลทางด้านนี้ได้นำมาใช้ในการศึกษาและวิจัยอย่างแพร่หลาย เพราะให้ผลประโยชน์หลายประการ อาทิเช่น ประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายในการสำรวจเก็บข้อมูล ความถูกต้องและรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์

อย่างไรก็ตามการรับรู้จากระยะไกลก็ได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้า โดยมีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือรับสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง เทคนิคที่ได้นำมาใช้ในการแปลตีความก็ได้รับการพัฒนาควบคู่กันไปให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงปรากฏว่ามีการนำข้อมูลทั้งภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายเรดาห์ (Radar) มาใช้ประโยชน์เพื่อสำรวจหาข้อมูลและทำแผนที่เกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

2.2 การประยุกต์ข้อมูลโทรนิทัศน์

โทรนิทัศน์ มีประโยชน์ในการนำมาใช้เพื่อแปลตีความและวิเคราห์หาข้อมูลเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ ที่มีอยู่ในโลกนี้ รวมถึงสามารถใช้ในการสำรวจสภาพความเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาด้วย โดยจะได้ผลการสำรวจในรูปของแผนที่ (Cartography) ซึ่งสามารถนำมาศึกษา ค้นคว้า วิจัย วิเคราะห์ และประเมินผล เพื่อหาข้อมูล

สำหรับใช้ในการพิจารณากำหนดนโยบาย หรือวางแผนการดำเนินงานให้ได้รับผลสำเร็จตรงตามสภาพความเป็นจริงในภูมิประเทศต่อไปได้

ในปัจจุบันวิทยาการสาขาต่างๆ ที่ได้มีการนำข้อมูลของระบบ Remote sensing มาใช้ประโยชน์ในการสำรวจด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 **สมุทรศาสตร์** ใช้ในการสำรวจสอบระดับ มวล อุณหภูมิ และกระแสของน้ำทะเล ตลอดจนการพังทลายของฝั่งทะเล

2.2.2 **การเกษตร** ใช้ในการสำรวจตรวจสภาพของพืชที่ปลูก พยากรณ์ผลผลิตการเกษตร จำแนกลักษณะและชนิดของดิน

2.2.3 **ธรณีวิทยา** ใช้ในการสำรวจแหล่งหินอุตสาหกรรมก่อสร้าง แหล่งแร่ แหล่งน้ำใต้ดิน ตรวจสอบภาวะธรรมชาติของดินและหิน ความเหมาะสมในการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน ท่าเรือน้ำลึก โครงสร้างธรณีวิทยา และบริเวณเกิดแผ่นดินไหว

2.2.4 **วางผังเมือง** ใช้ในการวางผังเมืองของชุมชนที่อยู่ในเมืองใหญ่ และหมู่บ้านที่อยู่ใกล้พื้นที่ป่าไม้ การวางแผนสร้างสะพาน แหล่งชุมชนแออัด การพัฒนาเมืองเก่า การก่อสร้างเมืองใหม่ และการเคลื่อนย้ายเมืองที่มีความแออัดไปอยู่ที่แห่งใหม่ ตลอดจนการออกแบบถนนหนทาง ไฟฟ้า ประปา และระบบสาธารณูปโภคต่างให้เหมาะสม

2.2.5 **ป่าไม้** ใช้ในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ ชนิดของป่า วางแผนการทำไม้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น การวางแผนป้องกันไฟป่า

2.2.6 **ภัยพิบัติธรรมชาติ** ใช้ในการสำรวจความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัย เช่นที่ อำเภอพิปูน อำเภอกะทูน จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อวางแผนป้องกันและหาทางฟื้นฟูให้กลับสภาพเดิมต่อไป

2.2.7 **อุทกวิทยา** ใช้ในการศึกษาคุณภาพน้ำ สำรวจบริเวณที่ราบที่จะเกิดน้ำท่วมและสภาวะน้ำท่วม ตลอดจนการสำรวจแหล่งน้ำที่มีอยู่บนพื้นผิวโลก เพื่อแก้ไขปัญหาความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศต่างๆ ทั่วโลก

2.2.8 **การใช้ประโยชน์ที่ดิน** ใช้ในการจำแนกสมรรถนะที่ดิน (Land suitability) สำรวจวางแผนการใช้ที่ดิน ตลอดจนการทำแผนที่การใช้ที่ดิน

2.2.9 **การจัดการทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์** ใช้ในการสำรวจจัดหาบริเวณที่มีทุ่งหญ้าเพื่อพัฒนาเป็นแหล่งเลี้ยงสัตว์

2.2.10 **การประมง** ใช้ในการสำรวจหาแหล่งปลาและสัตว์น้ำชนิดต่างๆ สำรวจหานากุ้ง กุลาดำ รวมถึงหาแหล่งปะการังใต้ทะเลด้วย

2.2.11 **สิ่งแวดล้อม** ใช้ในการตรวจสอบน้ำเสียที่ไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง ตรวจสอบบริเวณที่ครอบคลุมด้วยควันพิษ ตรวจดูผลเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ตลอดจนใช้ในการตรวจสอบก๊าซโอโซน (Ozone) ในชั้นบรรยากาศที่มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ส่งผลให้อุณหภูมิโลกร้อนขึ้น จนเกิดหิมะละลายลงสู่มหาสมุทรจนน้ำทะเลสูงขึ้น ทำให้เกาะเล็กๆ จมลงใต้ทะเล และยังทำให้เกิดน้ำท่วมบ้านเรือน เกิดความเสียหายขึ้นเป็นประจำทั่วทุกแห่งบนพื้นโลกอีกด้วย และประโยชน์ด้านนี้จึงนับจะยิ่งมีความสำคัญเพิ่มขึ้นตามลำดับ

