

ผลงานฉบับเต็ม  
เรื่อง

คู่มือการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน  
(Manual of Preparation Satellite Data for Land Use Analysis)

ของ  
นางจุฬาลักษณ์ สุธิรรอด  
ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ตำแหน่งเลขที่ 9  
กรมพัฒนาที่ดิน

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ  
ตำแหน่งเลขที่ 9  
ผู้เชี่ยวชาญด้านสำรวจการใช้ที่ดินด้วยเทคโนโลยีระยะไกล  
กรมพัฒนาที่ดิน  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

## สารบัญ

|                                                                    | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| สารบัญตาราง                                                        | ii   |
| สารบัญภาพ                                                          | iii  |
| บทที่ 1      บทนำ                                                  | 1    |
| บทที่ 2      การรับรู้จากระยะไกล                                   |      |
| 2.1    กระบวนการและองค์ประกอบของการรับรู้จากระยะไกล                | 2    |
| 2.2    แหล่งกำเนิดพลังงาน และหลักการแผ่รังสี                       | 3    |
| 2.3    ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ                     | 6    |
| 2.4    ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณะพื้นผิวโลก                 | 7    |
| 2.5    การสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ                  | 9    |
| บทที่ 3      ดาวเทียม                                              |      |
| 3.1    วงโคจรของดาวเทียม                                           | 11   |
| 3.2    ระบบเครื่องรับรู้                                           | 12   |
| 3.3    ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ใช้ในการจัดทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน | 12   |
| 3.4    ข้อมูลภาพดาวเทียม                                           | 23   |
| 3.5    การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม                                | 35   |
| บทที่ 4      การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม                              |      |
| 4.1    สถานีรับสัญญาณดาวเทียม                                      | 36   |
| 4.2    การให้บริการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม                           | 37   |
| 4.3    การขอรับบริการและสั่งซื้อข้อมูลในคลังข้อมูล                 | 38   |
| 4.4    การขอรับบริการและสั่งซื้อข้อมูลที่ขอรับสัญญาณใหม่           | 38   |
| 4.5    การเลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม                               | 39   |
| 4.6    ขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม                             | 39   |
| 4.6.1    การปรับแก้คลื่นรังสี                                      | 40   |
| 4.6.2    การปรับแก้เชิงเรขาคณิต                                    | 42   |
| 4.6.3    วิธีตรวจแก้เชิงเรขาคณิต                                   | 44   |
| 4.6.4    ขั้นตอนการปรับแก้ทางเรขาคณิต                              | 45   |
| 4.7    การใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1ปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิต     | 48   |
| 4.8    การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลภาพ                                  | 57   |
| 4.9    การใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1 ปรับปรุงข้อมูลภาพ            | 63   |
| 4.10    การทำ Pansharpened                                         | 72   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
| บทที่ 4                                             | หน้า |
| 4.10.1 การทำ Pansharpened ด้วยโปรแกรม ARCGIS 9.3    | 72   |
| 4.10.2 การทำ Pansharpened ด้วยโปรแกรม PCI 9.1       | 79   |
| 4.10.3 การต่อภาพ                                    | 81   |
| บทที่ 5 การแปลตีความและการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม | 90   |
| บทที่ 6 บทสรุป                                      | 101  |
| เอกสารอ้างอิง                                       | 106  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2-1 ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า                                                         | 4    |
| 3-1 คุณลักษณะของดาวเทียมแลนด์แซท 5                                                      | 13   |
| 3-2 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมแลนด์แซท 5                                                  | 14   |
| 3-3 คุณลักษณะของดาวเทียมแลนด์แซท 7                                                      | 15   |
| 3-4 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมแลนด์แซท 7                                                  | 15   |
| 3-5 คุณลักษณะของดาวเทียมแลนด์แซท 8                                                      | 16   |
| 3-6 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมแลนด์แซท 8                                                  | 17   |
| 3-7 ลักษณะของดาวเทียม SPOT-5                                                            | 18   |
| 3-8 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลของดาวเทียม SPOT-5                                               | 18   |
| 3-9 ลักษณะของดาวเทียมไทยโชต                                                             | 20   |
| 3-10 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลดาวเทียมไทยโชต                                                  | 20   |
| 3-11 เปรียบเทียบคุณสมบัติของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร<br>ที่นำมาใช้ทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน | 21   |
| 3-12 การสร้างภาพสีผสมของดาวเทียมแลนด์แซท 5 ระบบที่เอ็ม                                  | 27   |
| 3-13 การสร้างภาพสีผสมของดาวเทียมแลนด์แซท 8                                              | 29   |
| 3-14 เปรียบเทียบการผสมสีดาวเทียม แลนด์แซท 5 แลนด์แซท 7 และแลนด์แซท 8                    | 30   |
| 4-1 ค่า Degree of freedom หรือ ค่า k                                                    | 46   |
| 5-1 ตัวอย่างการจำแนกใช้การประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification)                      | 100  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                            | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2-1 กระบวนการสำรวจระยะไกล                                                                         | 2    |
| 2-2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวโลก                                          | 7    |
| 2-3 ลักษณะการสะท้อนพลังงานจากพื้นผิววัตถุเรียบและขรุขระ                                           | 8    |
| 3-1 ดาวเทียมแลนด์แซท 5                                                                            | 13   |
| 3-2 ดาวเทียมแลนด์แซท 7                                                                            | 15   |
| 3-3 ดาวเทียมแลนด์แซท 8                                                                            | 16   |
| 3-4 ดาวเทียม SPOT 5                                                                               | 18   |
| 3-5 ดาวเทียมไทยโชต                                                                                | 19   |
| 3-6 การจัดเรียงข้อมูลตำแหน่งของจุดภาพในรูปแบบต่าง ๆ                                               | 23   |
| 3-7 แผนภูมิภาพข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซท 5 ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้<br>พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก | 24   |
| 3-8 ภาพสีผสมที่เกิดจากข้อมูล 8 บิต ผ่านลำแสงอิเล็กทรอนิกส์                                        | 24   |
| 3-9 การผสมสีเชิงบวก และการผสมสีเชิงลบ                                                             | 25   |
| 3-10 ภาพผสมสีจากดาวเทียมแลนด์แซท 5 ที่เอ็ม<br>(R: NIR, G: red, B: Green)                          | 28   |
| 3-11 ภาพผสมสีธรรมชาติจากดาวเทียมแลนด์แซท 5 ที่เอ็ม<br>(R: NIR, G: SWIR, B: Green)                 | 28   |
| 3-12 ช่วงคลื่นของดาวเทียมแลนด์แซท 7 EM+ เปรียบเทียบกับ<br>ดาวเทียมแลนด์แซท 8 OLI และ TIRS         | 29   |
| 3-13 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: red, B: Green)                                 | 31   |
| 3-14 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: SWIR, B: Green)                                | 31   |
| 3-15 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: red, B: Green)                                 | 32   |
| 3-16 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: SWIR, B: Green)                                | 32   |
| 3-17 ภาพผสมสีธรรมชาติจากดาวเทียม SPOT 5                                                           | 33   |
| 3-18 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียม SPOT 5                                                               | 33   |
| 3-19 ภาพผสมสีจริงจากดาวเทียมไทยโชต                                                                | 34   |
| 3-20 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมไทยโชต                                                                | 34   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                   | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4-1 ตัวอย่างของ Filtering kernels ขนาด 3 x 3 และ 5 x 5 pixels                                                            | 41   |
| 4-2 ความบิดเบี้ยวภายในรูปแบบต่าง ๆ                                                                                       | 43   |
| 4-3 ความบิดเบี้ยวภายนอกในรูปแบบต่าง ๆ                                                                                    | 44   |
| 4-4 เมนูเครื่องมือของโปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1                                                                            | 48   |
| 4-5 เมนูเครื่องมือและหน้าต่างสำหรับการใส่ค่า GCP                                                                         | 48   |
| 4-6 การเลือกภาพที่จะนำมาทำการปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต                                                              | 49   |
| 4-7 ภาพที่จะนำมาปรับแก้เชิงเรขาคณิต                                                                                      | 50   |
| 4-8 หน้าต่างการเลือกภาพที่มีพิกัดที่จะนำมาใช้อ้างอิง                                                                     | 51   |
| 4-9 ภาพที่จะใช้อ้างอิงสำหรับนำมาปรับแก้เชิงเรขาคณิต                                                                      | 52   |
| 4-10 ภาพที่จะนำมาปรับแก้พิกัดและภาพที่ใช้อ้างอิงในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต                                                 | 53   |
| 4-11 การบันทึกค่าพิกัดที่ได้จากภาพอ้างอิง                                                                                | 53   |
| 4-12 การบันทึกค่าพิกัดลงภาพที่นำมาปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต                                                         | 54   |
| 4-13 การตั้งชื่อภาพที่ปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต                                                                     | 55   |
| 4-14 การบันทึกภาพที่ทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต                                                                             | 56   |
| 4-15 การยืนยันการบันทึกข้อมูลภาพที่ทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต                                                              | 56   |
| 4-16 ความก้าวหน้าของการบันทึกภาพที่มีความถูกต้องเชิงเรขาคณิต                                                             | 57   |
| 4-17 การขยายค่าสะท้อนเชิงสเปกตรัมแบบเส้นตรง                                                                              | 58   |
| 4-18 ภาพดาวเทียมแลนด์แซท 5 ทีเอ็ม เน้นข้อมูลแบบเส้นตรง                                                                   | 58   |
| 4-19 การขยายค่าสะท้อนเชิงสเปกตรัมแบบขยายค่าสะท้อน                                                                        | 59   |
| 4-20 ภาพดาวเทียมแลนด์แซท 5 ทีเอ็ม เน้นข้อมูลแบบขยายค่าสะท้อน                                                             | 59   |
| 4-21 การเปรียบเทียบ (Lookup table) ระหว่างค่าของข้อมูลเดิม<br>และข้อมูลใหม่ที่ได้จากการยัดข้อมูลภาพด้วยเทคนิคทั้ง 3 วิธี | 60   |
| 4-22 ภาพที่ผ่านการกรองแบบความถี่ต่ำหรือตัวกรองทำให้เรียบ ขนาด 5 x 5                                                      | 62   |
| 4-23 ภาพที่ผ่านตัวกรองแบบความถี่สูงหรือตัวกรองเน้นขอบวัตถุ                                                               | 63   |
| 4-24 โปรแกรม Geomatica เวอร์ชัน 9.1                                                                                      | 63   |
| 4-25 เลือกเมนู Image Work                                                                                                | 64   |
| 4-26 เปิดภาพดาวเทียมที่จะนำมาปรับความคมชัดของภาพ                                                                         | 64   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                                          | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4-27 ภาพที่จะนำมาปรับความคมชัด                                                  | 64   |
| 4-28 การปรับค่าความสว่างของภาพ                                                  | 65   |
| 4-29 การปรับแต่งความเข้มของข้อมูลภาพ                                            | 66   |
| 4-30 การปรับค่าความเข้มของแต่ละช่วงความยาวคลื่น                                 | 66   |
| 4-31 ภาพที่ทำการปรับความคมชัด                                                   | 68   |
| 4-32 การบันทึกภาพที่ปรับค่าความคมชัด                                            | 68   |
| 4-33 การตั้งชื่อไฟล์ที่ปรับค่าความคมชัด                                         | 69   |
| 4-34 การเลือกประเภทไฟล์                                                         | 69   |
| 4-35 การสร้างไฟล์ภาพใหม่                                                        | 70   |
| 4-36 การบันทึกข้อมูลภาพ                                                         | 71   |
| 4-37 การเลือกเครื่องมือการจัดการข้อมูล (Data Management Tools)                  | 72   |
| 4-38 การเลือกเครื่องมือเพื่อสร้างภาพ Pansharpen                                 | 72   |
| 4-39 การใส่ข้อมูลดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่น (Multispectral)                     | 73   |
| 4-40 เลือกข้อมูลดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่น (Multispectral)                      | 73   |
| 4-41 การเลือกช่วงคลื่น                                                          | 74   |
| 4-42 การเรียงช่วงคลื่นตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ                                 | 74   |
| 4-43 การตั้งชื่อไฟล์ใหม่ที่จะทำการบันทึก                                        | 75   |
| 4-44 การเลือกเครื่องมือ create pan sharpened raster dataset จากกล่องเครื่องมือ  | 75   |
| 4-45 การเลือกภาพ panchromatic ที่จะนำมาทำ pansharpen                            | 76   |
| 4-46 การบันทึกข้อมูลภาพ pansharpened                                            | 76   |
| 4-47 การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนการทำ pansharpened                              | 77   |
| 4-48 ภาพ Pansharpen ที่เกิดจากการหลอมรวมของภาพหลายช่วงคลื่นและภาพช่วงคลื่นเดียว | 77   |
| 4-49 ภาพ Pansharpen ที่มีรายละเอียดและความคมชัดของข้อมูล                        | 78   |
| 4-50 การทำ Pansharpen โดยใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1                            | 79   |
| 4-51 การใช้ Pansharpen Model                                                    | 80   |
| 4-52 ภาพ Pansharpen ที่ได้จากการหลอมรวมภาพหลายช่วงคลื่นกับภาพช่วงคลื่นเดียว     | 80   |
| 4-53 เลือกคำสั่ง GCPWorks บน Toolbar                                            | 81   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                          | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| 4-54 เมนูการทำภาพโมเสค                                          | 81   |
| 4-55 การเลือกภาพที่จะนำมาต่อ                                    | 82   |
| 4-56 ภาพแรกที่จะนำมาต่อ                                         | 82   |
| 4-57 การสร้างไฟล์ที่ใช้เก็บภาพที่เกิดจากการนำภาพมาต่อกัน        | 83   |
| 4-58 ขอบเขตของภาพแรกที่ปรากฏในไฟล์ใหม่ที่เราสร้างขึ้น           | 84   |
| 4-59 ภาพส่วนแรกที่เราทำการต่อ                                   | 85   |
| 4-60 การเลือกภาพที่สองที่จะนำมาต่อ                              | 86   |
| 4-61 ภาพที่สองที่จะนำมาต่อภาพ                                   | 86   |
| 4-62 ขอบเขตของภาพแรกที่เราปรากฏในไฟล์ใหม่ที่เราสร้างขึ้น        | 87   |
| 4-63 ภาพที่เราทำการต่อเรียบร้อยแล้ว                             | 88   |
| 4-64 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม                  | 89   |
| 5-1 ความเข้มของสีบริเวณที่เป็นน้ำสีก็มีสีเข้มป่าชายเลนจะมีสีแดง | 90   |
| 5-2 แม่น้ำและคลองชลประทาน                                       | 91   |
| 5-3 พื้นที่สนามบิน                                              | 91   |
| 5-4 พื้นที่นาข้าว                                               | 92   |
| 5-5 ความแตกต่างของสวนยางพาราและพืชไร่                           | 92   |
| 5-6 รูปแบบของเขื่อน                                             | 93   |
| 5-7 เงามบริเวณภูเขา                                             | 93   |
| 5-8 พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเล                         | 94   |
| 5-9 บริเวณที่เป็นหมู่บ้านจะมีต้นไม้ขึ้นเป็นกลุ่ม                | 94   |
| 5-10 การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมด้วยวิธี Minimum Distance     | 97   |
| 5-11 การจำแนกข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยม                      | 98   |
| 5-12 การจำแนกข้อมูลแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด                  | 98   |

## บทที่ 1

### บทนำ

กรมพัฒนาที่ดินเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการสำรวจสภาพการใช้ที่ดิน ติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศซึ่งประกอบด้วยการบินถ่ายภาพทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม การกำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์ และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการดำเนินงาน ในอดีตการผลิตแผนที่สภาพการใช้ที่ดินนั้น เป็นการนำภาพถ่ายทางอากาศชนิดขาว-ดำ มาทำการแปลภาพถ่ายด้วยสายตา เพื่อผลิตแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั้งประเทศในขนาดมาตราส่วนต่าง ๆ กัน ได้แก่ มาตราส่วน 1:1,000,000, 1:500,000, 1:250,000 และ 1:100,000 และใช้แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:250,000 เป็นแผนที่ฐาน ต่อมาในปัจจุบันกรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มาใช้เป็นเครื่องมือติดตามสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน โดยมีการนำภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง มาช่วยในการสำรวจและทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินมาตราส่วนต่าง ๆ กัน เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้แผนที่ที่ต้องการความทันสมัย เนื่องจากดาวเทียมสามารถถ่ายภาพพื้นที่เดิมได้อย่างสม่ำเสมอ

การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนก หรือวิเคราะห์วัตถุเป้าหมายโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสกับวัตถุเป้าหมาย โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) เป็นสื่อการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ คลื่นรังสี (Spectral) รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) ผู้นำเทคโนโลยีนี้ไปใช้จะต้องมีความเข้าใจหลักการดังกล่าว และสามารถนำโปรแกรมด้านการสำรวจระยะไกลมาใช้ในการเตรียมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน ซึ่งในปัจจุบันข้าราชการที่รับผิดชอบและมีความชำนาญเริ่มลดน้อยลงเนื่องจากเกษียณอายุราชการ ดังนั้น เพื่อเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ดังกล่าวข้างต้นพร้อมทั้งถ่ายทอดประสบการณ์ ให้กับข้าราชการรุ่นใหม่ให้มีความชำนาญ และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน จึงจัดทำคู่มือนี้ขึ้น เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการสำรวจข้อมูลระยะไกล ดาวเทียมที่ใช้ในการจัดทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน โดยเน้นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม สามารถนำมาใช้ในการสำรวจภาคสนาม และวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน การติดตามการใช้ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งจะทำให้การดำเนินงานด้านนี้สามารถดำเนินการต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

### การรับรู้จากระยะไกล

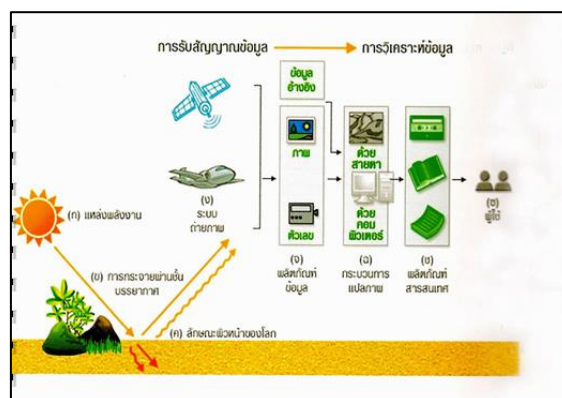
การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) เป็นวิทยาศาสตร์ และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ หรือปรากฏการณ์จากเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสกับวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) เป็นสื่อการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ คลื่นรังสี (Spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) (สุรชัย, 2546)

#### 2.1 กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล

กระบวนการและองค์ประกอบการรับรู้จากระยะไกล ประกอบด้วย 2 กระบวนการ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2542) ได้แก่

**2.1.1 การได้มาซึ่งข้อมูล (Data acquisition)** เริ่มตั้งแต่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศเกิดปฏิสัมพันธ์กับวัตถุบนพื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องรับรู้ที่ติดตั้งในดาวเทียมสำรวจซึ่งโคจรผ่าน ข้อมูลวัตถุ หรือปรากฏการณ์บนพื้นผิวโลกที่ถูกบันทึกจะถูกแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งสู่สถานีภาคพื้นดิน (receiving station) และผลิออกมาเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (pictorial หรือ photograph) หรือรูปแบบเชิงเลข (digital form) เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป (ภาพที่ 2-1)

**2.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)** ประกอบด้วย การแปลตีความข้อมูลด้วยสายตา (visual interpretation) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข (digital analysis) ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ข้อมูลอ้างอิงต่าง ๆ เช่น แผนที่ดิน ข้อมูลภูมิประเทศและสถิติการปลูกพืช และอื่น ๆ ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ได้แผนที่ ข้อมูลเชิงเลข ตาราง คำอธิบาย หรือแผนภูมิ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (ภาพที่ 2-1)



ภาพที่ 2-1 กระบวนการสำรวจระยะไกล

ที่มา: เอกราช และเครือวัลย์ (2550)

## 2.2 แหล่งกำเนิดพลังงานและหลักการแผ่รังสี

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติที่สำคัญ ซึ่งจะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic theory) แยกออกเป็นทฤษฎีคลื่น (Wave theory) และทฤษฎีอนุภาค (Particle theory) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

### 2.2.1 ความยาวคลื่น

การรับรู้ระยะไกลจะใช้ทฤษฎีคลื่นที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic motion) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่งมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ( $c$ ) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่คลื่น ( $f$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$\lambda = c/f$$

เมื่อ  $\lambda$  = ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร: $\mu\text{m}$ )

$c$  = ความเร็วของแสงมีค่าคงที่ ( $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที)

$f$  = ความถี่ของคลื่น (รอบ/วินาที หรือ Hertz)

ความยาวคลื่นและความถี่คลื่น มีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน คือ ความยาวคลื่นมาก ความถี่จะน้อย ความยาวคลื่นน้อยความถี่จะมาก ความยาวคลื่นมีหน่วยวัดเรียกว่า ไมโครเมตร (micrometer,  $\mu\text{m}$ ) หรือไมครอน (micron) ซึ่งเท่ากับ 0.000001 เมตร หรือ  $10^{-6}$

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งตามความยาวคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่สั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิก (cosmic rays) มีความยาวช่วงคลื่นน้อยกว่า  $10^{-10}$  เมตร จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร สำหรับคุณสมบัติของช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่นตามลำดับความยาว ดังนี้ รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ อัลตราไวโอเล็ต ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรด ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

ช่วงคลื่นที่ใช้ประกอบในการรับรู้ระยะไกล แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ช่วงคลื่นเชิงแสง (optical wavelength) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.4-140 ไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป และเครื่องรับรู้ ประกอบด้วย ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ น้ำเงิน เขียว และแดง ถัดมาเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.7-3.0 ไมโครเมตร และอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) มีความยาวคลื่นระหว่าง 3-15 ไมโครเมตร

2) ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร หรือที่รู้จักกันดี คือ ระบบเรดาร์ ซึ่งจะบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) (1 GHz = 1,000 ล้านเฮิร์ตซ์ หรือ 1,000 ล้านรอบต่อวินาที) หรือความยาวคลื่น 2.4-100 เซนติเมตร



ตารางที่ 2-1 ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

| ประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า                                                 | ความยาวช่วงคลื่น              | คุณสมบัติ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. รังสีแกมมา (gamma ray)                                                | $< 0.03 \mu\text{m}$          | ถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยชั้นบรรยากาศชั้นบน จึงไม่นำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจจากระยะไกล                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2. รังสีเอกซ์ (x-ray)                                                    | $0.03\text{-}3.0 \mu\text{m}$ | ถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยชั้นบรรยากาศชั้นบนเช่นกัน จึงไม่นำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจจากระยะไกล                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3. รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet)                                     | $0.03\text{-}0.4 \mu\text{m}$ | ถูกดูดซึมทั้งหมดโดยโอโซน ( $\text{O}_3$ ) ในบรรยากาศชั้นบน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 4. คลื่นอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในการถ่ายภาพ (photographic ultraviolet band) | $0.03\text{-}0.4 \mu\text{m}$ | ช่วงคลื่นนี้สามารถผ่านชั้นบรรยากาศได้ สามารถถ่ายภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป แต่มีการกระจายในชั้นบรรยากาศเป็นอุปสรรค                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 5. คลื่นตามองเห็น (visible)                                              | $0.4\text{-}0.7 \mu\text{m}$  | เป็นช่วงคลื่นที่บันทึกด้วยฟิล์มถ่ายภาพ และอุปกรณ์บันทึกภาพได้ดี โดยเป็นช่วงคลื่นที่ดวงอาทิตย์มีการสะท้อนพลังงานสูงสุด (reflected energy peak ที่ $0.5 \mu\text{m}$ ) ช่วงคลื่นนี้แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มที่ตอบสนองต่อสายตามนุษย์ คือ $0.4\text{-}0.5 \mu\text{m}$ . ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน $0.5\text{-}0.6 \mu\text{m}$ . ช่วงคลื่นสีเขียว $0.6\text{-}0.7 \mu\text{m}$ . ช่วงคลื่นสีแดง ซึ่งเป็นแม่สีแสงที่ก่อให้เกิดสีต่างๆ ที่เรามองเห็นในธรรมชาติ |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า                                            | ความยาวช่วงคลื่น                                | คุณสมบัติ                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6. คลื่นอินฟราเรด(infrared) แบ่งออกเป็นช่วงคลื่นย่อย ดังนี้         |                                                 | ช่วงคลื่นระหว่าง 0.7-0.9 mm สามารถถ่ายภาพด้วยฟิล์มพิเศษ เรียกว่า photographic infrared film และเป็นช่วงที่โลกสะท้อนพลังงานสูงสุดที่ 9.7 $\mu\text{m}$ |
| 6.1 อินฟราเรดใกล้ (near infrared)                                   | 0.7-1.3 $\mu\text{m}$                           | มีประโยชน์ต่อ การศึกษาด้านพืชพรรณ การแยกดินกับน้ำ                                                                                                     |
| 6.2 อินฟราเรดคลื่นสั้น (shortwave infrared)                         | 1.3-3.0 $\mu\text{m}$                           | มีประโยชน์ต่อการศึกษาด้านการใช้ที่ดิน แร่ธาตุ                                                                                                         |
| 6.3 อินฟราเรดคลื่นกลาง (middle wave infrared)                       | 3.0-8.0 $\mu\text{m}$                           | มีประโยชน์ด้านการแยกแร่ธาตุ วัตถุสะท้อนแสงสูง                                                                                                         |
| 6.4 อินฟราเรดความร้อน (thermal infrared)                            | 3.0-5.0 $\mu\text{m}$<br>8.0-14.0 $\mu\text{m}$ | ใช้ศึกษาโรคพืชเนื่องจาก ความร้อน ความแตกต่างของ ความร้อนในพื้นที่ศึกษาความแตกต่างของความชื้นของดิน                                                    |
| 6.5 อินฟราเรดไกล (far infrared)                                     | 14.0 $\mu\text{m}$ – 1 mm.                      | ไม่ปรากฏการประยุกต์ใช้เพราะ คลื่นนี้จะถูกชั้นบรรยากาศดูดกลืนจนเกือบทั้งหมด                                                                            |
| 7. คลื่นไมโครเวฟ (microwave) แบ่งตามขนาดความยาวคลื่นได้ 3 กลุ่มย่อย | 0.1-30.0 cm.                                    | เป็นช่วงคลื่นยาวที่สามารถทะลุผ่านหมอก เมฆ และฝนได้ สามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งระบบพาสซีฟและแอคทีฟ                                                       |
| 7.1 ช่วงคลื่นขนาดมิลลิเมตร                                          | 1.0-10.0 cm.                                    |                                                                                                                                                       |
| 7.2 ช่วงคลื่นขนาดเซนติเมตร                                          | 1.0-10.0 mm.                                    |                                                                                                                                                       |
| 7.3 ช่วงคลื่นขนาดเดซิเมตร                                           | 0.1-1.0 dm.                                     |                                                                                                                                                       |
| 8. คลื่นเรดาร์ (radar) แบ่งเป็นช่วงคลื่นที่สำคัญ ดังนี้             | 0.1-30.0 cm.                                    | เป็นระบบแอคทีฟ ที่สามารถทะลุผ่านหมอก เมฆ และฝนได้                                                                                                     |
| 8.1 K-band                                                          | 10 mm.                                          |                                                                                                                                                       |
| 8.2 X-band                                                          | 30 mm.                                          |                                                                                                                                                       |
| 8.3 L-band                                                          | 25 cm.                                          |                                                                                                                                                       |
| 9. คลื่นวิทยุ (radio)                                               | 1 m –100 km.                                    | เป็นช่วงคลื่นที่ยาวที่สุด บางครั้งมีเรดาร์อยู่ในช่วงนี้ด้วย                                                                                           |

ที่มา: <http://www.gis2me.com>

## 2.2.2 การแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

การแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า อธิบายได้ด้วยทฤษฎีอนุภาค กล่าวคือ การแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยโฟตอน (photon) หรือควอนตัม (quantum) พลังงานของควอนตัมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่น ดังนี้

$$E = hf \quad (\text{Plank's equation})$$

โดยที่  $E$  = พลังงานมีหน่วยเป็นจูล (Joules)

$h$  = ค่าคงที่ของพลังค์ (Plank's constant) =  $6.626 \times 10^{-34}$  J.sec

$f$  = ค่าความถี่ของคลื่น

ดังนั้นพลังงานจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่น คือ ความยาวคลื่นมากจะให้พลังงานต่ำ ถ้าวัตถุใดส่งพลังงานช่วงคลื่นยาว เช่น ไมโครเวฟ การตรวจจับพลังงานโดยอุปกรณ์ทางการรับรู้ระยะไกลที่ช่วงคลื่นนี้จะยากกว่าการตรวจจับพลังงานที่ช่วงคลื่นสั้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

## 2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในชั้นบรรยากาศ

คลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ แล้วสะท้อนกลับสู่บรรยากาศก่อนจะถูกรวบรวมโดยเครื่องรับรู้ บรรยากาศของโลกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพลังงานในทิศทางความเข้ม ความยาว และความถี่ของช่วงคลื่นเพราะชั้นบรรยากาศ ประกอบด้วย ฝุ่นละออง ไอน้ำ และก๊าซต่าง ๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยากับคลื่นพลังงาน 3 กระบวนการ คือ การกระจัดกระจาย (scattering) การดูดกลืน (absorption) และการหักเห (refraction) ทำให้ปริมาณพลังงานตกกระทบผิวโลกน้อยลง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

**2.3.1 การกระจัดกระจาย** เกิดจากอนุภาคเล็ก ๆ ในบรรยากาศมีทิศทางกระจายไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความยาวคลื่น แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การกระจัดกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ทำให้เกิดสภาวะหมอกแดด (Haze) ส่งผลให้ความคมชัดภาพลดลง

2) การกระจัดกระจายแบบมี (Mie scattering) เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เช่น ไอน้ำ ฝุ่นละออง เกิดในความยาวของช่วง คลื่นยาวกว่าแบบเรย์ลี

3) การกระจัดกระจายแบบเจาะจง (nonselective scattering) เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ เช่น หยดน้ำ หรือเมฆ โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค 5-10 ไมโครเมตร จะสะท้อนความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและคลื่นอินฟราเรดสะท้อนได้เกือบเท่ากัน ซึ่งในช่วงความยาวคลื่นตามองเห็นปริมาณของคลื่นต่าง ๆ เช่น น้ำเงิน เขียว แดง และช่วงคลื่นสะท้อนทุกทิศทางเท่ากันทำให้มองเห็นเมฆเป็นสีขาว

**2.3.2 การดูดกลืน** ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การดูดกลืนพลังงานเกิดขึ้นที่ความยาวของคลื่นบางช่วงในบรรยากาศ สารที่เป็นตัวดูดกลืน ได้แก่ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน ช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวงผ่านชั้นบรรยากาศลงมาที่ผิวโลกได้ อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (0.3-0.7 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน

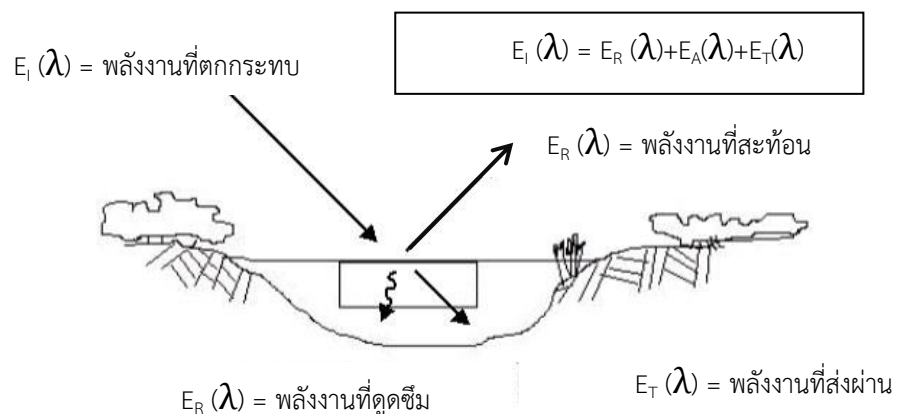
**2.3.3 การหักเห** เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านบรรยากาศที่มีความหนาแน่น ไม่เท่ากัน ทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนไป มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ปรากฏบนภาพ แต่สามารถปรับแก้ไขได้โดยกระบวนการปรับแก้ภาพภายหลัง

