

รายงานการวิจัยเรื่อง

การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเทอร์มัลอินฟราเรด
Digital Image Processing of Thermal Infrared Images



โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCU
TA ประจำปี ๒๕๓๗
1637
จ 451

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....32248.....
วัน, เดือน, ปี.....11 ส.ค. 2542.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารของศูนย์ฯ ซึ่งรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเทอร์มอลอินฟราเรด

Digital Image Processing of Thermal Infrared Images

บทคัดย่อ

เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเทอร์มอลอินฟราเรดที่จะกล่าวถึงในรายงานฉบับนี้ จะประกอบไปด้วย ทฤษฎีของเทอร์มอลอินฟราเรด และตัวอย่างการนำมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งรวมไปถึงการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) โดยเฉพาะการประมวลผลภาพแบบจุด (Point Processing) เพื่อให้สามารถพิจารณาข้อมูลภาพได้ด้วยตาเปล่า, และจะกล่าวถึงดาวเทียม NOAA พร้อมทั้งการหาค่า NVI (Normalized Vegetable Index) กับการแปลงข้อมูล NVI ไปเป็นข้อมูลภาพสี

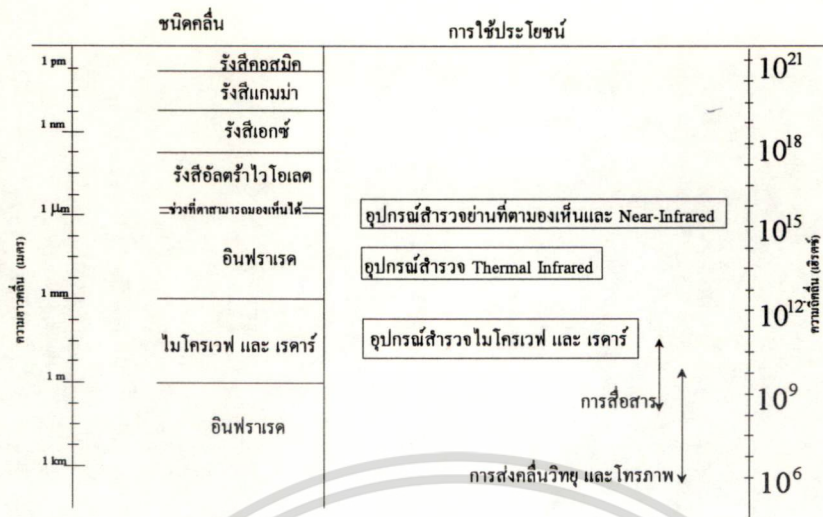
บทนำ

ภาพเทอร์มอลอินฟราเรดจะแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมพื้นฐานไม่ว่าจะเป็นในทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของกระบวนการสิ่งแวดล้อม ข้อมูลของอุณหภูมิจะมีส่วนสำคัญอย่างมากในการจัดการทรัพยากรของโลก

โดยทั่วไปแล้วเราคิดว่า การวัดอุณหภูมินั้นจะต้องใช้เครื่องมือวัดที่ต้องสัมผัส หรือไม่ก็จุ่มลงไป ในวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ซึ่งการวัดในลักษณะอย่างนี้จะเป็นการวัดอุณหภูมิจลน์ (Kinetic Temperature) อุณหภูมิจะแสดงถึงการถ่ายเทพลังงานเฉลี่ยของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของสสารนอกจากนี้การแสดงผลออกมาของอุณหภูมิภายใน วัตถุจะกระจายพลังงานเหมือนกับฟังก์ชันอุณหภูมิของวัตถุนั้นๆ การปล่อยพลังงานออกมามายนอกจะทำให้สถานะทางพลังงานของวัตถุ ถูกตรวจสอบได้จากระยะไกลและสามารถใช้ในการกำหนดอุณหภูมิของวัตถุได้ ซึ่งจะเรียกอุณหภูมิในลักษณะอย่างนี้ได้ว่า "Radiant Temperature" ของวัตถุ [1]

สำหรับช่วงคลื่นความร้อน ($10-14 \mu\text{m}$) ที่ใช้ในทางรีโมทเซนซิงซึ่งเป็นการถ่ายภาพในระบบสแกนเนอร์และเป็นระบบที่ใช้วัดการแผ่รังสีความร้อนของโลกได้เป็นอย่างดี ซึ่งได้รับการพัฒนาในส่วนของตัวตรวจจับสัญญาณ ในด้านความไวและความคงที่ จนเป็นระบบที่ใช้วัดได้ในหลายช่วงคลื่น ไม่ว่าจะเป็นในย่านที่ตามองเห็น ซึ่งความยาวของช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง $0.7 \mu\text{m}$ ซึ่งประกอบไปด้วยแถบสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง และถัดขึ้นไป ในย่านอินฟราเรด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงกันคือ อินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared) หรือ อินฟราเรดสะท้อนแสง ซึ่งมีช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง $3 \mu\text{m}$ และเทอร์มอลอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวของช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 3 ถึง $14 \mu\text{m}$ ไปจนถึงย่านไมโครเวฟ และเรดาร์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1 mm ถึง 1 m ดังแสดงในตารางที่ 1. [4] รังสีที่วัดได้ในช่วงความยาวคลื่น 10.5 ถึง $12.5 \mu\text{m}$ เป็นรังสีความร้อนที่แผ่จากโลก โดยปราศจากการปะปนของการสะท้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้สามารถแปลงเป็นค่าอุณหภูมิได้โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก อย่างไรก็ตามในการหาค่าอุณหภูมิของผิวโลก, ผิวหน้าทะเล, หรือเมฆ จากภาพเหล่านี้ จำเป็นต้องมีการแก้ไข ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 1. แสดงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นและความถี่ต่างๆ และการใช้ประโยชน์

| Imaging System | Spectral Response [μm] | IFOV [mR] or Ground Spot Size [km] | Noise Level [K] | Data Quantization [bits] |
|--|--|------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Landsat Thematic Mapper (Band 6) (TM) | 10.4-12.4 | 12 km | 0.4K | 8 |
| Heat Capacity Mapping Radiometer (HCMM) | 10.5-12.5 | 0.83 mR | 0.4K | 8 |
| Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) | 3.55-3.93 10.3-11.3 11.5-12.5 | 1.51 mR 1.41 mR 1.30 mR | 0.12K | 10 |
| Thermal Infrared Multispectral Scanner (TIMS) | 8.2-8.5 8.6-9.0 9.0-9.4 9.4-10.2 10.2-11.2 | 2.5 mR | 0.1-0.3K | 8 |

ตารางที่ 2. เปรียบเทียบภาพเทอร์มอลอินฟราเรดที่ได้จากแหล่งต่างๆ

1. การแก้ไขในส่วนของการแผ่รังสี และการดูดกลืนของชั้นบรรยากาศ ที่เกิดขึ้นจากไอน้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. การแก้ไขค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวทะเล (ซึ่งมีความหนาเพียง 2 ถึง 3 μm) และอุณหภูมิรวมของทะเล (Upper Mixed Layer)

พื้นผิวของโลกจะปล่อยรังสีที่มีความยาวคลื่น ในช่วงของเทอร์มอลอินฟราเรด ภาพเทอร์มอลอินฟราเรดอาจจะเป็นช่วงคลื่นระดับกลาง (Midwave; 3-5 μm) หรืออาจจะเป็นคลื่นยาว (Long-Wave; 8-14 μm) ในตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบภาพเทอร์มอลอินฟราเรดจากดาวเทียมแต่ละดวง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์มัลอินฟราเรด (Thermal Infrared) [3]

การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุใดๆ ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างจากอุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ศูนย์องศา การแผ่รังสีอันนี้จะเป็นไปตามกฎการแผ่รังสีของแพลงค์ (Planck) ซึ่งถูกตีพิมพ์ เมื่อปี ค.ศ. 1900 และในการวิจัยเรื่องนี้ก็เป็นหัวข้อเดียวกับที่ Rayleigh, Jeans, Wien, Stefan และ Boltzman ได้ทำการศึกษาแต่นำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ต่างกัน

สำหรับวัตถุในธรรมชาติโดยทั่วไปแล้ว ความร้อนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรด ในกรณีของดวงอาทิตย์, ดวงดาวทั้งหมด, และตัวแผ่รังสีที่อุณหภูมิสูง โดยอุณหภูมิที่สูงของสิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่ การปล่อยคลื่นความร้อนออกมาในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น และในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต นอกจากการแผ่รังสีความร้อนแล้ว คุณสมบัติการนำความร้อนของชั้นผิวหน้าของวัตถุก็เป็นปัจจัยหลักที่ตอบสนองต่อการคาดคะเนความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์

1. กฎการแผ่รังสีความร้อน

กฎของแพลงค์ ที่ได้อธิบายถึงคุณสมบัติการแผ่รังสีของเทห์วัตถุสีดำ (Blackbody) ที่อุณหภูมิ T องศาสัมบูรณ์ดังนี้

$$S(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5 e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \tag{1}$$

- ที่ $S(\lambda)$: เป็นค่าการแผ่รังสีรวมในหนึ่งหน่วยเวลาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภายในช่วง คลื่นที่มีศูนย์กลางที่ λ มีหน่วยเป็น W/m^2
- λ : ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี (m)
- c_1 : เป็นค่าคงที่ = $3.74 \times 10^{-16} Wm^2$
- c_2 : เป็นค่าคงที่ = $1.44 \times 10^{-2} Wm^2$
- T: ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($^{\circ}K$)

การแผ่รังสีจากวัตถุ

แนวความคิดของเทห์วัตถุสีดำเป็นทฤษฎีที่ง่ายที่จะนำไปสู่การอธิบายกฎการแผ่รังสี ซึ่งวัตถุโดยทั่วไปจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างจากเทห์วัตถุสีดำ วัตถุทั้งหมดจะมีการปล่อยพลังงานออกมาเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับที่ปล่อยออกมาจากเทห์วัตถุสีดำที่อุณหภูมิเดียวกัน ความสามารถในการปล่อยพลังงานของวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับเทห์วัตถุสีดำนี้จะเรียกค่านี้ว่าอีมิตติวิตีของวัตถุ (Material's Emissivity: ϵ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปัจจัยที่อธิบายถึงประสิทธิภาพการกระจายพลังงานของวัตถุ ต่อเทหวัตถุสีดำเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถกำหนดได้โดย

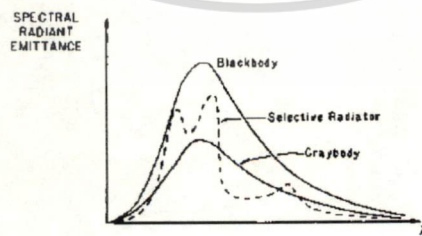
$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\text{การแผ่รังสีของวัตถุที่อุณหภูมิหนึ่งๆ}}{\text{การแผ่รังสีของเทหวัตถุสีดำที่อุณหภูมิเดียวกับวัตถุนั้นๆ}} \quad (2)$$

จากสูตรของพลังค์ที่อธิบายถึง การแผ่รังสีจากเทหวัตถุสีดำในสมการที่ 1 วัตถุเหล่านี้จะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมการที่ 2 สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{S'(\lambda)}{S(\lambda)} \quad (3)$$

ε มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเหมือนกับการสะท้อน คือสามารถมีมุมมองและความยาวคลื่นได้หลายค่า พร้อมกับมีการผันแปรตามค่าอุณหภูมิ โดยจะขึ้นอยู่กับวัตถุ ค่า ε สามารถแบ่งได้ 3 แบบด้วยกัน ตามความผันแปรของช่วงคลื่น (ดังรูปที่ 1.)