2.2.12 **การทำแผนที่** ใช้ในการทำแผนที่ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่ทันสมัยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการแก้ไขเส้นทางคมนาคมทั่วประเทศ ให้ตรงตามสภาพความเป็นจริงอยู่เสมอ และข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมยังสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์จัดเก็บในฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system - GIS) ได้ด้วยการถ่ายทอดจากการประมวลผลภาพเข้าสู่ระบบ GIS โดยตรง หรือจะใช้วิธีการลากขอบเขตรายละเอียดที่ปรากฏในแผนที่เข้าเก็บไว้ในชั้นของฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ก็ได้

องค์ประกอบที่สำคัญของโทรนิทัศน์ได้แก่ คลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากดวงอาทิตย์หรือเป็นพลังงานจากตัวเอง ระบบโทรนิทัศน์โดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติ เรียกว่า Passive Remote Sensing ส่วนระบบบันทึกที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมายเรียกว่า Active Remote Sensing

2.3 องค์ประกอบของกระบวนการได้มาของข้อมูล

การได้มาของข้อมูลจากโทรนิทัศน์ จะได้มาด้วยกัน 2 กระบวนการหลัก คือ การรับข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 **การรับข้อมูล** (Data acquisition) โดยอาศัยแหล่งกำเนิดพลังงาน คือ ดวงอาทิตย์ เคลื่อนทะยานของพลังงานผ่านในชั้นบรรยากาศเป็นปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอากาศยาน (Airborne sensor) และ อุปกรณ์บันทึกข้อมูลยานอวกาศ (Spaceborne sensor) และข้อมูลเครื่องรับสัญญาณในรูปแบบภาพ (Sensor data in picture) และรูปแบบเชิงตัวเลข (Numerical form)

2.3.2 **การวิเคราะห์ข้อมูล** (Data analysis) ประกอบด้วยการแปลข้อมูลด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Digital analysis)

2.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของคลื่น (Wave theory) ที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิค (Harmonic) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่ง มีความเร็วเท่าแสง (*c*) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลา เรียกว่าความถี่คลื่น (*f*) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วคลื่นตามสมการ

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่น (μm)

c คือความเร็วของแสงมีค่าคงที่ (3×10^8 เมตรต่อวินาที)

f คือความถี่ของคลื่น (รอบต่อวินาที)

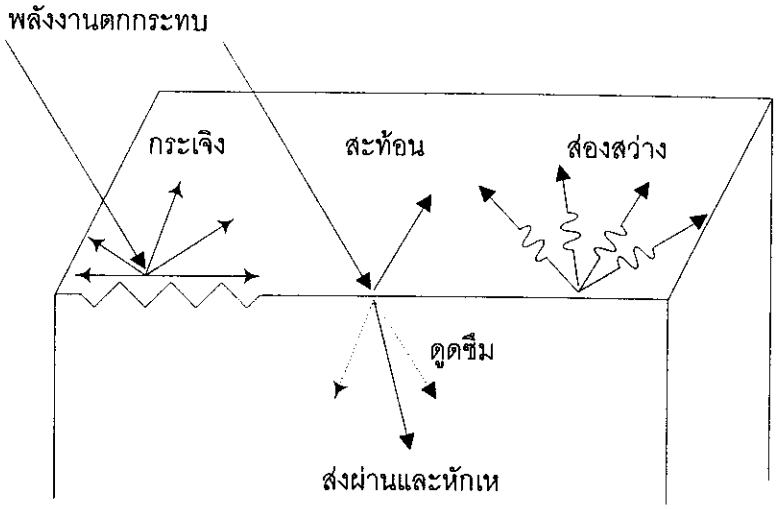
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งออกได้ตามความยาวคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (Band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่มีความยาวสั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิค (Cosmic ray) มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 10^{-10} ไมครอน จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร

ช่วงคลื่นที่ใช้ประกอบในโทรนิทัศน์ส่วนใหญ่อยู่ในความยาวคลื่นเชิงแสง (Optical wavelength) คือ 0.34 ถึง 14 ไมครอน ซึ่งสามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป และอุปกรณ์บันทึกภาพ (Sensor) ช่วงคลื่นที่มีผลตอบสนองต่อตามนุษย์คือ 0.3 ถึง 0.7 ไมครอน แบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ น้ำเงิน เขียว และแดง ถัดไปเป็นช่วงคลื่นใต้แดงที่แบ่งเป็น 2 ช่วงกว้างๆ คือ อินฟราเรดช่วงใกล้ (Near infrared) สะท้อนแสงระหว่าง 0.7 ถึง 3 ไมครอน และอินฟราเรดช่วงความร้อนระหว่าง 3 ถึง 15 ไมครอน

2.5 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในบรรยากาศ (Energy Interaction in the Atmosphere)

คลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ แล้วสะท้อนกลับสู่บรรยากาศก่อนที่จะถูกบันทึกโดยอุปกรณ์สำรวจ บรรยากาศของโลกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพลังงานในด้านทิศทางความเข้ม ตลอดจนการความยาวคลื่นของช่วงคลื่น เพราะชั้นบรรยากาศประกอบด้วยฝุ่นละออง ไอน้ำ และ ก๊าซต่างๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยากับคลื่นพลังงาน 3 กระบวนการ