## 2.4 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณะพื้นผิวโลก

เมื่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นบรรยากาศมาตกกระทบพื้นผิวโลกจะเกิดปฏิสัมพันธ์ 3 แบบ คือ การสะท้อนพลังงาน (reflection หรือ ER) การดูดซับพลังงาน (absorption หรือ EA) และการส่งผ่านพลังงาน (transmission หรือ ET) อันเป็นปรากฏการณ์สำคัญในการสำรวจระยะของวัตถุบนพื้นผิวโลก ซึ่งเขียนเป็นสมการความสมดุลพลังงาน (Energy balance equation) ได้ดังนี้

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

เมื่อ  $E_i(\lambda)$  เท่ากับ พลังงานตกกระทบ (incident energy) ซึ่งได้รับจากแหล่งพลังงาน สัดส่วนของการดูดซึม การส่งผ่าน การสะท้อน พลังงานจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุซึ่งทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุในภาพถ่ายได้ นอกจากนี้ในวัตถุเดียวกัน สัดส่วนของการเกิดปฏิกิริยาทั้งสามนี้จะแตกต่างกันตามความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบอีกด้วย วัตถุสองชนิดอาจจะไม่แตกต่างกันในช่วงคลื่นหนึ่ง แต่จะสามารถแยกจากกันได้ไปอีกช่วงคลื่นหนึ่ง ความแตกต่างกันทางด้านเชิงคลื่นรังสีของวัตถุจะแสดงให้เห็นในรูปของสีต่าง ๆ เช่น การที่เราเห็นวัตถุเป็นสีเขียวเนื่องจากวัตถุนั้นสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียวมาก (ภาพที่ 2-2)



ภาพที่ 2-2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวโลก

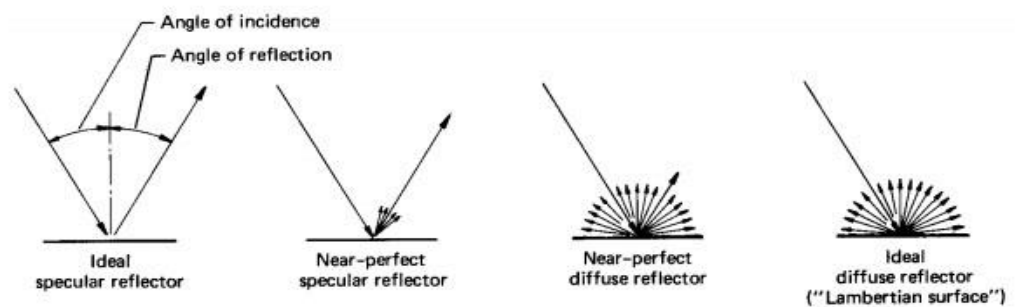
ที่มา: เซาวลิต (2550)

เนื่องจากระบบบันทึกพลังงานส่วนใหญ่จะบันทึกพลังงานสะท้อน (reflected energy) คือ บันทึกพลังงานที่สะท้อนมาจากวัตถุ ดังนั้นการศึกษาเพื่อแยกชนิดของวัตถุจึงเป็นการศึกษาการสะท้อนพลังงานของวัตถุสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

พลังงานที่สะท้อนมาจากวัตถุมีค่าเท่ากับพลังงานที่ตกกระทบวัตถุ ลบด้วยผลรวมของพลังงานดูดกลืนกับพลังงานส่งผ่าน

ลักษณะพื้นผิวหน้าของวัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนพลังงาน วัตถุที่มีพื้นหน้าเรียบมุมสะท้อนพลังงานมีค่าเท่ากับมุมตกกระทบเป็นลักษณะการสะท้อนแสงตรง (specular reflectors) ส่วนวัตถุที่มีพื้นหน้าขรุขระการสะท้อนพลังงานจะไม่เป็นระเบียบเรียกว่าการสะท้อนแสงแผ่ (diffuse reflection หรือ lambertian reflection) อย่างไรก็ตามวัตถุส่วนใหญ่จะมีลักษณะผสมผสานกันระหว่างสองลักษณะนี้



ภาพที่ 2-3 ลักษณะการสะท้อนพลังงานจากพื้นผิววัตถุเรียบและขรุขระ

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

นอกจากลักษณะของพื้นผิววัตถุแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความยาวของช่วงคลื่นที่ตกกระทบวัตถุด้วย ถ้าเป็นพลังงานช่วงคลื่นสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของวัตถุที่ประกอบเป็นพื้นผิววัตถุ หรือความต่างระดับของพื้นผิววัตถุ การสะท้อนแสงอาจเป็นแบบให้ลักษณะวัตถุพื้นผิวขรุขระได้ วัตถุชนิดเดียวกันนี้ได้รับพลังงานตกกระทบในช่วงคลื่นยาว เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิววัตถุการสะท้อนแสงก็อาจเป็นแบบลักษณะของวัตถุที่มีพื้นผิวราบได้ (ภาพที่ 2-3)

ในการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลเป็นการวัดคุณสมบัติสัดส่วนในการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนผิวโลก ณ ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่ง เรียกว่า ความสะท้อนเชิงสเปกตรัม (spectral reflectance,  $\rho_\lambda$ ) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\rho_\lambda = E_R(\lambda) / E_I(\lambda)$$

โดยที่  $\rho_\lambda$  = ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมที่ช่วงคลื่น  $\lambda$  หน่วยเป็นร้อยละ

ดังนั้นพลังงานที่วัดได้โดยตัวรับสัญญาณ (sensor) จึงประกอบด้วยพลังงานที่สะท้อนหรือแผ่จากพื้นผิววัตถุ พลังงานบางส่วนจากปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจาก

ก่อนเมฆ ค่าที่วัดได้นี้จะน้อยหรือมาก หรือเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสถานะของบรรยากาศ มุมของดวงอาทิตย์ ตำแหน่งของเครื่องรับรู้ คุณสมบัติของวัตถุในการสะท้อน การดูดซึม และการส่งผ่านพลังงาน (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

## 2.5 การสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ

พืชพรรณ ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงาน ที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืช ดิน และน้ำ จะทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่าง ๆ ได้โดยวัตถุทั้งสามชนิดหลักนี้มีรูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่าง ๆ เฉพาะตัว เรียกว่า ลักษณะบ่งชี้เชิงสเปกตรัม (spectral signature) โดยที่ช่วงคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิด จะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ในขณะที่วัตถุชนิดเดียวกันจะให้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่ต่างกัน แตกต่างกันไป ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุได้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ดังนี้

### 2.5.1 พืชพรรณ

ในช่วงคลื่นสายตามองเห็น คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานที่สีน้ำเงิน (0.4-0.5 ไมโครเมตร) และสีแดง (0.6-0.7 ไมโครเมตร) สะท้อนพลังงานสีเขียว (0.5-0.6 ไมโครเมตร) ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้ง เหี่ยว ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงก็จะทำให้การสะท้อนคลื่นสีแดงสูงขึ้น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (reflected infrared) (0.7-1.3 ไมโครเมตร) การสะท้อนพลังงานของใบพืชจะสูง คือ จะสะท้อนพลังงานประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานที่ตกกระทบ ลักษณะของการสะท้อนพลังงานนี้เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในของพืช (cell structure) แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าวัดการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้ก็จะสามารถแยกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นเห็นได้จะใกล้เคียงกัน การสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดสะท้อนของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบ จะมีความแตกต่างไปจากการสะท้อนที่มีความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ดังนั้นระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลที่สามารถบันทึกค่าสะท้อนของช่วงคลื่นนี้ได้ สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนหรือสะท้อน มีการส่งผ่านน้อยมาก มักพบค่าต่ำลงในช่วงคลื่น 1.4 1.9 และ 2.7 เพราะในช่วงเหล่านี้ในใบพืชจะดูดกลืนพลังงาน จึงเรียกช่วงคลื่นนี้ว่า ช่วงคลื่นการดูดกลืนน้ำ (water absorption bands) ดังนั้นค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชจึงแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืชสำหรับช่วงคลื่นเหล่านี้ด้วย

### 2.5.2 ดิน

ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดิน ปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน (roughness) ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อน และสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เช่น ลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำเลวจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ ดูดกลืนพลังงานสูงในช่วงสายตามองเห็น เช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์

ในปริมาณสูงจะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ดินที่มีผิวขรุขระมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน

### 2.5.3 น้ำ

การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรด ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใส หรือน้ำที่มีสารต่าง ๆ เจือปน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานจึงแตกต่างกันออกไป บางครั้งพื้นที่ที่รองรับน้ำอาจมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมโครเมตร การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่ น้ำที่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่มาก จะสะท้อนพลังงานได้มากกว่าน้ำใส ถ้ามีสารคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลง และจะเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว ซึ่งอาจใช้เป็นประโยชน์ในการติดตามและคาดคะเนปริมาณสาหร่าย นอกจากนี้ข้อมูลการสะท้อนพลังงานยังเป็นประโยชน์ในการสำรวจคราบน้ำมัน มลพิษจากโรงงาน และตะกอนในลำน้ำได้

## บทที่ 3

### ดาวเทียม

ดาวเทียม หมายถึง สิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้น สามารถโคจรรอบโลกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก ส่งผลให้สามารถโคจรรอบโลกได้ในลักษณะเดียวกันกับที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลก และโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ วัตถุประสงค์ของสิ่งประดิษฐ์นี้เพื่อใช้ทางการทหาร การสื่อสาร การรายงานสภาพอากาศ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสำรวจทางธรณีวิทยาสังเกตการณ์สภาพของอวกาศโลก ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวอื่น ๆ รวมถึงการสังเกตวัตถุ และดวงดาว กาแล็กซีต่าง ๆ

#### 3.1 วงโคจรของดาวเทียม

วงโคจรของดาวเทียมแบ่งออกเป็น 3 ชนิด (สุรสี, 2548) คือ

**3.1.1 วงโคจรสัมพันธ์กับโลก (Geosynchronous orbit)** วงโคจรชนิดนี้มีความเร็วของการโคจรเท่ากับอัตราการหมุนรอบตัวเองของโลกหรือการหมุนรอบแกน (rotation rate) ของโลกใช้เวลาในการโคจร 24 ชั่วโมงต่อรอบ หรือ เรียกว่า วงโคจรค้างฟ้า เนื่องจากมีการโคจรเท่ากับโลกหมุนรอบตัวเอง และมีมุมเอียงของวงโคจรเท่ากับศูนย์ เรียกว่า วงโคจรแบบคงที่ (geostationary orbit) ดาวเทียมที่มีวงโคจรชนิดนี้มีประโยชน์ เนื่องจากครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวาง และวงโคจรอยู่สูงจากพื้นผิวโลกมาก เช่น ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา และดาวเทียมสื่อสาร

**3.1.2 วงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous orbit)** เป็นวงโคจรในแนวเหนือ-ใต้ และผ่านแนวละติจูดหนึ่ง ๆ ที่เวลาท้องถิ่นเดียวกัน ส่วนใหญ่เป็นวงโคจรสำหรับดาวเทียมสำรวจทรัพยากร แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) วงโคจรผ่านขั้วโลก (Polar orbit) เป็นวงโคจรที่มีลักษณะเป็นวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวขั้วโลก โคจรที่ระดับความสูง 500-1,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นวงโคจรระดับต่ำ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 28,000 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้เวลาโคจรเพียง 90 นาทีต่อรอบ

2) วงโคจรเอียง (Inclined orbit) เป็นวงโคจรที่มีรูปลักษณะเป็นทั้งวงกลม และวงรี เป็นวงโคจรที่มีอยู่เป็นจำนวนมากแตกต่างกันไปตามความเอียง (inclination) โคจรที่ระดับความสูง 5,000-13,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก สามารถให้พื้นที่บริการบริเวณละติจูดสูงหรือต่ำมาก ๆ ได้ หรืออาจครอบคลุมพื้นที่ขั้วโลกได้

**3.1.3 วงโคจรแบบหมุนเวียนกลับมาที่เดิม (Recurrent orbit)** และวงโคจรกึ่งหมุนเวียนกลับมาที่เดิม หมายถึงการโคจรกลับมาที่ตำแหน่งแนวตั้ง (nadir) ในรอบ 1 วัน ส่วนวงโคจรกึ่งหมุนเวียนกลับมาที่เดิมนั้น กลับมาที่เดิมที่ตำแหน่งแนวตั้งในรอบ N วัน (N วันมากกว่า 1 วัน) ซึ่งวงโคจรแบบนี้สามารถครอบคลุมพื้นผิวโลกได้ทั้งหมด

### 3.2 ระบบเครื่องรับรู้ (Sensor system)

เครื่องรับรู้เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ เรียกว่า เครื่องวัดจากระยะไกล (remote sensor) หรือ เครื่องวัด (sensor) ตัวอย่าง เช่น กล้องถ่ายรูป หรือ เครื่องกวาดภาพ (scanner)

Aronoff (2005) ได้จำแนกระบบรับรู้ออกเป็น 3 แบบ คือ

**3.2.1 ระบบกล้องถ่ายรูป (Photographic camera)** ค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เคลือบบนแผ่นฟิล์ม ทำให้เกิดความแตกต่างตามพลังงาน และช่วงคลื่นที่ได้รับ โดยข้อมูลที่ได้ออกมาเรียกว่า photograph สามารถบันทึกช่วงคลื่นระหว่าง 0.3-0.9 ไมครอนเท่านั้น

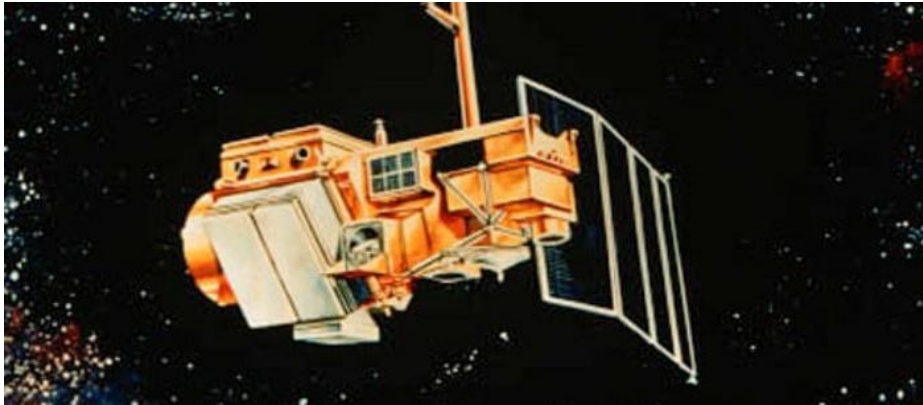
**3.2.1 ระบบแพสซีฟอิเล็กทรอนิกส์ (Passive electronic sensors)** เป็นระบบบันทึกข้อมูลบันทึกพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกหรือจากธรรมชาติ ซึ่งแหล่งพลังงานทางธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ ดวงอาทิตย์ เป็นระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลที่ใช้กันแพร่หลายทั่วไป ทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่างๆ ระหว่าง 0.3-14 ไมโครเมตร

**3.2.2 ระบบแอ็กทีฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active sensors)** เป็นระบบที่สร้างพลังงานขึ้นมาแล้วส่งออกไปยังวัตถุเป้าหมายแล้วรับพลังงานที่สะท้อนกลับจากวัตถุนั้น ที่รู้จักกันดีได้แก่ ระบบเรดาร์ (radar) บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่มีความถี่ระหว่าง 3-12 กิกะเฮิรตซ์

### 3.3 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ใช้ในการจัดทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน มีดังนี้

#### 3.3.1 ดาวเทียมแลนด์แซท 5 (LANDSAT 5)

ดาวเทียมแลนด์แซท 5 (ภาพที่ 3-1) ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรโดยจรวด McDonald Douglas Delta 3920 จากฐานทัพอากาศ Vandenberg รัฐ California เมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2527 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร น้ำหนัก 2,000 กิโลกรัม โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์เป็นวงแนวเหนือ-ใต้ผ่านขั้วโลกทำมุมเอียง 98.2 องศา ที่ระดับความสูง 705 กิโลเมตรจากพื้นโลก ใช้เวลาในการโคจร 99 นาทีต่อรอบ รอบความถี่ในการถ่ายภาพ 16 วัน มีเครื่องรับรู้ 2 ระบบ คือ ระบบบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น (multispectral : MMS) มี 4 ช่วงคลื่น ครอบคลุมพื้นที่ 185 × 185 ตารางกิโลเมตร ความละเอียดภาพ 80 เมตร และระบบธีมาติกแมพเพอร์ (thematic mapper : TM) มี 7 ช่วงคลื่น ความละเอียดภาพ 30 เมตร ยกเว้นแบนด์ 6 ความละเอียดภาพ 120 เมตร (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) (ตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2)



ภาพที่ 3-1 ดาวเทียมแลนด์แซท 5

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของดาวเทียมแลนด์แซท 5

| คุณลักษณะ                             | แลนด์แซท 5            |    |
|---------------------------------------|-----------------------|----|
| ความสูงของการโคจร (กิโลเมตร)          | 705                   |    |
| ลักษณะการโคจร                         | สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ |    |
| เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ             | 99 นาที               |    |
| บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม                | ทุก ๆ 16 วัน          |    |
| อุปกรณ์รับรู้                         | MSS                   | TM |
| ความละเอียดภาพ (เมตร)                 | 80                    | 30 |
| ความกว้างของแนวกว้างบันทึก (กิโลเมตร) | 185                   |    |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

ตารางที่ 3-2 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมแลนด์แซท 5

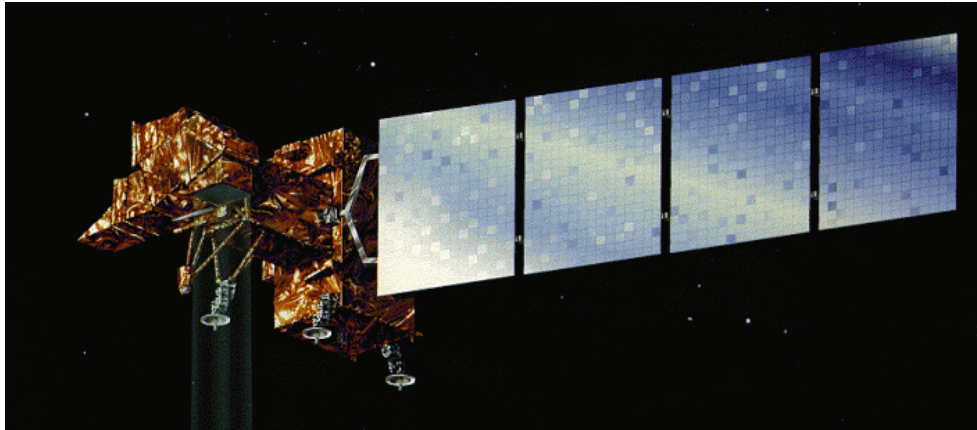
| อุปกรณ์รับรู้ | แบนด์ | ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)        | ความละเอียดภาพ (เมตร) |
|---------------|-------|---------------------------------|-----------------------|
| MSS           | 4     | 0.50-0.60 (น้ำเงินเขียว)        | 80                    |
|               | 5     | 0.60-0.70 (แดง)                 | 80                    |
|               | 6     | 0.70-0.80 (อินฟราเรดใกล้)       | 80                    |
|               | 7     | 0.80-1.10 (อินฟราเรดใกล้)       | 80                    |
| TM            | B1    | 0.45-0.52 (น้ำเงิน)             | 30                    |
|               | B2    | 0.52-0.60 (เขียว)               | 30                    |
|               | B3    | 0.60-0.69 (แดง)                 | 30                    |
|               | B4    | 0.77-0.90 (อินฟราเรดใกล้)       | 30                    |
|               | B5    | 1.55-1.75 (อินฟราเรดคลื่นสั้น)  | 30                    |
|               | B6    | 10.40-12.50 (อินฟราเรดความร้อน) | 30                    |
|               | B7    | 2.08-2.35 (อินฟราเรดสะท้อน)     | 30                    |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

### 3.3.2 ดาวเทียมแลนด์แซท 7 (LANDSAT 7)

ดาวเทียมแลนด์แซท 7 (ภาพที่ 3-2) ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศโดยจรวด McDonal Douglas Delta II จากฐานทัพอากาศ Vandenberg รัฐ California เมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ.2542 (Short, 2008) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร น้ำหนัก 2,150 กิโลกรัม โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์เป็นวงแนวเหนือ-ใต้ผ่านขั้วโลกทำมุมเอียง 98.2 องศา ที่ระดับความสูง 705 กิโลเมตรจากพื้นโลก ใช้เวลาในการโคจร 98.9 นาทีต่อรอบ รอบความถี่ในการถ่ายซ้ำ 16 วัน ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอีทีเอ็มพลัส (ETM plus) ประกอบด้วยระบบบันทึกข้อมูล 2 ส่วน (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ได้แก่

- 1) ระบบบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น บันทึกข้อมูลรวม 7 ช่วงคลื่น คือ คลื่นช่วงตามองเห็น 3 ช่วงคลื่น ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ 1 ช่วงคลื่น ช่วงอินฟราเรดคลื่นสั้น 2 ช่วงคลื่น และอินฟราเรดยาว (หรืออินฟราเรดความร้อน) 1 ช่วงคลื่น รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- 2) ระบบบันทึกช่วงคลื่นยาว (Panchromatic) บันทึกข้อมูลเพียงช่วงคลื่นเดียวในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ รายละเอียดภาพ 15 เมตร (ตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-4)



ภาพที่ 3-2 ดาวเทียมแลนด์แซท 7

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติของดาวเทียมแลนด์แซท 7

| คุณลักษณะ                             | แลนด์แซท 7            |          |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|
| ความสูงของการโคจร (กิโลเมตร)          | 705.3                 |          |
| ลักษณะการโคจร                         | สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ |          |
| เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ             | 98.9 นาที             |          |
| บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม                | ทุก ๆ 16 วัน          |          |
| อุปกรณ์รับรู้                         | ETM+                  | ETM+/PAN |
| ความละเอียดภาพ (เมตร)                 | 30                    | 15       |
| ความกว้างของแนวกว้างบันทึก (กิโลเมตร) | 185                   | 185      |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

ตารางที่ 3-4 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมแลนด์แซท 7

| แลนด์แซท 7 ระบบ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) |                                 |                      |
|------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| แบนด์                                                | ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)        | รายละเอียดภาพ (เมตร) |
| B1                                                   | 0.45-0.53 (น้ำเงิน)             | 30                   |
| B2                                                   | 0.52-0.60 (เขียว)               | 30                   |
| B3                                                   | 0.63-0.69 (แดง)                 | 30                   |
| B4                                                   | 0.76-0.90 (อินฟราเรดใกล้)       | 30                   |
| B5                                                   | 1.55-1.75 (อินฟราเรดคลื่นสั้น)  | 30                   |
| B6                                                   | 10.40-12.50 (อินฟราเรดความร้อน) | 60                   |
| B7                                                   | 2.08-2.35 (อินฟราเรดสะท้อน)     | 30                   |
| B8 (Pan)                                             | 0.52-0.90 (สีขาวดำ)             | 15                   |

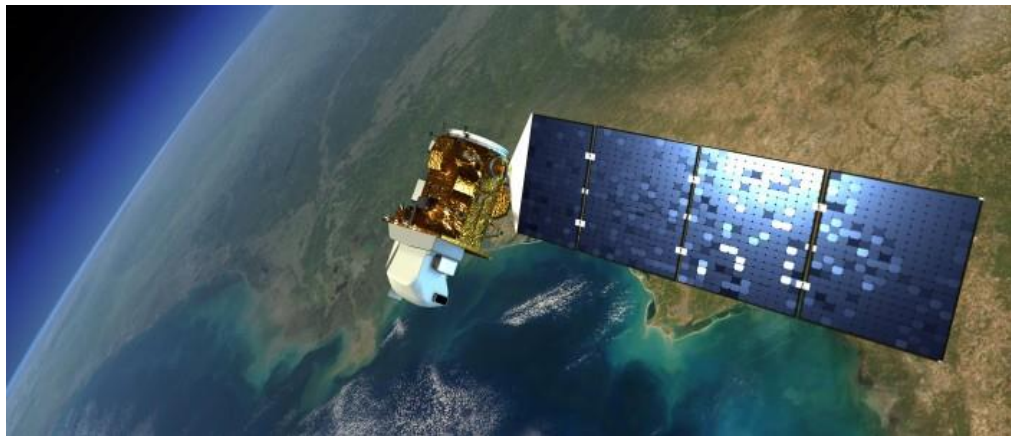
ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

### 3.3.3 ดาวเทียมแลนด์แซท 8 (LANDSAT-8)

ดาวเทียมแลนด์แซท 8 (ภาพที่ 3-3) เริ่มปฏิบัติการวันที่ 30 พฤษภาคม 2556 ภายใต้การบริหารจัดการของ USGS (U.S. Geological Survey) โคจรสูงเหนือพื้นโลก 705 กิโลเมตร ประกอบด้วยระบบบันทึกข้อมูล 2 ส่วน (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2556) ได้แก่

1) ระบบบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น (Multispectral) บันทึกข้อมูลรวม 10 ช่วงคลื่น คือ คลื่นช่วงตามองเห็น 4 ช่วงคลื่น ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ 1 ช่วงคลื่น ช่วงอินฟราเรดคลื่นสั้น 2 ช่วงคลื่น และอินฟราเรดยาว (หรืออินฟราเรดความร้อน) 2 ช่วงคลื่น cirrus 1 ช่วงคลื่น รายละเอียดภาพ 30 เมตร

2) ระบบบันทึกช่วงคลื่นยาว (Panchromatic) บันทึกข้อมูลเพียงช่วงคลื่นเดียว ในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ รายละเอียดภาพ 15 เมตร (ตารางที่ 3-5 และตารางที่ 3-6)



ภาพที่ 3-3 ดาวเทียมแลนด์แซท 8

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2556)

ตารางที่ 3-5 คุณลักษณะของดาวเทียมแลนด์แซท 8

| คุณลักษณะ                             | แลนด์แซท 8                                                               |     |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| ความสูงของการโคจร (กิโลเมตร)          | 705.3                                                                    |     |
| ลักษณะการโคจร                         | สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์                                                    |     |
| เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ             | 98.9 นาที                                                                |     |
| บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม                | ทุก ๆ 16 วัน                                                             |     |
| อุปกรณ์รับรู้                         | the Operational Land Imager (OLI) and the Thermal Infrared Sensor (TIRS) |     |
| ความละเอียดภาพ (เมตร)                 | 30                                                                       | 15  |
| ความกว้างของแนวกว้างบันทึก (กิโลเมตร) | 185                                                                      | 185 |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2556)

ตารางที่ 3-6 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมแลนด์แซท 8

| แบนด์ | ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)                  | รายละเอียดภาพ Resolution (เมตร) |
|-------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| B1    | 0.43-0.45 (Coastal aerosol)               | 30                              |
| B2    | 0.45-0.51 (น้ำเงิน)                       | 30                              |
| B3    | 0.53-0.59 (เขียว)                         | 30                              |
| B4    | 0.64-0.67 (แดง)                           | 30                              |
| B5    | 0.85-0.88 (อินฟราเรดใกล้)                 | 30                              |
| B6    | 1.57-1.65 (อินฟราเรดคลื่นสั้น 1)          | 30                              |
| B7    | 2.11-2.29 (อินฟราเรดคลื่นสั้น 2)          | 30                              |
| B8    | 0.50-0.68 (Panchromatic)                  | 15                              |
| B9    | 1.36-1.38 (เมฆชั้นสูง)                    | 30                              |
| B10   | 10.60-11.19 (อินฟราเรดความร้อน- TIRS 1)   | 100                             |
| B11   | 11.50 - 12.51 (อินฟราเรดความร้อน- TIRS 2) | 100                             |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2556)

### 3.3.4 ดาวเทียม SPOT-5

ดาวเทียม SPOT-5 (ภาพที่ 3-4) ของศูนย์ศึกษาอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส ขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร น้ำหนัก 3,000 กิโลกรัม โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์เป็นวงแนวเหนือ-ใต้ผ่านขั้วโลกทำมุมเอียง 98.7 องศา ที่ระดับความสูง 822 กิโลเมตรจากพื้นโลก ใช้เวลาในการโคจร 101.4 นาทีต่อรอบ รอบความถี่ในการถ่ายซ้ำ 26 วัน บันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้าง 60 ตารางกิโลเมตร รายละเอียดของภาพขาวดำ 2.5 เมตร และภาพสี 10 เมตร นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์รับรู้ High Resolution Stereoscopic (HRG) ใช้ในการถ่ายภาพสามมิติ ซึ่งถ่ายภาพตามแนวโคจร สามารถให้ข้อมูลในการผลิตข้อมูลชั้นความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEMs) และมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจจับพืชพรรณ 4 คลื่นในช่วงคลื่นตามองเห็น และอินฟราเรดใกล้ ที่ใช้ในการติดตามด้านการเกษตร การเปลี่ยนแปลงป่าไม้ รวมถึงปรากฏการณ์เรือนกระจก (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2556) (ตารางที่ 3-7 และตารางที่ 3-8)



ภาพที่ 3-4 ดาวเทียม SPOT-5

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

ตารางที่ 3-7 ลักษณะของดาวเทียม SPOT-5

| คุณลักษณะ                         | SPOT-5                                                                         |               |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| ความสูงของการโคจร (กิโลเมตร)      | 822                                                                            |               |
| ลักษณะการโคจร                     | สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์                                                          |               |
| เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ         | 101.40 นาที                                                                    |               |
| บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม            | ทุก ๆ 26 วัน                                                                   |               |
| อุปกรณ์รับรู้                     | High resolution instrument<br>Stereoscopic instrument<br>Vegetation instrument |               |
| High Resolution Instrument        | Panchromatic                                                                   | Multispectral |
| ความละเอียดภาพ (เมตร)             | 2.5-5                                                                          | 10,20         |
| ความกว้างของแนวนบันทึก (กิโลเมตร) | 60×120                                                                         | 60×60 ถึง 80  |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

ตารางที่ 3-8 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียม SPOT-5

| แบนด์ | ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)       | รายละเอียดภาพ Resolution (เมตร) |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|
| B1    | 0.50-0.59 (สีเขียว)            | 10                              |
| B2    | 0.61-0.68 (สีแดง)              | 10                              |
| B3    | 0.78-0.89 (อินฟราเรดใกล้)      | 10                              |
| B4    | 1.58-1.75 (อินฟราเรดคลื่นสั้น) | 20                              |
| P     | 0.48-0.71                      | 2.5, 5                          |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

### 3.3.5 ดาวเทียมไทยโชต

ดาวเทียมไทยโชต (ภาพที่ 3-5) เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก มีน้ำหนัก 750 กิโลกรัม รูปทรงรูปกล่องหกเหลี่ยมสูงประมาณ 2.4 เมตร กว้างประมาณ 2 เมตร วงโคจร สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ที่ความสูง 822 กิโลเมตร มีทิศทางการโคจรจากเหนือลงใต้ ทำมุมเอียง 98 องศา กับระนาบเส้นศูนย์สูตร และจะผ่านเส้นศูนย์สูตร ที่เวลาประมาณ 10:00 น. โคจรครบ 1 รอบ ใช้เวลาประมาณ 101.4 นาที และจะโคจรถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุกๆ 26 วัน โคจรรอบโลกทั้งสิ้น 369 วงโคจร (ดาวเทียมโคจรรอบโลก  $14 + 5/26$  รอบต่อวันโดยเฉลี่ย) และโคจรลักษณะเดียวกันตลอด ซึ่งระยะห่างจากวงโคจรแต่ละวงเท่ากับ 105 กิโลเมตร สามารถถ่ายภาพครอบคลุมทั่วโลกภายใน 35 วัน มีอายุทางเทคโนโลยีขั้นต่ำ 5 ปี ทำงานโดยอาศัยแหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous orbit) กล้องถ่ายภาพใช้ระบบซีซีดีสามารถบันทึกภาพจากการสะท้อนแสงของพื้นโลก (ต้องการแสงอาทิตย์) มี 2 ระบบ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ดังนี้

- 1) กล้องถ่ายภาพแบบระบบช่วงคลื่นเดี่ยว ภาพแบบขาวดำ (panchromatic: PAN) ที่รายละเอียด 2 เมตร ความกว้างแนวถ่ายภาพ 22 กิโลเมตร
- 2) กล้องถ่ายภาพแบบระบบหลายช่วงคลื่น (multispectral : MS) เพื่อนำมาแสดงร่วมกันให้เห็นเป็นภาพสีจำนวน 4 ช่วงคลื่น ที่รายละเอียด 15 เมตร ความกว้างแนวถ่ายภาพ 90 กิโลเมตร ได้แก่ 3 ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (ช่วงคลื่นแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน) และ 1 ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (NIR) (ตารางที่ 3-9 และตารางที่ 3-10)



ภาพที่ 3-5 ดาวเทียมไทยโชต

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2553)