1. เทหวัตถุสีดำมีค่า $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon = 1$
2. เทหวัตถุสีเทา (Graybody) มีค่า $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon =$ ค่าคงที่ที่น้อยกว่า 1
3. ตัวแผ่รังสีที่เลือกค่าได้ (Selective Radiator) ที่ค่า $\varepsilon(\lambda)$ จะผันแปรตามความยาวคลื่น



รูปที่ 1. แสดงค่า ε เชิงคลื่น (Spectral Emissivity) และการแผ่รังสีเชิงคลื่นที่เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพลังงานไปตกกระทบบนวัตถุที่ค่อนข้างหนา ค่าส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับจากผิวหน้าของวัตถุ (ρ) และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน (τ) ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservative of Energy) ซึ่งสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์อันนี้ได้โดยสมการที่ 4

$$\rho + \tau = 1 \tag{4}$$

เทหวัตถุสีดำจะดูดกลืนพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบกับวัตถุ ซึ่งในที่นี้ $\tau = 1$ และ $\rho = 0$ (ซึ่งก็คือพลังงานทั้งหมดถูกดูดกลืนนั่นเอง)

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's Law) ค่าดูดกลืนพลังงานของวัตถุ (Absorptance: α) จะเท่ากับค่าที่ปล่อยออกไปที่อุณหภูมิค่าเดียวกัน ในกรณีของเทอมอื่นๆ ค่าการดูดกลืน จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจะได้ว่า

$$\alpha = \epsilon = \tau \tag{5}$$

ค่าการสะท้อนกลับ ρ บางครั้งอาจจะเรียกว่า อัตราการสะท้อนกลับ (Albedo: A)

ค่า ϵ ของวัตถุเป็นฟังก์ชันของทิศทางที่ปล่อยออกมา ในกรณีทั่วไปค่า ϵ ที่ผิวหน้าของวัตถุ จะเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น และทิศทางที่ปล่อยพลังงานออกมา $\epsilon(\lambda, \theta)$ ที่ θ เป็นมุมที่สัมพันธ์กับผิวหน้าของวัตถุ

ค่า ϵ ของโลหะจะมีค่าต่ำ โดยเฉพาะโลหะที่ผิวหน้าเป็นมันเงา (นั่นคือ ρ มีค่าสูง และ ϵ, τ มีค่าต่ำ) ซึ่งมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าของอุณหภูมิ และชั้นของออกไซด์ สำหรับวัตถุที่ไม่ใช่ โลหะค่า ϵ จะมีค่าสูงโดยปกติแล้วจะมากกว่า 0.8 และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

การแผ่รังสีอินฟราเรดจากพื้นผิวที่ทึบแสง เกิดขึ้นภายในพื้นผิวที่ลึกจากผิวหน้าไม่กี่ไมโครเมตร ดังนั้นค่า ϵ จะแปรผันตรงกับสถานะของพื้นผิว หรือสิ่งที่ปกคลุมพื้นผิวอยู่ เช่น ในกรณีที่ชั้นบางๆ ของหิมะหรือพืช ซึ่งอาจจะทำให้ค่า ϵ ของผิวหน้าดินเปลี่ยนแปลงไป

การคาดคะเนค่า ϵ ของวัตถุบนพื้นฐานของสิ่งที่มันปรากฏให้เห็น ซึ่งค่านี้จะสะท้อนกลับในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible Band) หิมะเป็นตัวอย่างที่ดีอันหนึ่งที่จะพิจารณากันในแถบคลื่นที่ตามองเห็น หิมะจะเป็นตัวสะท้อนกลับที่ดีที่สุดตัวหนึ่ง และจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ เราอาจจะคิดว่าค่า ϵ ของมันจะมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 273 °K แถบคลื่นทั้งหมดจะกระจายอยู่ในช่วง 3 ถึง 70 μm (ค่า ϵ จะมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 10.5 μm) จะเห็นว่าในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจะไม่มี ความหมายต่อหิมะ เนื่องจากหิมะจะปล่อยพลังงานได้ดีที่สุดในช่วงคลื่นอินฟราเรดและค่าสะท้อนกลับของมันจะต่ำ

เทหวัตถุในธรรมชาติโดยทั่วไป แถบคลื่นที่ปล่อยรังสีจะไม่ใช้กราฟที่มีลักษณะการเพิ่มขึ้นทางเดียวแต่จะมีแถบคลื่นหลายเส้น ที่แสดงถึงคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวซึ่งเป็นส่วนประกอบของเทหวัตถุอันนั้น ในแถบคลื่นเทอร์มัลอินฟราเรด จะมีเส้นคลื่นดูดกลืนพื้นฐานอยู่จำนวนมาก และมีแถบพลังงานที่มีการสั่นสอดแทรกอยู่ด้วย สำหรับการใส่สเปกตรัลซิกเนเจอร์ (Spectral Signature) ในเทอร์มัลอินฟราเรดเพื่อศึกษาเทหวัตถุต่างๆ จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า ϵ จากดวงอาทิตย์และพื้นผิวของดาวเคราะห์

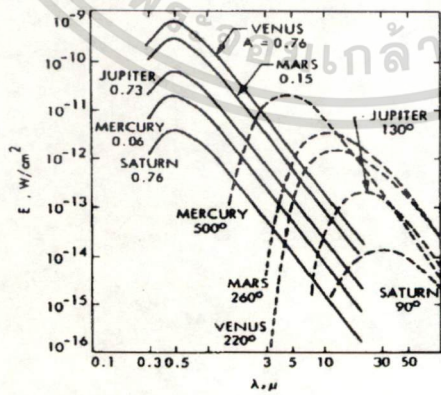
การปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์จะสอดคล้องกับอุณหภูมิพื้นผิวของเทอร์โมสเฟียร์ประมาณ 6000 °K ซึ่งจะมีค่าการปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 0.48 μm

สำหรับพื้นผิวของดาวเคราะห์ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 40 °K (บนดาวพลูโต) ถึง 700 °K (บนดาวพุธ) ซึ่งจะสมนัยกับการปล่อยพลังงานสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 72 และ 4.1 μm ตามลำดับ อุณหภูมิพื้นผิวของโลกจะอยู่ในช่วง 240 °K ถึงประมาณ 315 °K ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยโดยประมาณ 300 °K และจะสอดคล้องกับการปล่อยพลังงานสูงสุดที่ความยาวคลื่น 12.4, 9.18, และ 9.66 μm ที่อุณหภูมิต่างกันตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มเมฆที่ปกคลุมดาวเคราะห์อยู่ การปล่อยพลังงานความร้อนจะถูกกั้นโดยชั้นบรรยากาศ

ตัวแปรที่น่าสนใจตัวหนึ่งคือ ความผันแปรสัมพัทธ์ของการปล่อยพลังงาน (เช่น ค่า ϵ) ซึ่งจะเหมือนกับฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อค่าความยาวคลื่นที่ที่ค่าอุณหภูมิสูงสุด T_0 ซึ่งจากสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$\frac{\Delta S}{S} \Big|_{T_0} \approx \frac{c_2 \Delta T}{a T_0} \approx 5 \frac{\Delta T}{T_0} ; \quad \text{ที่ } a \text{ เป็นค่าคงที่ซึ่งเท่ากับ } 2898 \mu\text{mK} \quad (6)$$

ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิพื้นผิวเปลี่ยนไปหนึ่งเปอร์เซ็นต์จะมีผลให้ค่าการปล่อยพลังงานเปลี่ยนไปห้าเปอร์เซ็นต์ การเปรียบเทียบการกระจายของแถบคลื่นที่ปล่อยรังสีกับการสะท้อนกลับของรังสี สำหรับเทอร์โมสเฟียร์ที่ต่างชนิดกันในระบบสุริยะจักรวาล ในรูปที่ 2. แสดงการกระจายของแถบคลื่นของ ดาวพุธ, ดาวศุกร์, ดาวอังคาร, ดาวพฤหัสบดี, และ ดาวเสาร์ ความยาวคลื่นที่พลังงานถูกปล่อยออกไป และที่สะท้อนกลับจะเท่ากัน ซึ่งปกติจะอยู่ระหว่าง 2 μm (สำหรับดาวพุธ) และ 11 μm (สำหรับดาวเสาร์) ค่าที่ถูกต้องจะขึ้นอยู่กับค่าดูดกลืนพลังงานที่พื้นผิว ซึ่งก็คือ $\epsilon = 1 - A$ เมื่อ A อัตราการสะท้อนกลับ หรือการสะท้อนกลับของพลังงาน ($A = \rho$)



รูปที่ 2. แสดงค่าการสะท้อนกลับ (เส้นทึบ) และพลังงานที่ถูกปล่อยออกไป (เส้นประ) สำหรับแถบคลื่นพลังงานของ ดาวพุธ, ดาวศุกร์, ดาวอังคาร, ดาวพฤหัสบดี, และ ดาวเสาร์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิและอัตราการสะท้อนกลับของพื้นผิว อัตราการสะท้อนกลับถูกสมมุติให้เป็นค่าคงที่ที่ตัดผ่านแถบคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบพลังงานสะท้อนกลับกำหนดได้โดย

$$S_r(\lambda) = S(\lambda, T_s) \times \left(\frac{R_s}{d}\right)^2 \times A \quad (7)$$

เทอมแรกทางขวามือเป็นพลังงานที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ด้วยอุณหภูมิ T_s เทอมที่สองแทนข้อเท็จจริงที่ว่า พลังงานที่ส่งผ่านทรงกลมจากพื้นผิวดวงอาทิตย์ด้วยรัศมี R_s กับเทหวัตถุที่ระยะทาง d และเทอมที่สามเป็น ค่าสะท้อนกลับโดยเฉลี่ยของเทหวัตถุ

2. ทฤษฎีการนำความร้อน

สมการการนำความร้อนคือ

$$\Delta^2 v - \frac{1}{K} \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

ที่ v เป็นอุณหภูมิ และ K เป็นอัตราการแพร่กระจาย (Diffusivity: m^2/sec) K สัมพันธ์กับการนำความร้อนของวัตถุ K (Cal/m/sec/degree), ค่าความหนาแน่น ρ (kg/m^3) และค่าความร้อนจำเพาะหรือค่าความจุ ความร้อน C (Cal/kg/degree) โดย

$$K = k/(\rho c) \quad (9)$$

3. ผลของคาบเวลาความร้อน

ในกรณีของของแข็งชนิด Semi-infinite อุณหภูมิผิวหน้าของมันจะเป็นฟังก์ชันฮาร์โมนิกของเวลา ซึ่งเป็นกรณีเฉพาะที่น่าสนใจในทางวิโมทเซนซึ่งเนื่องจากคาบเวลาของความร้อนพื้นผิวจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิพื้นผิวของของแข็งชนิด Semi-Infinite ที่ x ใดๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

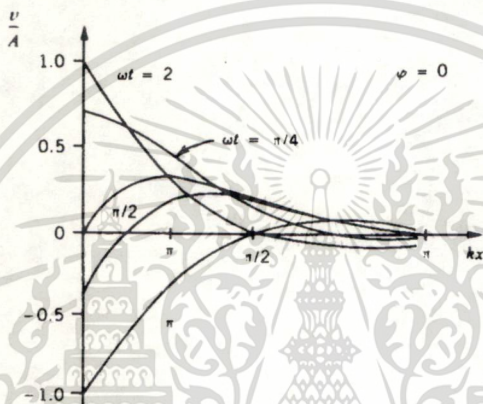
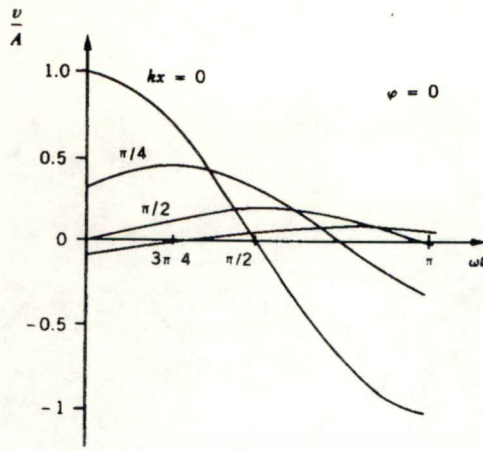
$$v(x, t) = Ae^{-kx} \cos(\omega t - \phi - kx) \quad (10)$$

ที่ ω และ ϕ เป็นค่าความถี่เชิงมุม, x เป็นฟังก์ชันฮาร์โมนิกของเวลา ที่มีจำนวนคลื่นเท่ากับ k และความยาวคลื่น

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \sqrt{\frac{2K}{\omega}} \quad (11)$$

ในสมการที่ 10 แทนการลดลงของคลื่นอุณหภูมิตามฟังก์ชัน x (ดูรูปที่ 3.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลงานวิจัยสำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. พฤติกรรมของคลื่นอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับความหนาของสิ่งที่ปกคลุม