คือ การกระเจิง (Scattering) การดูดซึม (Absorption) และการหักเห (Refraction) ตามภาพประกอบ 2-1 ทำให้ปริมาณพลังงานตกกระทบผิวน้อยลง



ภาพประกอบ 2-1 กลไกปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแม่เหล็กกับวัตถุ

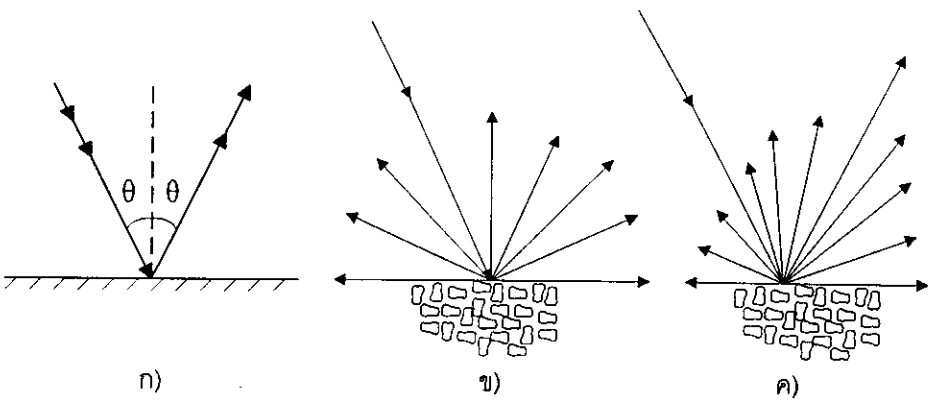
2.5.1 **การกระเจิง** (Scattering) เกิดเนื่องจากอนุภาคเล็กๆ ในบรรยากาศมีทิศทางการกระจายไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความยาวคลื่นดังนี้

1) การกระเจิงแบบเรเล่ย์ (Rayleigh Scattering) เกิดเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ทำให้เกิดสภาวะหมอกควัน (Haze) ความคมชัดของภาพลดลง

2) การกระเจิงแบบมี (Mie scattering) เกิดขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เช่น ไอน้ำ ฝุ่นละออง เกิดในความยาวคลื่นของช่วงคลื่นยาวกว่าแบบแรก

3) การกระเจิงแบบไร้ระบบ (Nonselective scattering) เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ เช่น หยดน้ำ โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาค 5 ถึง 10 ไมครอน จะสะท้อนความยาวคลื่นตามองเห็น (Visible wavelength) และคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (Reflected infrared) ได้เกือบเท่ากัน ซึ่งในช่วงความยาวคลื่นตามองเห็นปริมาณของคลื่นต่างๆ เช่น น้ำเงิน สีขาว และช่วงคลื่นสะท้อนทุกทิศทางเท่ากัน ทำให้มองเห็นเมฆเป็นสีขาว

2.5.2 **การดูดซึม** (Absorption) การดูดซึมทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การดูดซึมพลังงานจะเกิดขึ้นที่ความยาวของคลื่นบางช่วง สารที่ดูดซึมพลังงานที่สำคัญในบรรยากาศได้แก่ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน เนื่องจากสารเหล่านี้จะดูดซึมพลังงานที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ดังนั้นจะมีบางช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวง หรือผ่านชั้นบรรยากาศลงมาที่ผิวโลกได้ เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric window) ซึ่งมีหน้าต่างบรรยากาศในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และช่วงอินฟราเรดสะท้อนกับอินฟราเรดช่วงความร้อน ช่วงของหน้าต่างบรรยากาศเหล่านี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาเลื่อกระบบอุปกรณ์บันทึกภาพให้สัมพันธ์กับการสะท้อนของช่วงคลื่นต่างๆ ตามภาพประกอบ 2-2

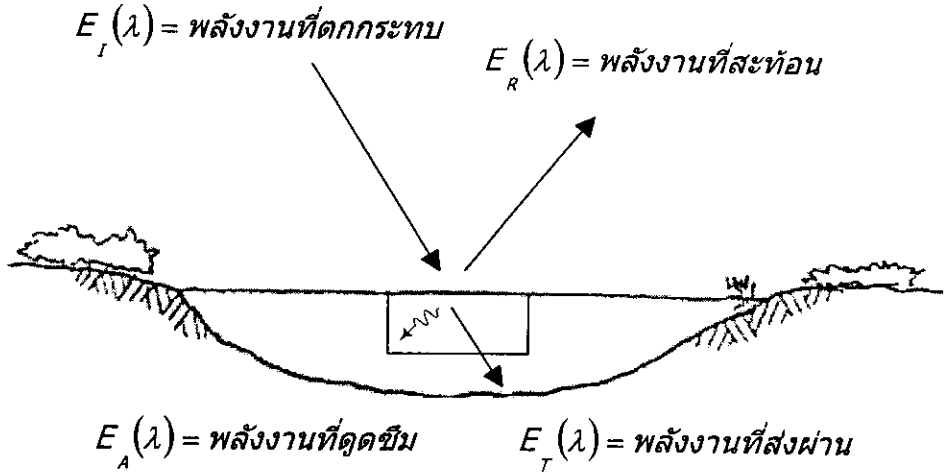


ภาพประกอบ 2-2 ผังภูมิร่างการสะท้อน ก) แบบเดิม ข) แบบฟุ้งกระจาย และ ค) แบบแลมเบอเซียน

2.5.3 **การหักเห** (Reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านบรรยากาศที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณการหักเหกำหนดโดยค่าดัชนีของการหักเห ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสูญญากาศกับความเร็วของแสงในชั้นบรรยากาศ ทำให้มีผลต่อการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ปรากฏบนภาพ แต่สามารถปรับแก้ไขได้โดยกระบวนการปรับแก้ภาพภายหลัง