ตารางที่ 3-9 ลักษณะของดาวเทียมไทยโชต

| คุณลักษณะ                         | ไทยโชต                                                                         |               |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| ความสูงของการโคจร (กิโลเมตร)      | 822                                                                            |               |
| ลักษณะการโคจร                     | สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์                                                          |               |
| เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ         | 101.4 นาที                                                                     |               |
| บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม            | ทุก ๆ 26 วัน                                                                   |               |
| อุปกรณ์รับรู้                     | High resolution instrument<br>Stereoscopic instrument<br>Vegetation instrument |               |
| High Resolution Instrument        | Panchromatic                                                                   | Multispectral |
| ความละเอียดภาพ (เมตร)             | 2                                                                              | 15            |
| ความกว้างของแนวนบันทึก (กิโลเมตร) | 22                                                                             | 90            |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2553)

ตารางที่ 3-10 อุปกรณ์รับรู้ดาวเทียมไทยโชต

| แบนด์ | ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร) | รายละเอียดภาพ (เมตร) |
|-------|--------------------------|----------------------|
| B0    | 0.45-0.52 (blue)         | 15                   |
| B1    | 0.53-0.60 (green)        | 15                   |
| B2    | 0.62-0.69 (red)          | 15                   |
| B3    | 0.77-0.90 (NIR)          | 15                   |
| P     | 0.45 - 0.90              | 2                    |

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2553)

ตารางที่ 3-11 เปรียบเทียบคุณสมบัติของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ใช้ในการจัดทำแผนที่  
สภาพการใช้ที่ดิน

| คุณสมบัติ                                         | แลนด์แซท 5<br>ทีเอ็ม                                                                                                                                                                        | แลนด์แซท-7                                                                                                                            | แลนด์แซท-8                                                                                                                                                                                              | SPOT-5                                                                              | ไทยโชต                                                                              |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| วันที่ส่งขึ้น<br>อวกาศ                            | มี.ค. 2527                                                                                                                                                                                  | พ.ย. 2542                                                                                                                             | พ.ค. 2556                                                                                                                                                                                               | ก.ย. 2549                                                                           | ส.ค. 2552                                                                           |
| ความสูงของวง<br>โคจร<br>(กิโลเมตร)                | 700                                                                                                                                                                                         | 705.3                                                                                                                                 | 705                                                                                                                                                                                                     | 822                                                                                 | 822                                                                                 |
| โคจรซ้ำที่เดิม<br>(วัน)                           | 16                                                                                                                                                                                          | 16                                                                                                                                    | 16                                                                                                                                                                                                      | 26                                                                                  | 26                                                                                  |
| ความกว้างของ<br>การบันทึก<br>ข้อมูล<br>(กิโลเมตร) | 185                                                                                                                                                                                         | 185                                                                                                                                   | 185                                                                                                                                                                                                     | 60                                                                                  | 22                                                                                  |
| ระบบบันทึก<br>ข้อมูล                              | multispectral<br>scanner (MSS) 4<br>ช่วงคลื่น<br>thematic<br>wapper (TM) 7<br>ช่วงคลื่น                                                                                                     | Multispectral<br>(7 ช่วงคลื่น)<br>panchromatic<br>(ขาวดำ)                                                                             | Multispectral<br>(7 ช่วงคลื่น)<br>Panchromatic<br>(ขาวดำ)                                                                                                                                               | multispectral<br>(4 ช่วงคลื่น)<br>panchromatic<br>(ขาวดำ)                           | multispectral<br>(7 ช่วงคลื่น)<br>panchromatic<br>(ขาวดำ)                           |
| ความยาว<br>ช่วงคลื่น<br>(ไมโครเมตร)               | MSS<br>B1=0.50-0.60<br>B2=0.60-0.70<br>B3=0.70-0.80<br>B4=0.80-1.10<br>TM<br>B1=0.45-0.52<br>B2=0.52-0.60<br>B3=0.60-0.69<br>B4=0.77-0.90<br>B5=1.55-1.75<br>B6=10.40-12.40<br>B7=2.08-2.35 | MS<br>B1=0.45-0.53<br>B2=0.52-0.60<br>B3=0.63-0.69<br>B4=0.76-0.90<br>B5=1.55-1.75<br>B6=10.40-12.50<br>B7=2.08-2.35<br>PAN=0.52-0.90 | MS<br>B1=0.43-0.45<br>B2=0.45-0.51<br>B3=0.53-0.59<br>B4=0.64-0.67<br>B5=0.85-0.88<br>B6=1.57-1.65<br>B7=2.11-2.29<br>B8=0.50-0.68 (PAN)<br>B9=1.36-1.38<br>B10=10.60-11.19<br>(TIR)<br>B11=11.50-12.51 | MS<br>B1=0.50-0.59<br>B2=0.61-0.68<br>B3=0.78-0.89<br>B4=1.58-1.75<br>PAN=0.48-0.71 | MS<br>B0=0.45-0.52<br>B1=0.53-0.60<br>B2=0.62-0.69<br>B3=0.77-0.90<br>PAN=0.45-0.90 |

ตารางที่ 3-11 (ต่อ)

| คุณสมบัติ            | แลนด์แซท 5<br>ทีเอ็ม                                                                                                                                                                                                                                | แลนด์แซท-7                                                                                                                                                                                                                                          | แลนด์แซท-8                                                                                                                                                                                                                                          | SPOT-5                                                                                                                                                                                                          | ไทยโชต                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| รายละเอียด<br>ข้อมูล | 1.MS 30 เมตร<br>2.PAN 15 เมตร                                                                                                                                                                                                                       | 1.MS 30 เมตร<br>2.PAN 15 เมตร                                                                                                                                                                                                                       | 1.MS 30 เมตร<br>2.PAN 15 เมตร                                                                                                                                                                                                                       | 1.MS 10<br>เมตร<br>2.PAN 2.5<br>และ .5 เมตร                                                                                                                                                                     | 1.MS 15<br>เมตร<br>2.PAN 2<br>เมตร                                                                                                                                                                              |
| การใช้<br>ประโยชน์   | 1.การจำแนกพืช<br>พรรณ การใช้ที่ดิน<br>และติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลงการใช้<br>ที่ดิน<br><br>2.สำรวจทรัพยากร<br>ป่าไม้ แหล่งน้ำและ<br>ความชื้นในดิน<br>3.ติดตามแหล่ง<br>พลังงานความร้อน<br>4.ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>สิ่งแวดล้อม<br><br>5.ธรณีวิทยา | 1.การจำแนกพืช<br>พรรณ การใช้ที่ดิน<br>และติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลงการใช้<br>ที่ดิน<br><br>2.สำรวจทรัพยากร<br>ป่าไม้ แหล่งน้ำและ<br>ความชื้นในดิน<br>3.ติดตามแหล่ง<br>พลังงานความร้อน<br>4.ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>สิ่งแวดล้อม<br><br>5.ธรณีวิทยา | 1.การจำแนกพืช<br>พรรณ การใช้ที่ดิน<br>และติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลงการใช้<br>ที่ดิน<br><br>2.สำรวจทรัพยากร<br>ป่าไม้ แหล่งน้ำและ<br>ความชื้นในดิน<br>3.ติดตามแหล่ง<br>พลังงานความร้อน<br>4.ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>สิ่งแวดล้อม<br><br>5.ธรณีวิทยา | 1.การจำแนก<br>พืชพรรณ การ<br>ใช้ที่ดิน และ<br>ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>การใช้ที่ดิน<br>2.เส้นทาง<br>คมนาคม<br>3.ผังเมือง<br>4.ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>สิ่งแวดล้อม<br>คราบน้ำมันใน<br>ทะเล<br>5.ธรณีวิทยา | 1.การจำแนก<br>พืชพรรณ การ<br>ใช้ที่ดิน และ<br>ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>การใช้ที่ดิน<br>2.เส้นทาง<br>คมนาคม<br>3.ผังเมือง<br>4.ติดตามการ<br>เปลี่ยนแปลง<br>สิ่งแวดล้อม<br>คราบน้ำมันใน<br>ทะเล<br>5.ธรณีวิทยา |

ที่มา: ดัดแปลงจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

### 3.4 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

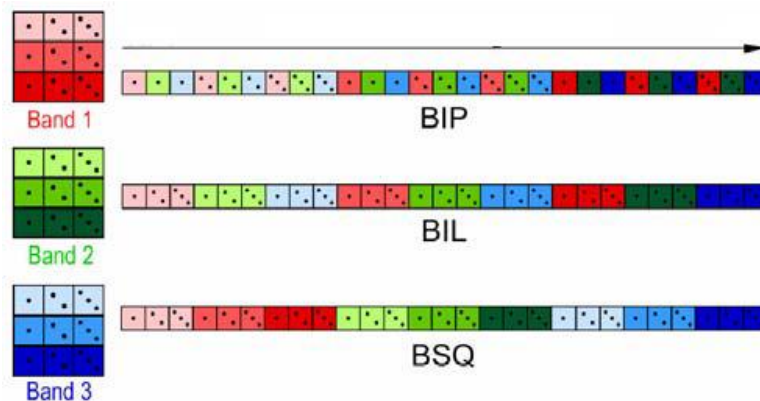
#### 3.4.1 ภาพและโครงสร้างของภาพ

ภาพถ่ายดาวเทียม ประกอบด้วย สีเหลืองเล็ก ๆ จำนวนมากที่มีขนาดเท่ากัน และจัดเรียงเป็นแถว เรียกว่าจุดภาพ แต่ละจุดภาพถูกกำหนดโดยตำแหน่งพิกัดในแนวนอนและแนวตั้ง และมีค่าตัวเลข เรียกว่า ค่าของจุดภาพ เป็นค่าที่บันทึกความเข้มของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุพื้นโลกไปยังเครื่องรับรู้ซึ่งแสดงค่าความเข้มแตกต่างกัน ตั้งแต่สีดำซึ่งมีค่าความเข้มน้อยไปจนถึงสีขาวซึ่งมีค่าความเข้มมากที่สุดความเข้มนี้ เรียกว่า ค่าระดับสีเทา สามารถแบ่งได้หลายระดับขึ้นอยู่กับความละเอียดเชิงแสง จัดเก็บในระบบตัวเลขฐานสอง สำหรับดาวเทียมแลนด์แซท SPOT-5 และดาวเทียมไทยโชต ค่าที่ใช้เก็บมีจำนวน 8 บิต ระดับสีเทาอยู่ในช่วง 0–255 (เอกราช และเครือวัลย์, 2550)

#### 3.4.2 การเก็บบันทึกข้อมูลจากดาวเทียม

การเก็บบันทึกข้อมูลดาวเทียมมี 3 วิธี (เอกราช และเครือวัลย์, 2550) ดังนี้

- 1) แบบแบนด์แทรกสลับโดยจุดภาพ (Band Interleaved by Pixel : BIP) แต่ละแถวมีค่าของจุดภาพของแต่ละแบนด์สลับกันไป ซึ่งข้อมูลในแต่ละแถวมีค่าของจุดภาพครบทุกแบนด์
- 2) แบบแบนด์แทรกสลับโดยเส้น (Band Interleaved by Line : BIL) แต่ละแถวมีค่าของแบนด์เดียวเท่านั้น โดยแถวต่อไปบันทึกค่าของแบนด์ถัดไปจนครบทุกแบนด์
- 3) แบบเรียงลำดับแบนด์ (Band Sequential : BSQ) แต่ละแบนด์ถูกบันทึกเรียงลำดับตามแบนด์หนึ่งทั้งภาพแล้วจึงเริ่มแบนด์ต่อไป (ภาพที่ 3-6)

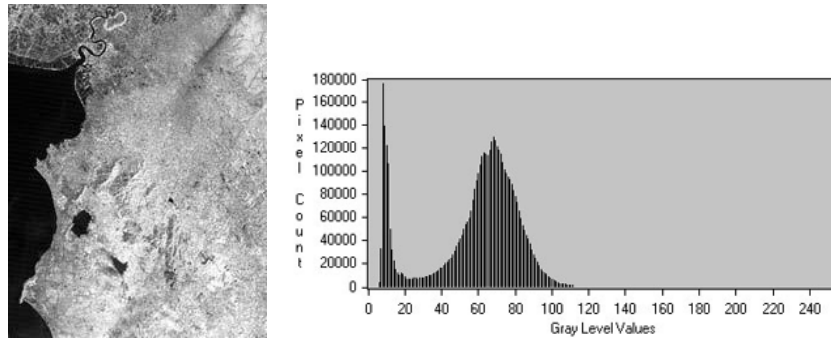


ภาพที่ 3-6 การจัดเรียงข้อมูลตำแหน่งของจุดภาพในรูปแบบต่าง ๆ

ที่มา: เอกราช และเครือวัลย์ (2550)

### 3.4.3 แผนภูมิภาพ (Image histogram)

แผนภูมิของภาพแสดงการกระจายค่าของจุดภาพ และจำนวนจุดภาพในพื้นที่ที่กำหนดใช้ประโยชน์ในการบอกลักษณะของพื้นที่อย่างกว้าง ๆ ผู้ศึกษาต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการสะท้อนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่น (ภาพ 3-7)

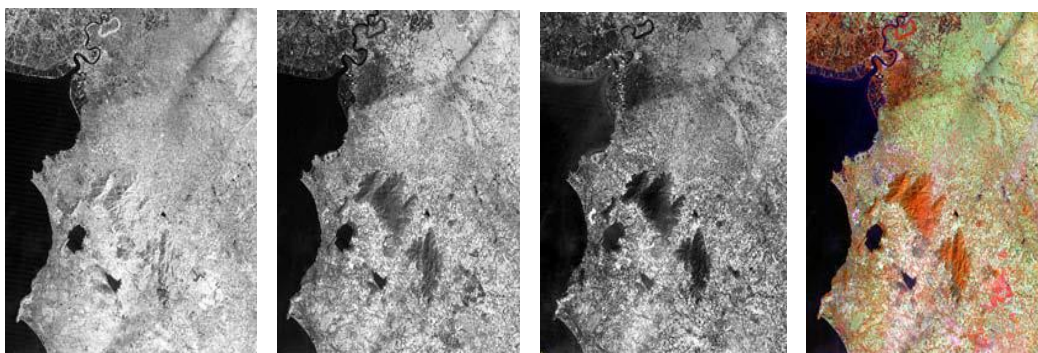


ภาพที่ 3-7 แผนภูมิภาพข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5 ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้  
พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก  
ที่มา: เอกราช และเครือวัลย์ (2550)

### 3.4.4 การแสดงภาพบนจอ (Image display)

ความละเอียดของการแสดงภาพ (display resolution) เป็นการแสดงภาพที่แตกต่างกันบนจอแสดงผลมาจากความจำทั้งมิติแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งแสดงจำนวนของจุดภาพที่สามารถเห็นบนจอภาพ เช่น ความละเอียดของการแสดงภาพที่ 1,152×900 1,280×1,024 และ 1,024×780 จุดภาพ เป็นต้น การแสดงภาพสามารถบอกได้เป็นจำนวนบิต เช่น 8 บิต หรือ 24 บิต ค่าบิตจะเป็นตัวกำหนดความสว่าง (brightness value) หรือค่าของจุดภาพในการแสดงผลภาพ 24 บิต โดยทั่วไปจอแสดงผลแบบหลอดภาพซีอาร์ที (Cathode Ray Tube : CRT) มีลำแสงอิเล็กตรอนสี 3 ลำแสง ในแต่ละลำแสงอิเล็กตรอนจำนวนค่าความสว่างที่เป็นไปได้ 8 บิต คือ 256 คือ ตั้งแต่ 0-255

ดังนั้นแต่ละลำแสงอิเล็กตรอนของ 1 จุดภาพ จะมีค่าในช่วง 0-255 ผลรวมของทั้งสามลำแสงอิเล็กตรอนจะมีค่าเท่ากับ 16,777,216 สี (ภาพที่ 3-8)



64 สี

128 สี

256 สี

16,777,216 สี

ภาพที่ 3-8 ภาพสีผสมที่เกิดจากข้อมูล 8 บิต ผ่านลำแสงอิเล็กตรอนสี

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

### 3.4.5 กระบวนการผสมสี

การแสดงข้อมูลจากดาวเทียมออกมาเป็นภาพสีนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพราะการแสดงผลภาพจากดาวเทียมที่อยู่ในรูปของช่วงความแตกต่างของสี (range of different colors) จะช่วยในการแปลตีความด้วยสายตาได้ดีกว่าภาพระดับสีเทา (tone of gray) เนื่องจากตามปกติสายตาของมนุษย์สามารถแยกลำดับขั้นของสี (shade of color) ได้ดีกว่าการแยกระดับความเข้มของสีเทา ดังนั้นต้องนำข้อมูลแต่ละช่วงคลื่นมาผสมรวมกันตามแม่สีของแสง จะได้ภาพสีผสมที่ช่วยเน้นความละเอียดของข้อมูลได้มากกว่าแสดงทีละช่วงคลื่น โดยใช้แม่สีของแสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง การทำภาพผสมสี ทำได้ 3 รูปแบบ (จรัญธร, 2546) คือ

1) สีเชิงบวก (Additive color composite) คือ การผสมสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง ในความเข้มสูงสุด และสัดส่วนเท่ากันทีละคู่ จะได้แม่สีลบ (subtractive primary color) ได้แก่ สีเหลือง (yellow) ม่วงแดง (magenta) และสีน้ำเงินแกมเขียว (cyan) หากนำแม่สีบวกทั้งหมดมาผสมรวมกันในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากันจะได้สีขาว การผสมสีลักษณะนี้เกิดขึ้นตามการรับรู้ของสายตามนุษย์ใช้ในระบบการให้สีของจอโทรทัศน์ จอคอมพิวเตอร์

2) สีผสมเชิงลบ (Subtractive color composite) คือ การผสมสีเหลือง สีม่วงแดง และสีน้ำเงินแกมเขียว มาผสมกันในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากันทีละคู่ จะได้สีผสมกลับไปเป็นแม่สีบวก คือ สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง เมื่อนำสีลบทั้งหมดมาผสมรวมกันในความเข้มสูงสุดและสัดส่วนเท่ากันจะได้สีดำ การผสมสีลักษณะนี้ นิยมใช้ในการพิมพ์สีตามโรงพิมพ์สำหรับหนังสือ วารสาร และหนังสือพิมพ์ (ภาพที่ 3-9)



ภาพที่ 3-9 การผสมสีเชิงบวก และการผสมสีเชิงลบ

ที่มา: [www.social.nu.ac.th](http://www.social.nu.ac.th)

3) การแสดงผลแบบสีเทียม (Pseudo color) การเน้นความละเอียดของข้อมูลวิธีนี้ แตกต่างจากการผสมสี 2 วิธีข้างต้น การแสดงผลแบบสีเทียมใช้ช่วงคลื่นเพียง 1 ช่วงคลื่น แล้วให้สีตามลำดับ คือ สีน้ำเงิน สีเขียว สีเขียวเหลือง สีเหลือง สีส้ม สีแดง และสีม่วงแดง ค่าการสะท้อนของข้อมูลถูกแสดงออกตามช่วงสีจากค่าต่ำไปหาค่าสูง โดยช่วงสีเทาของช่วงคลื่นจะถูกแบ่งเป็นช่วงย่อย ๆ ที่นำมากำหนดให้สีแต่ละช่วงปรากฏเป็นสีต่าง ๆ ตามลำดับช่วงคลื่นตามมองเห็น สามารถแสดงวัตถุต่าง ๆ ได้ดี โดยเฉพาะกับวัตถุที่มีลักษณะต่อเนื่อง เช่น ระดับอุณหภูมิจากคลื่นอินฟราเรดความร้อน

### 3.4.6 การสร้างภาพสีผสมจากข้อมูลดาวเทียม

ข้อมูลภาพจากดาวเทียมสีขาวดำ (Tone of gray) ในแต่ละช่วงคลื่น สามารถนำมาซ้อนทับกันได้ครั้งละ 3 ช่วงคลื่น ด้วยแม่สีบวก (additive primary color) 3 สีหลัก คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อนำมาซ้อนทับกันจะได้ภาพที่เป็นภาพสีผสม (color composite) ปรากฏเป็นสีต่าง ๆ ตามทฤษฎีสี คือ การซ้อนทับของแม่สีบวกแต่ละคู่จะให้แม่สีลบ (subtractive primary color) คือ สีเหลือง (yellow) ม่วงแดง (magenta) และสีน้ำเงินแกมเขียว (cyan)

ข้อมูลดาวเทียมซึ่งบันทึกภาพบริเวณเดียวกัน แต่แยกบันทึกค่าสเปกตรัมของพื้นผิวไว้หลายช่วงคลื่นพร้อมกัน เมื่อนำมาผลิตเป็นภาพผสมสีจะต้องนำเข้าข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 ช่วงคลื่นตามทฤษฎีสี โดยใช้ฟิลเตอร์แม่สี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน การทำภาพสีผสมนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้เพื่อแยกรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้ชัดเจน (จรัลธร, 2546) เช่น

ภาพดาวเทียมสีผสมเท็จมาตรฐาน (Standard false color composite) ที่รู้จักกันทั่วไปคือ การผสมสีให้พืชพรรณปรากฏเป็นสีแดง (ภาพที่ 3-10) โดยมีหลักการดังนี้ คือ

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ให้ผ่านฟิลเตอร์สีแดง

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีแดง ให้ผ่านฟิลเตอร์สีเขียว

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีเขียว ให้ผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

กรณีที่ดาวเทียม มีช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น จะช่วยให้การแยกพืชพรรณมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 3-11) ให้ผสมสี ดังนี้

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ให้ผ่านฟิลเตอร์สีแดง

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น ให้ผ่านฟิลเตอร์สีเขียว

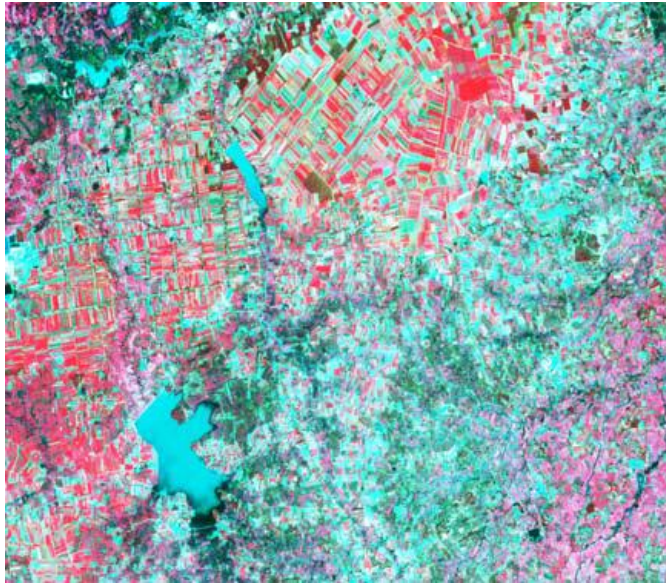
ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีแดง ให้ผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

ตัวอย่างการสร้างภาพสีผสมของดาวเทียมแลนด์แซท 5 ทีเอ็ม ตามตารางที่ 3-12 และตัวอย่างการสร้างภาพสีผสมของดาวเทียมแลนด์แซท 8 ตามตารางที่ 3-13

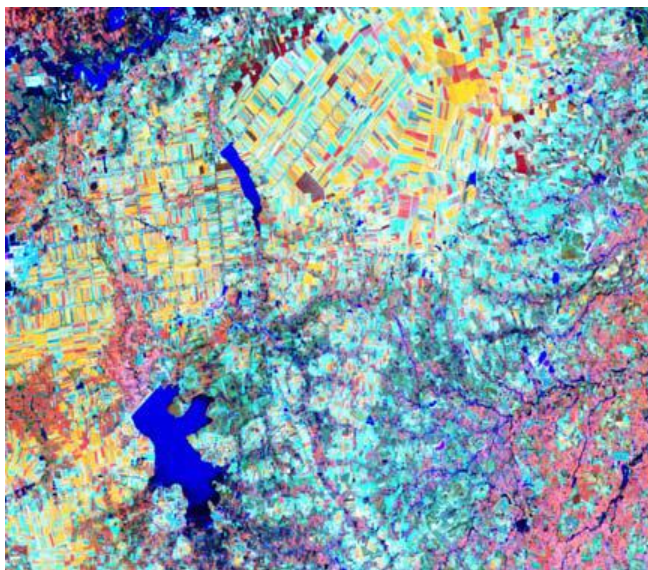
ตารางที่ 3-12 การสร้างภาพสีผสมของดาวเทียมแลนด์แซท 5 ระบบทีเอ็ม

| แบนด์ / B G R | คุณสมบัติ                                                                                                                         |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 2 3         | ให้ภาพสีผสมแบบธรรมชาติ (natural color composite) คือ พืชพรรณเป็นสีเขียว ใช้ศึกษาความชุ่มชื้นของตะกอน น้ำตื้น และพื้นที่ชายฝั่ง    |
| 2 3 4         | ให้สีผสมเท็จแบบมาตรฐาน (standard false color composite) พืชพรรณปรากฏเป็นสีแดง น้ำเป็นสีน้ำเงิน และพื้นที่เปิดโล่งจะปรากฏเป็นสีขาว |
| 3 4 5         | พืชพรรณเป็นสีเขียว ให้รายละเอียดความแตกต่างของความชื้นของดิน มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ดินและพืชพรรณ                                |
| 3 5 4         | พืชพรรณเป็นสีแดงและสีส้ม แสดงขอบเขตพื้นดิน และน้ำ แยกป่าชายเลน (สีส้ม) ออกจากป่าบก (สีแดง) ให้ลักษณะคลองระบายน้ำ                  |
| 2 5 4         | พืชพรรณสีแดง แยกพื้นที่สวนยางพารา (สีส้มและชมพู) ได้ชัดเจน                                                                        |
| 7 5 4         | พืชพรรณสีแดงให้รายละเอียดความชื้นที่แตกต่างตามลักษณะพื้นที่                                                                       |

ที่มา: จรรย์ธร (2546)



ภาพที่ 3-10 ภาพผสมสีจากดาวเทียมแลนด์แซท 5 ทีเอ็ม (R: NIR, G: Red, B: Green)



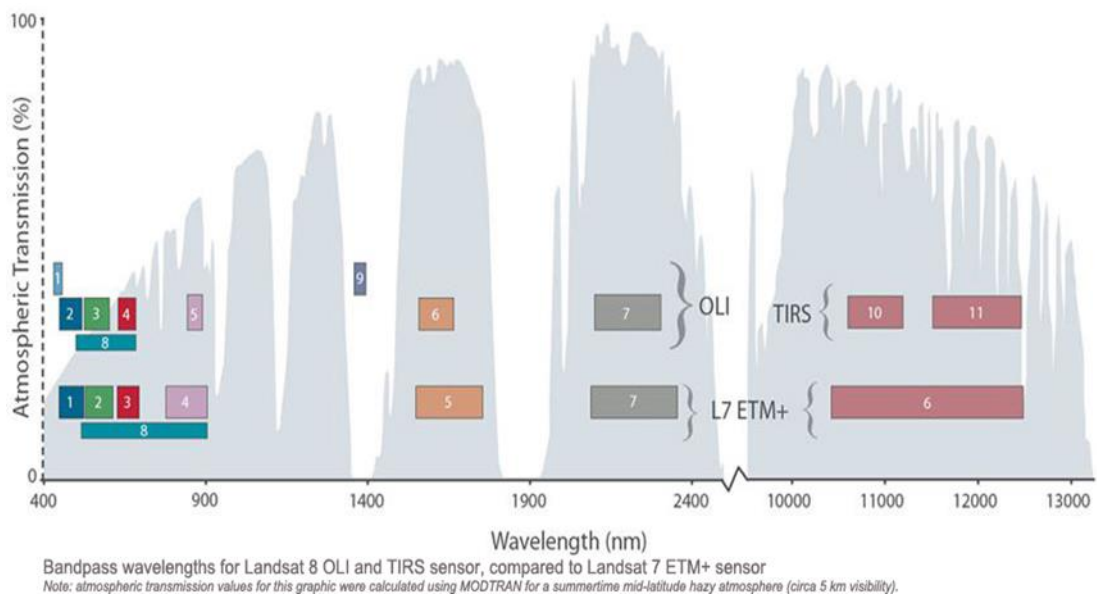
ภาพที่ 3-11 ภาพผสมสีจากดาวเทียมแลนด์แซท 5 ทีเอ็ม (R: NIR, G: SWIR, B: Red)

ดาวเทียมแลนด์แซท 5 ทีเอ็ม มีช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น เมื่อผสมสีโดยผ่านฟิวเตอร์สีเขียว ทำให้การแยกพืชพรรณมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยในภาพจะแยกความแตกต่างของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังได้ชัดเจน (ภาพที่ 3-11)

ตารางที่ 3-13 การสร้างภาพสีผสมดาวเทียมแลนด์แซท 8

| แบนด์ / R G B | คุณสมบัติ                        |
|---------------|----------------------------------|
| 4 3 2         | Natural color                    |
| 7 6 4         | False color                      |
| 5 4 3         | Colour infrared (vegetation)     |
| 6 5 2         | Agriculture                      |
| 5 6 2         | Healthy vegetation               |
| 5 6 4         | Land/water                       |
| 7 5 3         | Natural with atmospheric removal |
| 7 5 4         | Shortwave infrared               |
| 6 5 4         | Vegetation analysis              |

ที่มา: <http://earthexplorer.usgs.gov>



ภาพที่ 3-12 ช่วงคลื่นของดาวเทียมแลนด์แซท 7 EM+ เปรียบเทียบกับดาวเทียมแลนด์แซท 8

OLI และ TIRS

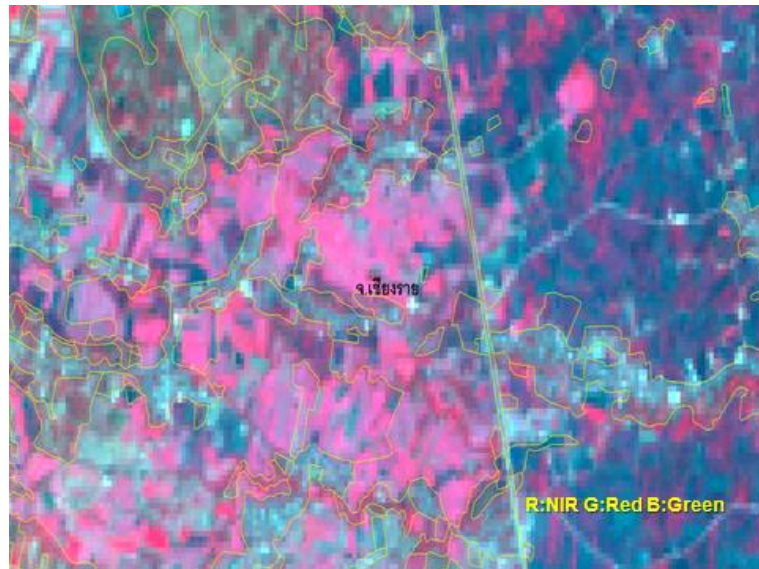
ที่มา: <http://earthexplorer.usgs.gov>

ตารางที่ 3-14 เปรียบเทียบการผสมสีดาวเทียม แลนด์แซท 5 แลนด์แซท 7 และ แลนด์แซท 8  
ด้วยการผ่านตัวกรองสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

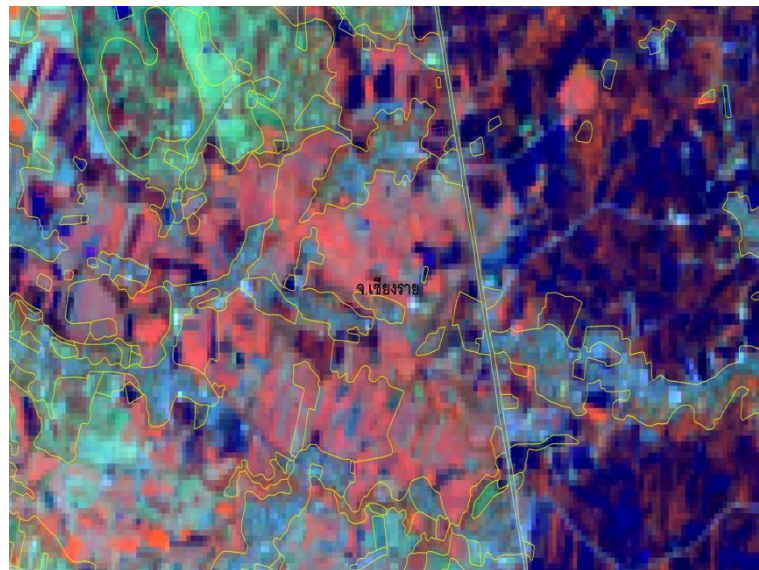
| ภาพดาวเทียม                                                                         | ประเภทการผสมสี                      | แลนด์แซท 7<br>แลนด์แซท 5 | แลนด์แซท 8 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------|
|    | สีผสมอินฟราเรด<br>(color infrared)  | 4, 3, 2                  | 5,4,3      |
|    | สีผสมแบบธรรมชาติ<br>(natural color) | 3, 2, 1                  | 4,3,2      |
|  | สีผสมเท็จ<br>(false color)          | 5,4,3                    | 6,5,4      |
|  | สีผสมเท็จ<br>(false color)          | 7,5,3                    | 7,6,4      |
|  | สีผสมเท็จ<br>(false color)          | 7,4,2                    | 7,5,3      |