สำหรับตัวอย่างของหินที่มีค่า $K = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ ความยาวคลื่นประมาณหนึ่งเมตรที่ความถี่ หนึ่งรอบ/วันและความยาว 19 m ที่ความถี่หนึ่งรอบ/ปี สำหรับตัวนำที่เป็นโลหะค่า $K = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ ความยาวคลื่น 10 m ที่ความถี่ หนึ่งรอบ/วัน และที่ความยาวคลื่น 190 m สำหรับความถี่หนึ่งรอบ/ปี ตารางที่ 3. เป็นการ กำหนดคุณสมบัติทางความร้อนของหินชนิดต่างๆ

4. การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวระยะไกลจากความร้อนที่ปล่อยออกมา

ข้อเท็จจริงสำหรับอุณหภูมิพื้นผิว และความร้อนที่ปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับความร้อนเฉื่อยของพื้นผิว (Surface Thermal Inertia) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของที่ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิว ทำให้สามารถนำมาใช้อ้างอิงคุณสมบัติของอุณหภูมิพื้นผิวโดยใช้การวิเคราะห์ความร้อนพื้นผิวที่ปล่อยออกมา การแปรค่าของอุณหภูมิพื้นผิวเกิดขึ้นจาก ช่วงของการส่องสว่างของแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดคาบเวลาของฟลักซ์ (Periodic flux)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| วัสดุ | K (Cal/m sec °C) | ρ (kg/m ³) | C (Cal/kg/°C) | $\frac{K}{m^2 \cdot sec}$ | P (Cal/m ² /sec ^K °C) |
|---------------|---------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|--|
| น้ำ | 0.13 | 1000 | 1010 | 1.310^{-7} | 370 |
| Basalt | 0.5 | 2800 | 200 | 910^{-7} | 530 |
| Clay (moist) | 0.3 | 1700 | 350 | 510^{-7} | 420 |
| Granite | 0.7 | 2600 | 160 | 1610^{-7} | 520 |
| Gravel | 0.3 | 2000 | 180 | 810^{-7} | 320 |
| Limestone | 0.48 | 2500 | 170 | 1.110^{-7} | 450 |
| Dolomite | 1.2 | 2600 | 180 | 2610^{-7} | 750 |
| Sandy soil | 0.14 | 1800 | 240 | 310^{-7} | 240 |
| Sandy gravel | 0.6 | 2100 | 200 | 1410^{-7} | 500 |
| Shale | 0.35 | 2300 | 170 | 810^{-7} | 340 |
| Tuff | 0.28 | 1800 | 200 | 810^{-7} | 320 |
| Marble | 0.55 | 2700 | 210 | 1010^{-7} | 560 |
| Obsidian | 0.3 | 2400 | 170 | 710^{-7} | 350 |
| Pumice, loose | 0.06 | 1000 | 160 | 410^{-7} | 90 |

แหล่งที่มา: Janza, 1975.

ตารางที่ 3. คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุบางชนิด

การให้ความร้อนกับพื้นผิวโดยแสงอาทิตย์

กรณีที่เราสนใจ (เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อโลก) ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการกำหนดขอบเขต และสามารถกำหนดได้โดย

$$\begin{aligned}
 -K \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} &= (1-\rho)v_s^4 - \epsilon \delta v^4 + I(t) \\
 &= -\epsilon \delta (v^4 - v_s^4) + I(t)
 \end{aligned} \tag{12}$$

ที่ v_s เป็นผลของอุณหภูมิจากท้องฟ้า (ที่ความยาวคลื่นยาว)

I การส่องสว่างของดวงอาทิตย์ที่มีค่าลดลงเนื่องจากการส่งผ่านชั้นบรรยากาศ สำหรับเทอม $(1-\rho)v_s^4$ และ $I(t)$ เป็นอินพุตพลั๊กซ์ที่แผ่มาจากท้องฟ้าและดวงอาทิตย์ ตามลำดับ และเทอม $\epsilon \delta v^4$ เป็นเอาต์พุตพลั๊กซ์ที่เปล่งออกมาจากพื้นผิวของวัตถุ ในกรณีนี้เราสามารถตัดบางเทอมที่เป็นกลไกการส่งผ่านความร้อนออกได้ เช่น ชั้นบรรยากาศ, การถ่ายเทความร้อน (Convection) และผลจากความร้อนแฝง (Latent Heat) ในที่นี้กำหนดให้ $v - v_s \ll v_s$ ดังนั้นเงื่อนไขของขอบเขตสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$-K \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} = -4\epsilon \delta v_s^3 (v - v_s) + I(t) \tag{13}$$

ผลของสมการการนำความร้อนที่เนื่องมาจากเงื่อนไขข้างบน สามารถเขียนได้ดังนี้

$$h(x,t) = v - \frac{1}{q} \frac{\partial v}{\partial x} \tag{14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $q = 4 \frac{\epsilon \delta v_s^3}{k}$ ดังนั้น

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (15)$$

เนื่องจาก

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{1}{k} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (16)$$

ทำให้เงื่อนไขของขอบเขตกลายเป็น

$$\begin{aligned} h(0, t) &= v(0, t) - \frac{1}{q} \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} \\ &= v(0, t) - v(0, t) + v_s + \frac{1}{qk} \\ &= v_s + \frac{1}{qk} \end{aligned} \quad (17)$$

ซึ่งสมการนี้จะง่ายกว่าสมการที่ 13 การส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (I) เป็นฟังก์ชันของการสะท้อนของพื้นดิน (A) ในแถบคลื่นของดวงอาทิตย์ (ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นแถบคลื่นในช่วงที่ตามองเห็น และ Near Infrared) การเบนไปของดวงอาทิตย์ δ , แลตติจูด γ , และความลาดเอียงของพื้นที่ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$I(t) = (1 - A) S_0 C H(t) \quad (18)$$

ที่ S_0 เป็นค่าคงที่ของดวงอาทิตย์
 C เป็นปัจจัยที่บอกถึงการลดของฟลักซ์ดวงอาทิตย์เนื่องจากเมฆ และ

$$H(t) = \begin{cases} M[Z(t)] \cos Z'(t) & \text{ในช่วงกลางวัน} \\ 0 & \text{สำหรับกลางคืน} \end{cases} \quad (19)$$

ที่ $Z(t)$ เป็นมุมซันิธ (Zenith Angle)
 $Z'(t)$ เป็นที่ตั้งของมุมซันิธ สำหรับพื้นผิวที่เอียง
 M เป็นการลดทอนของชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของมุมซันิธ (Z)
 ฟังก์ชัน $H(t)$ เป็นคาบเวลาที่สัมพันธ์กับ t ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega t - \phi_n) \quad (20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งนำไปสู่ฟังก์ชันการนำความร้อนที่ $x = 0$

$$h(0, t) = v_s + \frac{(1-A)S_0 C}{qk} \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega t - \phi_n) \quad (21)$$

และในกรณีที่ $x \neq 0$ จะได้ว่า

$$h(x, t) = v_s + \frac{(1-A)S_0 C}{qk} \sum_{n=0}^{\infty} A_n e^{-k\sqrt{nx}} \cos(n\omega t - \phi_n - k\sqrt{nx}) \quad (22)$$

สำหรับผลลัพธ์ $v(x, t)$ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสมการ 14 คือ

$$v(x, t) = Be^{qx} - qe^{qx} \int_x^{\infty} h(\xi, t) e^{-q\xi} d\xi \quad (23)$$

ให้ $\eta = -x + \xi$ และ $x \rightarrow \infty$ ดังนั้น

$$v(x, t) = -q \int_x^{\infty} h(x + \eta, t) e^{-q\eta} d\eta \quad (24)$$

และผลลัพธ์สำหรับ $v(0, t)$ คือ

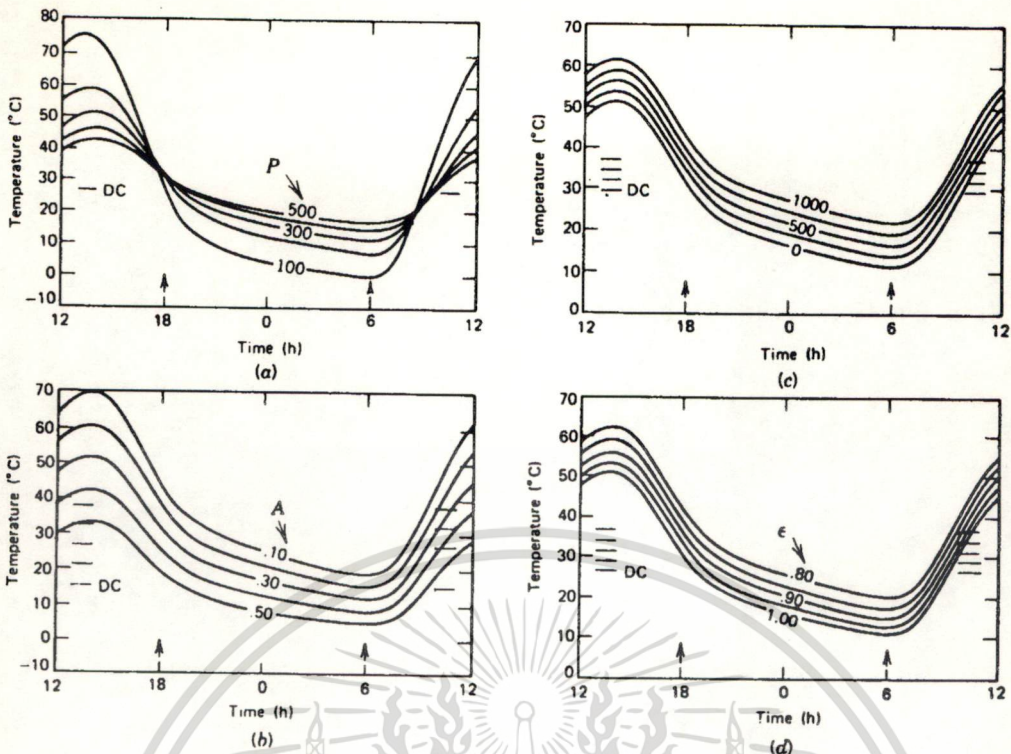
$$\begin{aligned} v(0, t) &= q \int_0^{\infty} h(\eta, t) e^{-q\eta} d\eta \\ &= v_s + \frac{(1-A)S_0 C}{K} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A_n \cos(n\omega t - \phi_n - \delta_n)}{\sqrt{(q - k\sqrt{n})^2 + nk^2}} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{ที่ } \tan(\delta_n) = \frac{(q+1)}{qk\sqrt{n}}$$

ผลของฟลักซ์ความร้อนที่สัมพันธ์กับความร้อนภายในของโลก (Geothermal; Q) ที่พื้นผิว สามารถอธิบายเพิ่มเติมโดยผลลัพธ์ที่สองคือ $v = \frac{Qx}{K} + \frac{Q}{qK}$ ซึ่งเพียงพอสำหรับสมการการนำความร้อน และเงื่อนไขของขอบเขต สำหรับทอม $\frac{Q}{qK}$ ที่เพิ่มเข้าไปก็เพื่อแสดงค่า $v(0, t)$

ในรูปที่ 4. แสดงผลลัพธ์ของพฤติกรรมอุณหภูมิในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่เฉลี่ย, อัตราการสะท้อนกลับ (A) ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น, ฟลักซ์ของความร้อนภายในโลก, ค่า ε ในแถบคลื่นอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. กราฟอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวัน (a) แสดงความร้อนเฉื่อย ($\text{cal}/\text{m}^2\text{sec}^{1/2}$) (b) อัตราการสะท้อนกลับ (c) พลังค์ความร้อนที่อยู่ภายในโลก (HFU) (d) ค่า ϵ ; อุณหภูมิในช่วงกลาง วันเฉลี่ย (DC) แสดงโดยเส้นในแนวนอน, และตัวแปรที่ถูกเซตให้เป็นค่าคงที่คือ ค่าความร้อนเฉื่อยเท่ากับ $300 \text{ cal}/\text{m}^2\text{sec}^{1/2}$, ค่าอัตราการสะท้อนกลับเท่ากับ 0.3, ค่า ϵ เท่ากับ 1.0, แลตติจูดที่ 30° ความเอนเอียงของดวงอาทิตย์เท่ากับ 0° , ค่าอุณหภูมิที่แผ่จากท้องฟ้า 260° , เมฆที่ปกคลุมเท่ากับ 0.2