2.6 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุบนพื้นผิวโลก (Energy Interaction with Earth Surface Features)

เมื่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นบรรยากาศมาตกกระทบพื้นผิวโลก จะเกิดปฏิกิริยา 3 อย่างคือ การสะท้อนพลังงาน (Reflection = E_R) การดูดซึมพลังงาน (Absorption = E_A) การส่งผ่านพลังงาน (Transmission = E_T) อันเป็นปรากฏการณ์สำคัญในการสำรวจระยะของวัตถุบนพื้นผิวโลก ตามภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ 2-3 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุบนพื้นผิวโลก

เขียนเป็นสมการความสมดุลย์พลังงาน (Energy Balance Equation) ได้ดังนี้

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

เมื่อ $E_I(\lambda)$ คือพลังงานตกกระทบ (Incident Energy) ซึ่งได้รับจากแหล่งพลังงาน สัดส่วนของการดูดซึมการส่งผ่าน การสะท้อนพลังงานจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุซึ่งทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุในภาพถ่ายได้ นอกจากนี้ในวัตถุเดียวกัน สัดส่วนการเกิดปฏิกิริยาทั้งสามนี้จะแตกต่างกันตามความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบอีกด้วย วัตถุสองชนิดอาจจะไม่แตกต่างกันในช่วงคลื่นหนึ่งในสายตามองเห็น ความแตกต่างกันทางด้านคลื่นรังสีของวัตถุจะแสดงให้เห็นในรูปของสีต่างๆ เช่น การที่เราเห็นวัตถุเป็นสีเขียว เนื่องจากวัตถุนั้นสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียวมาก

เนื่องจากระบบบันทึกพลังงานส่วนใหญ่จะบันทึกในช่วงของพลังงานสะท้อน คือบันทึกพลังงานที่สะท้อนมาจากวัตถุ ดังนั้นการศึกษาเพื่อแยกชนิดของวัตถุจึงเป็นการศึกษาการสะท้อนพลังงานของวัตถุซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$$

พลังงานที่สะท้อนมาจากวัตถุมีค่าเท่ากับพลังงานที่ตกกระทบวัตถุ ลบด้วยพลังงานที่ถูกดูดซึมไว้และพลังงานที่ผ่านทะลุวัตถุนั้น

ลักษณะพื้นผิวหน้าของวัตถุก็เป็นสิ่งสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนพลังงาน วัตถุที่มีพื้นหน้าเรียบมุมสะท้อนพลังงานจะเท่ากับมุมตกกระทบ วัตถุที่มีผิวหน้าขรุขระ หากสะท้อนพลังงานจะไม่เป็นระเบียบในทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามวัตถุส่วนใหญ่จะมีลักษณะผสมผสานกันระหว่างสองลักษณะนี้

นอกจากลักษณะของพื้นผิววัตถุแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบวัตถุด้วย ถ้าเป็นพลังงานช่วงคลื่นสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของวัตถุที่ประกอบเป็นผิวหน้าวัตถุ หรือความต่างระดับของผิวหน้าวัตถุ การสะท้อนแสงอาจเป็นแบบให้ลักษณะวัตถุพื้นผิวขรุขระได้ แต่ถ้าในวัตถุชนิดเดียวกันนี้ได้รับพลังงานตกกระทบในช่วงคลื่นยาว เมื่อเปรียบเทียบกับผิววัตถุ การสะท้อนแสงก็อาจเป็นแบบลักษณะของวัตถุที่มีพื้นผิวราบได้

โทรนิทัศน์เป็นการวัดคุณสมบัติในการสะท้อนพลังงานแบบฟุ้งกระจาย (Diffuse Reflectance Property) ของวัตถุบนผิวโลก ณ ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งซึ่งหาได้จากสมการ

$$R(\lambda) = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} \times 100$$

เมื่อ $R(\lambda)$ = สะท้อนคลื่นรังสี

$E_R(\lambda)$ = พลังงานของความยาวคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุ

$E_I(\lambda)$ = พลังงานของความยาวคลื่นขึ้นกับวัตถุ

ดังนั้นพลังงานที่วัดได้โดยตัวรับสัญญาณจึงประกอบด้วยพลังงานที่สะท้อนหรือแผ่จากพื้นผิววัตถุ พลังงานบางส่วนจากปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจากก้อนเมฆ ค่าที่วัดได้นี้จะน้อยหรือมาก หรือเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสภาวะของบรรยากาศ มุมของ

ดวงอาทิตย์ มุมของตัวรับสัญญาณ คุณสมบัติของวัตถุในการสะท้อน การดูดซึม และการส่งผ่านพลังงาน

2.7 **การสะท้อนคลื่นรังสีของพืชพรรณ ดิน แร่หิน และน้ำ** (Spectral Reflectance of Vegetation, Soil, Mineral and Rock, and Water)

พืช ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืช ดิน และน้ำ จะทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่างๆ ได้