ที่มา: <http://earthexplorer.usgs.gov>

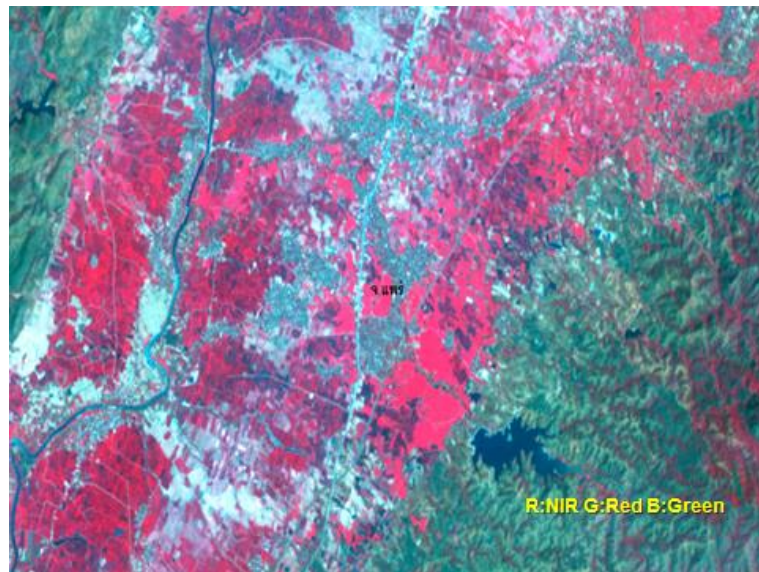
ตัวอย่างภาพผสมสีแลนด์แซท 8 ดังภาพที่ 3-13 ภาพที่ 3-14 ภาพที่ 3-15 และภาพ 3-16



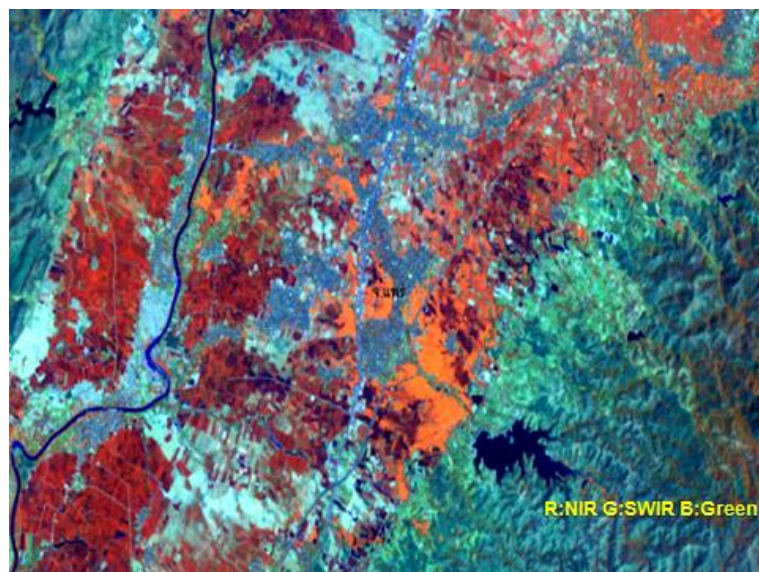
ภาพที่ 3-13 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: Red, B: Green)



ภาพที่ 3-14 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: SWIR, B: Green)



ภาพที่ 3-15 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: Red, B: Green)



ภาพที่ 3-16 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 (R: NIR, G: SWIR, B: Red)

การสร้างภาพสีผสมดาวเทียม SPOT-5



ภาพที่ 3-17 ภาพผสมสีธรรมชาติจากดาวเทียม SPOT-5



ภาพที่ 3-18 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียม SPOT-5

### การสร้างภาพสีผสมดาวเทียมไทยโชต



ภาพที่ 3-19 ภาพผสมสีจริงจากดาวเทียมไทยโชต (R: Red, G: Green, B: Blue)



ภาพที่ 3-20 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียมไทยโชต (R: NIR, G: Green, B: Blue)

### 3.5 การประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

โดยทั่วไปแล้วได้มีการนำข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ในสาขาต่าง ๆ ได้แก่

**3.5.1 ด้านป่าไม้** กรมป่าไม้ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการศึกษาหาพื้นที่ป่าไม้ และติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ทุก ๆ 3 ปี นอกจากนี้ยังนำไปใช้ประโยชน์ในการสำรวจพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม สำรวจพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่า พื้นที่ป่าชายเลน จำแนกชนิดป่าไม้ และการประเมินหาพื้นที่ไฟป่า เป็นต้น

**3.5.2 ด้านการเกษตร** ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมได้ถูกนำไปใช้ในการศึกษาหาพื้นที่เพาะปลูก การคาดการณ์ผลผลิต ประเมินความเสียหายจากภัยธรรมชาติและจากศัตรูพืช ตลอดจนการวางแผนกำหนดเขตเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง สับปะรด และยางพารา เป็นต้น

**3.5.3 ด้านการใช้ที่ดิน** แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการจัดทำแผนที่ดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังใช้ในการศึกษาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ดินป่าพรุในภาคใต้ รวมถึงมีการใช้ติดตามสถานการณ์การใช้ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เป็นต้น

**3.5.4 ด้านธรณีวิทยาและธรณีสัณฐาน** ข้อมูลทางด้านโครงสร้างทางธรณี โดยเฉพาะลักษณะภูมิประเทศ และธรณีสัณฐาน สามารถศึกษาได้อย่างชัดเจนจากข้อมูลจากดาวเทียม ดังนั้นจึงมีการนำข้อมูลไปใช้ศึกษาทางธรณีวิทยา เช่น การทำแผนที่ธรณีโครงสร้างของประเทศ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะบอกถึงแหล่งแร่ แหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติ ตลอดจนแหล่งน้ำบาดาล และการวางแผนการสร้างเขื่อน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำเอาข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ศึกษาทางด้านโบราณคดี เช่น การหาพื้นที่เมืองโบราณ เป็นต้น

## บทที่ 4

### การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม

จากที่ได้เรียนรู้เกี่ยวกับดาวเทียม วงโคจรของดาวเทียม อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม ชนิดของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ก่อนที่จะนำภาพถ่ายดาวเทียมไปใช้งาน ผู้ใช้งานควรมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ หรือขั้นตอนในการผลิตภาพถ่ายดาวเทียม โดยเริ่มต้นจากการรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมให้ผู้ขอรับบริการ ผลิตภัณฑ์ที่ให้บริการ การขอรับบริการและสั่งซื้อข้อมูลในคลังข้อมูล การเลือกภาพถ่ายดาวเทียมตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ตลอดจนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานก่อนที่จะนำไปประมวลผลด้วยสายตา (visual interpretation) การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (image processing) หรือใช้ในการสำรวจภาคสนาม เพื่อให้การนำภาพถ่ายดาวเทียมไปใช้แปลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

#### 4.1 สถานีรับสัญญาณดาวเทียม

สถานีรับสัญญาณดาวเทียมเป็นส่วนรับสัญญาณภาคพื้นดิน ประกอบด้วย ส่วนควบคุมภาคพื้นดิน (control ground segment) และส่วนรับและประมวลผลภาพภาคพื้นดิน (Image ground segment) (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2557) มีหน้าที่ ดังนี้

##### 4.1.1 ส่วนควบคุมภาคพื้นดิน ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1) ศูนย์วางแผนการถ่ายภาพ (Mission planning center) เป็นศูนย์จัดการเรื่องการร้องขอใช้บริการข้อมูล เพื่อจัดทำแผนการถ่ายภาพประจำวัน ส่งสัญญาณผ่านสถานีส่ง (S-band) ไปยังดาวเทียม และส่งตารางเวลาการรับภาพและไฟล์ข้อมูลเส้นทางโคจรของดาวเทียมจะถูกส่งให้กับสถานีรับ (X-band station) เพื่อเตรียมปรับจานรับสัญญาณดาวเทียม ในการรับสัญญาณข้อมูลประจำวัน

2) ศูนย์ควบคุมดาวเทียม (Satellite control center) ทำหน้าที่ในการเฝ้าระวังและควบคุมดาวเทียมตั้งแต่เริ่มปล่อยจากพื้นโลกจนถึงช่วงเข้าสู่วงโคจรทั้งในสภาวะปกติ และในช่วงที่มีเหตุฉุกเฉิน โดยการจัดการประมวลผลข้อมูลสถานะ และการทำงานของตัวดาวเทียมรวมทั้งจัดเตรียมตรวจสอบ ส่งสัญญาณคำสั่ง (telecommand) แผนการทำงานของทั้งตัวดาวเทียม และอุปกรณ์ถ่ายภาพซึ่งได้รับมาจาก MPC (ศูนย์วางแผนการถ่ายภาพ)

3) ระบบควบคุมวงโคจร (Flight dynamics system) ทำหน้าที่ควบคุมวงโคจร ดาวเทียมแล้วนำค่ามุมภาค (azimuth) และมุมเงย (elevation) ที่ได้จากการคำนวณแนวการโคจรของดาวเทียมจากระบบส่งให้กับสถานีรับสัญญาณข้อมูล เพื่อใช้ในการปรับจานรับสัญญาณดาวเทียม รวมถึงคำนวณค่าความเร็ว และตำแหน่งที่จะต้องปรับดาวเทียมเพื่อให้ได้วงโคจรตามที่ต้องการ หรือที่ควรจะเป็น

**4.1.2 ส่วนรับและประมวลผลภาพภาคพื้นดิน** แบ่งเป็นขั้นตอนได้ 4 ขั้นตอนย่อยตามลำดับหน้าที่ ดังนี้

1) **สถานีรับภาพ (Image receiving station)** ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลภาพโดยสถานีรับสัญญาณ (X-band station) ซึ่งมีการควบคุมทิศทางของจานรับสัญญาณดาวเทียม ให้เคลื่อนที่หันตามดาวเทียมในระหว่างที่รับสัญญาณข้อมูล และสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายให้มีกำลังแรงขึ้น และทำการแปลงสัญญาณที่อยู่ในรูปของคลื่นวิทยุให้เป็นสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอล (ECL bit stream) เพื่อส่งให้กับหน่วยประมวลผลข้อมูล

2) **การประมวลผลภาพ (Image processing)** หลังจากได้รับสัญญาณข้อมูลดิจิตอลจากสถานีรับแล้วระบบจะทำการประมวลผลข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพตามความต้องการของผู้ใช้บริการ เพื่อให้มีคุณภาพข้อมูลตามระดับความต้องการของผู้ใช้บริการ โดยต้องมีการปรับแก้ความเพี้ยนของสัญญาณ (radiometric correction) และความเพี้ยนของภาพ (geometric correction)

3) **การตรวจสอบคุณภาพ (Quality check)** คือ การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลภาพก่อนส่งให้กับลูกค้า

4) **การพิมพ์และจัดส่งภาพ (Product edition and delivery)** คือการจัดพิมพ์ข้อมูลภาพ และการจัดส่งให้กับผู้ใช้บริการข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสม เช่น CD-ROM ภาพพิมพ์สี

## 4.2 การให้บริการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นหน่วยงานเดียวในประเทศไทยที่ให้บริการข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงต่าง ๆ ที่มีคุณลักษณะของข้อมูลหลายประเภท เช่น ข้อมูลดาวเทียมไทยโชต LANDSAT-5-8 RADARSAT-1 SPOT-2-5 NOAA-16-17 IKONOS QuickBird และ TERRA/AQUA (MODIS) เป็นต้น โดยให้บริการใน 2 ลักษณะ คือ

### 4.2.1 ผลิตภัณฑ์พื้นฐาน ได้แก่

1) **ข้อมูลเชิงเลข (digital)** ให้บริการในรูปแบบ CD-ROM และ DVD โดยใช้กับโปรแกรมทางรีโมตเซนซิง ผู้ใช้สามารถปรับแต่ง เน้นข้อมูล ผสมสี และซ้อนทับกับข้อมูล GIS ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

2) **ข้อมูลภาพในรูปแบบภาพพิมพ์ (paper print)** มีมาตราส่วน 1:250,000 1:50,000 จนถึง 1:4,000

**4.2.2 ผลิตภัณฑ์เพิ่มค่า** มีทั้งในรูปแบบข้อมูลเชิงเลขและภาพพิมพ์ เช่น ภาพโมเสกประเทศไทย แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม (image Map) ซึ่งนำข้อมูลจากดาวเทียมมาปรับแก้ไขให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และซ้อนทับกับแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารภายใต้ความร่วมมือกับกรมแผนที่ทหาร

### 4.3 การขอรับบริการและสั่งซื้อข้อมูลในคลังข้อมูล

การขอรับบริการและสั่งซื้อข้อมูลในคลังข้อมูลมีขั้นตอน ดังนี้

**4.3.1 ตรวจสอบพื้นที่ศึกษาจากดัชนีภาพถ่ายดาวเทียม** เพื่อหาระวางภาพกำหนดเป็น พิกัดทางภูมิศาสตร์ในแนวตั้งและแนวตัดขวาง (path-row)

**4.3.2 ตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล** โดยตรวจสอบวันที่บันทึกข้อมูลปริมาณเมฆปกคลุม ทางระบบอินเทอร์เน็ตที่เว็บไซต์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

**4.3.3 สั่งซื้อข้อมูล** โดยกรอกใบสั่งระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ในแนวตั้ง และแนวตัดขวาง (path-row) วันที่บันทึกภาพ แบนด์ รหัสภาพ

นอกจากนี้สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ได้พัฒนาระบบ สำหรับการค้นหาข้อมูลดาวเทียมเพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วให้แก่ผู้ใช้ ได้แก่

- 1) ระบบสืบค้นข้อมูลดาวเทียมไทยโชต
- 2) ระบบแคตตาล็อก CUDOS สำหรับการค้นหาข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-5 LANDSAT-7 RADARSAT-1 SPOT-2 SPOT-4 SPOT 5 IRS โดยมีข้อมูลตั้งแต่ปี 2530 จนถึงปัจจุบัน เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วแก่ผู้ใช้
- 3) ระบบให้บริการค้นหาและสั่งซื้อข้อมูลดาวเทียมผ่านอินเทอร์เน็ต (Map Viewer and Ordering System หรือ MVOS) ผู้ใช้สามารถสืบค้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้ตาม คุณสมบัติของดาวเทียม และสามารถเลือกพื้นที่ที่ต้องการ สามารถแสดงภาพ Quick look ได้ และยังมีโปรแกรมคำนวณพื้นที่และราคาของพื้นที่ที่สั่ง เพื่อให้ผู้ใช้ทราบมูลค่าในการสั่งซื้อข้อมูลในแต่ละครั้ง นอกจากนี้เจ้าหน้าที่สามารถออกใบเสนอราคาและส่งภาพ Quick look ผ่านทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) เพื่อเป็นการยืนยันการเสนอราคา และส่งใบแจ้งหนี้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

### 4.4 การขอรับบริการและสั่งซื้อข้อมูลที่ขอได้รับสัญญาณใหม่

สำหรับดาวเทียมไทยโชตสามารถเลือกสั่งซื้อข้อมูลใหม่ที่ไม่ได้อยู่ในคลังข้อมูล มีขั้นตอนการขอรับสัญญาณดังต่อไปนี้

**4.4.1 ผู้ใช้กรอกข้อมูลลงใน แบบฟอร์มการสั่งซื้อ** โดยระบุ ชนิดของการบันทึกภาพ พื้นที่เชิงภูมิศาสตร์ที่ต้องการ รูปแบบและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

**4.4.2 ศูนย์วางแผนการบันทึกภาพทำการวางแผนการรับสัญญาณ** โดยคำนึงถึงแผนการรับสัญญาณที่มีอยู่ และการใช้ประโยชน์สูงสุดของดาวเทียม

**4.4.3 สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน (IGS) ดำเนินการรับสัญญาณ และผลิตเป็น** ผลิตภัณฑ์ตามที่ใช้ระบุทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการบันทึกภาพ ข้อมูลที่จะนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะได้รับการรับประกันว่ามีปริมาณเมฆปกคลุมโดยรวมต่ำกว่า 25 %

## 4.5 การเลือกข้อมูลดาวเทียม

จากคู่มือการวิเคราะห์และการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยระบบการจำแนกสิ่งปกคลุมดินขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (สุเทพ, 2555) ให้คำแนะนำในการเลือกข้อมูลดาวเทียมเพื่อการใช้งานโดยให้ความสำคัญกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

**4.5.1 ประเภทของดาวเทียมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล** เนื่องจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรแต่ละดวงมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และเอื้อต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างกัน

**4.5.2 การกำหนดพื้นที่สำหรับดาวเทียมที่ถ่ายภาพในแนวตั้ง** เช่น ดาวเทียมแลนด์แซท มีการกำหนดพื้นที่บนผิวโลกเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันไว้ด้วยระบบอ้างอิงบนผิวโลก (World Reference System: WRS path-row) แนวตั้งเรียกว่า path แนวตัดขวางเรียกว่า row นอกจากนี้ผู้ใช้อย่างยังสามารถเลือกข้อมูลโดยกำหนดพื้นที่เป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้อีกด้วย

**4.5.3 ระยะเวลาที่ดาวเทียมบันทึกภาพ** ดาวเทียมที่มีวงรอบการโคจรซ้ำที่เดิมเป็นประจำ เช่น ดาวเทียมแลนด์แซท ผู้ใช้สามารถตรวจสอบวันที่บันทึกภาพได้จากปฏิทินการโคจรของดาวเทียม (orbital calendar) อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจมีอุปสรรคทำให้สถานีรับฯ ไม่สามารถรับสัญญาณได้ ดังนั้นควรตรวจสอบด้วยว่าในช่วงเวลาที่ต้องการข้อมูลนั้นมีข้อมูลอยู่หรือไม่

**4.5.4 ปริมาณเมฆปกคลุมภาพข้อมูลดาวเทียมในระบบเชิงแสง** เช่น ดาวเทียมแลนด์แซท ย่อมได้รับผลกระทบจากปริมาณเมฆปกคลุมภาพทำให้เป็นอุปสรรคสำคัญประการหนึ่งในการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพดี ผู้สนใจสามารถตรวจสอบข้อมูลและปริมาณเมฆปกคลุมภาพได้จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

สำหรับในการคัดเลือกภาพดาวเทียมนั้น ต้องตรงกับวัตถุประสงค์ที่จะใช้งานด้วย เช่น การศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของข้าว ก็ควรเลือกภาพดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์กับช่วงฤดูกาลในการปลูกข้าวด้วย เช่น นาปี ส่วนมากจะปลูกในฤดูฝนช่วงเดือนสิงหาคม–เดือนธันวาคม เนื่องจากดาวเทียมที่ใช้ส่วนมาก เช่น ดาวเทียมไทยโชต ดาวเทียม SPOT-5 และดาวเทียม Landsat 7 จะเป็นดาวเทียมระบบพาสซีฟ (passive system) มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ ระบบนี้จะรับและบันทึกข้อมูลได้ในเวลากลางวัน และมีข้อจำกัดด้านภาวะอากาศ ไม่สามารถรับข้อมูลได้ในฤดูฝนหรือเมื่อมีเมฆ หมอก ฝน ภาพดาวเทียมจะมีเมฆปกคลุมมาก ดังนั้นควรเลือกภาพในช่วงตุลาคม–ธันวาคม เนื่องจากมีเมฆปกคลุมน้อย ถ้าศึกษานาปรังก็ควรเลือกภาพช่วงเดือนมกราคม–มีนาคม เช่นเดียวกับยางพารา อ้อย และมันสำปะหลัง ควรเลือกภาพในช่วงพฤศจิกายน–ธันวาคม เนื่องจากมีเมฆปกคลุมน้อย

## 4.6 ขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม

ภาพถ่ายดาวเทียมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน ก่อนที่จะทำการประมวลผลด้วยสายตา (Visual interpretation) หรือการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Image processing) ตลอดจนการเตรียม

ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้ในการสำรวจภาคสนามนั้น จะต้องมีการปรับแก้ให้มีความถูกต้องเชิงคลื่นซึ่งเป็นการปรับแก้ให้สถานีรับสัญญาณดาวเทียม และปรับแก้ทางเรขาคณิตโดยผู้ใช้งานด้วยการเน้นข้อมูลภาพ การทำ Pansharpen เพื่อให้ข้อมูลมีความชัดเจนมากขึ้น สำหรับขั้นตอนต่าง ๆ ของการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม มีรายละเอียด ดังนี้

#### 4.6.1 การปรับแก้คลื่นรังสี (Radiometric correction)

เป็นกระบวนการปรุงแต่งข้อมูล หรือแก้ไขความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Data error) และสัญญาณคลื่นรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบันทึกข้อมูลของระบบบันทึกข้อมูลที่ตั้งบนดาวเทียม หรืออาจเกิดขึ้นจากการแพร่กระจาย หรือการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสภาพบรรยากาศที่ปกคลุมด้วยหมอก (haze) หรือควัน (smoke) หรือจากมุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบ (Sun's azimuth) และความยาวของระยะทางตามระดับความสูง (elevation) ของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (sensor) สำหรับกระบวนการในการปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric correction) เนื่องจากเครื่องตรวจวัดที่สำคัญแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (สุรสี, 2548) ดังนี้

##### 1) การปรับแก้เนื่องจากเครื่องตรวจวัด มีสาเหตุและการแก้ไข ดังนี้

(1) การปรับแก้ความไวของเครื่องตรวจรับ ในกรณีของเครื่องวัดระบบออฟติกที่ใช้เลนส์ บริเวณขอบตรงมุมของภาพจะมีต่ำกว่าบริเวณกลางภาพ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การลดความสว่างบริเวณขอบภาพ (Vignetting) เครื่องตรวจวัดชนิดอิเล็กทรอนิกส์ออฟติก (Electronic-optic sensor) มีการวัดข้อมูลปรับเทียบระหว่างค่าพลังงานรังสีตกกระทบ และสัญญาณข้อมูลของเครื่องวัด สามารถนำไปใช้สำหรับปรับแก้เชิงคลื่นได้

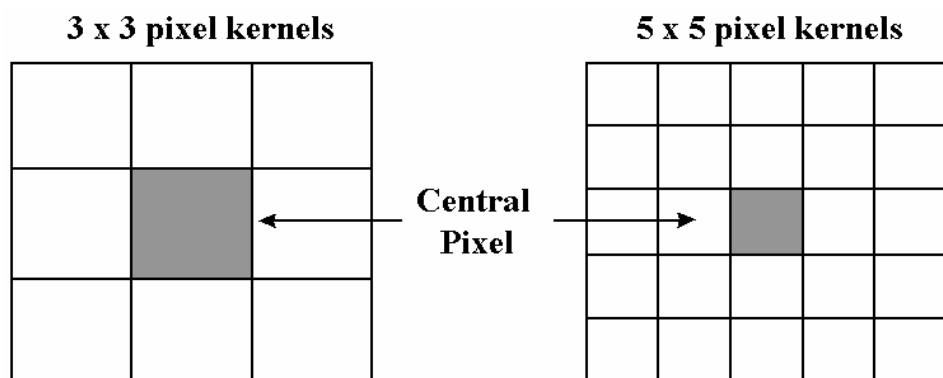
(2) การแก้ไขสัญญาณรบกวน (Noise removal) สัญญาณรบกวนเกิดจากเครื่องตรวจวัดทำงานผิดปกติ มีการรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ ความผิดปกติระหว่างการส่งผ่านข้อมูล การบันทึกข้อมูล จึงต้องมีการแก้ไขภาพกลับคืนให้เหมือนข้อมูลภาพจริงให้มากที่สุด สัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ดังนี้

- ข้อมูลบรรทัดภาพขาดหายไป (Line dropouts) บรรทัดภาพ (scan line) ที่ขาดหายไปเห็นเป็นเส้นสีดำ หมายถึง ไม่มีค่าสะท้อนพลังงาน การปรับแก้ทำได้โดยแทนค่าบรรทัดภาพที่มีค่าดีเอ็น (Digital Number) เป็นศูนย์ด้วยค่าสะท้อนพลังงานที่ได้จากค่าเฉลี่ยของค่าดีเอ็นในบรรทัดภาพบน และบรรทัดภาพล่างของบรรทัดที่ไม่มีข้อมูล

- ข้อมูลบรรทัดภาพเกิดเป็นแถบในภาพ (Banding) เกิดจากเครื่องตรวจวัดทำงานผิดปกติ มักพบบ่อยในเครื่องตรวจวัดที่เป็นเครื่องกวาดภาพ (scanner) เช่น แลนด์แซทเอ็มเอสเอสและทีเอ็ม ทำให้ข้อมูลภาพที่บันทึกด้วยตัวตรวจจับสัญญาณภาพ (detector) ตัวนั้นมีค่าข้อมูลที่สว่าง (brighter) กว่าบรรทัดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ทำให้เห็นลักษณะเป็นแถบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า periodic line strip เช่น ข้อมูลระบบเอ็มเอสเอสจะเกิดแถบสว่างในบรรทัดที่ 6 เนื่องจาก

ค่าข้อมูลภาพที่ถูกบันทึกด้วยตัวตรวจจับสัญญาณภาพตัวที่ 6 จะบันทึกค่าเป็นสองเท่าของค่าข้อมูลที่ควรจะเป็น สำหรับการแก้ไขจะนำค่าข้อมูลที่เกิด line strip มาคูณด้วย 0.5 ค่าที่ได้จะนำไปแทนลงในจุดภาพนั้น

- การเลื่อนตำแหน่งของแนวบรรทัดภาพ (Scan line offset) แต่ละบรรทัดเลื่อนตำแหน่งออกมา อาจเลื่อนไปทางซ้าย หรือขวาของตำแหน่งเดิมที่ถูกต้อง วิธีปรับแก้ คือ การจัดแถวใหม่ในจุดเริ่มต้นของบรรทัดภาพ
- การกระจายของข้อมูลจุดภาพผิดปกติ (Bit error) จุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงกันมีความแตกต่างของค่าสะท้อนพลังงานหรือดีเอ็นเออย่างเห็นได้ชัดเจน และแตกต่างจากข้อมูลที่แท้จริง การแก้ไขทำได้ด้วยการกรองข้อมูล (digital filters) โดยต้องทำการออกแบบ Filter kernel ที่เป็นกลุ่มลำดับของจุดภาพ (pixel) ในระนาบ 2 มิติ (แนว X และแนว Y) อาจจะเป็น  $3 \times 3$  หรือ  $5 \times 5$  (ภาพที่ 18) ก็ได้ แล้วให้ kernel ไปครอบคลุมข้อมูลภาพ โดยอาจจะเริ่มต้นจากขอบภาพด้านซ้าย และทำการคำนวณค่าเฉลี่ย (average) ของจุดภาพภายใน kernel ถ้าค่าข้อมูลของ pixel ตรงกลางใน kernel มีความแตกต่าง หรือเบี่ยงเบน (deviate) ไปจากค่าเฉลี่ยมาก ให้แทนค่าของ pixel นั้นด้วยค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ของข้อมูลชุดนั้น แต่ถ้าค่าข้อมูลใน pixel ตรงกลางแตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่มากนัก ค่าข้อมูลใน pixel ตรงกลางก็ยังคงเป็นค่าเดิม ขั้นตอนต่อมาจะทำการย้าย kernel ไปทางด้านขวาทีละ 1 pixel และทำการคำนวณเหมือนขั้นตอนแรกจนกระทั่งสุดขอบภาพด้านขวา แล้วจะกลับมาเริ่มใหม่ที่ขอบภาพด้านซ้ายโดยจะลดตำแหน่งของ kernel ลงมาทีละ 1 บรรทัด (line or row) (ภาพที่ 4-1)



ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างของ Filtering kernels ขนาด  $3 \times 3$  และ  $5 \times 5$  pixels

2) การปรับแก้เนื่องจากการรับแสง และมุมความสูงของดวงอาทิตย์ (Illumination and view angle effects) ปริมาณของสัญญาณ (signal) ที่เครื่องตรวจจับได้รับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การสะท้อนของวัตถุเป้าหมาย ผลของปฏิสัมพันธ์ของบรรยากาศ ความลาดเทของพื้นที่ และทิศทางของวัตถุที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar azimuth) มุมมองของเครื่องตรวจจับและมุมความสูงของดวงอาทิตย์ ในการพิจารณาเรื่องมุมความสูงของดวงอาทิตย์

และมุมมองของเครื่องตรวจจับ ถ้าตัดผลกระทบของบรรยากาศออก จะพบว่า ค่าสะท้อนพลังงาน (reflectance) ของวัตถุจะผันแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของมุมทั้งสอง ซึ่งปริมาณของพลังงานสะท้อนเขียนเป็นฟังก์ชันความสัมพันธ์ของมุมทั้งสองเรียกว่า BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของบรรยากาศร่วมด้วย ค่ารังสีตกกระทบ (irradiance) ที่วัตถุจะลดลง และการกระจายแสงในเส้นทางผ่าน (path radiance) จะเพิ่มขึ้น ความยาวของเส้นทางผ่าน (path length) จะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่มุมความสูงของดวงอาทิตย์จะลดลง และขณะเดียวกันผลกระทบของบรรยากาศจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

การปรับแก้มุมการรับแสงและความสูงของดวงอาทิตย์ทำได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$L = \frac{\cos(x)}{\cos(\theta)}$$

เมื่อ  $\theta$  = มุมดวงอาทิตย์จาก Zenith (Solar zenith angle)

$x$  = มุมความสูงที่ต้องการ

สูตรนี้สามารถใช้เป็นมาตรฐานสำหรับข้อมูลหลายวันที่ (Multitemporal image) เพื่อกำหนดมาตรฐานมุมความสูงของดวงอาทิตย์ได้ (Paul M.Matter, 1987อ้างโดยสุรภี, 2548)

### 3) การปรับแก้เนื่องจากผลกระทบจากบรรยากาศ (Atmospheric effect)

ลักษณะของข้อมูลที่คลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ มักจะพบในช่วงคลื่นสั้น ช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (visible wavelength) ทำให้เกิดการกระจัดกระจายเมื่อกระทบละอองน้ำในบรรยากาศมีผลคล้าย ๆ ปรากฏการณ์ของการถ่ายภาพทางอากาศที่มีหมอกปกคลุมอยู่เหนือภูมิประเทศทำให้ความคมชัดของภาพลดลง โดยเฉพาะค่าข้อมูลในบริเวณที่เป้น้ำและบริเวณที่เป้นเงา เนื่องจากสภาพภูมิประเทศจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะยึดถือข้อมูลภาพจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) เป้นหลัก เพราะช่วงคลื่นนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว

การปรับแก้คลื่นรังสีนั้นจะถูกปรับแก้มาจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดินระดับหนึ่ง บางครั้งหากยังมีข้อบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณดังที่กล่าวมาแล้ว ผู้ผลิตข้อมูลดาวเทียมจะมีโปรแกรมเฉพาะสำหรับการปรับแก้คลื่นรังสีก่อนส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้งาน

#### 4.6.2 การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction)

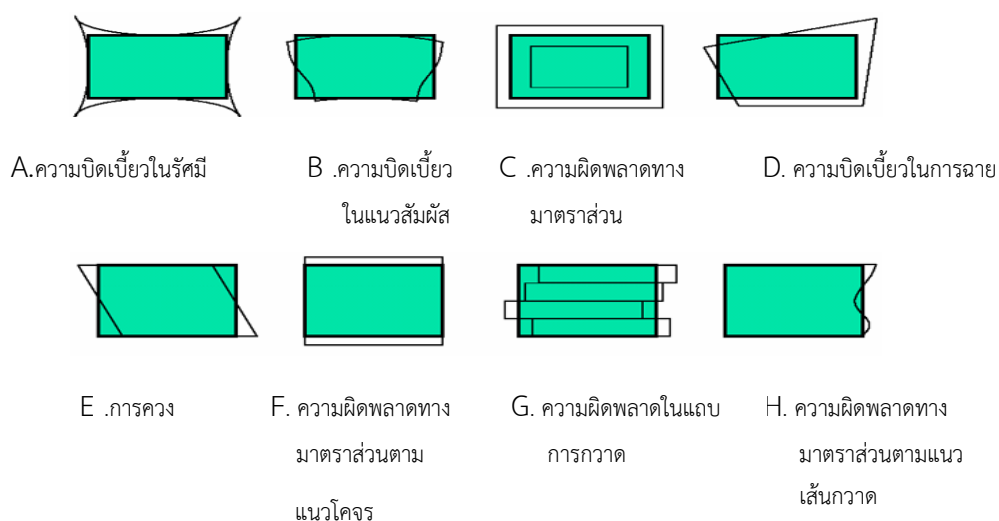
ก่อนการนำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์จะต้องมีการปรับแก้เชิงเรขาคณิต เนื่องจากพิกัดตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ข้อบกพร่องทางเครื่องรับสัญญาณ และรูปลักษณะของวัตถุ การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตมีความจำเป็นมากหากต้องการนำข้อมูลจากระยะไกลไปใช้ศึกษาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงแผนที่อื่น ๆ