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวัน (\bar{v}) ซึ่งได้มาจากการอินทิเกรตเทอม $v(0,t)$ ในช่วงเวลากลางวันทั้งหมดจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{1}{T} \int_0^T v(0,t) \\ &= v_s + \frac{Q}{s} + (1-A) \frac{S_0 CA_0}{S} \cos(\phi_0) \end{aligned} \quad (26)$$

ที่

$$A_0 \cos(\phi_0) = \frac{1}{T} \int_0^T H(t) dt$$

และ $S = qK = 4\epsilon\sigma v_s^3$ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า \bar{v} เป็นอิสระจากความเฉื่อยบริเวณผิวหน้า และสามารถใช้ร่วมกับ การวัดอัตราส่วนการสะท้อนกลับและข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับโทโพกราฟฟิก (Topographic) เพื่อให้ได้ค่า Q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์กราฟในรูปที่ 4. จะเห็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างกลางวัน และกลางคืน เป็น Δv ที่ขึ้นอยู่กับความร้อนเฉลี่ย P เป็นอย่างมาก และขึ้นอยู่กับอัตราการสะท้อนกลับ A เพียงเล็กน้อย และเกือบจะเป็นอิสระจากค่า ϵ ข้อเท็จจริงอันนี้ใช้ในการแมพความผันแปรของความร้อนเฉลี่ยได้

ผลกระทบของสิ่งที่ปกคลุมพื้นผิว

ความผันแปรของอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันถูกจำกัดด้วยค่าที่วัดได้สูงสุด หรือน้อยกว่าค่าของของแข็งชนิด Semi-Infinite ความหนาของบริเวณนี้จะเป็นสัดส่วนของรากที่สองของอัตราการแพร่กระจาย (Diffusivity: K) ดังนั้นถ้าพื้นผิวถูกปกคลุมด้วยชั้นบางๆ ของวัตถุที่มีค่า K ต่ำๆ หรือมีค่า ρC มาก วัตถุที่ถูกปกคลุมแทบจะไม่มีผลกระทบจากความผันแปรของอุณหภูมิพื้นผิวเลย

ผลลัพธ์ของปัญหาที่ถูกกำหนดโดยวัตสัน (Watson, 1973) และผลลัพธ์บางอย่างถูกแสดงในรูปที่ 5. ที่แสดงถึงชั้นที่ปกคลุมไม่มีความชื้นเช่นดินทรายที่แห้ง ($K = 210^{-7} \text{ m}^2 / \text{sec}$, $P = 150 \text{ cal} / \text{m}^2 \text{ sec}^{1/2}$) และชั้นของมอสส์กับไลเคนที่แห้ง ($K = 1.410^{-7} \text{ m}^2 / \text{sec}$, $P = 40 \text{ cal} / \text{m}^2 \text{ sec}^{1/2}$) ที่วางซ้อนทับอยู่บนครั้งหนึ่งของพื้นที่ ที่มีความร้อนเฉลี่ย $P = 400 \text{ cal} / \text{m}^2 \text{ sec}^{1/2}$ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเหมือนหินโดยทั่วไปที่ไม่มีอะไรปกคลุม แต่ถ้าชั้นของสิ่งที่ปกคลุมมีความหนาประมาณ 10 cm สิ่งที่ถูกคลุมนั้นจะเป็นฉนวนเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์จากความผันแปรของอุณหภูมิในช่วงกลางวัน

การแยกพื้นผิวแต่ละชนิด โดยใช้เทอร์มัลซิกเนเจอร์

เส้นกราฟในรูปที่ 4. แสดงพฤติกรรมที่น่าสนใจซึ่งสามารถใช้หาค่าคุณสมบัติของพื้นผิวได้ สิ่งแรกเป็นการวัดการปล่อยพลังงานความร้อนที่พื้นผิวเพียงอย่างเดียว ซึ่งไม่สามารถหาค่าความร้อนของพื้นผิวได้ เนื่องจากการวัดอันนี้ขึ้นอยู่กับ ตัวแปรอิสระหลายตัวด้วยกัน (ดังสมการที่ 25) อย่างไรก็ตามเราสามารถวัดความแตกต่างของความร้อนที่ปล่อยออกมาสองครั้งในหนึ่งวัน ซึ่งทำให้สามารถสังเกตสิ่งเหล่านี้ได้

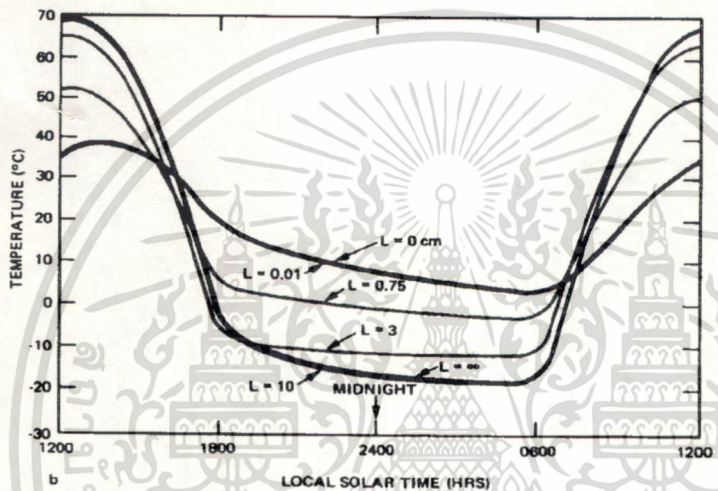
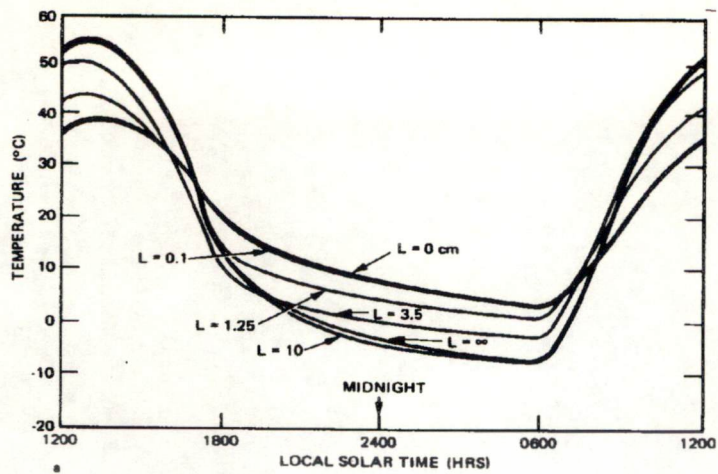
1. สามารถตัดค่า ϵ ออกได้ (ดังรูปที่ 4d)

2. ผลของการสะท้อนกลับมีความสำคัญ ซึ่งการวัดอัตราการสะท้อนกลับจะทำในแถบคลื่นที่ตามองเห็น และ Near Infrared

3. ผลของความร้อนเฉลี่ยจะมีนัยสำคัญ ถ้าช่วงเวลาที่สังเกตถูกเลือกอย่างเหมาะสม

พิจารณาดาวเทียมที่รอบการโคจรเท่ากับ 12 ชั่วโมง ช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่จะสังเกตคือประมาณ 2:00 a.m. และ 2:00 p.m. ดังนั้นถ้าภาพเทอร์มัลแถบทางกว้าง (Broadband Thermal Infrared Image) ใช้ร่วมกับภาพแถบทางกว้างของช่วงคลื่นที่ตามองเห็น/Near-Infrared จากการสังเกตค่าความร้อนของทั้งคู่ทำให้ได้ค่าความร้อนเฉลี่ย P บนพิกเซล (Pixel) นั้นๆ ความร้อนเฉลี่ยสามารถใช้วัดความต้านทานของวัตถุที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ ดังในตารางที่ 3. ค่า P มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการหาความแตกต่างของวัตถุในแต่ละชนิด ในกรณีเฉพาะ P จะเกิดการสูญเสียมากกว่าสี่เท่า ใน Pumice และ Sandy Gravel, Basalt หรือ Limestone ดังนั้นการแมพค่าความร้อนเฉลี่ยสามารถใช้ในการแยกผิวหน้าวัตถุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5. แสดงอุณหภูมิพื้นผิวเปรียบเทียบกับเวลาท้องถิ่นโดยมีความหนาของชั้นพื้นผิว (L) ที่ปกคลุมอยู่ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างการใช้งานทางด้านธรณีวิทยา

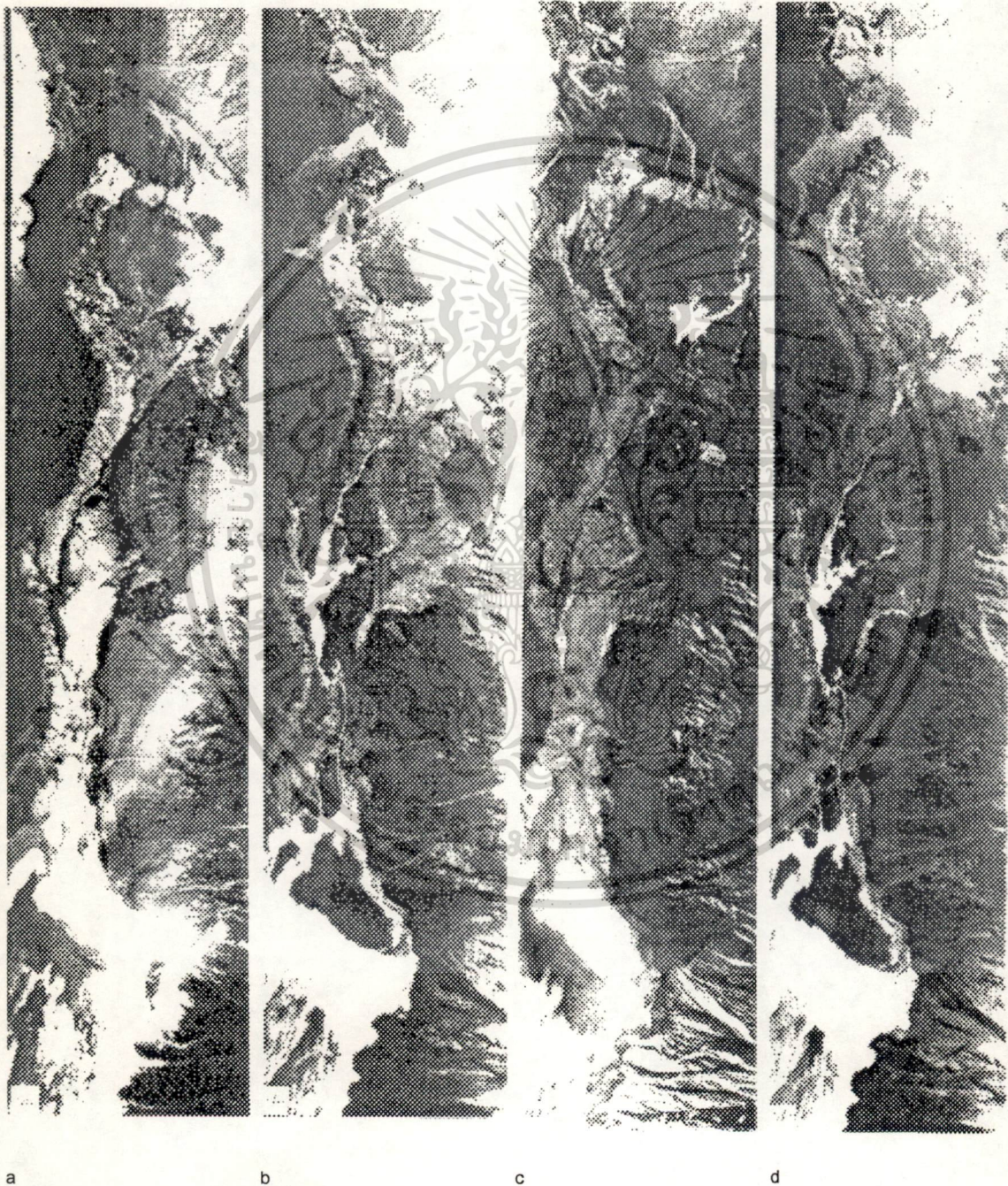
การสังเกตพื้นผิวที่มีการสะท้อนกลับในแถบคลื่นที่ตามองเห็น และ Near Infrared ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่แน่นอน เนื่องจากวัตถุหลายชนิดอาจจะมีคุณสมบัติเหมือนกันได้ เมื่อสภาพดินฟ้าอากาศเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจมีรอยเปื้อนบนพื้นผิว หรือในทางกลับกันวัตถุที่เหมือนกันทุกอย่างแต่อาจจะมีคุณสมบัติทางเคมีต่างกัน เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถใช้แถบคลื่นเทอร์รัล ของรีโมทเซนซึ่งช่วยแก้ปัญหาได้