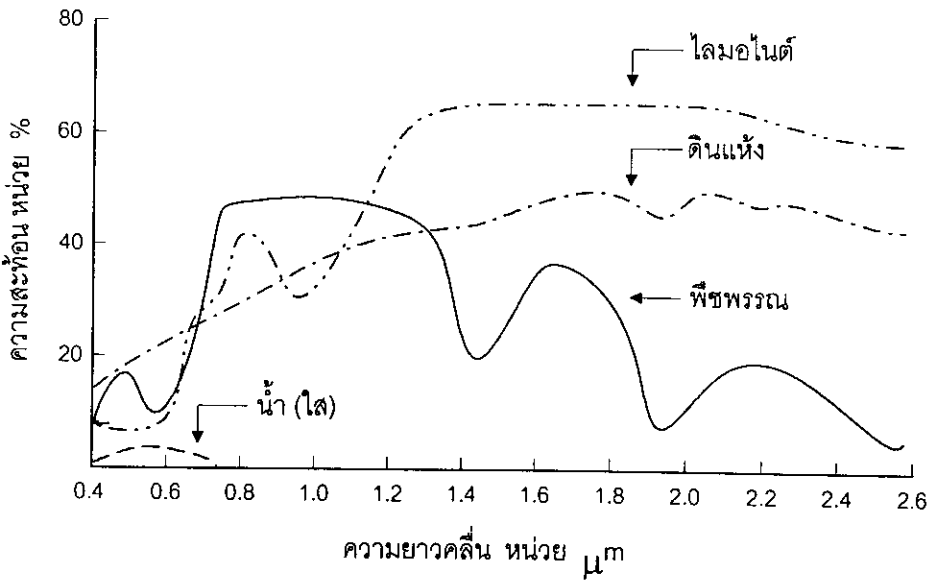
2.7.1 **พืชพรรณ** ในช่วงคลื่นมองเห็น คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานที่ช่วงความยาวคลื่น 0.45 ถึง 0.65 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง สะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่น 0.5 ไมครอน ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้งเหี่ยว ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงก็จะทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้น

ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน การสะท้อนพลังงานของใบพืชจะสูง คือ จะสะท้อนพลังงานประมาณ 50 % ของพลังงานที่ตกกระทบ ซึ่งลักษณะของการสะท้อนพลังงานนี้เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในของพืช เนื่องจากพืชจะมีลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าวัดการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้ก็จะสามารถแยกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นเห็นได้จะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดสะท้อนของพืชที่มีอาการผิดปรกติทางใบ จะมีความแตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ดังนั้นระบบโทรนิทัศน์ที่สามารถบันทึกค่าสะท้อนของช่วงคลื่นนี้ได้สามารถใช้สำรวจอาการผิดปรกติของพืชได้

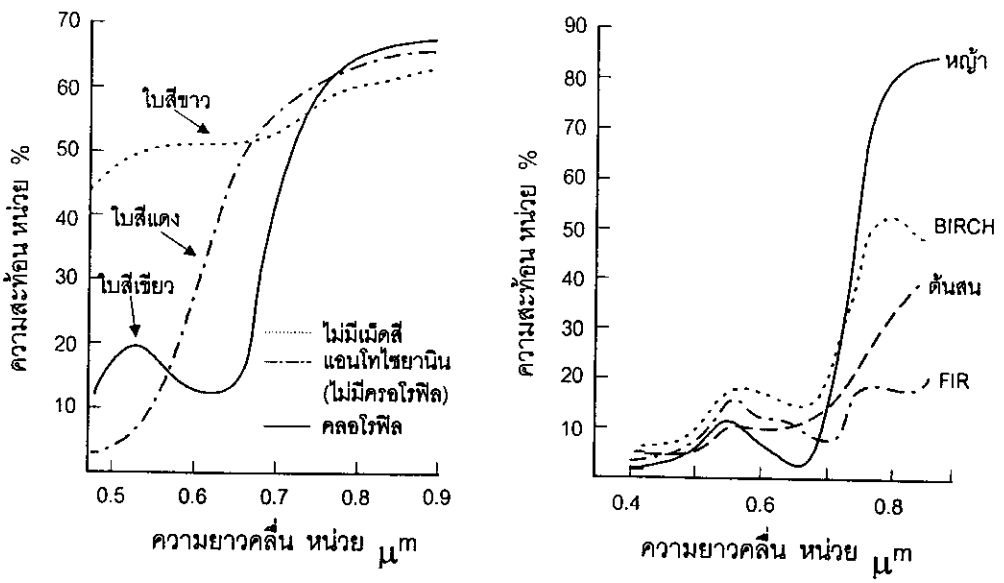
ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 3.3 ไมครอน พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนมีการส่งผ่านน้อยมาก มักพบค่าต่ำลงที่ช่วงคลื่น 3.4 3.9 และ 2.7 ไมครอน เพราะว่าในช่วงเหล่านี้น้ำในใบพืชถูกดูดกลืนพลังงาน จึงเรียกช่วงคลื่นเหล่านี้ว่า ช่วงคลื่นการดูดซับน้ำ (Water Absorption Bands) ตามภาพประกอบที่ 2-4 และภาพประกอบที่ 2-5 ดังนั้นค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชจึงแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืชสำหรับช่วงคลื่นเหล่านี้ด้วย

2.7.2 **ดิน** ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุเนื้อดิน ปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนและความสัมพันธ์ต่อกัน เช่น ลักษณะเนื้อดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบที่มีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดที่มีการระบายน้ำเลวจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดิน

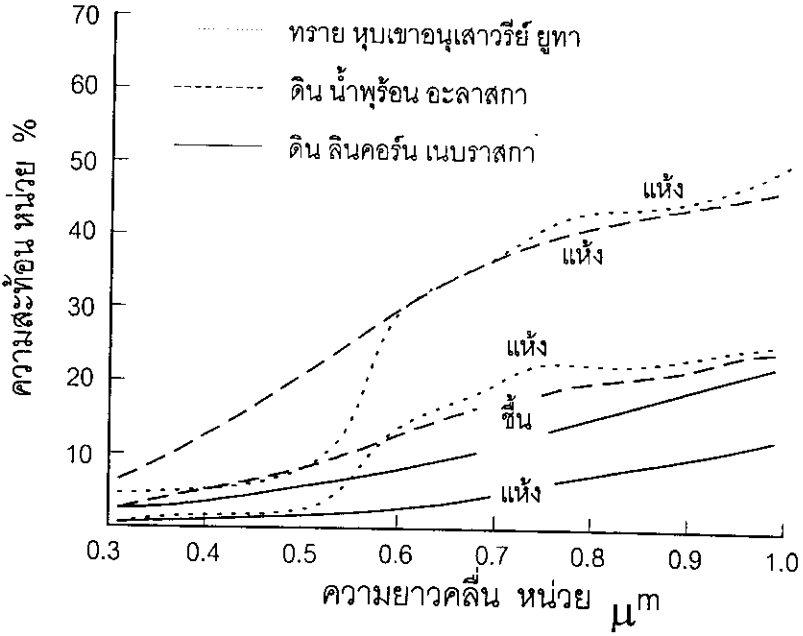
ที่มีอินทรียวัตถุสูงจะมีสีคล้ำ ดูดกลืนพลังงานสูงในช่วงสายตามองเห็น เช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์ในปริมาณสูง จะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ดินที่มีผิวขรุขระมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน ตามภาพประกอบที่ 2-6 แสดงลักษณะการสะท้อนพลังงานของดินชนิดต่างๆ ในสภาพความชื้นต่ำ



ภาพประกอบ 2-4 ลักษณะการสะท้อนพลังงานของพืชพรรณ ดิน แร่ และน้ำ



ภาพประกอบ 2-5 ลักษณะการสะท้อนพลังงานของใบพืชที่ช่วงคลื่นต่างๆ



ภาพประกอบ 2-6 ลักษณะคลื่นรังสีสะท้อนของดินปนทรายที่เปียกและแห้ง

2.7.3 **น้ำ** การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรด ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใส หรือน้ำที่มีสารต่างๆ เจือปน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานจึงแตกต่างกันออกไป บางครั้งพื้นที่ที่รองรับน้ำอาจมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ

น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมครอน และการส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่มาก จะสะท้อนพลังงานได้มากกว่าน้ำใส ถ้ามีคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลงและจะเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว ซึ่งอาจใช้ประโยชน์ในการติดตามและคาดคะเนปริมาณสาหร่าย นอกจากนี้ข้อมูลการสะท้อนพลังงานยังเป็นประโยชน์ในการสำรวจคราบน้ำมันและมลพิษจากโรงงานได้

2.7.4 **แร่และหิน** คลื่นรังสีที่มีปฏิสัมพันธ์กับแร่และหินพิจารณาใน 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ ความยาวคลื่นช่วงสายตามองเห็นถึงอินฟราเรดช่วงใกล้และอินฟราเรดคลื่นสั้น อินฟราเรดช่วงกลางหรือเปล่งรังสี และไมโครเวฟ

1) คลื่นรังสีของแร่ (Spectra of Mineral) แร่ต่างๆ เป็นสสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และประกอบด้วยการรวมกันของประจุบวก และลบ แร่เหล่านี้อาจมีคุณสมบัติเคมี

ธรรมดา หรือสลับซับซ้อน ประจุบางอย่างอาจพบเป็นส่วนใหญ่ ส่วนน้อย หรือเป็นแค่องค์ประกอบเล็กน้อย คลื่นรังสีของแร่ เป็นการบ่งที่มีผลมาจากปัจจัยของคลื่นรังสีของประจุลบเด่น คลื่นรังสีของประจุบวกที่เด่น คลื่นรังสีของประจุที่พบเป็นส่วนประกอบเล็กน้อย และ ผลจากในแง่ผลึก

ตัวอย่างเช่น แร่ควอรตซ์ (Quartz) ประกอบด้วยรูปสี่หน้า ซิลิเกตธรรมดา มีช่วงคลื่นดูดซับเพียงย่านอินฟราเรดช่วงกลาง และพวกแร่ไพรอกซีน (Pyroxenes) ช่วงคลื่นดูดซึมมาจากประจุเหล็กที่พบในย่านอินฟราเรดช่วงใกล้มาก และเนื่องจากประจุซิลิเกตในย่านอินฟราเรดช่วงกลาง การดูดซึมและความเข้มข้นของช่วงคลื่นก็ยังสามารถเปลี่ยนแปลงอันเป็นผลมาจากแง่ผลึก

2) คลื่นรังสีของหิน (Spectra of Rock) ลักษณะคลื่นรังสีขึ้นอยู่กับคลื่นรังสีของแร่ประกอบดังได้อธิบายรูปลักษณะของคลื่นรังสีของหินอัคนี หินตะกอน และหินแปรทั่วไป ในย่านการสะท้อนแสงดวงอาทิตย์และการเปล่งรังสีเชิงความร้อน

หินอัคนี (Igneous Rock) ผลวัดในห้องทดลองพบว่าหินแกรนิตอักขระ แสดงช่วงการดูดซึมที่ 3.4 3.9 และ 2.2 ไมครอน หินแกรนิตไปต์โอไทต์ และหินแกรนิตที่มีน้ำน้อย ช่วงคลื่นการดูดซึมอ่อนกว่าหินสีเข้มพบช่วงคลื่นที่ดูดซึม 0.7 ถึง 3 ไมครอน พวกหินสีเข้มจัด เช่น หินไพรอกซีไนต์ มีค่า 0.7 ถึง 3 ไมครอน และ 2 ไมครอน ส่วนหินดันไนต์ มีค่า 3 ไมครอน