การปรับแก้เชิงเรขาคณิตทำให้สามารถอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุบนภาพกับตำแหน่งบนแผนที่หรือบนผิวโลกได้อย่างถูกต้อง ช่วยในการอ้างอิงตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อออกไปตรวจสอบค่า

ความถูกต้องในภาคสนาม สามารถซ้อนทับข้อมูลต่าง ๆ เช่น ถนน ลำน้ำ ขอบเขตอำเภอ จังหวัด สร้างเส้นกริดแบบระบบพิกัดยูทีเอ็มให้กับภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำภาพดาวเทียมบริเวณเดียวกันหลาย ๆ ภาพต่างช่วงเวลาซ้อนทับกันได้

1) สาเหตุของความบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต (Geometric distortion) คือ ความผิดพลาดซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากพิกัดของภาพไม่เป็นไปตามระบบพิกัดแผนที่ ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิต มี 2 ลักษณะ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) คือ

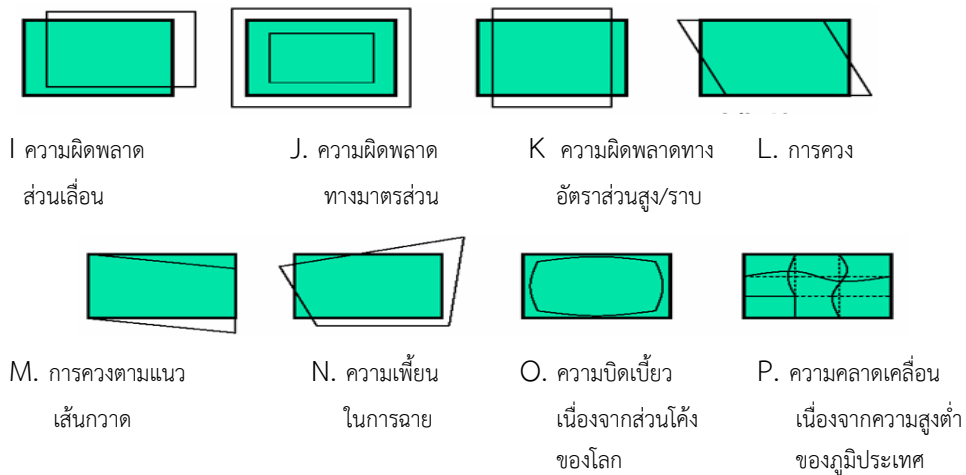
(1) ความบิดเบี้ยวภายใน (Internal distortion) เกิดจากความบกพร่องของอุปกรณ์ในเครื่องวัดสัญญาณ เช่น ความบิดเบี้ยวของรัศมีเลนส์ ทำให้บริเวณที่ห่างจากจุดศูนย์กลางภาพมีความบิดเบี้ยวมากขึ้น ความบิดเบี้ยวในแนวสัมผัสของเลนส์ ความผิดพลาดของความยาวโฟกัส การเอียงของระนาบภาพ ความไม่คงที่ของระนาบภาพ ความผิดพลาดในการจัดแนวของแผงรับสำหรับเครื่องวัดแบบแผงเชิงเส้น (linear array sensor) ความไม่คงที่ของอัตราสุ่มตัวอย่าง ความผิดพลาดของเวลาสุ่มตัวอย่าง ความไม่คงที่ของความเร็วกระจกกวาด เป็นต้น (ภาพที่ 4-2)



ภาพที่ 4-2 แสดงความบิดเบี้ยวภายในรูปแบบต่าง ๆ

ที่มา: Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991)

(2) ความบิดเบี้ยวภายนอก (External distortion) มีสาเหตุหลายประการ เช่น จากการทรงตัวของเครื่องวัด ความไม่คงที่ของการทรงตัว ความโค้งและการเคลื่อนที่ของโลก การหมุนของโลก บรรยากาศและการหักเหของชั้นบรรยากาศ ความผิดพลาดเชิงระนาบของยาน การเคลื่อนที่เชิงตำแหน่งวงโคจร ความโค้งของผิวโลก ความสูงของพื้นผิว และรูปร่างวัตถุ เป็นต้น (ภาพที่ 4-3)



ภาพที่ 4-3 ความบิดเบี้ยวภายนอกรูปแบบต่าง ๆ

ที่มา: Mikio, T. and Haruhisa, S. (1991)

**4.6.3 วิธีตรวจแก้เชิงเรขาคณิต** มีหลักการตรวจแก้โดยการสร้างความสัมพันธ์ของระบบพิกัดระหว่างข้อมูลที่ปรับแก้ (rectified image) กับระบบภูมิศาสตร์ของข้อมูลอ้างอิง (reference image) เพื่อที่พิกัดของข้อมูลที่ต้องการตรวจแก้ถูกเปลี่ยนให้เป็นระบบพิกัดใหม่ตามระบบของพิกัดข้อมูลอ้างอิง ในกรณีนี้เรียกว่าเป็นการตรวจแก้ระหว่างภาพกับภาพ (image to image correction) หรือหากข้อมูลอ้างอิงเป็นแผนที่ภูมิประเทศหรือแผนที่เฉพาะที่มีระบบพิกัด เรียกว่า การตรวจแก้ระหว่างภาพกับแผนที่ (image to map correction) การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตมีวิธีการ 3 วิธี (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ดังต่อไปนี้

1) **การตรวจแก้แบบมีระบบ (Systematic correction)** เป็นความคลาดเคลื่อนของข้อมูลดาวเทียมที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอ และสามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า เช่น ความเร็วไม่คงที่ของกระจกกวาดรับข้อมูล (Mirror velocity variation) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความเอียงของอุปกรณ์กวาดภาพ (Scan skew) การตรวจแก้เชิงสัมผัสผิว (Tangent correction) ของเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง โดยทั่วไปการตรวจแก้จะสามารถแก้ไขความผิดพลาดได้ทั้งหมด การคำนวณตรวจแก้เชิงเรขาคณิตสำหรับข้อมูลจากระยะไกลส่วนมากจะทำมาแล้วระดับหนึ่งจากสถานีรับ และแปลงสัญญาณ เรียกว่าเป็นระดับ Bulk คือ แก้ไขความบิดเบี้ยวจากสาเหตุทั้งแบบภายใน และภายนอก แต่พิกัดข้อมูลยังเป็นระบบพิกัดของแถวและสดมภ์ของข้อมูลภาพตามโครงสร้างข้อมูลแบบแรสเตอร์

2) **การตรวจแก้แบบไม่มีระบบ (Non systematic correction)** เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นไม่แน่นอน ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใด ทำให้เกิดความบิดเบี้ยวของข้อมูล เช่น ความผิดพลาดของตัวดาวเทียม การทรงตัวและความสูงของดาวเทียม (altitude and attitude) จะทำให้เกิดความบิดเบี้ยวของข้อมูลหลายลักษณะ เช่น Pitch หรือ Yaw เป็นต้น โดยจะทำให้ตำแหน่งของจุดภาพบนข้อมูลดาวเทียมคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งบนพื้นผิวโลก อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของดาวเทียม (spacecraft velocity) ที่ไม่คงที่จะทำให้ข้อมูล

บิดเบือนไปในทิศทางเดียวกับแนวโคจรของดาวเทียม รวมทั้งความผิดพลาดที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก (earth rotation)

การตรวจแก้วิธีนี้เป็น การตรวจแก้จากพิกัดของระบบภาพไปสู่ระบบที่มีพิกัด โดยอาศัยสมการพหุนาม (polynomial equation) วิธีนี้ต้องมีการหาค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ที่รู้ค่าพิกัดจากแผนที่ภูมิประเทศ หรือแผนที่ที่มีค่าพิกัด หรือจากพิกัดจริง ซึ่งวัดจากดาวเทียมระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก จุดควบคุมพิกัดภาคพื้นดินจะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณสมการคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบพิกัดภาพและระบบพิกัดภูมิศาสตร์ การคำนวณใช้หลักการวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) และสามารถกำหนดระดับความแม่นยำได้จากลำดับการยกกำลัง (order) ของสมการพหุนาม จำนวน และการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

**3) การตรวจแก้แบบวิธีผสม (Combined method)** เป็นการปรับแก้โดยนำวิธีการปรับแก้ทั้งสองวิธีมาใช้ร่วมกัน เป็นวิธีที่นิยมทำกันทั่วไปกับข้อมูลจากระยะไกล โดยการตรวจแก้แบบมีระบบจะถูกคำนวณที่สถานีรับข้อมูลก่อนจะมีการแจกจ่ายข้อมูลไปยังผู้ใช้งาน การตรวจแก้แบบไม่มีระบบเป็นส่วนที่ตามมาโดยผู้ใช้งาน โดยมากยอมรับให้มีความผิดพลาดของการปรับแก้ไม่เกินหนึ่งจุดภาพของตำแหน่งจริงของจุดนั้น ๆ ในกรณีของการถ่ายภาพตั้ง

#### 4.6 4 ขั้นตอนการปรับแก้ทางเรขาคณิต

การปรับแก้ทางเรขาคณิตในกรณีที่มีความผิดพลาดไม่เป็นระบบแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

##### 1) การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCPs)

การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตจะมีความถูกต้องมากแค่ไหนขึ้นอยู่กับ การเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน จุดควบคุมภาคพื้นดินเป็นจุดที่ตำแหน่งใดก็ได้บนข้อมูลดาวเทียมและปรากฏได้ชัดเจนเป็นจุดเดียวกันบนข้อมูลอ้างอิง หลักการในการเลือกตำแหน่งจะต้องเลือกให้ครอบคลุมทั่วทั้งภาพ เหมือนเป็นหมุดยึดให้ภาพตรึงอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ จุดที่เลือกต้องเป็นจุดที่สังเกตง่าย เช่น จุดตัดของวัตถุต่าง ๆ (สี่แยกถนนตัดกัน สะพานข้ามแม่น้ำ หรือ สะพานข้ามทางรถไฟ) มุมของวัตถุ หรือ วัตถุที่มีมุมแหลม (แปลงที่ดิน มุมอาคาร) เป็นต้น (จริณธร, 2546)

จำนวนจุดควบคุม ควรมีมากพอและกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งพื้นที่ของภาพ เพื่อควบคุมการแปลงพิกัด (Transformation) ให้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ นอกจากนี้ ตำแหน่งของจุด GCP ควรครอบคลุมทั่วทั้งภาพรวมถึงบริเวณมุมภาพด้วย สำหรับจำนวนจุด GCP ในการแก้ไขความคลาดเคลื่อนนี้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบการแปลงพิกัดจากสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการแปลงข้อมูลภาพ โดยรูปแบบในการแปลงค่าพิกัด (Transformation models) ที่ใช้ทั่วไปมีดังนี้

(1) Affine หรือ 1<sup>st</sup>- order polynomial เป็นรูปแบบสมการเส้นตรง (Linear model) จะใช้ปรับแก้ภาพดาวเทียมที่มีความผิดพลาดในลักษณะเกิดการหมุน หรือส่าย หรือมีมาตราส่วนคลาดเคลื่อน

(2) Helmert เป็นรูปแบบของสมการเส้นตรงเช่นกัน ที่ใช้ปรับแก้ภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนทางแกน x และ Y หรือภาพที่มีการหมุน

(3) Polynomial equation เป็นรูปแบบของสมการ Non linear model แบบโพลิโนเมียล ซึ่งมีค่าอนุพันธ์ (Orders) หลายระดับให้เลือกใช้ โดยปกติใช้อนุพันธ์ตั้งแต่อนุพันธ์ที่ 2 จนถึงอนุพันธ์ที่ 5 (ตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 ค่า Degree of freedom หรือ ค่า k (จำนวนจุด GCP ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบสมการแปลงพิกัด)

| รูปแบบสมการ (model)                          | ค่า k (จำนวนจุดGCP) |
|----------------------------------------------|---------------------|
| Helmert                                      | 2                   |
| Affine or 1 <sup>st</sup> - order polynomial | 3                   |
| 2 <sup>nd</sup> order                        | 6                   |
| 3 <sup>rd</sup> order                        | 10                  |
| 4 <sup>th</sup> order                        | 15                  |
| 5 <sup>th</sup> order                        | 21                  |

ที่มา: (จรัณธร, 2546)

เทคนิคในการกำหนดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้กับข้อมูลภาพ แบ่งเป็น 2 วิธีการ (จรัณธร, 2546) ได้แก่

1) การกำหนดระบบพิกัดระหว่างภาพกับภาพ (Image to image) เป็นการสร้างความสัมพันธ์ของระบบพิกัดของข้อมูลภาพ 2 ภาพ หรือมากกว่า ระหว่างข้อมูลภาพที่ไม่มีระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Ungeocoded image) กับข้อมูลภาพในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geocoded image) หรือข้อมูลอ้างอิง เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่ไม่มีพิกัดให้เป็นระบบพิกัดใหม่จากระบบพิกัดของข้อมูลอ้างอิง โดยกำหนดจุด GCP จากตำแหน่งของวัตถุที่สามารถเห็นได้ชัดเจนในข้อมูลภาพทั้งสองหรือหลายภาพ เรียกวิธีการนี้ว่า การตรึงตำแหน่งพิกัด (registration)

2) การกำหนดระบบพิกัดระหว่างภาพกับแผนที่ (Image to map) เป็นการกำหนดจุด GCPs ให้กับข้อมูลภาพที่ต้องการให้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยอ้างอิงจากข้อมูลเชิงเส้นที่มีอยู่แล้ว ใช้ข้อมูลจากระบบกำหนดพิกัดพื้นโลกด้วยสัญญาณดาวเทียม (Global Positioning System: GPS) ใช้แผนที่ภูมิประเทศ หรือแผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic map) ที่มีระบบพิกัดภูมิศาสตร์เป็นระบบ UTM เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง

3) การแปลงค่าพิกัด (Co-ordinate transformation) เป็นกระบวนการดึงภาพที่บิดเบือนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยมีจุด GCP เป็นจุดตรึงตำแหน่งต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้จะคำนวณค่าจากจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่กำหนดลงไปบนภาพ ผลการคำนวณจะระบุค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square: RMS) ของแต่ละจุด ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีหน่วยเป็นจุดภาพ (pixel) หรือ เป็นเมตรค่า RMS สามารถบอกได้ว่า จุดควบคุมภาคพื้นดินมีพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงเพียงใด (มีหน่วยเป็นจุดภาพ) โดยทั่วไปค่า RMS ที่ยอมรับได้จะมีค่าบวก หรือ ลบไม่เกิน 1 จุดภาพ ถ้า RMS มีค่าสูงแสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมาก

4) การสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling) เป็นการปรับค่าระดับสีเทา (digital number-DN value) ของข้อมูลใหม่ โดยการ Resampling interpolation เพื่อให้ค่าระดับสีเทาที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง วิธี Resampling หรือ การสร้างจุดภาพใหม่ มี 3 วิธี ดังนี้

(1) การประมาณค่าจากตำแหน่งใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor interpolation: NN) เป็นการแทนค่าระดับสีเทาของจุดภาพในภาพก่อนตรวจแก้ไข โดยเลือกเอาตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงที่สุด วิธีการนี้ง่าย และใช้เวลาในการคำนวณน้อย แต่ให้ความถูกต้องไม่สูงนัก

(2) การประมาณค่าแบบเส้นคู่ (Bi-Linear interpolation: BL) เป็นการประมาณค่าระดับสีเทาของจุดภาพ โดยคำนวณระยะทางระหว่าง 4 ที่อยู่รอบจุดนั้น ซึ่งจุดภาพที่ใกล้เคียงจะให้น้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ไกล

(3) การประมาณค่าแบบการประสานเชิงลูกบาศก์ (Cubic convolution interpolation: CC) ค่อนข้างซับซ้อน และใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าสองวิธีแรก จะใช้ค่าระดับสีเทาของภาพที่อยู่ใกล้ชิดกับจุดภาพที่จะทำการสุ่มตัวอย่างซ้ำจำนวน 16 จุดภาพในการคำนวณค่าใหม่

#### 4.7 การใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1 ปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิต

การปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิตนั้นสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกล เช่น โปรแกรม ERDAS โปรแกรม Geomatica (PCI) ในการเตรียมข้อมูลดาวเทียมก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งขั้นตอนการใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1 ปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิตโดยวิธี Image to Image มีดังนี้

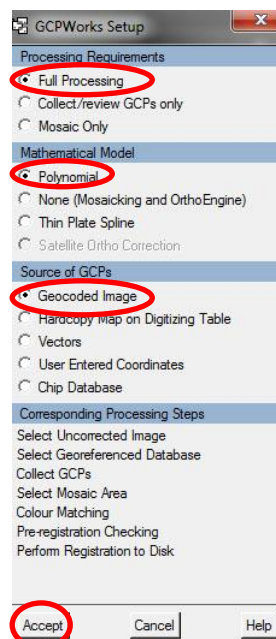
4.7.1 ขั้นตอนที่1 เปิดโปรแกรม PCI เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาแล้วจะมีแถบเมนู Geomatica toolbar เวอร์ชัน 9.1 (ภาพที่ 4-4)



ภาพที่ 4-4 เมนูเครื่องมือของโปรแกรม PCI 9.1

4.7.2 เลือกคำสั่ง GCP works บนหน้าต่าง Toolbar จะปรากฏหน้าต่าง GCP works setup

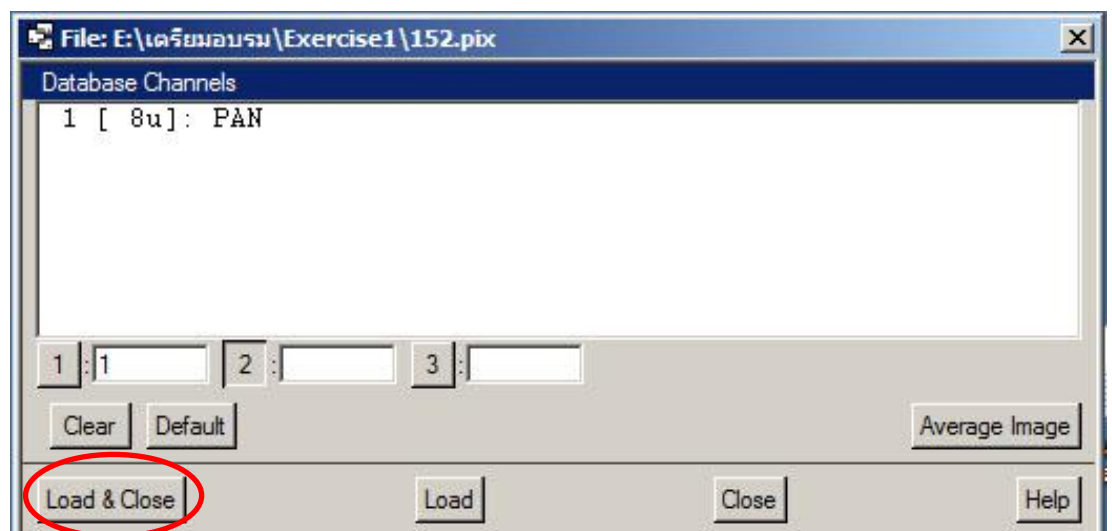
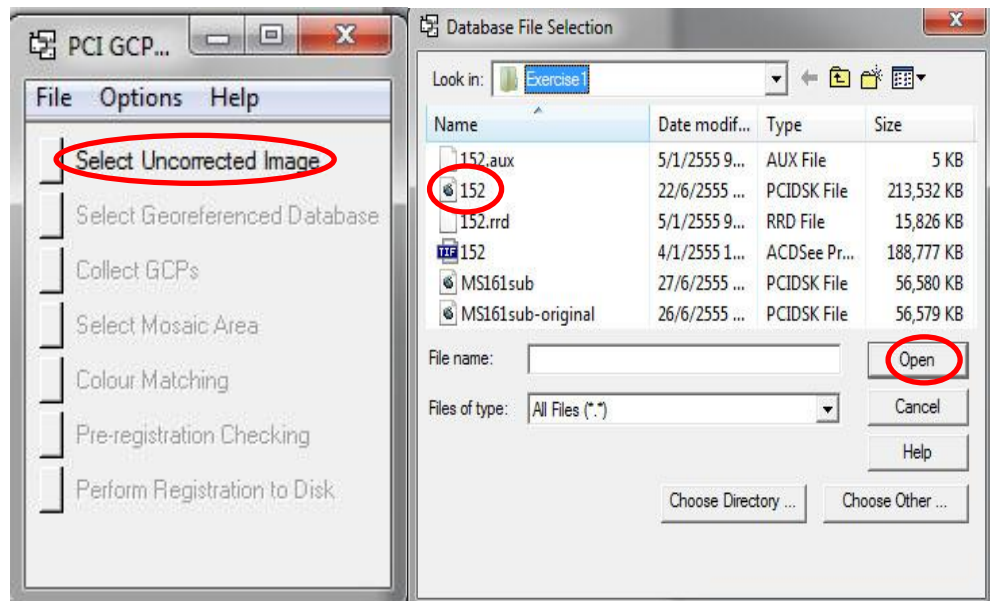
- กระบวนการที่ต้องการ (Processing Requirements) เลือก Full Processing
- เลือกสมการ Mathematical Model ที่จะใช้ เลือก Polynomial
- ชนิดของจุดควบคุมที่จะนำมาใช้ (Source of GCPs) เลือกภาพที่มีข้อมูล GCP (Geocoded Image)
- คลิกตกลง (Accept) จะปรากฏหน้าต่าง PCI GCPWorks (ภาพที่ 4-5)



ภาพที่ 4-5 เมนูเครื่องมือและหน้าต่างสำหรับการใส่ค่า GCP

4.7.3 เลือกภาพที่จะนำมาปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต โดยคลิกที่ Select Uncorrected Image จากนั้นให้เข้าไประบุที่อยู่ของข้อมูลที่จะทำการแก้ไขว่าอยู่ที่ไดฟ์ไหน โพลเดอร์ใด ชื่อไฟล์อะไร ทำการเปิดภาพ

- คลิก Select Uncorrected Image เลือก File ภาพที่จะทำการปรับแก้ (ภาพที่4-6)



ภาพที่ 4-6 การเลือกภาพที่จะนำมาทำการปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต

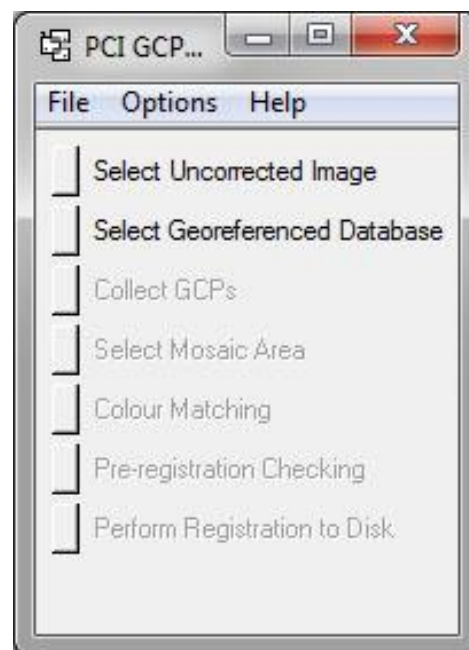
- คลิก Load & Close จะปรากฏหน้าต่าง 3 หน้าต่าง คือ
  - (1) ภาพที่ต้องการปรับแก้
  - (2) ภาพ Zoom ส่วนต่าง ๆ ของภาพแรก
  - (3) หน้าต่าง PCI Works (ภาพที่ 4-7)



(1)



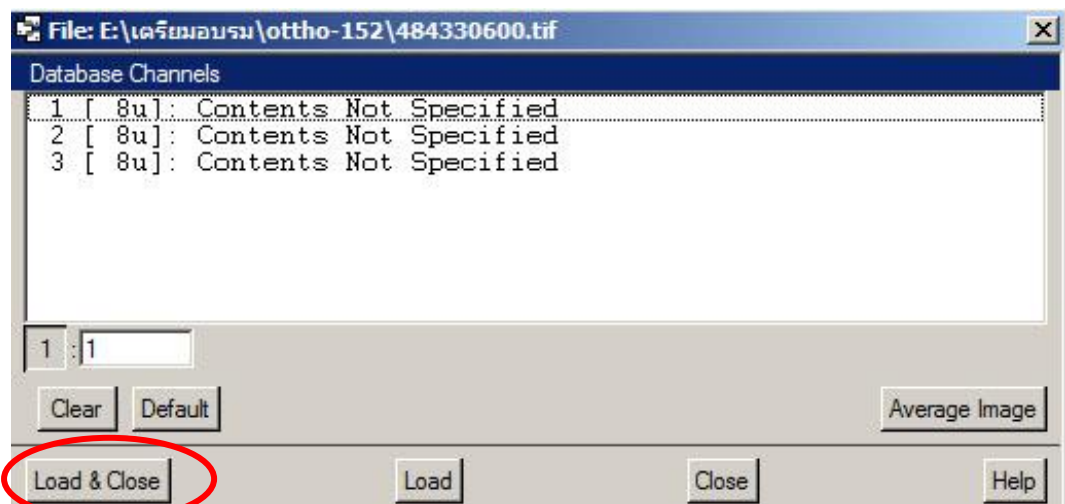
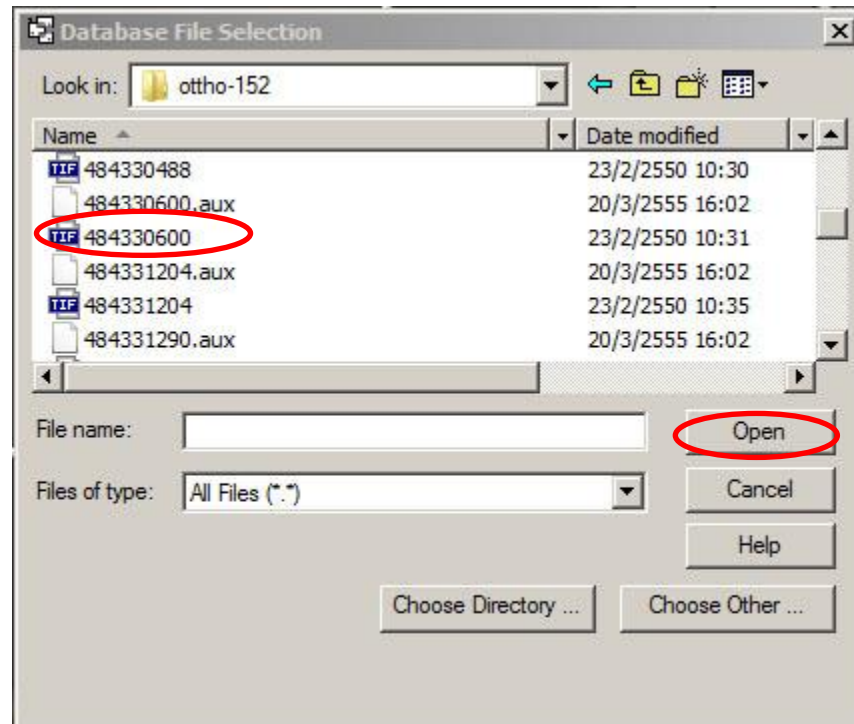
(2)



(3)

ภาพที่ 4-7 ภาพที่จะนำมาปรับแก้เชิงเรขาคณิต

4.7.4 เลือกภาพที่มีพิกัดที่จะนำมาใช้ในการอ้างอิง คลิก Select Georeferenced Database บนหน้าต่าง PCI GCPWorks เลือก Drive ของ File เพื่อเลือกภาพที่จะนำมาใช้อ้างอิง พิกัดในการปรับแก้ให้เกิดความถูกต้อง เลือกชื่อไฟล์ภาพคลิก Open แล้วจึงคลิก load & close (ภาพที่ 4-8)



ภาพที่ 4-8 หน้าต่างการเลือกภาพที่มีพิกัดที่จะนำมาใช้อ้างอิง

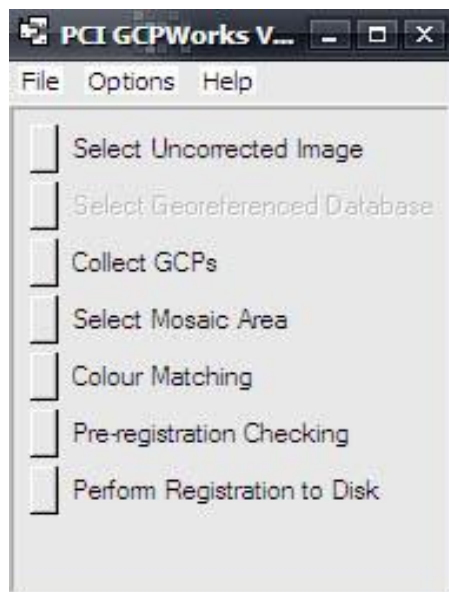
- คลิก Load & Close จะปรากฏหน้าต่าง 3 หน้าต่าง คือ (1) เป็นภาพที่ใช้อ้างอิง (2) เป็นการขยาย (Zoom) ส่วนต่าง ๆ ของภาพแรก (3) เป็นหน้าต่าง PCI GCP Works (ภาพที่ 4-9)



(1)



(2)



(3)

ภาพที่ 4-9 ภาพที่จะใช้อ้างอิงสำหรับนำมาปรับแก้เชิงเรขาคณิต

4.7.5 คลิก Collect GCPs บนหน้าต่าง PCI GCPWorks จะปรากฏหน้าต่าง GCP Selection and Editing วางตำแหน่งบังคับจุดในตำแหน่งเดียวกันโดยวางที่ภาพที่ยังไม่มีพิกัดก่อน แล้วจึงวางในภาพที่มีค่าพิกัดแล้วที่หลัง จากนั้นกด Accept of GCPs ทำเหมือนเดิมอย่างน้อย 4 จุด และให้กระจายทั่วทั้งภาพ โดยทั่วไปค่า RMS Error ต้องไม่เกิน 1.00 (ภาพที่ 4-10)

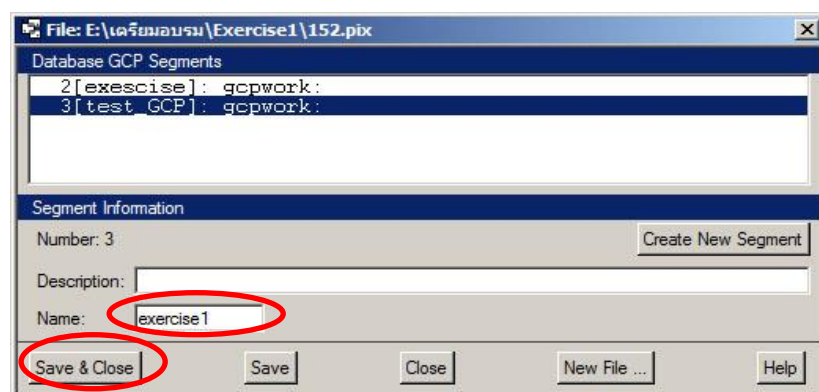


ภาพที่ 4-10 ภาพที่จะนำมาปรับแก้พิกัดและภาพที่ใช้อ้างอิงในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

4.7.6 คลิกที่เมนู File จากนั้น Save GCPs

4.7.7 ตั้งชื่อ File ในช่อง Name:

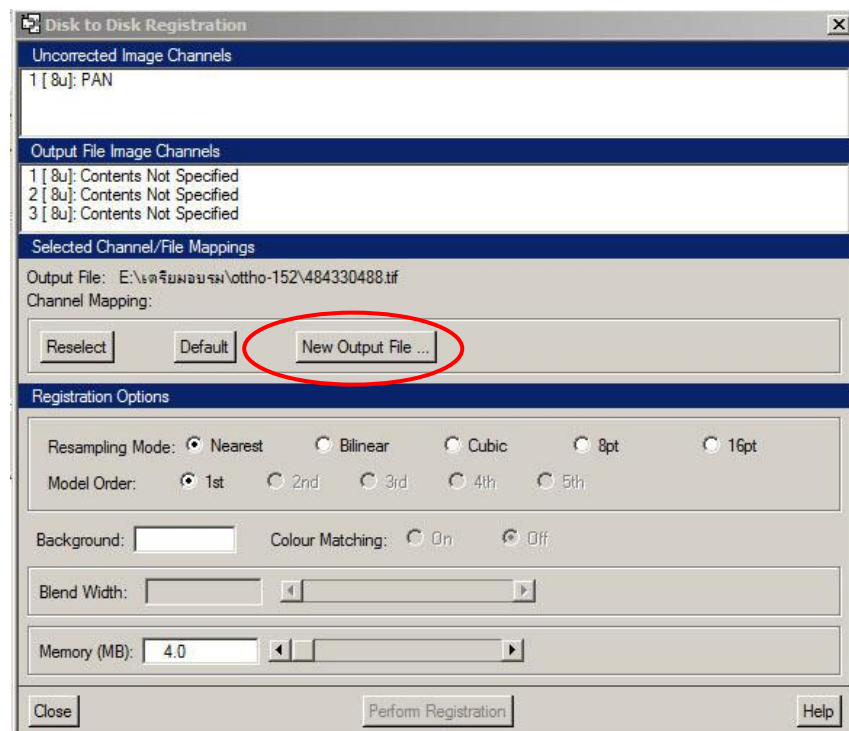
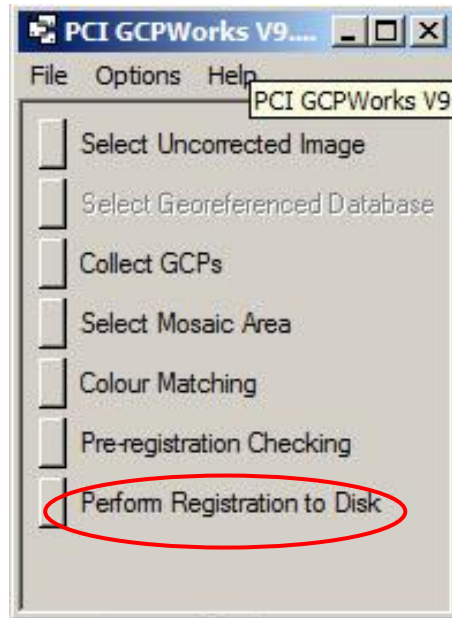
- คลิก Save & Close เลือก Close (ภาพที่ 4-11)



ภาพที่ 4-11 การบันทึกค่าพิกัดที่ได้จากภาพอ้างอิง

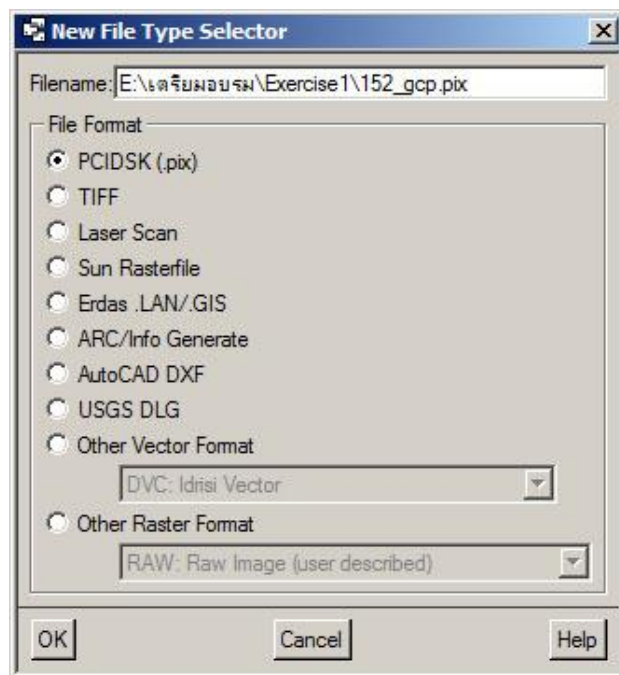
4.7.8 ขั้นตอนต่อมา คือ การตรึงพิกัด (Registration) เพื่อที่จะตรึงข้อมูลจุดที่เหมือนกัน

- คลิกที่ Perform Registration to Disk จะปรากฏหน้าต่าง Disk to Disk Registration (ภาพที่ 4-12)

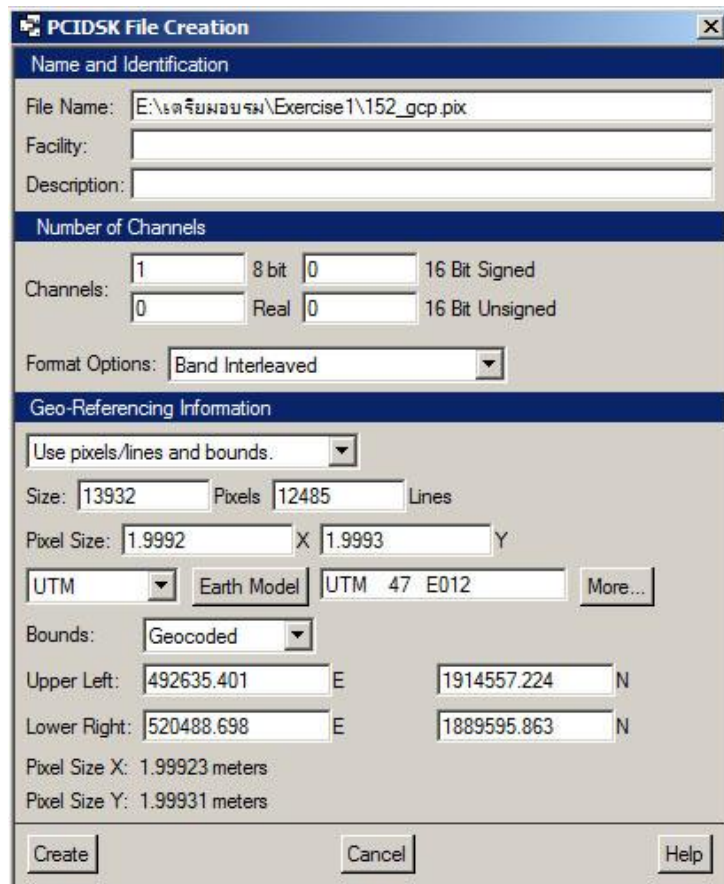


ภาพที่ 4-12 การบันทึกค่าพิกัดลงภาพที่นำมาปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต

4.7.9 ที่หน้าต่าง Disk to Disk Registration ให้คลิกที่ New Output File (ภาพที่ 4-12) ตั้งชื่อ File นามสกุล .pix สำหรับ รูปแบบของการการสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling mode) เลือกวิธีการประมาณค่าจากตำแหน่งใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor interpolation: NN) ซึ่งเป็นการแทนค่าระดับสีเทาของจุดภาพในภาพก่อนตรวจแก้ไข โดยเลือกเอาตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงที่สุด ให้คลิก Nearest โดยใช้ Model Order 1 คลิก 1<sup>st</sup> จากนั้นคลิก Open จะปรากฏหน้าต่าง New File Type Selector เลือก File Format เป็นนามสกุลที่ต้องการ ในที่นี้เลือก PCIDISK (.pix) คลิก OK จะปรากฏหน้าต่าง PCIDISK File Creation (ภาพที่ 4-13)



ภาพที่ 4-13 การตั้งชื่อภาพที่ปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต



**PCIDSK File Creation**

**Name and Identification**

File Name: E:\เตรียมอบรม\Exercise1\152\_gcp.pix

Facility:

Description:

**Number of Channels**

Channels: 1 8 bit 0 16 Bit Signed  
0 Real 0 16 Bit Unsigned

Format Options: Band Interleaved

**Geo-Referencing Information**

Use pixels/lines and bounds.

Size: 13932 Pixels 12485 Lines

Pixel Size: 1.9992 X 1.9993 Y

UTM Earth Model UTM 47 E012 More...

Bounds: Geocoded

Upper Left: 492635.401 E 1914557.224 N

Lower Right: 520488.698 E 1889595.863 N

Pixel Size X: 1.99923 meters

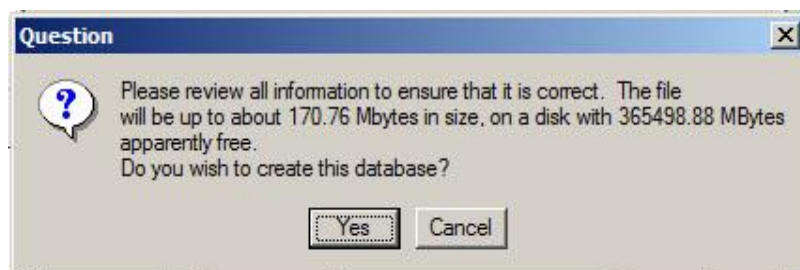
Pixel Size Y: 1.99931 meters

Create Cancel Help

ภาพที่ 4-14 การบันทึกภาพที่ทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

- ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการสร้างและที่เก็บที่ ช่อง file name
- ที่ช่อง Number of Channels ให้ใส่จำนวน channel ของภาพดาวเทียม
- ที่ช่อง Geo Referencing information ให้เลือกคำสั่ง Use bounds and resolution
- ปรับค่า pixels size ให้มีขนาดเท่าภาพดาวเทียมที่ใช้ กรณีถ้าใช้ภาพดาวเทียมไทยโชตปรับเป็น X:2.00 x Y:2.00 (ภาพที่ 4-14)

คลิก Create จะปรากฏหน้าต่างให้ตรวจสอบข้อมูล พร้อมทั้งบอกขนาดของข้อมูล และปริมาณพื้นที่ว่างที่มีอยู่ใน disk จากนั้นให้ยืนยันการบันทึกข้อมูล โดยคลิก Yes (ภาพที่ 4-15)



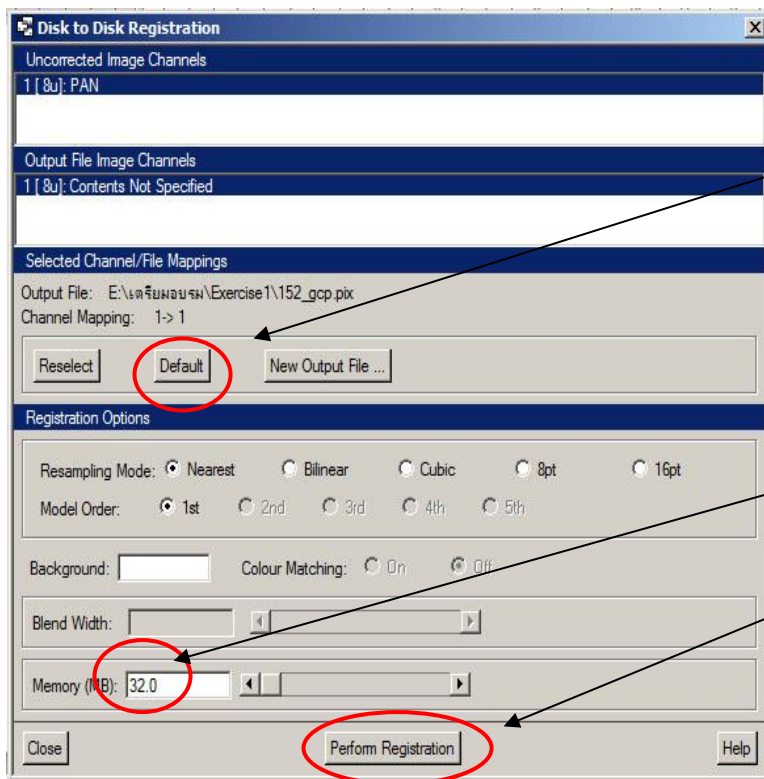
**Question**

Please review all information to ensure that it is correct. The file will be up to about 170.76 Mbytes in size, on a disk with 365498.88 MBytes apparently free.

Do you wish to create this database?

Yes Cancel

ภาพที่ 4-15 การยืนยันการบันทึกข้อมูลภาพที่ทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

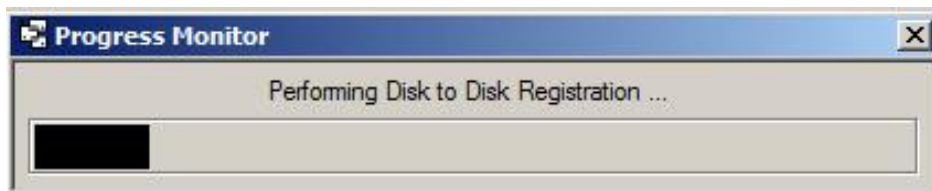


จะปรากฏหน้าต่าง Disk to Disk Registration

- คลิก Default สังเกต ข้อมูล Channel Mapping จะมี ตัวเลข 1->1 เนื่องจากภาพที่เลือก เป็นภาพ Panchromatic จึงมี Channel เดียว แต่ถ้าเป็นดาวเทียม THEOS ภาพ MS จะมี 4 Channel

- เลื่อน Memory เท่ากับ 32.0

- คลิก Perform Registration



ภาพที่ 4-16 ความก้าวหน้าของการบันทึกภาพที่มีความถูกต้องเชิงเรขาคณิต

- จะปรากฏหน้าต่างแสดงความก้าวหน้าของการสร้าง file รोजनाกว่าแถบสีดำจะเต็ม จะได้ข้อมูลใหม่ที่มีความถูกต้องเชิงพิกัด (ภาพที่ 4-16)

#### 4.8 การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลภาพ (Image enhancement)

เป็นกระบวนการปรับค่าของจุดภาพหรือค่าระดับสีเทา เพื่อเพิ่มรายละเอียด ความชัดเจนของ ข้อมูลภาพ หรือการเพิ่มระดับความแตกต่างระหว่างวัตถุ ทำให้สังเกตขอบเขตของวัตถุต่างชนิดกันได้ ชัดเจนขึ้น หรือสามารถที่จะเน้นความคมชัดเฉพาะในส่วนที่ต้องการศึกษา ช่วยให้การตีความประเภท วัตถุด้วยสายตาได้ง่ายขึ้น

การเน้นข้อมูลภาพอาจทำกับภาพแบนด์เดียว ซึ่งเป็นภาพขาวดำหรือภาพที่มีข้อมูลหลายแบนด์ หรือสีผสมก็ได้ และต้องเลือกวิธีการเน้นภาพให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยทั่วไปการเน้นข้อมูลภาพ แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

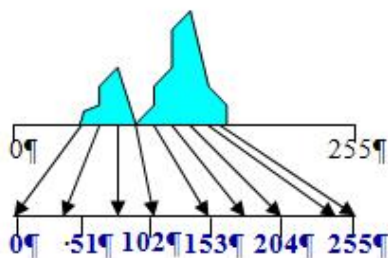
**4.8.1 การเน้นภาพเชิงคลื่น (Spectral enhancement)** เป็นการเน้นข้อมูลโดยพิจารณาค่าของจุดภาพเดียวในภาพโดยไม่พิจารณาจุดภาพข้างเคียง เพื่อที่ข้อมูลที่ต้องการปรากฏชัดเจนกว่าเดิม มีเทคนิคที่สำคัญ (จรัสธร, 2546) ดังนี้

**1) การเน้นความคมชัดของภาพ (Contrast stretch)** เป็นการปรับแต่งความเข้มของข้อมูลภาพ โดยการยืดข้อมูลภาพเชิงตัวเลขเดิมที่เกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงความเข้มแคบ ๆ ให้กระจายออกกว้างขึ้นจนเต็มระดับค่าสีเทาตามจำนวนบิตของข้อมูล เช่น ข้อมูล 8 บิต สามารถแสดงได้ถึง 256 ระดับ และขยายให้ค่าต่ำที่สุดเดิมเป็นค่า 0 และค่าสูงสุดเดิมขยายเต็มที่จนถึงค่า 255 วิธีการนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การขยายระดับค่าสีเทา (Gray scale stretching) เป็นผลให้ได้ภาพที่มีความคมชัดขึ้น ในทางปฏิบัติคอมพิวเตอร์จะสร้างตารางเทียบค่าหรือกราฟปรับเทียบ (Lookup table: LUT) เพื่อแสดงภาพที่ผ่านการเน้นแล้วด้วยค่าใหม่ เทคนิคการยืดค่าทางคณิตศาสตร์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

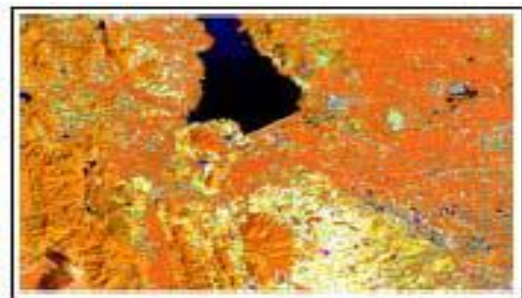
**(1) การยืดข้อมูลแบบเส้นตรง (Linear contrast stretch)** เป็นการขยายพิสัย (Range) ค่าความเข้มของข้อมูลเดิมให้มีค่ามากยิ่งขึ้นจนเต็มช่วง 0-255 โดยใช้กราฟเปรียบเทียบที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีหลายเทคนิค เช่น

- เทคนิค Minimum-maximum contrast stretch ซึ่งเป็นการขยายค่าความเข้มของข้อมูลให้เต็มพิสัย (0-255) โดยค่าที่น้อยสุดให้เป็น 0 และค่าที่มากที่สุดเป็น 255 (ภาพที่ 4-17 และภาพที่ 4-18)

- เทคนิค Linear clip โดยขยายค่าความเข้มของข้อมูลให้เต็มพิสัย แต่สามารถเลือกยืดข้อมูลช่วงใดช่วงหนึ่งของภาพได้



ภาพที่ 4-17 การขยายค่าสะท้อนเชิงสเปกตรัมแบบเส้นตรง



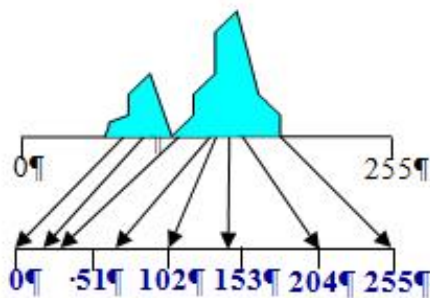
ภาพที่ 4-18 ภาพดาวเทียมแลนด์แซท-5 ที่เน้นข้อมูลแบบเส้นตรง

ที่มา: สุเทพ (2555)

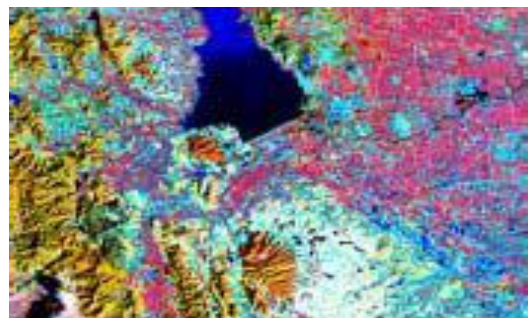
**(2) การยืดข้อมูลแบบไม่ใช่เส้นตรง (Non-linear contrast stretch)** เป็นการยืดข้อมูลภาพให้คมชัด โดยไม่ใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (ภาพที่ 4-19 และภาพที่ 4-20)

จุดประสงค์ของวิธีนี้ คือ พยายามเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่เป็นปกติให้เป็นแบบปกติ มีหลายเทคนิค (สุเทพ, 2555) เช่น

- เทคนิคการทำฮิสโตแกรมให้มีค่าเท่ากัน (Histogram equalization stretch) เป็นการปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้มให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน
- Logarithmic จะใช้ปรับเน้นภาพที่มีค่าของข้อมูลต่ำเป็นจำนวนมากที่มีการกระจายอยู่ชิดกันได้ดี แต่อาจทำให้สูญเสียข้อมูลที่มีค่าสูงบางส่วนได้
- Exponential เน้นปรับภาพที่มีค่าของข้อมูลสูงเป็นจำนวนมาก
- Gaussian stretch เป็นการยืดค่าของข้อมูลให้มีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal distribution) โดยปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดการยืดค่าข้อมูล คือ Mean ซึ่งจะเป็นตัวปรับความสว่าง (Brightness) หรือ ความมืด (Darkness) ของภาพโดยการเลื่อนจุดศูนย์กลางการกระจายแบบปกติของค่าข้อมูลใน histogram และ standard deviation โดยจะเป็นตัวปรับการยืดพิสัยของค่าข้อมูลใหม่



ภาพที่ 4-19 การขยายค่าสะท้อนเชิงสเปกตรัมแบบขยายค่าสะท้อน



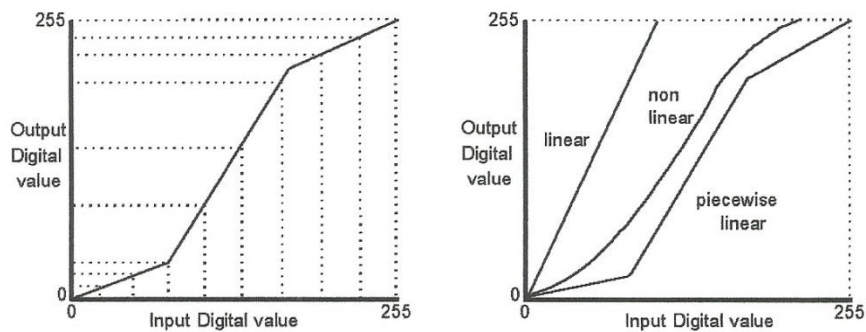
ภาพที่ 4-20 ภาพดาวเทียมแลนด์แซท-5 ที่เอนเน้นข้อมูลแบบขยายค่าสะท้อน

ที่มา: สุเทพ (2555)

### (3) การยืดข้อมูลแบบเส้นตรงเฉพาะส่วน (Piecewise linear stretch)

เป็นการยืดข้อมูลภาพเป็นบางส่วน พิสัยของค่าความเข้มเดิมที่ต้องการขยายจะถูกแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ช่วง และในแต่ละช่วงขยายเป็นค่าใด ๆ ก็ได้ตามต้องการ แต่ต้องต่อเนื่องไปจนตลอดช่วง 0-255 เช่น แบ่งการขยายค่าความเข้มเดิมจาก 10-120 ให้เป็น 0-255 (ภาพที่ 4-21) ดังนี้

|         |      |         |
|---------|------|---------|
| 10-60   | เป็น | 0-100   |
| 61-100  | เป็น | 101-220 |
| 101-120 | เป็น | 221-255 |



ภาพที่ 4-21 แสดงการปรับเทียบ (Lookup table) ระหว่างค่าของข้อมูลเดิมและข้อมูลใหม่  
ที่ได้จากการยืดข้อมูลภาพด้วยเทคนิคทั้ง 3 วิธี (ERDAS, 1999)

ที่มา: จรินทร์ (2546)

2) ความเท่ากันของแผนภูมิภาพ (Histogram equalization) เป็นการขยายความคมชัดไม่ใช่เชิงเส้น เพื่อให้มีจำนวนจุดภาพเท่ากันในแต่ละช่วงของค่าจุดภาพ ผลที่ได้คือแผนภูมิเรียบขึ้น ความคมชัดของภาพดีขึ้นในบริเวณยอดของแผนภูมิ และจะลดลงในบริเวณที่มีจำนวนจุดภาพ

3) อัตราส่วนเชิงสเปกตรัม (Spectral ratio) หมายถึง การเน้นข้อมูลภาพเชิงเลขซึ่งใช้ผลจากอัตราส่วนของค่าจุดภาพของข้อมูลต่างแบนด์กันในตำแหน่งเดียว แล้วให้ผลลัพธ์ในตำแหน่งเดิม การเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างแบนด์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

4) ผลบวกเชิงเส้น (Linear combination) เป็นการนำข้อมูลหลายแบนด์มาใช้ โดยแต่ละแบนด์จะมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จะเพิ่มหรือลดน้ำหนักในแต่ละแบนด์

5) การวิเคราะห์เชิงองค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis) เป็นการนำเอาข้อมูลจำนวนมากมาคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อลดจำนวนข้อมูลลงโดยยังคงลักษณะเด่นของข้อมูลส่วนใหญ่เอาไว้เกือบหมด ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะได้ข้อมูลชุดใหม่ในรูปขององค์ประกอบที่เกิดจากการรวมตัวเชิงแนวเส้น เป็นการสร้างช่วงคลื่นใหม่ซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงคลื่นเก่า ช่วยลดช่วงคลื่นที่จะนำไปคำนวณ

6) ดัชนีพรรณพืช (Vegetation index) เป็นการคำนวณโดยนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชพรรณปกคลุม (Biomass) กับบริเวณไม่ใช่พืชพรรณ ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงวัดค่าการสะท้อนจากใบพืช หรือส่วนที่มีคลอโรฟิลล์ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มีคุณสมบัติในการแยกแยะพืชพรรณ และวัดปริมาณมวลชีวภาพ มีวิธีการคำนวณหลายวิธี (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ดังนี้

(1) วิธี Ratio Vegetation Index (RVI) เป็นการทำสัดส่วนกันระหว่างช่วงคลื่นสองช่วงคลื่น คือ นำเอาช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาหารด้วยช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ดังสูตรต่อไปนี้

$$RVI = \frac{IR}{RED}$$

$$\begin{aligned}\text{โดยที่ RVI} &= \text{ดัชนีพรรณพืช} \\ \text{NIR} &= \text{ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้} \\ \text{RED} &= \text{ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง}\end{aligned}$$

(2) วิธี Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) เป็นการนำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นที่ปรับให้มีลักษณะเป็นการกระจายปกติ คือ นำช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาลบด้วยและช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง แล้วหารด้วยผลบวกของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ดังสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{NDVI} &= (\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}) \\ \text{โดยที่ NDVI} &= \text{ดัชนีพรรณพืช} \\ \text{NIR} &= \text{ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้} \\ \text{RED} &= \text{ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง}\end{aligned}$$

การคำนวณดัชนีพรรณพืชโดยปกติที่ค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 1 หากต้องการปรับค่าให้เป็นค่าการสะท้อนปกติในช่วง 0-255 สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\text{NDVI} = ((\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}) \times 128) + 128$$

(3) Soil Adjustment Vegetation Index (SAVI) เป็นดัชนีพรรณพืชที่สร้างขึ้นเพื่อคำนวณพืชพรรณในพื้นที่ศึกษาที่มีพืชพรรณค่อนข้างต่ำ มีสูตรดังนี้

$$\begin{aligned}\text{SAVI} &= ((\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED} + \text{L})) \times (1+\text{L}) \\ \text{โดยที่ SAVI} &= \text{ดัชนีพรรณพืช} \\ \text{NIR} &= \text{ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้} \\ \text{RED} &= \text{ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง} \\ \text{L} &= \text{ค่าคงที่}\end{aligned}$$

(4) Transformation Vegetation Index เป็นการคำนวณดัชนีพืชพรรณที่สร้างขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้กับการประมาณปริมาณพืชพรรณในพื้นที่ที่เป็นทุ่งหญ้า มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{TVI} = ((\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}+\text{L}) + 0.5)^{1/2}$$

**4.8.2 การเน้นภาพเชิงพื้นที่ (Spatial enhancement)** เป็นการเน้นข้อมูลโดยพิจารณาจากค่าของจุดรอบข้าง การเน้นคุณภาพของข้อมูลภาพวิธีนี้เป็นเทคนิคที่จะกรองข้อมูลโดยหลักการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า การกรองภาพ (filtering) ซึ่งจะใช้น้ำต่างกรอง (Kernel หรือ Window) ในลักษณะ 2 มิติ โดยเลื่อนหน้าต่างให้ตารางที่อยู่ศูนย์กลางวิ่งผ่านทีละจุดภาพ (pixel) แล้วแทนค่าจุดภาพนั้น ๆ ด้วยค่าเฉลี่ย หรือกรรมวิธีทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ของบรรดาจุดภาพข้างเคียงในหน้าต่างกรอง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ซึ่งมีวิธีดังนี้

**1) ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filtering)** มีคุณสมบัติเด่นในการปรับปรุงข้อมูลภาพให้เรียบ หรือลดความแตกต่างของขอบเขตวัตถุลง มีให้เลือกหลายชนิด ดังนี้

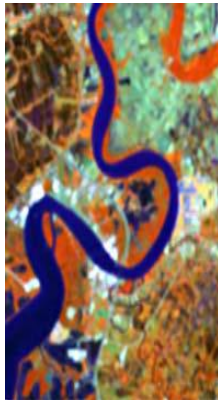
(1) ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นตัวกรองที่นำหลักการของการคำนวณค่าเฉลี่ยมาใช้ โดยตัวกรองมีค่าเป็นบวกทั้งหมด โดยค่าเดิมของจุดภาพกึ่งกลางของตัวกรองจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่ากรองอื่นก็ได้ ตัวกรองภาพลักษณะนี้จะทำให้ภาพดูเรียบขึ้น นิยมใช้กับภาพที่มีจุดภาพเดี่ยว ๆ ที่มีค่าต่างจากภาพโดยรอบอื่น ๆ และปรากฏแทรกอยู่ระหว่างจุดภาพจำนวนมากที่มีค่าใกล้เคียงกัน เรียกว่า การรบกวนในข้อมูลภาพ (image noise) เมื่อใช้ตัวกรองผ่านค่าความถี่ต่ำจะทำให้ภาพดูเรียบมากขึ้น (ภาพที่ 4-22 ข)

(2) ตัวกรองแบบค่ากึ่งกลาง (Median filter) เป็นการหาค่ากึ่งกลางของจุดภาพโดยเรียงลำดับค่าจากน้อยไปมาก หรือจากมากไปน้อยภายในตัวกรองภาพ วิธีการนี้จะช่วยลดค่าของจุดภาพที่มีค่าแตกต่างอย่างมากจากค่าของจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงลง ข้อมูลภาพที่ใช้ตัวกรองแบบค่ากึ่งกลางจะมีคุณสมบัติในการลดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ได้ดีกว่าตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต โดยจะทำให้ภาพมีความเรียบมากขึ้น แต่จะไม่ลบส่วนที่เป็นขอบเขตหรือลายเส้นอื่น ๆ ในภาพให้เรียบตามส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวน (ภาพที่ 4-22 ค)

(3) ตัวกรองแบบฐานนิยม (Mode filter) เป็นการใช้วิธีทางสถิติแบบฐานนิยมในการหาค่าจุดภาพกึ่งกลาง โดยพิจารณาจากความถี่มากที่สุดจากจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่อยู่ในกรอบของตัวกรองแบบฐานนิยม โดยใช้หลักการที่ว่า จุดภาพกึ่งกลางย่อมจะมีความสัมพันธ์กับจุดภาพที่อยู่โดยรอบ คือ มักจะมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าจุดภาพมีค่าโดดเด่นจากจุดภาพที่อยู่โดยรอบ อาจสรุปได้ว่าจุดภาพนั้นเป็นผลมาจากสัญญาณรบกวน (ภาพที่ 4-22 ง)



ก. ข้อมูลต้นฉบับ



ข. ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิต



ค. ตัวกรองแบบค่ากึ่งกลาง



ง. ตัวกรองแบบฐานนิยม

ภาพที่ 4-22 ภาพที่ผ่านการกรองแบบความถี่ต่ำ หรือตัวกรองทำให้เรียบ ขนาด 5 x 5

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, (2552)

2) ตัวกรองความถี่สูง (High frequency kernel) เป็นการเน้นความคมชัดของภาพที่มีความซับซ้อนทางเมทริกซ์หรือส่วนกลางที่ใช้แบบความถี่สูง ค่าจุดภาพที่ต่ำอยู่แล้วจะต่ำลงอีกค่าที่สูงอยู่แล้วจะสูงขึ้น จะทำให้ภาพมีค่าจุดภาพแตกต่างกันมากขึ้น นิยมใช้เน้นข้อมูลภาพที่มีองค์ประกอบเป็นลายเส้น (edge enhancers) ตัวกรองภาพชนิดนี้มีหลายประเภท เช่น ตัวกรองแบบ Laplacian ตัวกรองที่เน้นเฉพาะทิศทางใดทิศทางหนึ่งในภาพ สามารถเลือกใช้ตัวกรองเฉพาะทิศทาง

นั้น ๆ ได้ เช่น แนวตั้ง แนวนอน ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ตัวกรองแบบ Sobel และตัวกรองแบบ Prewitt เป็นต้น (ภาพที่ 4-23)



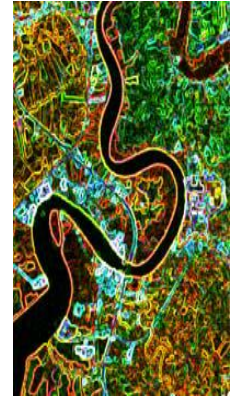
ก. ข้อมูลต้นฉบับ



ข. ตัวกรองแบบ Laplacian



ค. ตัวกรองแบบ Sobel



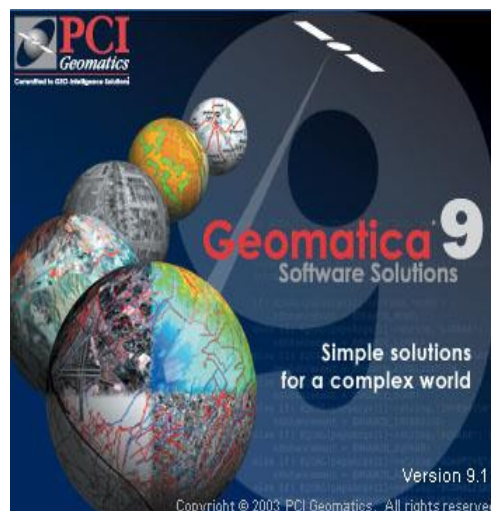
ง. ตัวกรองแบบ Prewitt

ภาพที่ 4-23 ภาพที่ผ่านตัวกรองแบบความถี่สูงหรือตัวกรองเน้นขอบวัตถุ

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552

#### 4.9 การใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1ปรับปรุงข้อมูลภาพ

4.9.1 เปิดภาพที่ต้องการปรับค่าสีด้วยโปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1 (ภาพที่ 4-24)