รูปที่ 5a, b, c, และ d แสดงภาพแถบคลื่นที่ตามองเห็น (ในช่วงกลางวัน), อินฟราเรด (กลางวัน), อินฟราเรด (กลางคืน), และผลของความร้อนเฉื่อยที่เป็นส่วนหนึ่งของ Death Valley ในรูปที่ 5d พื้นที่ที่สว่างจะสมนัยกับความร้อนเฉื่อยที่มีค่าสูง ส่วนพื้นที่ที่มืดจะเป็นส่วนที่มีค่าความร้อนเฉื่อยต่ำ ส่วนที่มีความสว่างที่สุดในภาพจะเป็นพื้นที่ที่ข้างล่างมี Dolomite, Limestone, Quartzite, หรือ Granite อยู่ หินพวกนี้จะเห็นเด่นชัดในภาพความร้อนเฉื่อย (Thermal Inertia Image) และง่ายต่อการแมพชนิดของหิน ส่วนที่มืดที่สุดจะเป็นดินที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นใหม่ที่เกิดจากน้ำพัดพามาทับถมกัน และส่วนที่เป็นพื้นของ Death Vally จะมีความสว่างปานกลาง ดังนั้น ภาพความร้อนเฉื่อยสามารถอธิบายชั้นหิน และชั้นดินที่เกิดใหม่ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการแยกความแตกต่างของ ชั้นหิน และชั้นดินจะทำได้ยากในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น และ Near Infrared โดยเฉพาะเมื่อรีโซลูชันอยู่ในช่วง ปานกลางถึงต่ำ จะไม่สามารถใช้ข้อมูลของเนื้อภาพได้ (Textural Information)



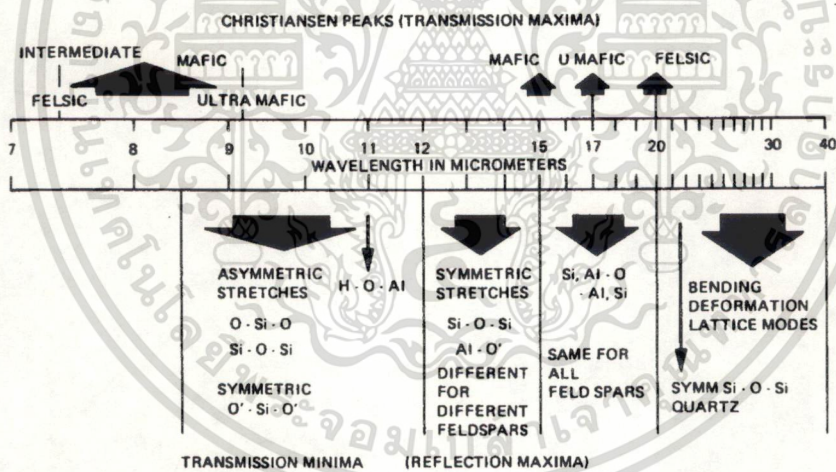
รูปที่ 6. ภาพ Death Valley ซึ่งเป็นภาพเทอร์รัลอินฟราเรด (a) ภาพตอนกลางคืน (b) ภาพตอนเวลากลางวัน (c) ภาพช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (d) ภาพความร้อนเฉื่อยนั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใครๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การใช้ลายเซ็นแถบคลื่นเทอร์มัลอินฟราเรดในการตรวจสอบสิ่งต่างๆ (Use of Thermal Infrared Spectral Signature in Sensing)

โดยทั่วไปแถบคลื่น ϵ ในย่านเทอร์มัล และอินฟราเรดระยะไกล (Far Infrared: 8-100 μm) ไม่เป็นฟังก์ชันคงที่หรือ ฟังก์ชันที่มีการเพิ่มค่าทางเดียว แต่จะมีแถบและเส้นคลื่นจำนวนมากที่คงที่ ซึ่งเป็นลักษณะของพื้นผิวที่รวมกันอยู่ เมื่อชั้นบรรยากาศโลกไปบังแสงทำให้ความยาวคลื่นที่สูงกว่า 25 μm ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในช่วงเทอร์มัล ดังนั้นในทางรีโมเซนซิงจึงใช้แถบคลื่นที่อยู่ในช่วง 8-25 μm

ลายเซ็นแถบคลื่นของดินในช่วงคลื่นเทอร์มัลอินฟราเรด โดยหลักๆ แล้วจะมีผลมาจากกระบวนการสั่นสะเทือน (Vibrational Processes) ลักษณะที่น่าสนใจทั้งหมดมาจากพื้นฐานหลายอย่างด้วยกันที่เกิดขึ้นในช่วงคลื่นเทอร์มัลอินฟราเรด ลายเซ็นเซ็นของแถบคลื่นเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพื้นผิว ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือจากการสำรวจในสนามภายใต้เงื่อนไขที่ปราศจากการรบกวนของชั้นบรรยากาศ การรวบรวมลายเซ็นแถบคลื่นของพื้นผิวชนิดต่างๆ จะมีประโยชน์สำหรับการออกแบบอุปกรณ์สำรวจให้บันทึกภาพในช่วงคลื่นที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท และช่วยในการแปลความหมายของภาพถ่ายดาวเทียม

การยืดออกและลักษณะการหักงอของความยาวคลื่น จะทำให้ลักษณะของแถบคลื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งได้สรุปไว้ในไดอะแกรมรูปที่ 7.



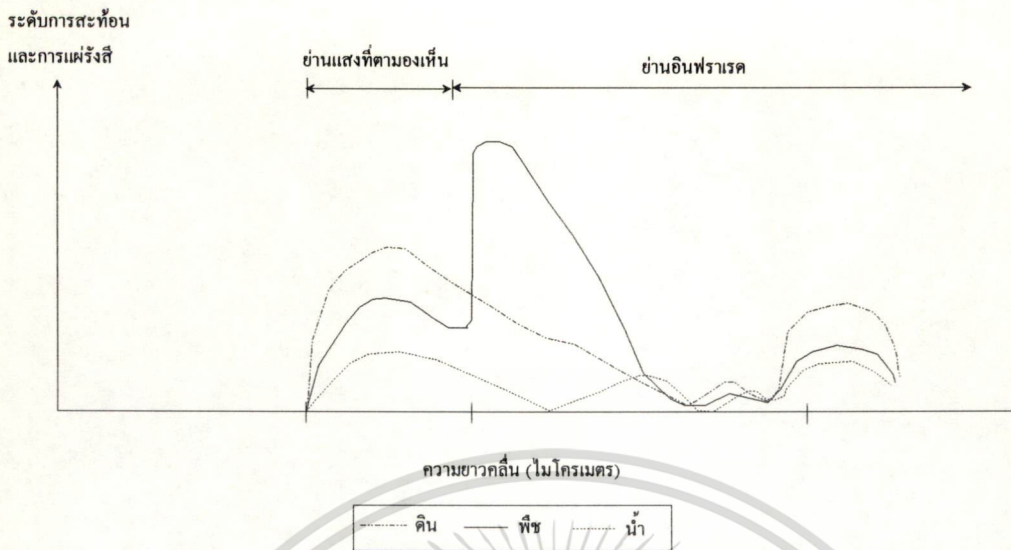
รูปที่ 7. แสดงไดอะแกรมของซิลิกา ที่มีโครงสร้างต่างๆ กัน ตามลักษณะการสั่นสะเทือน ที่ทำให้เกิดลายเซ็นของแถบคลื่นขึ้นมาในช่วงคลื่นเทอร์มัลอินฟราเรด

ภาพเทอร์มัลอินฟราเรดใช้ในการแสดงอุณหภูมิของวัตถุต่างๆ ภายในภาพซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับการจัดการทรัพยากร เช่น การตรวจสภาพน้ำ การตรวจสอบไฟฟ้า การหาพื้นที่ที่เป็นพื้นดิน ทั้งหมดหรือพื้นน้ำทั้งหมด เป็นต้น ในรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบ Spectral Signature ของทรัพยากรหลักคือ พืช ดิน และ น้ำ [4]

การสะท้อนแสงของพืชสีเขียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดแรกมีการสะท้อนของแสงก่อนช่วงต่ำ ความยาวคลื่นประมาณ 0.4 ถึง 0.6 μm ของย่านแสงที่ตามองเห็นเนื่องจากสารคลอโรฟิลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8. แสดงการเปรียบเทียบ Spectral Signature ของ พืช ดิน และน้ำ

ของใบไม้ดูดกลืนแสงในย่านนี้ได้ดีการสะท้อนแสงสูงสุดของย่านนี้อยู่ที่ $0.5 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นความยาวคลื่นในแสงสีเขียว สาเหตุนี้เองที่ทำให้เรามองเห็นใบไม้เป็นสีเขียวการสะท้อนแสงจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในชนิดที่ 2 คือ 0.6 ถึง $1.4 \mu\text{m}$ ในย่าน Near-Infrared เพราะจะเกิดการดูดกลืนน้อยมาก สำหรับชนิดที่ 3 ความยาวคลื่นตั้งแต่ $1.4 \mu\text{m}$ ขึ้นไป จะเป็นส่วนที่น้ำในใบไม้เข้ามามีบทบาทเนื่องจากน้ำเป็นสารที่ดูดกลืนได้ดี แทบทุกความยาวคลื่นดังนั้น ระดับความสะท้อนในย่านนี้จึงต่ำลงโดยทั่วไปแล้วรูปร่างของ Spectral Signature ค่อนข้างจะคงที่ แต่อาจจะเปลี่ยนแปลงในระดับและรูปร่างบ้างเล็กน้อยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของใบ

จากที่กล่าวมาแล้วว่าคุณสมบัติของน้ำจะดูดกลืนแสงได้ดีแทบทุกความยาวคลื่นดังนั้น Spectral Signature ของน้ำจึงอยู่ในระดับต่ำจากสาเหตุนี้ทำให้แหล่งน้ำจะปรากฏเป็นสีดำเสมอบนภาพถ่ายเนื่องจากมีพลังงานสะท้อนกลับมาเข้าอุปกรณ์สำรวจน้อยมาก ในกรณีที่น้ำมีสารแขวนลอย เช่น ตะกอน ขยะและสารคลอโรฟิลล์ ของพืชน้ำจะมีผลให้รูปร่างของ Spectral Signature เปลี่ยนไปเนื่องจากการกระจัดกระจายของแสงโดยสารแขวนลอย ในการสำรวจแหล่งน้ำผิวดินจากภาพถ่ายดาวเทียม ทำได้ค่อนข้างง่ายโดยใช้ภาพในช่วงคลื่น Near-Infrared ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของแหล่งน้ำให้ปรากฏชัดเจน เพราะน้ำจะดูดกลืนพลังงานในช่วงนี้ได้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ จึงทำให้สามารถหาพื้นที่ทั้งหมดของแหล่งน้ำผิวดินได้หรือในทางกลับกันก็ทำให้สามารถหาพื้นที่ทั้งหมดที่เป็นพื้นดินได้

Spectral Signature ของดินค่อนข้างจะใกล้เคียงกับน้ำแต่มีระดับการสะท้อนกลับที่สูงกว่าเส้นที่แสดงนี้เป็นดินที่มีความชื้นถ้าระดับความชื้นเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Spectral Signature จะเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในย่าน Near-Infrared จะขยับสูงขึ้นถ้าความชื้นลดลง

จากตารางที่ 2. เราจะพิจารณาถึงรายละเอียดของดาวเทียมบางดวงเพื่อจะดูถึงรายละเอียดและตัวอย่าง การนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียม NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