หินตะกอน (Sedimentary Rock) ทั้งหมดมีช่วงคลื่นการดูดซึมที่ 3.4 และ 3.9 ไมครอน หินดินดานปนดินเหนียวมีรูปลักษณ์การดูดซึมระหว่าง 2.1 ถึง 2.4 ไมครอน หินทรายที่มีเหล็กออกไซด์มีรูปลักษณ์คลื่นรังสี 0.87 ไมครอน ส่วนหินทรายเนื้อปูนมีค่าที่ 3.9 และ 2.35 ไมครอน

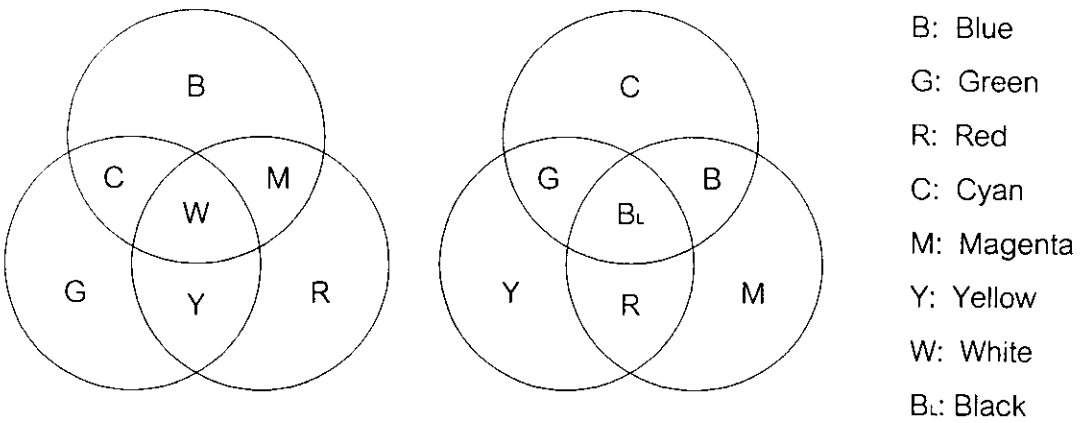
หินแปร (Metamorphic Rock) ผลการทดสอบพบว่าในหินชีสต์ หินควอรตซ์สีเขียว และหินอ่อน บางชนิดมีช่วงคลื่นดูดซึมแสงที่ 0.424 และ 0.625 ไมครอน ซึ่งอาจสืบเนื่องมาจากมีแร่คลอไรต์อยู่

2.8 การแสดงสีของข้อมูลภาพถ่าย

การแสดงสีของข้อมูลโทรนิทัศน์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแปลความด้วยสายตาอย่างมีประสิทธิภาพ มีวิธีการแสดงภาพได้ 2 วิธีคือ การผสมสี (Color Composite) และแสดงภาพสีเทียม (Pseudo Color)

2.8.1 **การผสมสี** (Color Composite) ให้กำเนิดสีด้วยข้อมูลหลายช่วงคลื่นโดยการผสมภาพหลายช่วงคลื่นที่เลือกมา 3 ภาพ ที่มักใช้สามสีปฐมภูมิ ภาพที่ได้อาจมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการเลือกภาพสามช่วงคลื่นและการกำหนดสามสีปฐมภูมิ มีด้วยกัน 2 วิธีคือ การผสมสีเสริม (Additive Color Composite) และการผสมสีลด (Subtractive Color Composite) ดังภาพประกอบ 2-7

การผสมสีเสริมใช้แหล่งแสงของทั้งสามสีปฐมภูมิ คือ น้ำเงิน เขียว และแดง ยกตัวอย่างมุมมองหลายช่วงคลื่นหรือแสดงภาพสี ภาพผสมสีลดใช้เม็ดสีของสามสีปฐมภูมิ คือ เขียวน้ำเงิน สีม่วงแดง และสีเหลือง ยกตัวอย่างเช่นเครื่องพิมพ์