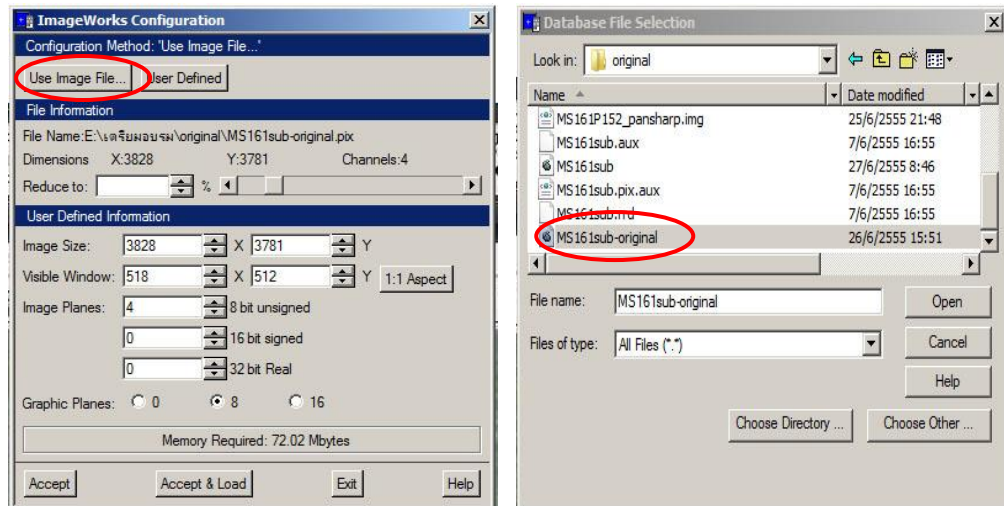


ภาพที่ 4-24 โปรแกรม Geomatica เวอร์ชัน 9.1

#### 4.9.2 เลือกฟังก์ชัน Image Work แล้วเลือกไฟล์ภาพที่ต้องการปรับค่าสี (ภาพที่ 4-25)

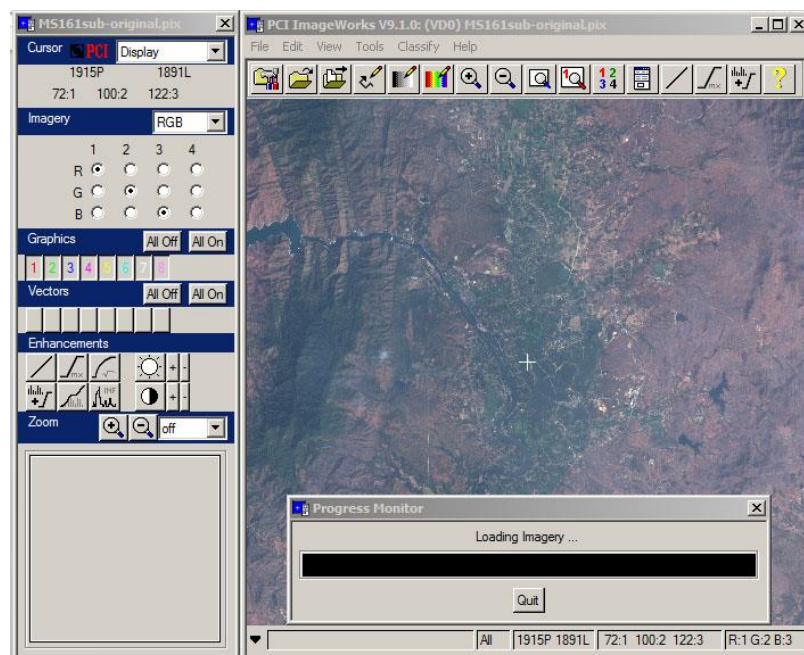


ภาพที่ 4-25 เลือกเมนู Image Work



ภาพที่ 4-26 เปิดภาพดาวเทียมที่จะนำมาปรับความคมชัดของภาพ

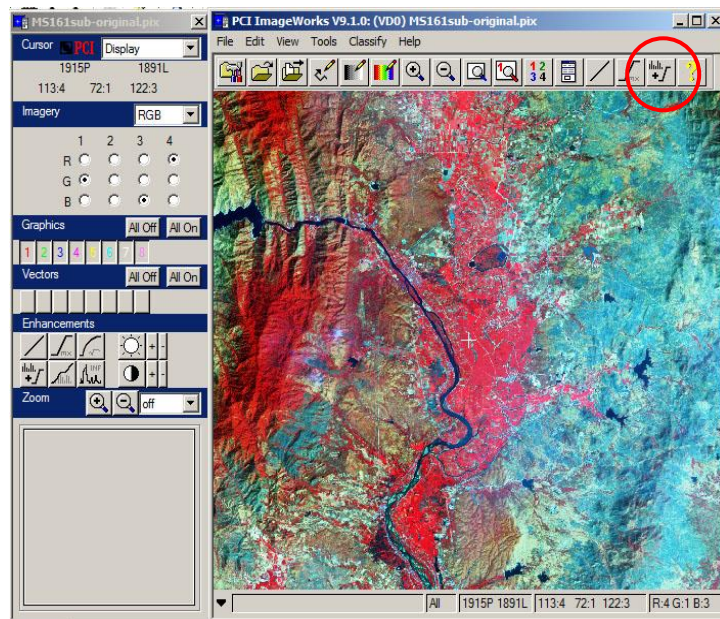
4.9.3 โหลดภาพดาวเทียมไทยโชด ภาพที่ปรากฏขึ้นจะเรียงตามแบนด์ โดยเรียง Band 1 (ช่วงคลื่นสีแดง) แบนด์ 2 (ช่วงคลื่นสีเขียว) แบนด์ 3 (ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน) แบนด์ 4 (ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้) เป็นสีที่ตามองเห็นจริง (ภาพที่ 4-27)



ภาพที่ 4-27 ภาพที่จะนำมาปรับความคมชัด

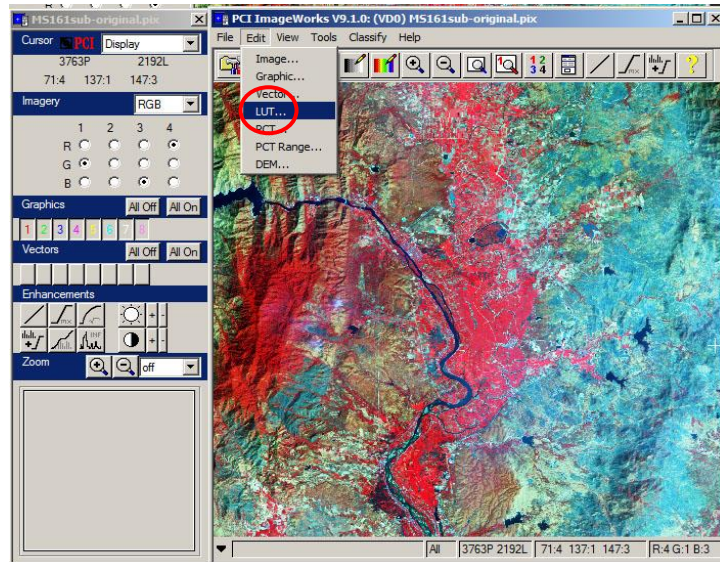
4.9.4 การนำมาภาพดาวเทียมมาใช้ในการแยกพืชพรรณทำได้ยาก จึงต้องมีการจัดเรียงแบนด์ใหม่โดยให้ แบนด์ที่ 4 ซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนพืชพรรณได้สูงกว่าแบนด์อื่นเป็นสีแดง เนื่องจากสายตามนุษย์จะสามารถแยกแยะวัตถุได้ดีกว่าสีอื่น แบนด์ 1 สีเขียว และแบนด์ 3 สีน้ำเงิน เรียกว่าการผสมสีเท็จ การจัดเรียงแบนด์อาจเรียงกันรูปแบบอื่น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้งาน

4.9.5 จากนั้นเลือกปรับค่าสี (Enhancements) โดยเลือกปรับความเข้มสว่างของภาพได้ที่เครื่องหมาย + , - (ภาพที่ 4-28)



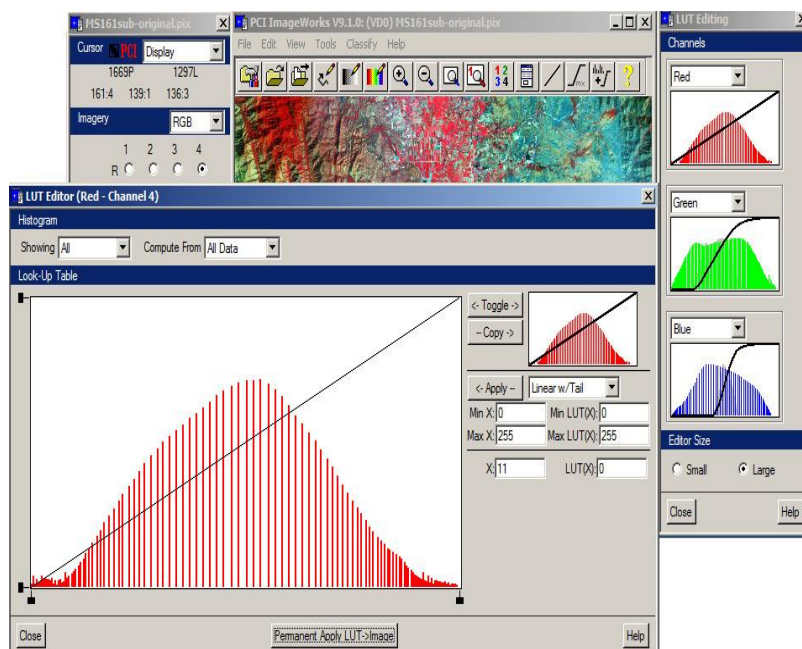
ภาพที่ 4-28 การปรับค่าความสว่างของภาพ

4.9.6 หลังจากเมื่อปรับค่าสีได้ กด Edit เลือก LUT เพื่อปรับแต่งความเข้มของข้อมูลภาพ โดยการยืดข้อมูลภาพเชิงตัวเลขเดิมที่เกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงความเข้มแคบ ๆ ให้กระจายออกกว้างขึ้น เป็นผลให้ได้ภาพที่มีความเข้มดีขึ้น (ภาพที่ 4-29)

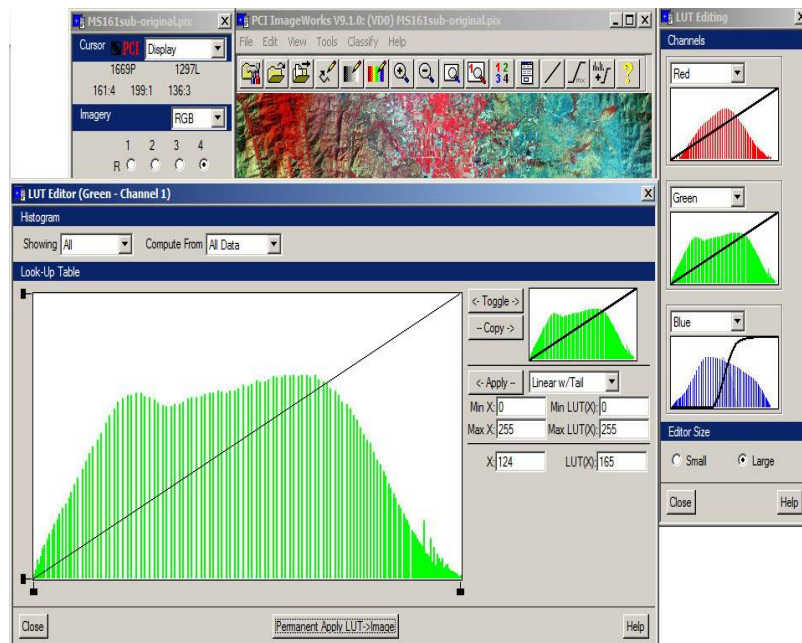


ภาพที่ 4-29 การปรับแต่งความเข้มของข้อมูลภาพ

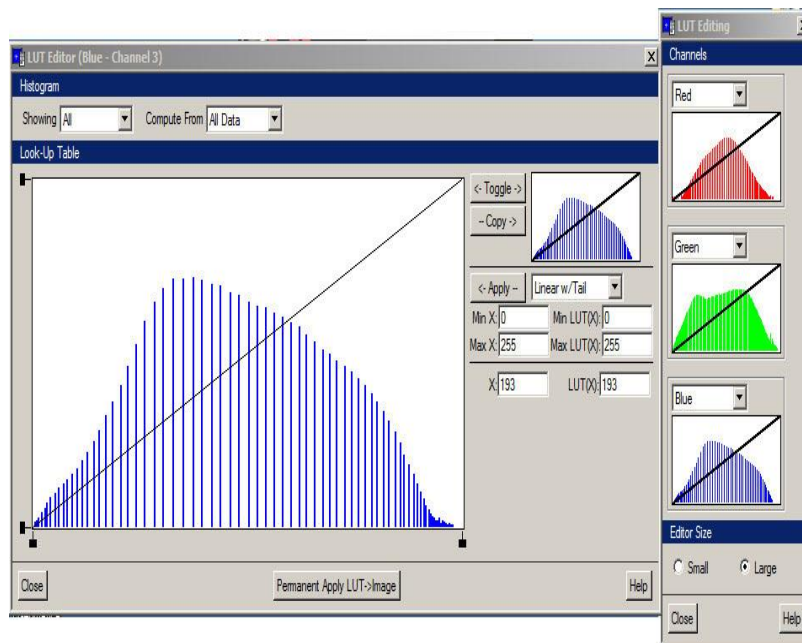
4.9.7 เมื่อได้แผนที่ที่ปรับแล้ว ดับเบิลคลิกไปที่ **Band Red, Green, Blue Fix** ค่าสีโดยให้เส้นกราฟเป็นเส้นตรง กด Permanent Apply LUT-> Image โดยทำทีละ แบนด์ จนครบทั้ง 3 แบนด์ (ภาพที่ 4-30)



(1)



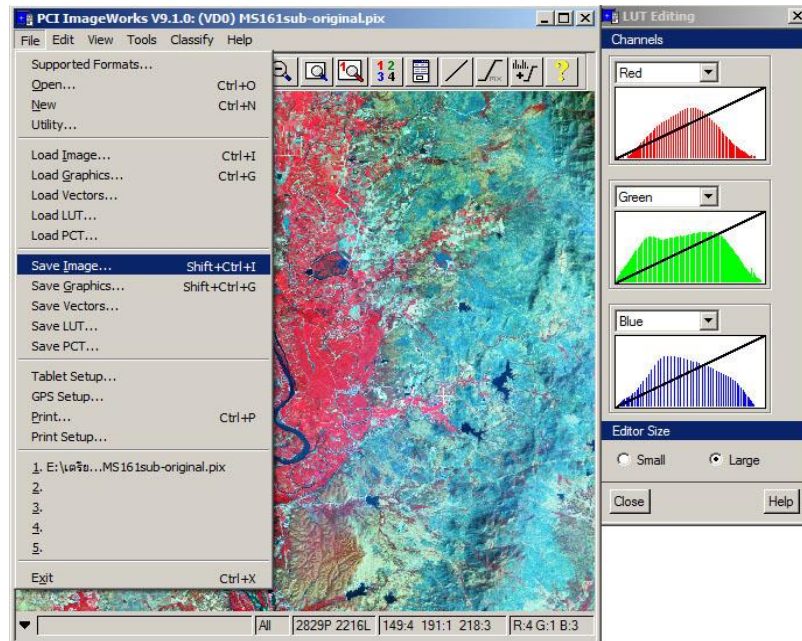
(2)



(3)

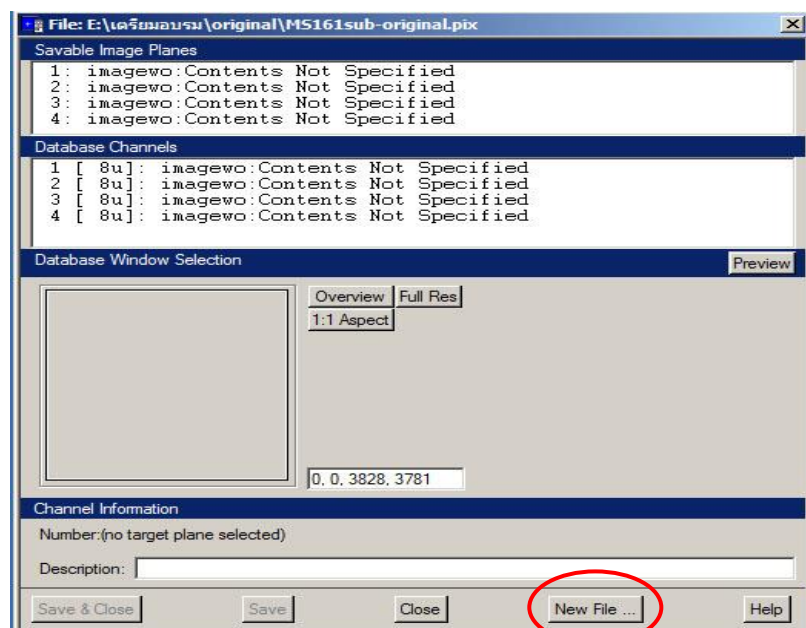
ภาพที่ 4-30 การปรับค่าความเข้มของแต่ละช่วงความยาวคลื่น

4.9.8 คลิก **Save Image** เพื่อบันทึกภาพที่ทำการปรับความคมชัดแล้ว (ภาพที่ 4-31)



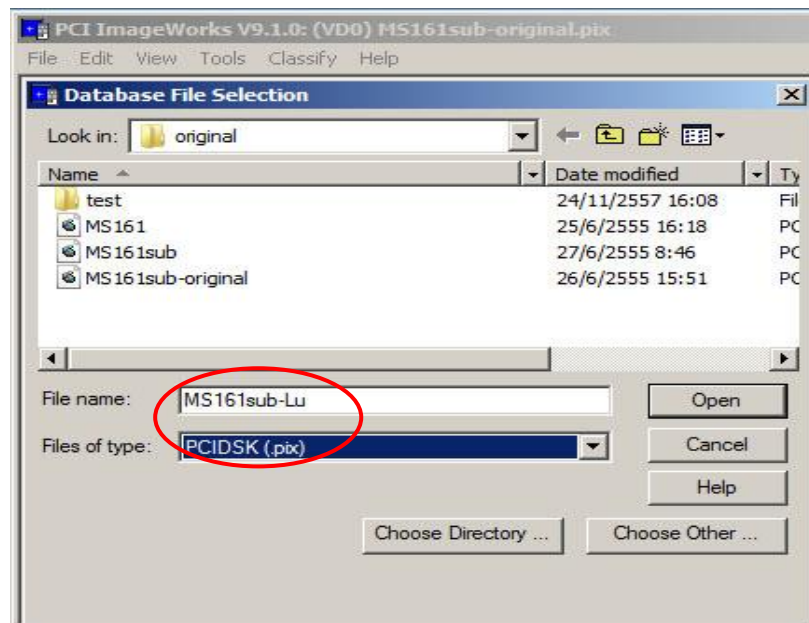
ภาพที่ 4-31 ภาพที่ทำการปรับความคมชัด

4.9.9. บันทึกภาพที่ทำการปรับแก้ไขแล้วเพื่อนำไปใช้งาน โดยคลิกที่ **New File** (ภาพที่ 4-32)

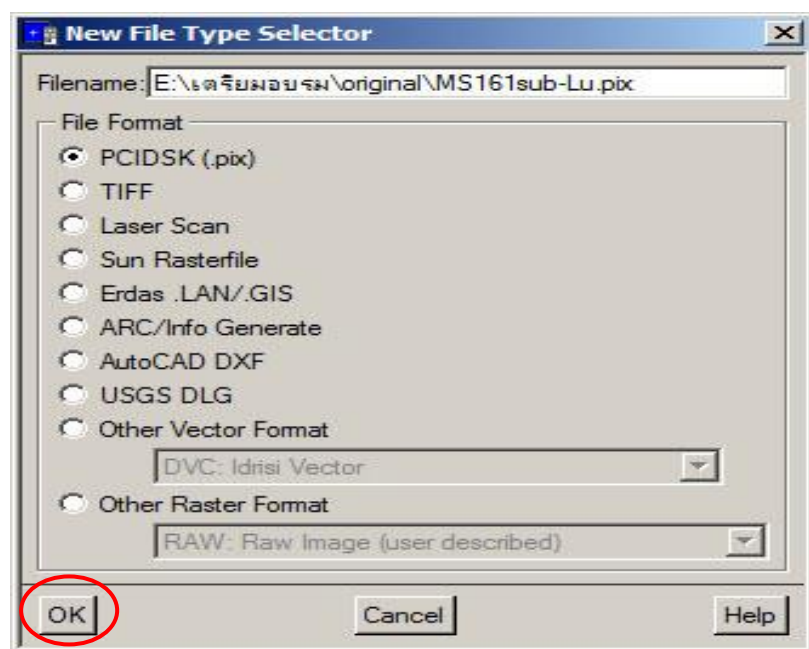


ภาพที่ 4-32 การบันทึกภาพที่ปรับค่าความคมชัด

4.9.10 ตั้งชื่อไฟล์ใหม่โดยให้มีนามสกุล \*. pix แล้ว กด **OK** (ภาพที่ 4-33 และภาพที่ 4-34)



ภาพที่ 4-33 การตั้งชื่อไฟล์ที่ปรับค่าความคมชัด



ภาพที่ 4-34 การเลือกประเภทไฟล์

4.9.11. ใส่รายละเอียด ดังนี้ จำนวนแบนด์ (Number of Channels) ใส่ 4 Channel ขนาดของภาพ (pixel size) ใส่ค่า X: 7.5 ค่า Y:7.5 เลือกระบบระบุพิกัดเป็นแบบ UTM Zone 47 หรือ 48 ตามพื้นที่ของแต่ละจังหวัด E012 ดังภาพที่ 4-35 เมื่อกรอกข้อมูลครบกดปุ่มเพื่อสร้างข้อมูล (Create) (ภาพที่ 4-35)

**PCIDSK File Creation**

**Name and Identification**

File Name: E:\เตรียมมอบฯ\original\MS161sub-Lu.pix  
 Facility:  
 Description:

**Number of Channels**

Channels: 4 8 bit 0 16 Bit Signed  
 0 Real 0 16 Bit Unsigned

Format Options: Band Interleaved

**Geo-Referencing Information**

Use pixels/lines and bounds.  
 Size: 3828 Pixels 3781 Lines  
 Pixel Size: 7.5000 X 7.5000 Y  
 UTM Earth Model UTM 47 E012 More...  
 Bounds: Geocoded  
 Upper Left: 494166.610 E 1913831.936 N  
 Lower Right: 522876.610 E 1885474.436 N  
 Pixel Size X: 7.5 meters  
 Pixel Size Y: 7.5 meters

Create Cancel Help

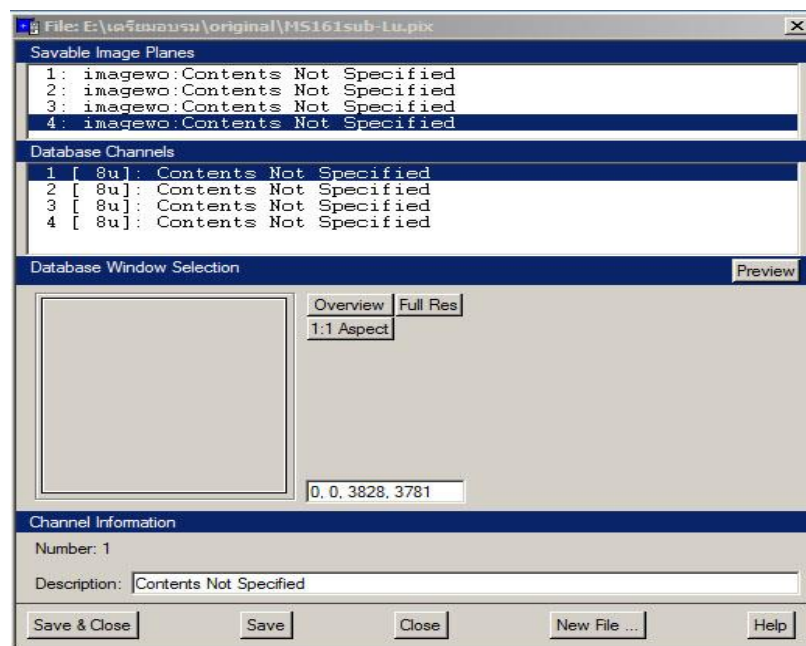
ภาพที่ 4-35 การสร้างไฟล์ภาพใหม่

#### 4.9.12 จากนั้นให้เลือก Save Image Planes ด้านบนโดยคลิกเลือก ที่ 4

เลือก Database Channel ด้านล่าง โดยคลิกเลือก ที่ 1 แล้วคลิก Save ทำทีละ Band จนครบทั้ง 4 Band ดังนี้

- Band 4 บันทึกใน Channel 1
- Band 1 บันทึกใน Channel 2
- Band 3 บันทึกใน Channel 3
- Band 2 บันทึกใน Channel 4

เมื่อทำครบทั้ง 4 Band กด close ก็จะได้ไฟล์ใหม่ที่มีค่าสีไม่เปลี่ยนแปลงตรงเช็ค โดยกลับไปเปิดภาพที่ทำการปรับค่าสีแล้วอีกครั้ง (ภาพที่ 4-36)

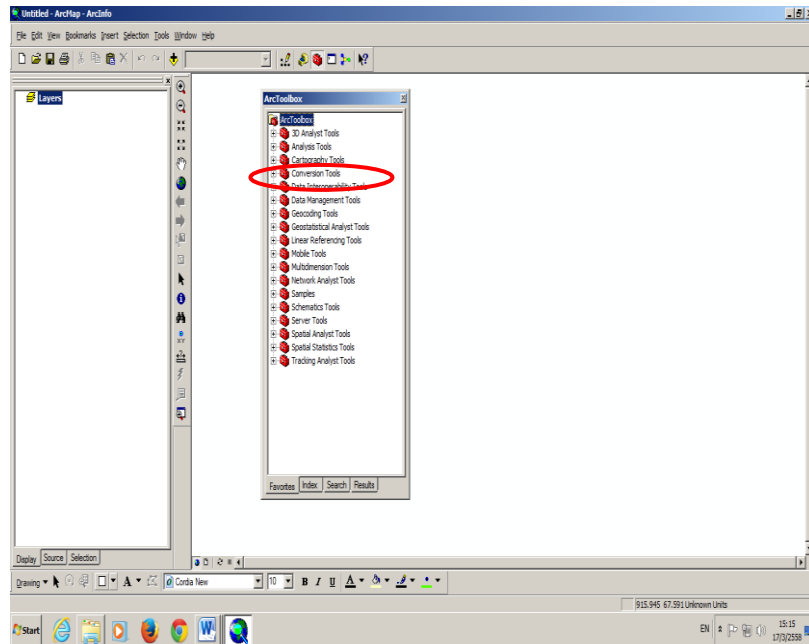


ภาพที่ 4-36 การบันทึกข้อมูลภาพ

## 4.10 การทำ Pan-sharpened

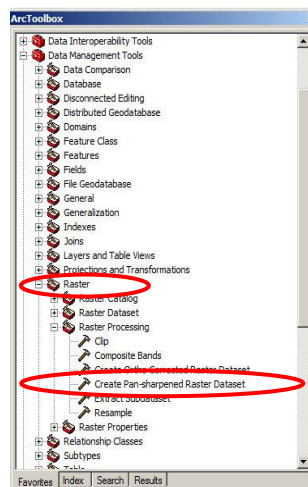
### 4.10.1 การทำ Pan-sharpened ด้วยโปรแกรม ArcGis 9.3

1) เปิดโปรแกรม ArcGis 9.3 เปิดกล่องเครื่องมือ จากนั้นเข้าไปที่เครื่องมือการจัดการข้อมูล (Data Management Tool) คลิกที่ Raster จากนั้นเข้าไปที่ Raster processing แล้วคลิกที่ Created pansharpened Raster data set ดังภาพที่ 4-37



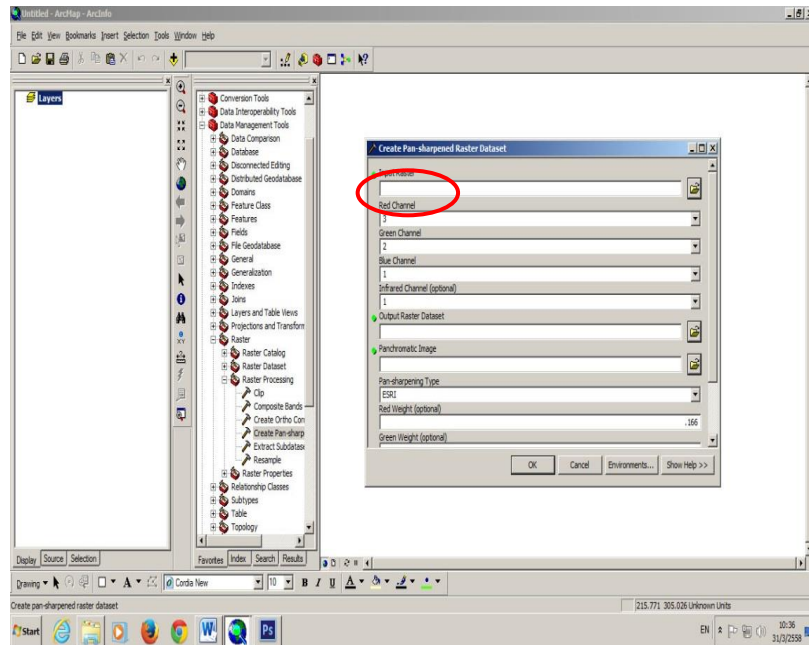
ภาพที่ 4-37 การเลือกเครื่องมือการจัดการข้อมูล (Data Management Tools)

2) จากนั้นเข้าไปที่ Raster คลิก Raster Processing เลือกเครื่องมือ Created an sharpened Raster Dataset เพื่อสร้างภาพ Pansharp (ภาพที่ 4-38)

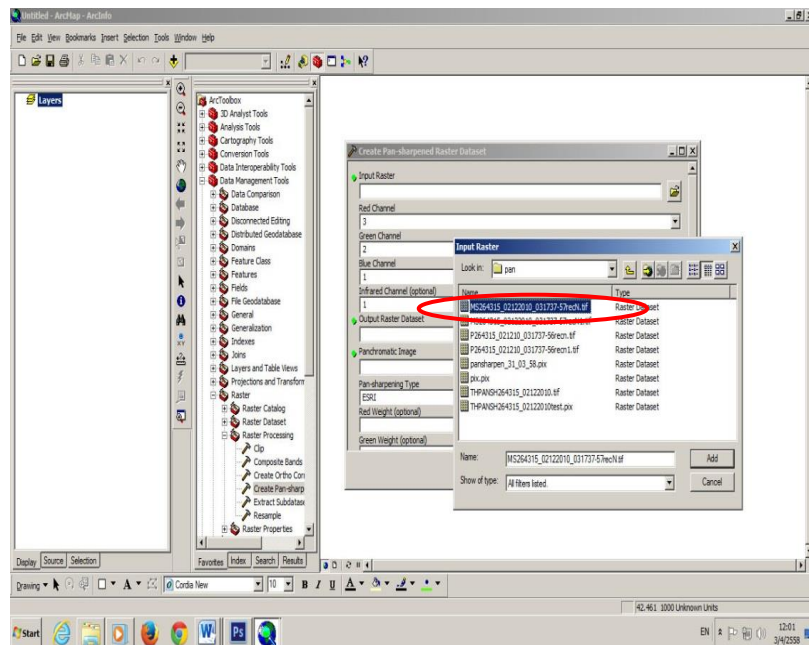


ภาพที่ 4-38 การเลือกเครื่องมือเพื่อสร้างภาพ Pansharp

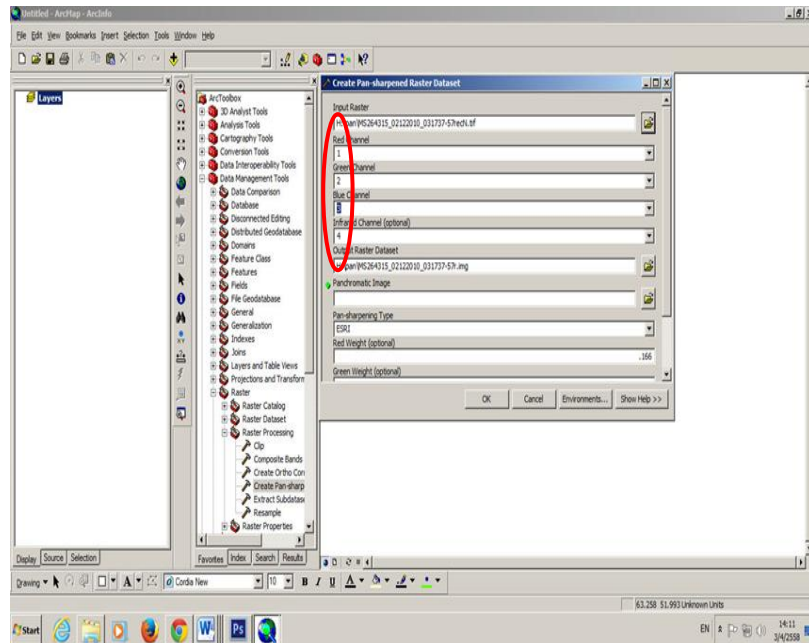
3) ในช่อง Input Raster กด Browse เพื่อใส่ข้อมูลภาพดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่น (multispectral) ในช่อง Input data โดยเลือกจัดเรียงช่วงคลื่น 1 2 3 4 หากยังไม่ได้จัดเรียงก็สามารถจัดเรียงใหม่ได้ (ภาพที่ 4-39 ถึงภาพที่ 4-42)