NOAA [1] เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellites : Metsat) ซึ่งระบบการถ่ายภาพเป็นระบบสะแกนแบบ Very High Resolution Radiometer (VHRR) ระบบนี้ประกอบด้วยสองช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (0.6-0.7 μm) และช่วงคลื่นความร้อน 10.5-12.5 μm รายละเอียดของภาพที่ได้จาก VHRR ประมาณ 0.9 km สำหรับ NOAA-6 ถึง NOAA-10 การถ่ายภาพจะเป็นระบบ Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ในตารางที่ 4. จะแสดงคุณสมบัติของ AVHRR และรายละเอียดที่ได้ที่ได้จากภาพ ในระบบ AVHRR ประมาณ 1.1 km จะเห็นว่ารายละเอียดของภาพมีน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้สำรวจ พื้นดิน (Land-Orientation System) อย่างเช่นพวก Landsat

| ตัวแปร | NOAA-6, -8, and -10 | NOAA-7, and -9 |
|---|------------------------------|----------------------|
| วันที่ปล่อยเข้าสู่วงโคจร | 6/27/79, 3/28/83, 9/17/86 | 6/23/81, 12/12/84 |
| อัลติจูด (km) | 833 | 833 |
| Period of orbit (min) | 102 | 102 |
| Orbit inclination | 98.9° | 98.9° |
| Orbits per day | 14.1 | 14.1 |
| Distance between orbits | 25.5° | 25.5° |
| Day-to-day orbital shift* | 5.5°E | 3.0°E |
| Orbit repeat period (day)** | 4-5 | 8-9 |
| Scan angle from nadir | ±55.4° | ±55.4° |
| Optical field of view (mr) | 1.3 | 1.3 |
| IFOV, off-nadir maximum (km) | 1.1 | 1.1 |
| IFOV, off-nadir maximum (km) | | |
| Along track | 2.4 | 2.4 |
| Across track | 6.9 | 6.9 |
| Swath width | 2400 km | 2400 km |
| Coverage | Every 12 hr | Every 12 hr |
| Northbound equatorial Crossing (pm) | 7:30 | 2:30 |
| Southbound equatorial crossing (am) | 7:30 | 2:30 |
| AVHRR spectral channels (μm) | | |
| 1 | 0.58-0.68 | 0.58-0.68 |
| 2 | 0.72-1.10 | 0.72-1.10 |
| 3 | 3.55-3.93 | 3.55-3.93 |
| 4 | 10.5-11.50 | 10.3-11.30 |
| 5 | Channel 4 repeat | 11.5-12.50 |

*Satellite differences due to differing orbital alignments.

**Caused by orbits per day not being integers.

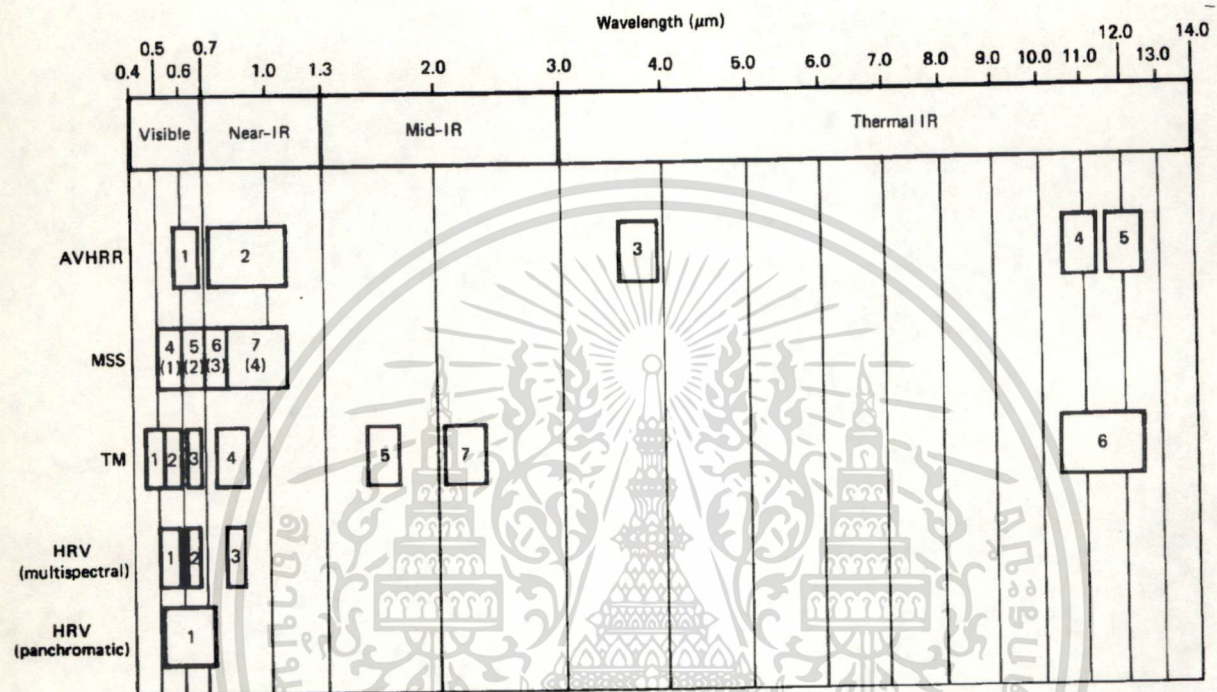
ตารางที่ 4. แสดงคุณลักษณะของดาวเทียม NOAA-6 ถึง NOAA-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOAA จะรับข้อมูล AVHRR ทุกริโซลูชัน แต่รูปแบบที่สำคัญมีอยู่สองแบบด้วยกันคือ

1. LAC (Local Area Coverage) ข้อมูลจะถูกบันทึกทุกริโซลูชัน

2. GAC (Global Area Coverage) ข้อมูลทั้งหมดจะถูกสุ่มเพื่อที่จะลดรายละเอียดลงเป็น 4 km ในรูปที่ 9. จะสรุปแถบคลื่นที่มีการตอบสนองต่อ AVHRR และเซ็นเซอร์ตัวอื่นๆ ที่สัมพันธ์กันคือ Landsat MSS, Landsat TM, และ SPOT HVR



รูปที่ 9. สรุปการตอบสนองของช่วงคลื่นของ NOAA AVHRR, Landsat MSS, Landsat TM, และ SPOT HRV

ข้อมูลภาพของ NOAA ประกอบด้วย 5 แบนด์ โดยแบนด์แรกอยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น, แบนด์ที่ 2 อยู่ในช่วงคลื่น Near Infrared และแบนด์ 3 ถึง 5 เป็นช่วงคลื่นเทอร์มัลอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ดังตารางที่ 4. ส่วนตัวรับสัญญาณอื่นๆ จะประกอบไปด้วยภาพหลายแบนด์เช่นเดียวกับ NOAA

ระบบ VHRR และ AVHRR ของดาวเทียม NOAA ให้ข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ในทางสมุทรศาสตร์ได้ดี ทั้งในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและเทอร์มัลอินฟราเรด ซึ่งถ้าผ่านการปรับภาพแล้วจะให้ค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ประมาณ -2 ถึง 35°C ดาวเทียม NOAA โคจรรอบโลกในวงโคจรขั้วโลกเหนือในวงโคจรค้างฟ้า ทำให้ได้ข้อมูลที่จะนำมาศึกษาขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic) ภาพที่ได้จาก NOAA ทำให้นักสมุทรศาสตร์ได้เข้าใจ และศึกษาติดตามพฤติกรรมของกระแสน้ำอุ่นกัลฟ์สตรีมได้อย่างชัดเจน ภาพถ่ายที่แสดงถึงระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันของผิวน้ำทะเล จะมีประโยชน์สำหรับการประมง เพราะจะชี้ให้เห็นถึงพื้นที่ที่มีการบรรจบกันของมวลน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งบริเวณนี้มักจะเป็นบริเวณที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์ และจะมีฝูงปลาอยู่อย่างชุกชุม นอกจากนี้ปลาบางชนิดอาจจะอาศัยอยู่เฉพาะบริเวณที่มีอุณหภูมิกำหนดค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าเราทราบถึงระดับอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ทำให้สามารถคาดเดาพื้นที่ที่มีปลานชนิดนั้นอาศัยอยู่ได้ นอก

นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำแข็งในขั้วโลก และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนี้ข้อมูลของ AVHRR ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้อีกหลายอย่างเช่น การตรวจการเกิดขึ้นของอุทกภัย, การหาจำนวนพื้นที่เพาะปลูก, การวิเคราะห์เขตความชื้น, ตรวจสอบและหาตำแหน่งที่เกิดไฟป่า, การตรวจสอบการเกิดพายุ, และการสำรวจทางธรณีวิทยา และรวมไปถึงการสังเกตการระเบิดของภูเขาไฟ ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะ การตรวจสอบพื้นที่การเพาะปลูก [1] ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่ใช้เพื่อจุดประสงค์นี้คือ แบนด์ที่ 1 ซึ่งเป็นแบนด์ที่ตามองเห็น (0.58-0.68 μm) และแบนด์ที่ 2 Near Infrared (0.73-1.10 μm) ของ AVHRR และจากรูปที่ 9. เราสามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียมดวงอื่นที่มีความยาวของช่วงคลื่นในแบนด์นั้นๆ ใกล้เคียงกัน เช่น แบนด์ที่ 2 และ 3 ของ SPOT เป็นต้น

จากการรวมกันของข้อมูลแบนด์ที่ 1. และ 2. ของ AVHRR พบว่าจะสามารถแสดงถึงการตอบสนองของพืชสีเขียว และปริมาณทางคณิตศาสตร์อันนี้เรียกว่า Vegetation Index: VI และสามารถทำให้เป็นมาตรฐาน (Normalized Vegetation Index: NVI) ได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$VI = ch_1 - ch_2 \tag{27}$$

$$NVI = \frac{ch_1 - ch_2}{ch_1 + ch_2} \tag{28}$$

ที่ ch_1 และ ch_2 แทนข้อมูลในแบนด์ที่ 1 และ 2 ของ AVHRR ตามลำดับ พื้นที่ที่มีพืชสีเขียวอยู่โดยทั่วไปแล้วค่าดัชนีจะมีค่าสูง เนื่องจากค่านี้จะสัมพันธ์กับการสะท้อนกลับของ Near Infrared มาก และในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจะมีการสะท้อนกลับน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าต้องการเปรียบเทียบ เมฆ, น้ำ, และ หิมะ การสะท้อนของช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจะมีค่ามากกว่า การสะท้อนกลับของ Near Infrared เนื่องจากสาเหตุนี้ทำให้ค่าดัชนีอาจจะมีค่าเป็นลบได้ ส่วนหินและดินที่ไม่มีอะปกคลุมจะมีการสะท้อนกลับที่เหมือนกัน ทั้งสองแบนด์ ซึ่งมีผลให้ VI มีค่าเป็นศูนย์

ส่วน NVI เป็นค่าดัชนีที่มีความเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบพืช เพราะค่านี้จะช่วยขจัดเซกการเปลี่ยนแปลงของการส่องสว่าง, พื้นผิวที่ลาดชัน, การมองเห็น, และตัวแปรอื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้ ภาพที่แสดงพื้นที่ที่มีพืชสีเขียว ค่า NVI จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.6 ในสัดส่วนของความหนาแน่น และสีเขียวของพืชที่ปกคลุม

ในรูปที่ 17. แสดงผลของค่า VI และ NVI ซึ่งใช้ภาพจากดาวเทียม SPOT จากรูปที่ 9. ch_1 ก็คือภาพในแบนด์ที่ 1. และ ch_2 ก็คือภาพในแบนด์ที่ 3. ในภาพนี้ได้จากการแปลงค่า VI และ NVI ให้เป็นข้อมูลของภาพสี (ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป) ในที่นี้ได้ใช้สีเขียวแทนบริเวณที่มีพืชขึ้นอยู่ ส่วนสีแดงจะใช้แทนข้อมูลที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง, หิน, และพื้นดินที่ไม่มีอะไรปกคลุม, สำหรับส่วนที่เป็นพื้นน้ำจะแทนด้วยสีน้ำเงิน, ส่วนกรณีอื่นๆ จะเป็นระดับของสีเทา

การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

การปรับปรุงภาพ[5] เป็นการกระทำกับภาพเพื่อให้เห็นข้อมูลภายในภาพได้ชัดเจนขึ้น โดยมีจุดประสงค์หลักคือ เพื่อให้สามารถประมวลผลด้วยตาเปล่าได้ดีขึ้น การปรับปรุงภาพอาจจะเลือกเอาเฉพาะบางส่วนหรืออาจจะปรับปรุงทั้งภาพก็ได้ สำหรับวิธีการประมวลผลภาพในที่นี้จะเน้นวิธีการประมวลผลภาพแบบจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

การประมวลผลภาพแบบจุด (Point Processing)