ก) การผสมสีเสริม ข) การผสมสีลด

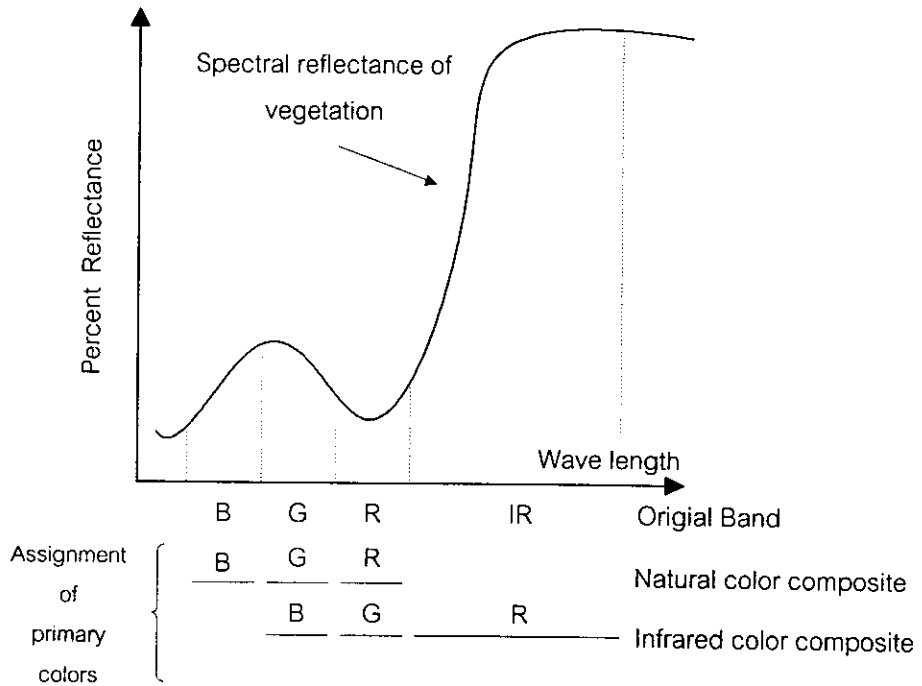
ภาพประกอบ 2-7 วิธีการผสมสี

เมื่อกรองภาพทั้งสามของสีน้ำเงิน เขียว และแดง ซึ่งจัดทำในย่านคลื่นรังสีเดียวกันของสีน้ำเงิน เขียว และแดง ตามภาพประกอบ 2-8 ซึ่งสามารถให้ผลเกือบเป็นสีเดียวกันในระดับสีธรรมชาติและเรียกกันว่าการผสมสีธรรมชาติ

อย่างไรก็ตามในภาพหลายช่วงคลื่นของโทรนิทัศน์ ไม่เสมอไปที่แบ่งกันในย่านคลื่นรังสีเดียวกัน ดังเช่นการกรองภาพสามสีปฐมภูมิ นอกจากนี้ในย่านสายตามองไม่เห็น อาทิเช่น อินฟราเรดมักใช้บ่อย ซึ่งกำหนดแสดงในสี ดังตัวอย่างเช่นด้วยช่วงอินฟราเรดที่ไม่ยาวกว่าสีธรรมชาติ เรียกว่าการผสมสีเท็จ (False Color Composite)

ในทางปฏิบัติการผสมสีที่ได้จัดทำจากช่วงคลื่นสีน้ำเงินไปยังเขียว ช่วงคลื่นสีเขียวไปยังสีแดง และช่วงคลื่นสีแดงไปยังอินฟราเรดใกล้ เป็นที่นิยมกันแพร่หลาย เรียกว่า การผสมสีอินฟราเรด ซึ่งพบเช่นเดียวกับบนฟิล์มอินฟราเรด

ในกรณีข้อมูลเชิงตัวเลข ค่าทั้งสามสอดคล้องกับสีแดง เขียว และน้ำเงิน จะทำให้การรวมสีหลากหลาย ตาราง 2-1 แสดงตัวอย่างการผสมสีจากข้อมูลเชิงตัวเลข



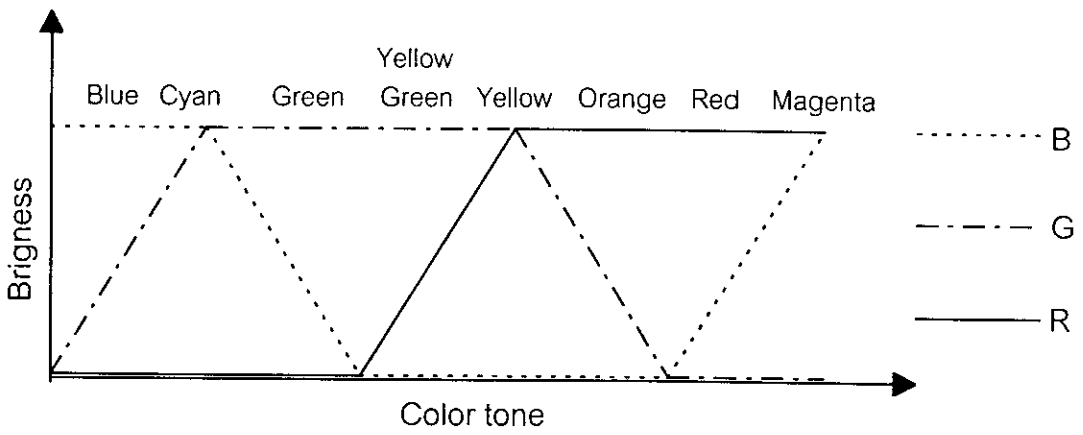
ภาพประกอบ 2-8 ตัวอย่างการผสมสีธรรมชาติ

ตาราง 2-1 ตัวอย่างการผสมสีจากข้อมูลเชิงตัวเลข

น้ำเงิน	เขียว	แดง	สี
0	0	0	ดำ
127	127	127	เทา
255	255	255	ขาว
255	0	0	น้ำเงิน
0	255	0	เขียว
0	0	255	แดง
255	255	0	เขียวน้ำเงิน
255	0	255	ม่วงแดง
0	255	255	เหลือง

Central Library
Prince of Songkla University

2.8.2 **การแสดงสีเทียม** (Pseudo Color Display) สีที่แตกต่างอาจจัดแบ่งย่อยแก่ระดับความเข้มของภาพเดียว ดังนั้นภาพสีที่เกิดขึ้นมาเรียกว่า สีเทียม (Pseudo Color) ยกตัวอย่างภาพสีเทียมของภาพอินฟราเรดช่วงความร้อนจะให้แผนที่อุณหภูมิ ถ้าต้องการจะได้ความเข้มสีอย่างต่อเนื่อง ควรใช้การทำงานที่ต่างกันของสามสีปฐมภูมิ ตามภาพประกอบ 2-9



ภาพประกอบ 2-9 ตัวอย่างการแสดงสีเทียม