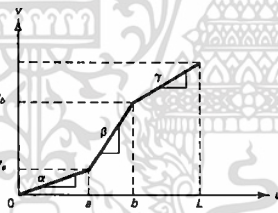
การประมวลผลภาพแบบจุดเป็นวิธีการปรับปรุงภาพแบบหนึ่ง ที่ใช้วิธีการแมพข้อมูลภาพระดับสีเทา (Gray Level) จาก $u \in [0, L]$ ไปเป็น $v \in [0, L]$ โดยใช้ฟังก์ชันในการแปลงดังสมการที่ 29

$$v = f(u) \tag{29}$$

โดยที่ u และ v เป็นค่าของจุดภาพ สำหรับการแปลงข้อมูลภาพแบบต่างๆ มีวิธีการดังนี้

1. การยืดภาพให้คมชัด (Contrast Stretching)

ภาพที่ใช้โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-255 (ใช้ 8 บิตในการเก็บข้อมูล) แต่ข้อมูลภาพดาวเทียมที่ได้มามักจะเป็นภาพที่ข้อมูลกระจายอยู่ในช่วงที่แคบๆ ทำให้ภาพไม่คมชัด ดังนั้นการยืดภาพจะช่วยเน้นข้อมูลภาพในช่วงที่เราต้องการจะเน้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างระดับสีเทาให้มากขึ้น ในรูปที่ 10. แสดงช่วงต่างๆ ที่ต้องการจะยืด



รูปที่ 10. แสดงลักษณะของฟังก์ชันที่ใช้ในการยืดภาพให้คมชัดขึ้น

และจากรูปที่ 10. สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$v = \begin{cases} \alpha u, & 0 \leq u < a \\ \beta(u - a) + v_a, & a \leq u < b \\ \gamma(u - b) + v_b, & b \leq u < L \end{cases} \tag{30}$$

ที่ α , β , และ γ เป็นค่าความชันของแต่ละช่วง ถ้าต้องการยืดข้อมูลภาพในช่วงใดก็ให้ค่าความชันในช่วงนั้นมีค่ามากกว่าหนึ่ง สำหรับ a และ b เป็นค่าขอบเขตของแต่ละช่วง โดยที่ $a \approx L/3$ และ $b = 2L/3$ เมื่อ L เป็นค่าคงที่ที่เท่ากับ 255 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของภาพ 8 บิต

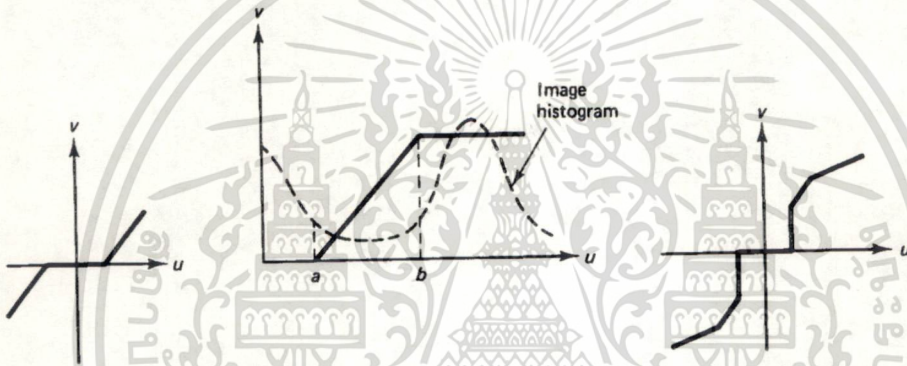
2. การตัดสัญญาณรบกวน และเทรชโฮลด์ (Noise Clipping and Thresholding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

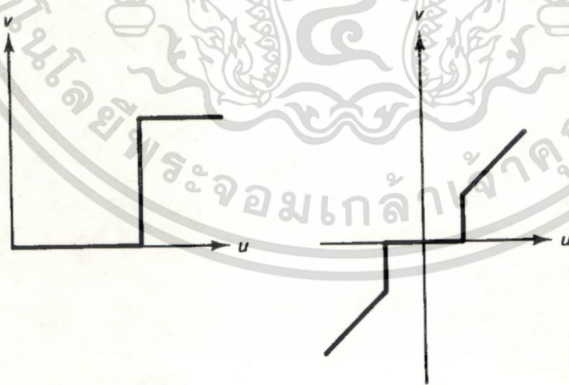
วิธีตัดสัญญาณรบกวนเป็นกรณีเฉพาะของการยืดภาพให้คมชัด โดยที่ค่าความชัน $\alpha = \lambda = 0$ (ดูกราฟในรูปที่ 11.) วิธีนี้ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนเมื่อเราทราบช่วงที่มีสัญญาณรบกวน $[a, b]$ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$v = \begin{cases} 0, & 0 \leq u < a \\ \beta u, & a \leq u \leq b \\ L, & u > b \end{cases} \quad (31)$$

การทำภาพให้เป็นภาพไบนารีโดยใช้ค่าพิคคเป็นกรณีเฉพาะของสมการนี้ โดย $a = b = t$ (ดูกราฟรูปที่ 12.)



รูปที่ 11. การแปลงข้อมูลภาพโดยการตัดสัญญาณรบกวน



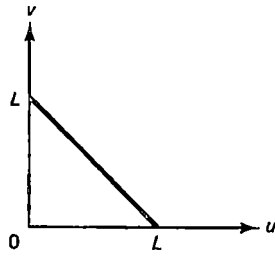
รูปที่ 12. การแปลงข้อมูลภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพไบนารี

3. การอินเวิร์ดข้อมูลภาพ (Digital Negative)

การอินเวิร์ดข้อมูลภาพสามารถทำได้โดย การคอมพลิเมนต์ภาพระดับสีเทาดังกราฟการแปลงข้อมูล

ในรูปที่ 13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13. ลักษณะของฟังก์ชันการแปลงแบบ Digital Negative

สำหรับสมการในการแปลงสามารถเขียนได้โดย

$$v = L - u \quad (32)$$

4. การตัดข้อมูลภาพบางช่วง (Intensity Level Slicing)

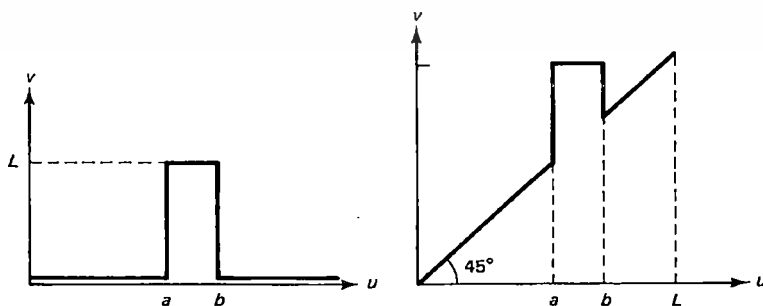
การตัดสีพื้นของภาพออกและเน้นข้อมูลภาพบางช่วงสามารถทำได้โดย

$$v = \begin{cases} L, & a \leq u \leq b \\ 0, & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (33)$$

และในกรณีที่ไม่ตัดสีพื้นออกสามารถทำได้ดังสมการที่ 34.

$$v = \begin{cases} L, & a \leq u \leq b \\ u, & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (34)$$

ในรูปที่ 14. แสดงกราฟลักษณะการแปลงข้อมูลในสมการที่ 34. และ 35. ตามลำดับ



รูปที่ 14. แสดงกราฟลักษณะการเน้นข้อมูลบางช่วง ภาพซ้ายมือเป็นการเน้นโดยกำจัดสีพื้นและภาพทางขวามือเป็นกรณีที่มีสีพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงข้อมูลภาพโดยวิธีนี้เป็นการแยกสิ่งที่เราสนใจที่อยู่ในภาพ โดยเราทราบถึงช่วง $[a, b]$ ของระดับความเข้มของวัตถุที่สนใจ

5. การเน้นข้อมูลภาพเฉพาะบางบิต (Bit Extraction)

ถ้าข้อมูลภาพมีการแจกแจงที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน (Uniform) และแต่ละจุดภาพใช้ B บิตในการเก็บข้อมูลภาพ และเมื่อต้องการดึงข้อมูลบิตที่ n มาแสดงสามารถทำได้ดังนี้

$$\text{ให้ } u = k_1 2^{B-1} + k_2 2^{B-2} + \dots + k_n 2^{B-n} + \dots + k_{B-1} 2 + k_B \quad (35)$$

ดังนั้นผลลัพธ์ที่เราต้องการสามารถกำหนดได้โดย

$$\begin{aligned} v &= (i_n - 2i_{n-1})L \\ i_n &= \text{Int} \left[\frac{u}{2^{B-n}} \right], \quad n = 1, 2, 3, \dots, B \end{aligned} \quad (36)$$

ที่ Int เป็นการแปลงค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม

6. การตัดทอนข้อมูลภาพบางบิต (Bit Removal)

การแปลงข้อมูลภาพโดยวิธีนี้มีด้วยกันสองลักษณะคือ

1. การกำจัดบิตที่มีนัยสำคัญสูง (Most-Significant-Bit Removal)

$$v = 2u \text{MODULO}(L+1), \quad 0 \leq u \leq L \quad (37)$$

2. การกำจัดบิตที่มีนัยสำคัญต่ำ (Least-Significant-Bit Removal)

$$v = 2 \text{Int} \left[\frac{u}{2} \right] \quad (38)$$

7. การบีบข้อมูลภาพในบางช่วง (Range Compression)

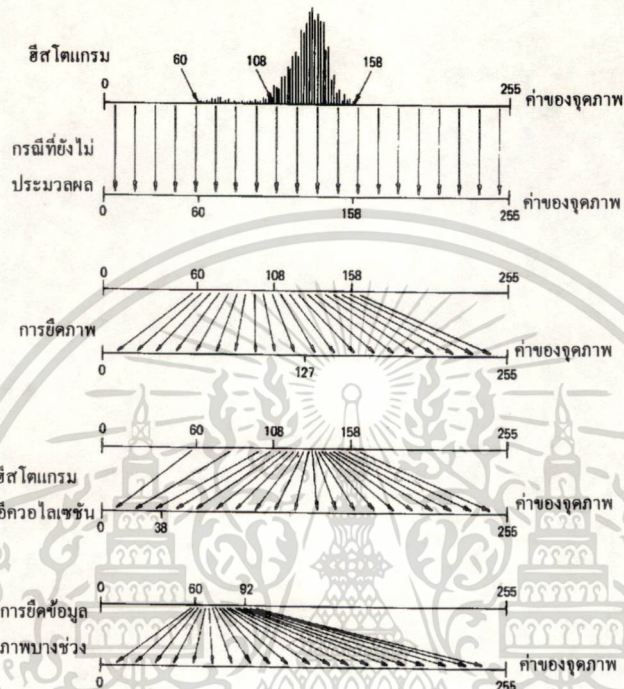
ข้อมูลภาพบางช่วงอาจจะกว้างเกินไป ดังนั้นเราสามารถคอนแทรสต์ภาพได้โดยการใช้ล็อกการิทึมในการแปลงดังนี้

$$\begin{aligned} v &= c \text{Log}_{10}(1+u), \quad u > 0 \\ c &\equiv \frac{L}{\text{Log}_{10}(1+L)} \end{aligned} \quad (39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram Equalization) [6]

การปรับปรุงภาพแบบจุดที่เสนอมาพอจะสรุปลักษณะต่างๆ ได้ดังรูปที่ 15. และผลลัพธ์ของแต่ละวิธี แสดงในรูปที่ 16.



รูปที่ 15. สรุปวิธีการปรับปรุงภาพแบบจุด

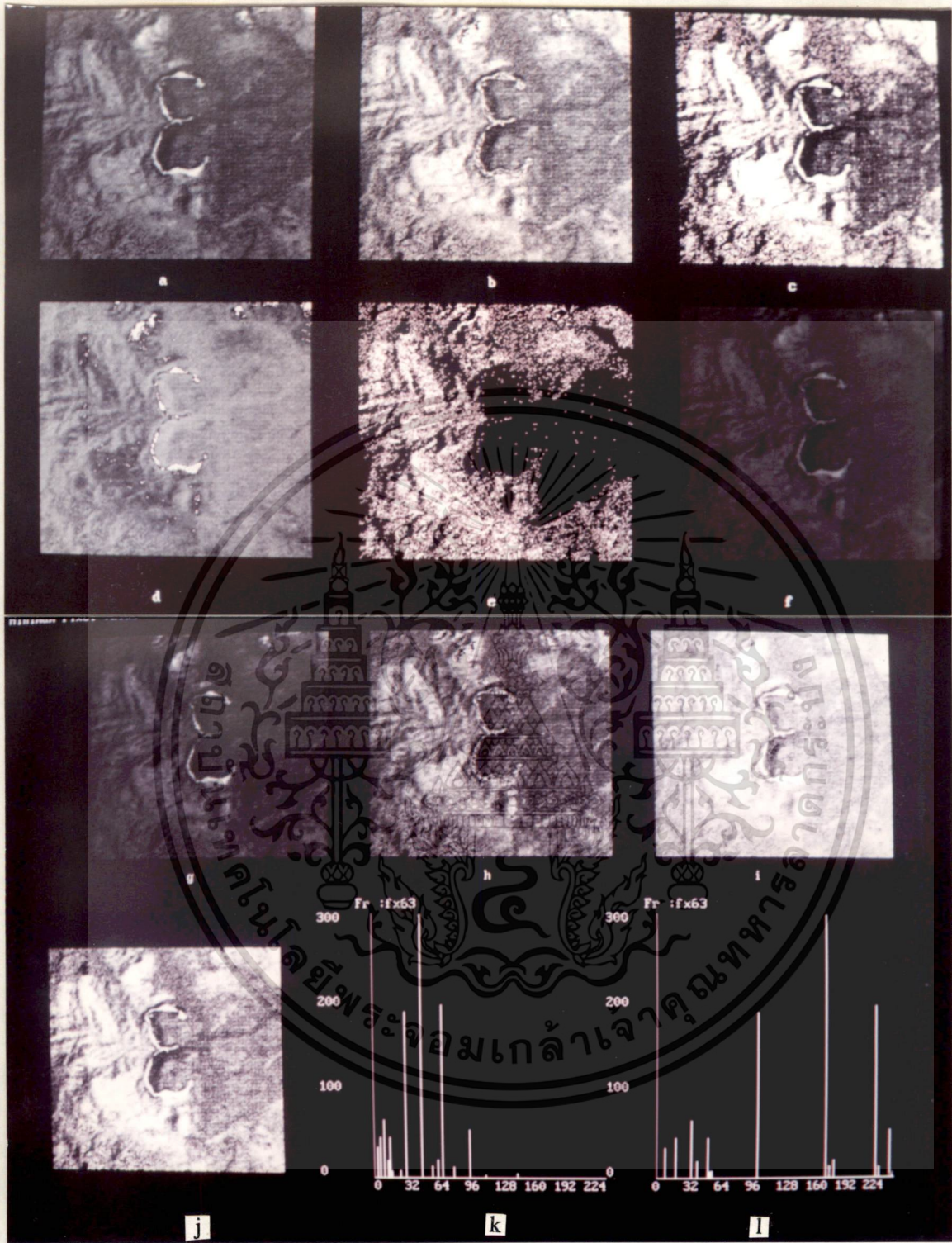
การแปลงค่า VI และ NVI ไปเป็นข้อมูลภาพสี

การแสดงผลภาพสีได้เสนอไว้ใน [7] และในการแปลงค่า NVI ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ให้เป็นข้อมูลภาพสี สามารถทำได้โดย

1. แบ่งค่า NVI ออกเป็นช่วงๆ โดยให้แต่ละช่วงแทนความหมายของสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในภาพ
2. แบ่งระดับความเข้มของแต่ละสีให้เท่ากับจำนวนช่วงในข้อ 1.
3. แปลงค่า NVI ไปเป็นค่าความเข้ม โดยแต่ละช่วงจะสมนัยกับค่าสีในข้อ 2. โดยใช้สมการที่ 40.

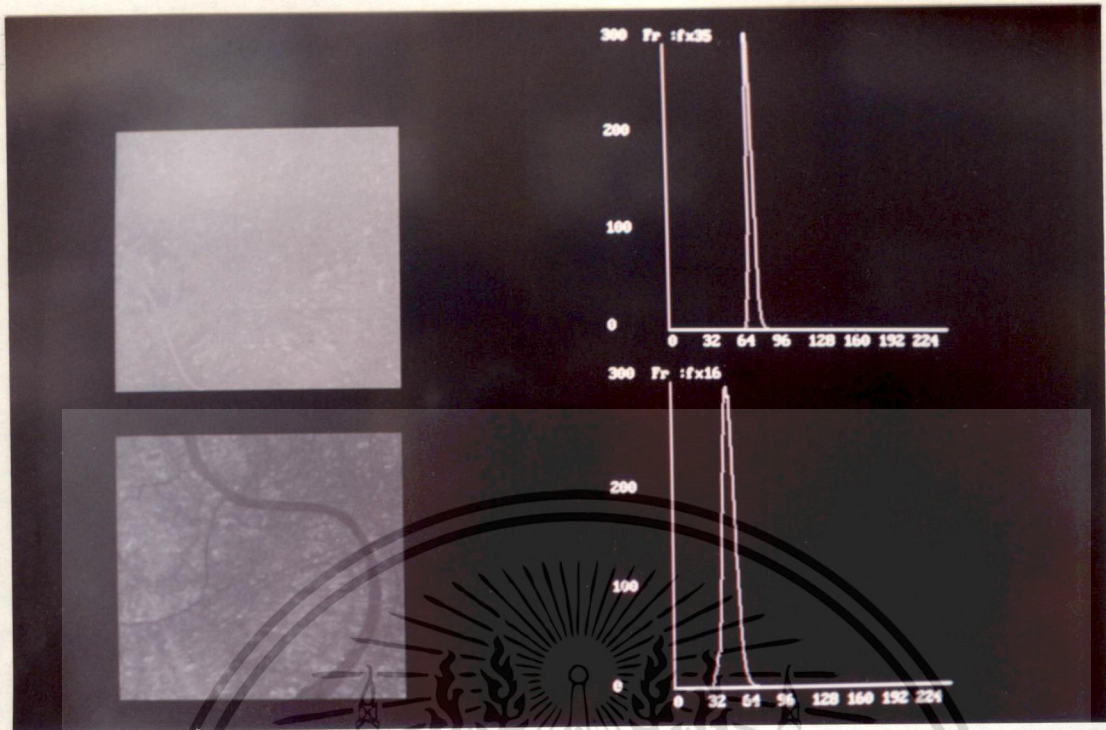
$$v = LBC + \frac{NVI - LB}{W} + C \quad (40)$$

ที่ LBC เป็นค่าขอบเขตล่างของช่วงสี, LB เป็นค่าขอบเขตล่างของช่วง NVI, W เป็นค่าความกว้างของช่วง NVI, และ C เป็นค่าความกว้างของช่วงสี สำหรับการแปลงค่า VI ไปเป็นภาพสีมีขั้นตอนเหมือนกับการแปลง NVI รูปที่ 17. เป็นอินพุตจากดาวเทียม SPOT และรูปที่ 18. แสดงผลของค่า VI และ NVI ของรูปที่ 17. การนำค่าโดยใช้ภาพสีต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

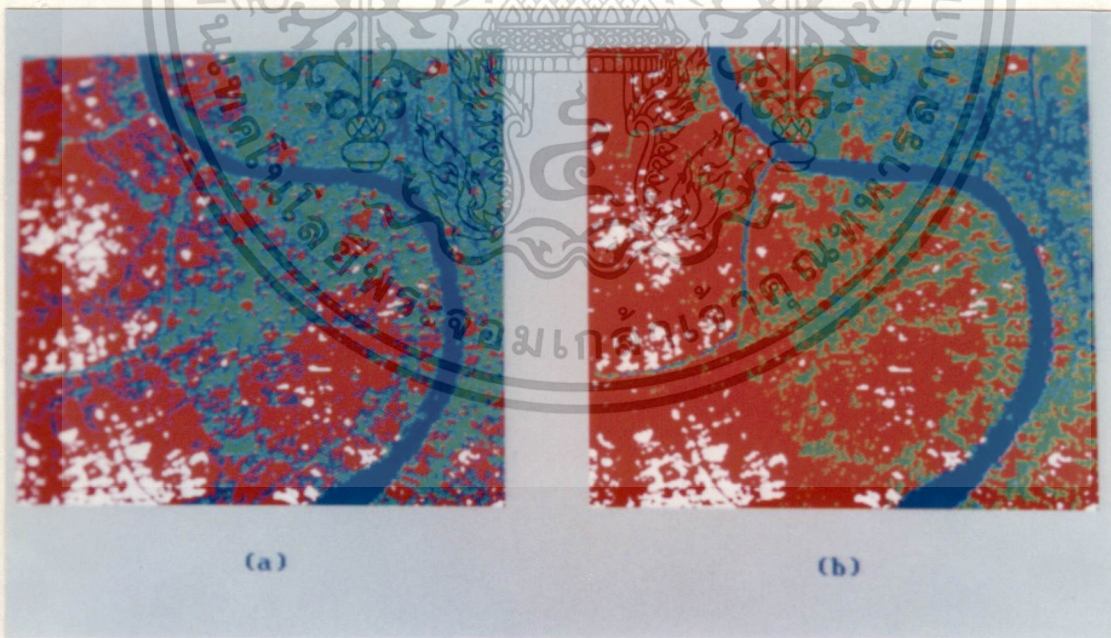


รูปที่ 16. แสดงผลของการปรับปรุงภาพแบบจุด (a) อินพุตเป็นภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM แบนด์ที่ 4 (b) การยืดภาพให้คมชัด (c) การตัดสัญญาณรบกวน โดยใช้ตัวแปร $a=40$, $b=70$, $\beta=1.5$ (d) การอินเวิร์ดข้อมูลภาพ (e) การตัดข้อมูลภาพบางส่วน โดยใช้ตัวแปร $a=50$, $b=100$ (f) การเน้นข้อมูลภาพเฉพาะบางบิต ในที่นี้คือบิตที่ 6. (g) การกำจัดบิตที่มีนัยสำคัญสูง (h) การกำจัดบิตที่มีนัยสำคัญต่ำ (i) การบีบข้อมูลภาพในบางส่วน (j) ฮิสโตแกรมอิกวอลไลเซชัน (k) ฮิสโตแกรมของอินพุต (a), (l) ฮิสโตแกรมของฮิสโตแกรมอิกวอลไลเซชัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17. เป็นอินพุตจากดาวเทียม SPOT โดยภาพบนเป็นแบนด์ที่ 3 และภาพล่างเป็นแบนด์ที่ 1



รูปที่ 18. แสดงผลของค่า VI และ NVI โดยใช้ภาพสี เมื่อ (a) NVI (b) VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ทฤษฎีและการประมวลผลภาพเทอร์มัลอินฟราเรด ที่ได้เสนอไปแล้วนั้น จะช่วยในการพิจารณาภาพเทอร์มัลอินฟราเรดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยที่ภาพเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางการจัดการกับทรัพยากรที่มีอยู่เพียงน้อยนิดให้เกิดประโยชน์สูงสุด และรวมไปถึงใช้ตรวจสอบภัยธรรมชาติต่างๆที่จะก่อให้เกิดความเสียหาย เช่น การตรวจสอบไฟป่า, การตรวจสอบและสังเกตการระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น การประมวลผลภาพที่ได้เสนอไปมีจุดประสงค์เพื่อ การพิจารณาข้อมูลภาพด้วยตาเปล่าเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lillesand T. M. and Kieffer R. W., Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, Canada, 1987.
- [2] Schott J. R., "Image Processing of Thermal Infrared Images", PhotoGrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 9, pp. 1311-1321, 1989.
- [3] Elachi C., "Solid-Surface Sensing: Thermal Infrared", Introduction to The Physics and Techniques of Remote Sensing, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1987.
- [4] Lo C. P., Applied Remote Sensing, Longman Group UK Limited, 1986.
- [5] Jain A. K., Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall International, Inc., USA., 1989.
- [6] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ และ สาธิต อินทจักร์, การปรับปรุงภาพแบบส่วนย่อยโดยพีซีซีเซต, การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2536 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, 27-30 พฤษภาคม 2536, หน้า 591- 600.
- [7] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ และ สาธิต อินทจักร์, การประมวลผลก่อนสำหรับภาพสีเทียม, วารสารสมาคมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 20, ฉบับที่ 102/กรกฎาคม-สิงหาคม 2536, หน้า 41-46.