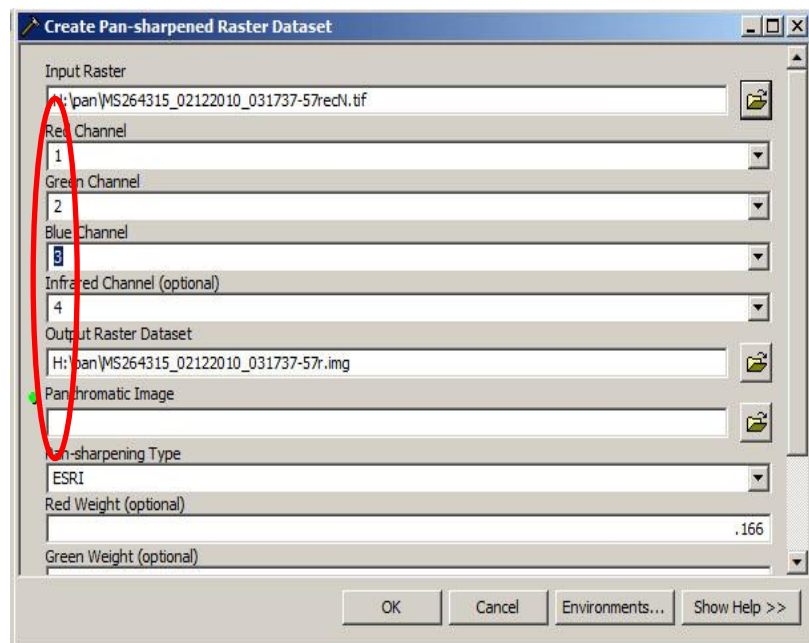
ภาพที่ 4-39 การใส่ข้อมูลดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่น (multispectral)



ภาพที่ 4-40 เลือกข้อมูลดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่น (multispectral)

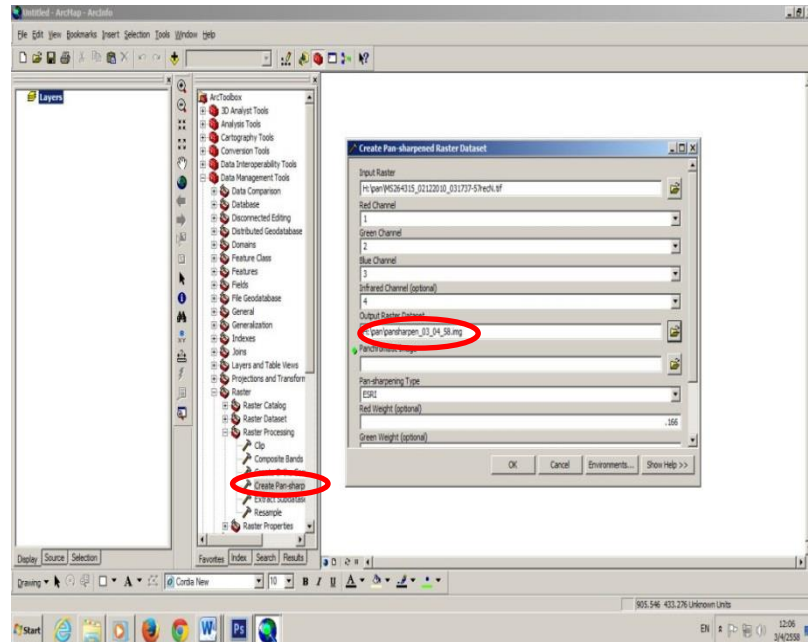


ภาพที่ 4-41 การเลือกช่วงคลื่น



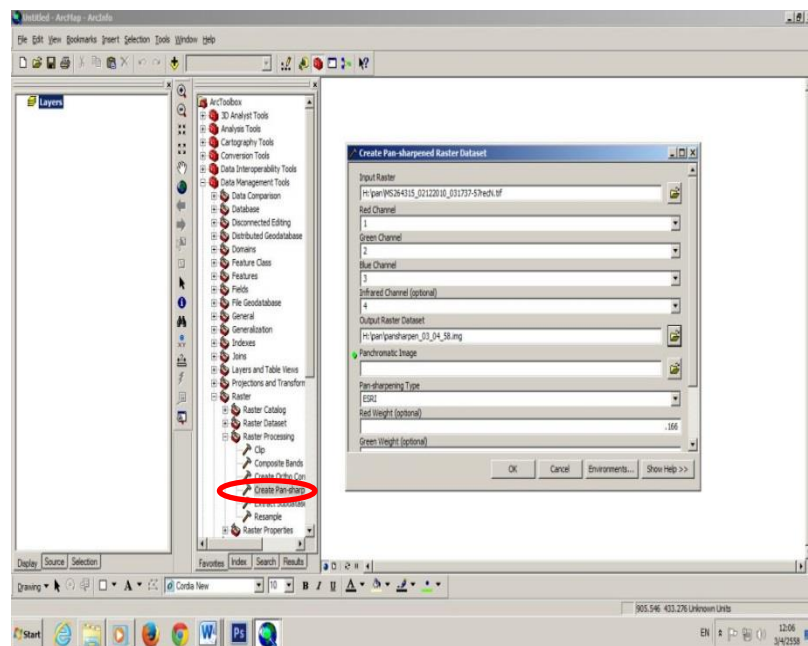
ภาพที่ 4-42 การเรียงช่วงคลื่นตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

4) จากนั้นเลือก Output Raster Dataset กด browse เพื่อสร้างไฟล์ใหม่ ตั้งชื่อใหม่โดยใส่ชื่อไฟล์ตามด้วยนามสกุล \*.img (ภาพที่ 4-43)



ภาพที่ 4-43 การตั้งชื่อไฟล์ใหม่ที่จะทำการบันทึก

5) เลือก Panchromatic Image กด browse เลือกไฟล์ภาพขาวดำ (panchromatic) (ภาพที่ 4-44 ถึงภาพที่ 4-46)

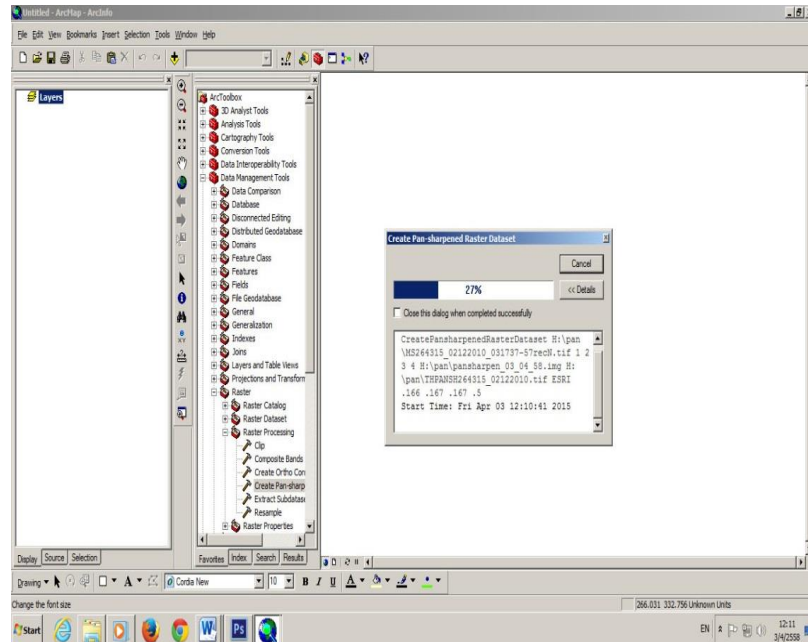


ภาพที่ 4-44 การเลือกเครื่องมือ create pan sharpened raster data set

The screenshot shows the 'Create Pan-sharpened Raster Dataset' dialog box in ArcGIS. The 'Input Raster' section lists 'H:\pan\MS44315\_02122010\_031737-Sheet.tif'. The 'Red Channel' is set to 1, 'Green Channel' to 2, and 'Blue Channel' to 3. The 'Sharpened Channel (optional)' is set to 4. The 'Output Raster Dataset' is 'H:\pan\pansharpen\_03\_04\_30.img'. The 'Panchromatic Image' is 'H:\pan\TPANSH044315\_02122010.tif'. The 'Pan-sharpening Type' is 'ESRI'. The 'Red Weight (optional)' is 1.000000 and the 'Green Weight (optional)' is 1.000000. The 'OK' button is circled in red.

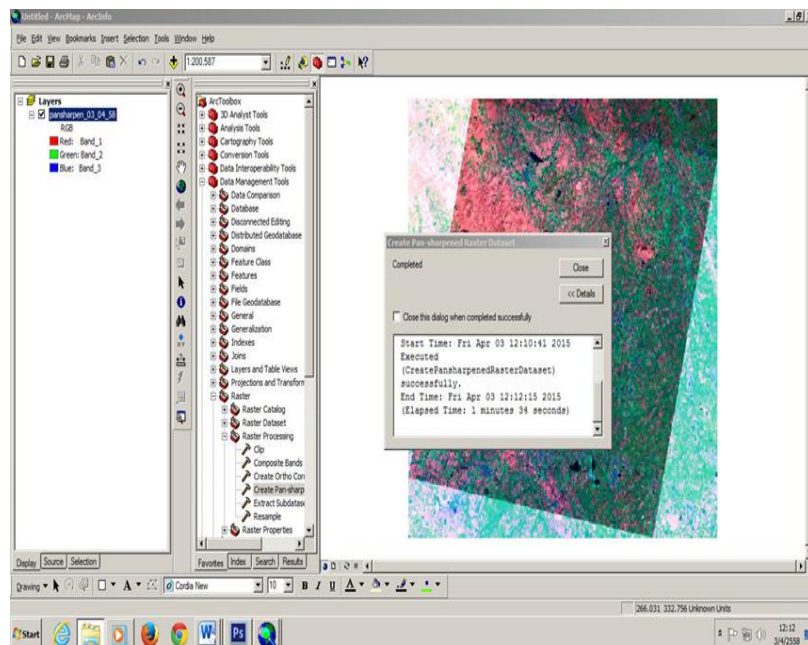
ภาพที่ 4-46 การบันทึกภาพที่ได้จากการทำ Pansharpened

6) กดตกลง จากนั้นโปรแกรมวิเคราะห์ จะมีแถบสถานะแสดงความก้าวหน้าของการวิเคราะห์ข้อมูล (ภาพที่ 4-47)

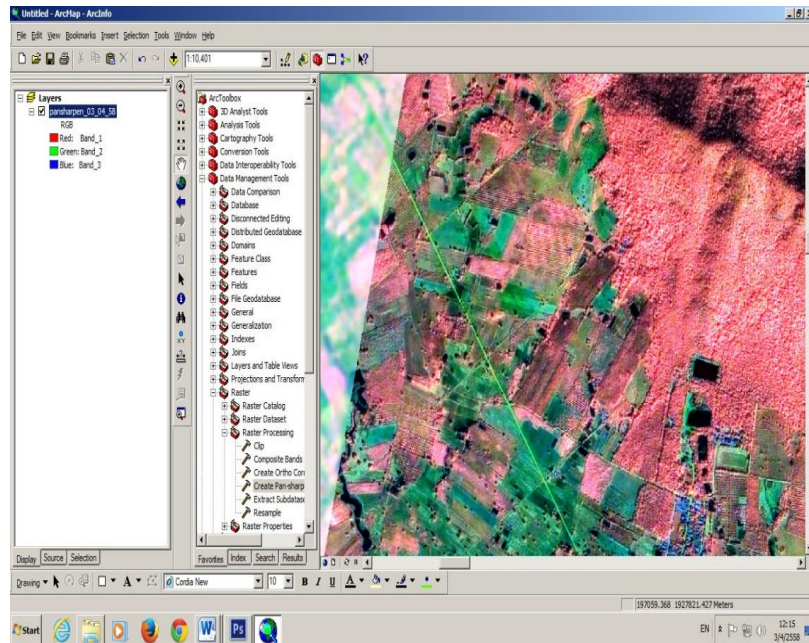


ภาพที่ 4-47 การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนการทำ Pansharpened

7) เมื่อโปรแกรมวิเคราะห์เสร็จแล้วให้กดปิดหน้าต่างการวิเคราะห์ จะได้ไฟล์ภาพใหม่ที่มีความคมชัด และมีสีชัดเจน สำหรับภาพดาวเทียมไทยโชตจะมีรายละเอียดภาพสี 2 เมตร (ภาพที่ 4-48 และภาพที่ 4-49)



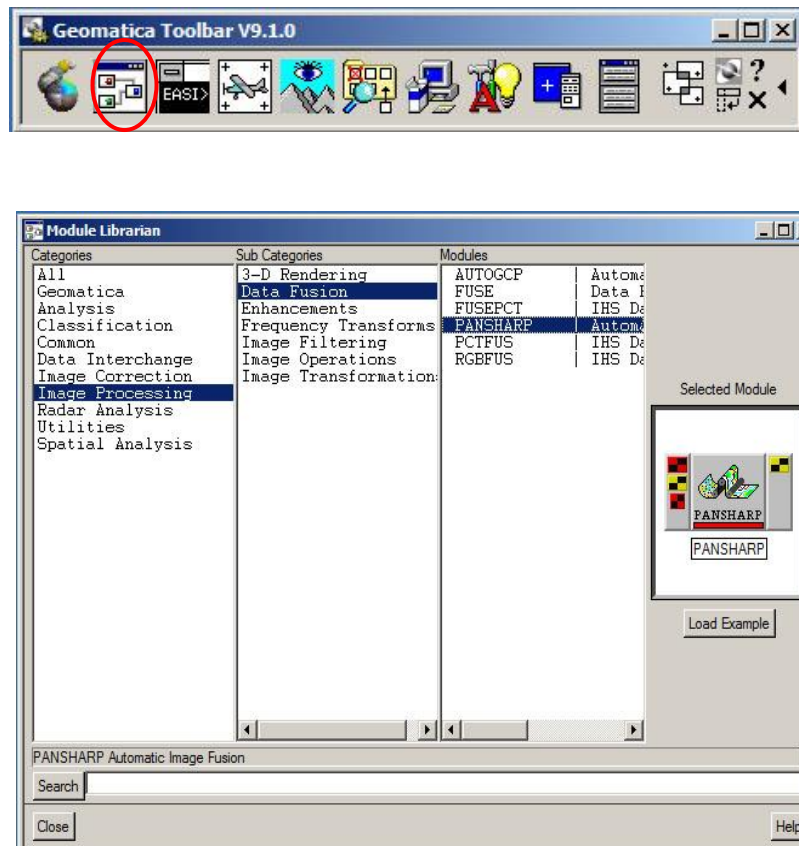
ภาพที่ 4-48 ภาพ Pansharp ที่เกิดจากการหลอมรวมของภาพหลายช่วงคลื่นและภาพช่วงคลื่นเดียว



ภาพที่ 4-49 ภาพ Pansharp ที่มีรายละเอียดและความคมชัดของข้อมูล

#### 4.10.2 การทำ Pansharpened โดยใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1

1) เปิดโปรแกรม PCI V9.1 เข้าไปที่ Module librarian เลือก Image Processing > Data Fusion > PANSHARP (ภาพที่ 4-50)



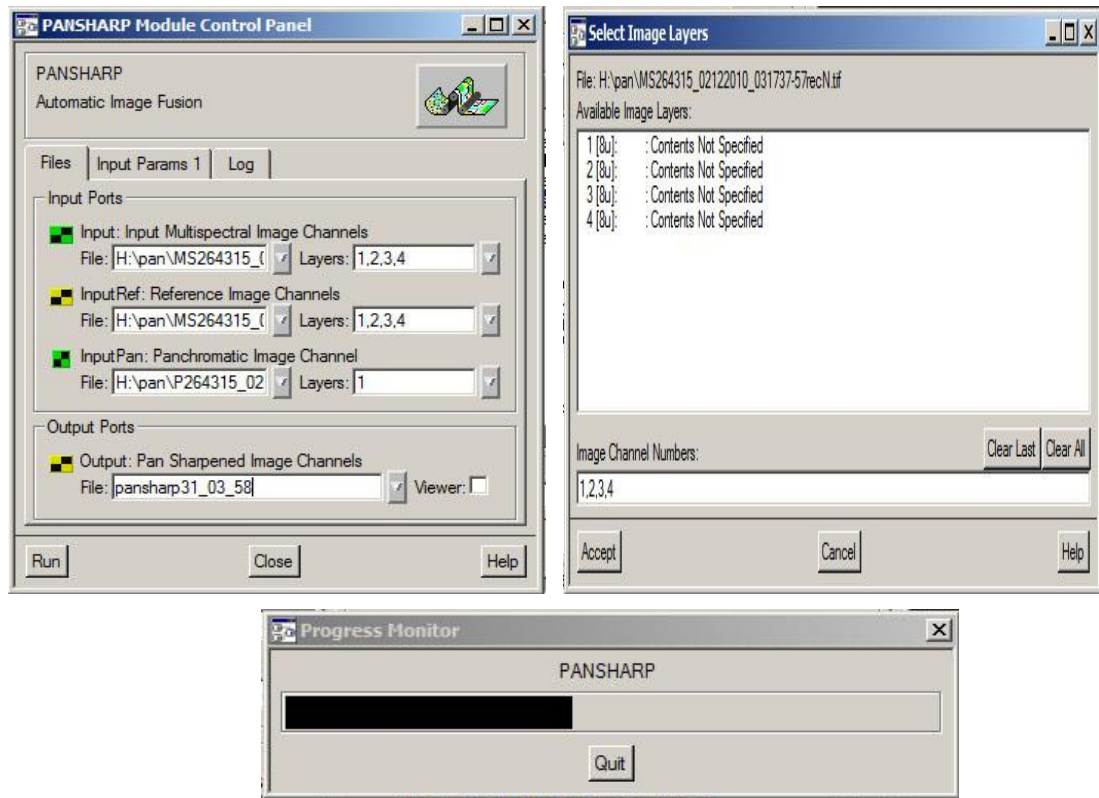
ภาพที่ 4-50 การทำ Pansharpen โดยใช้โปรแกรม PCI เวอร์ชัน 9.1

2) เมื่อเลือก Pansharpen แล้วให้คลิกที่ไฟล์ที่ Input ให้ใส่ภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral) และที่ Layers ให้ใส่ช่วงคลื่นของดาวเทียม เช่น ภาพหลายช่วงคลื่นของดาวเทียม ไทยโชตให้ใส่ ช่วงคลื่นที่ 1 ช่วงคลื่นที่ 2 ช่วงคลื่นที่ 3 และช่วงคลื่นที่ 4

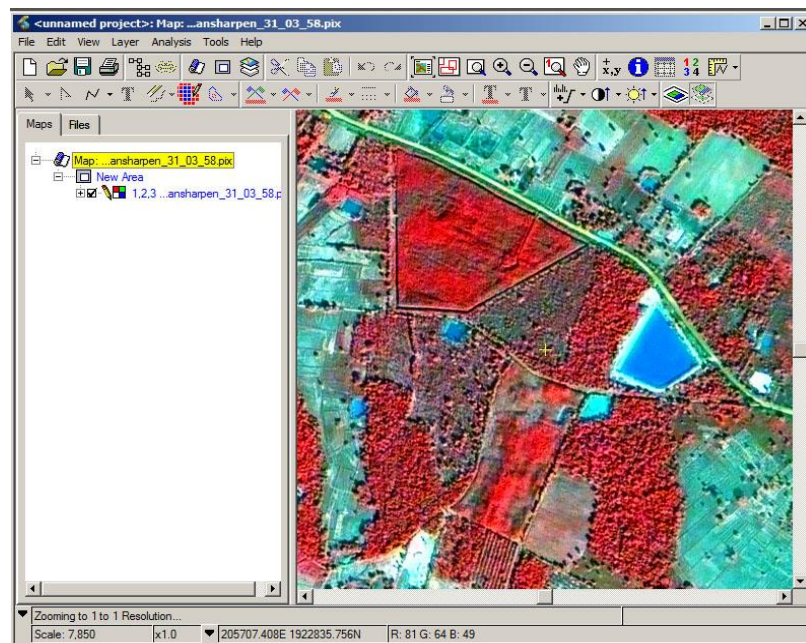
3) ใส่ Input reference image ซึ่งเป็นภาพที่จะใช้อ้างอิง จากนั้นที่ layers ให้ใส่ ช่วงคลื่นที่ 1 ช่วงคลื่นที่ 2 ช่วงคลื่นที่ 3 และช่วงคลื่นที่ 4

(4) Input Pan ให้ใส่ภาพช่วงคลื่นเดี่ยว (pan chromatic) จากนั้นที่ Layers ให้ใส่ ช่วงคลื่นเดี่ยว

(5) ใส่ชื่อไฟล์ Pansharpen จากนั้นคลิก RUN (ภาพที่ 4-51) เมื่อดำเนินการเสร็จ จะได้ภาพ Pansharpened ดังภาพที่ 4-52



ภาพที่ 4-51 การใช้ Pansharp Model



ภาพที่ 4-52 ภาพ Pansharp ที่ได้จากการหลอมรวมภาพหลายช่วงคลื่นกับภาพช่วงคลื่นเดียว

สำหรับการทำข้อมูล Pansharpen หากข้อมูลที่นำมาซ้อนทับกันไม่ตรงกัน เช่น วันที่บันทึกข้อมูล MS กับ PAN ไม่ใช่วันเดียวกันต้องทำการใส่ค่าพิกัดใหม่ก่อนทั้งสองภาพแล้วจึงทำ pansharpen ได้ นอกจากนั้นมุมในการถ่ายภาพ MS กับ PAN ต้องเป็นมุมเดียวกันด้วย

#### 4.11 การต่อภาพ (Mosaicking)

การต่อภาพดาวเทียมเป็นสิ่งจำเป็น ในกรณีที่พื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ต้องใช้ภาพถ่ายดาวเทียมหลายภาพมาต่อกัน ภาพที่นำมาต่อกันควรใช้ภาพในแนวโคจรเดียวกัน ถ้าบันทึกต่างเวลาหรือต่างแนวโคจรควรได้รับการปรับค่าสีเทมาก่อน และหลังต่อภาพแล้วไม่ควรเห็นรอยต่อระหว่างภาพที่นำมาต่อ สำหรับภาพดาวเทียมหลังจากที่เน้นภาพแล้วควรบันทึก (save) ตารางค่าสี (Lookup Table-LUT) ของแต่ละแบนด์ในภาพไว้อย่างถาวร (Save permanent LUT) เพื่อประโยชน์ในการต่อภาพ เพราะจะทำให้ค่าระดับสีเทาคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการต่อภาพ และจะทำให้ภาพคมชัดตามเดิม

สำหรับการต่อภาพดาวเทียมด้วยโปรแกรม PCI ver 9.1 มีขั้นตอนดังนี้

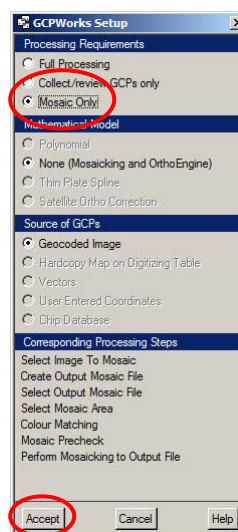
##### 4.11.1 เปิดโปรแกรม Geomatica version 9.1

- เลือกคำสั่ง GCPWorks บนหน้าต่าง Toolbar (ภาพที่ 4-53)



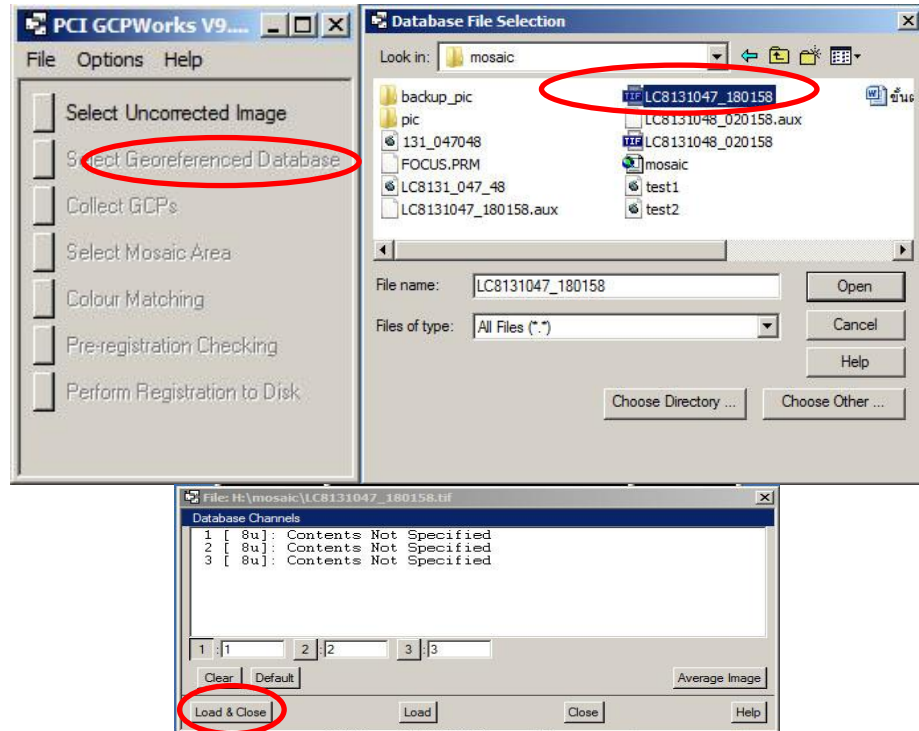
ภาพที่ 4-53 เลือกคำสั่ง GCPWorks บน Toolbar

4.11.2 ที่หน้าต่าง PCI GCPWorks Setup คลิกเลือก Mosaic Only จากนั้นคลิก Accept (ภาพที่ 4-54)



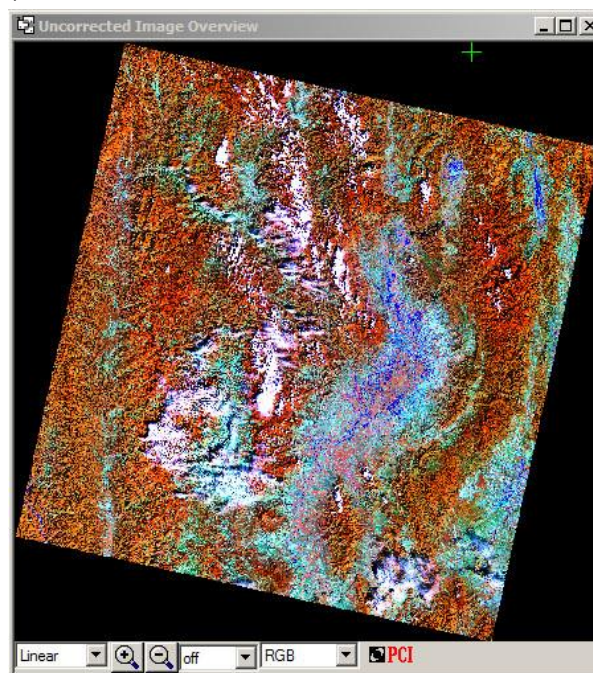
ภาพที่ 4-54 เมนูการทำภาพโมเสค

4.11.3 เลือกภาพส่วนแรกที่จะนำมาต่อ โดยเข้าไปคลิกที่ Select Image To Mosaic จากนั้นเลือกภาพที่จะนำมาต่อ (ภาพที่ 4-55)



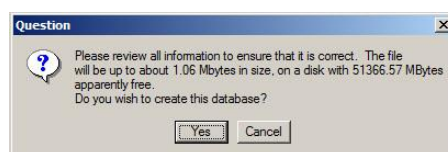
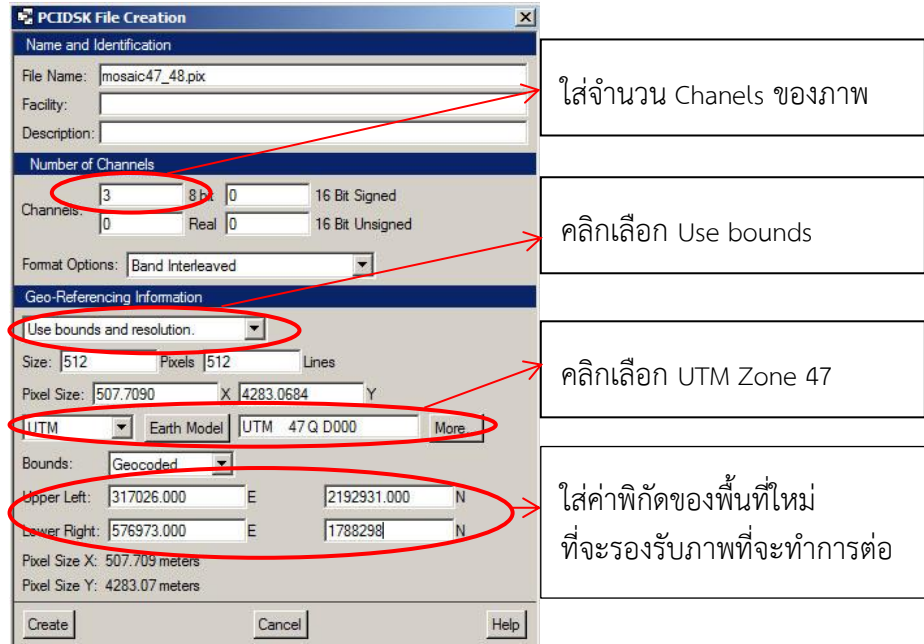
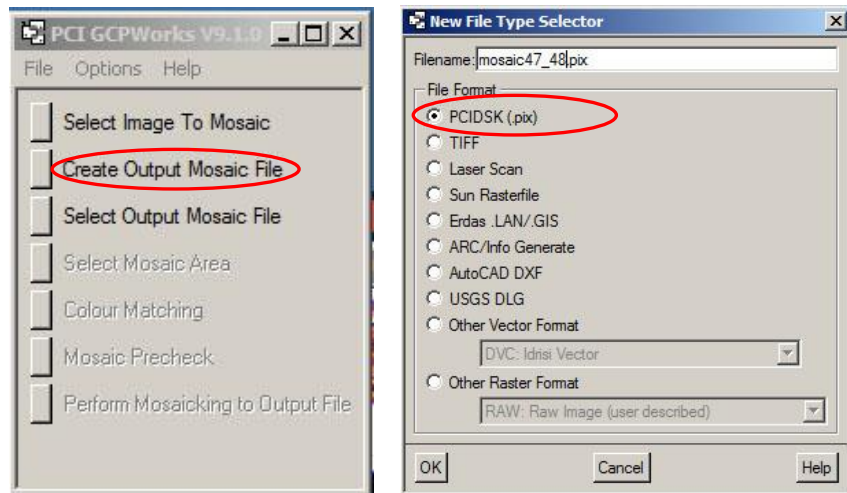
ภาพที่ 4-55 การเลือกภาพที่จะนำมาต่อ

จัดเรียง band ได้ตามต้องการแต่ในที่นี่คลิก default จากนั้น คลิก Load & close จะแสดงภาพที่จะนำมาต่อ (ภาพที่ 4-56)



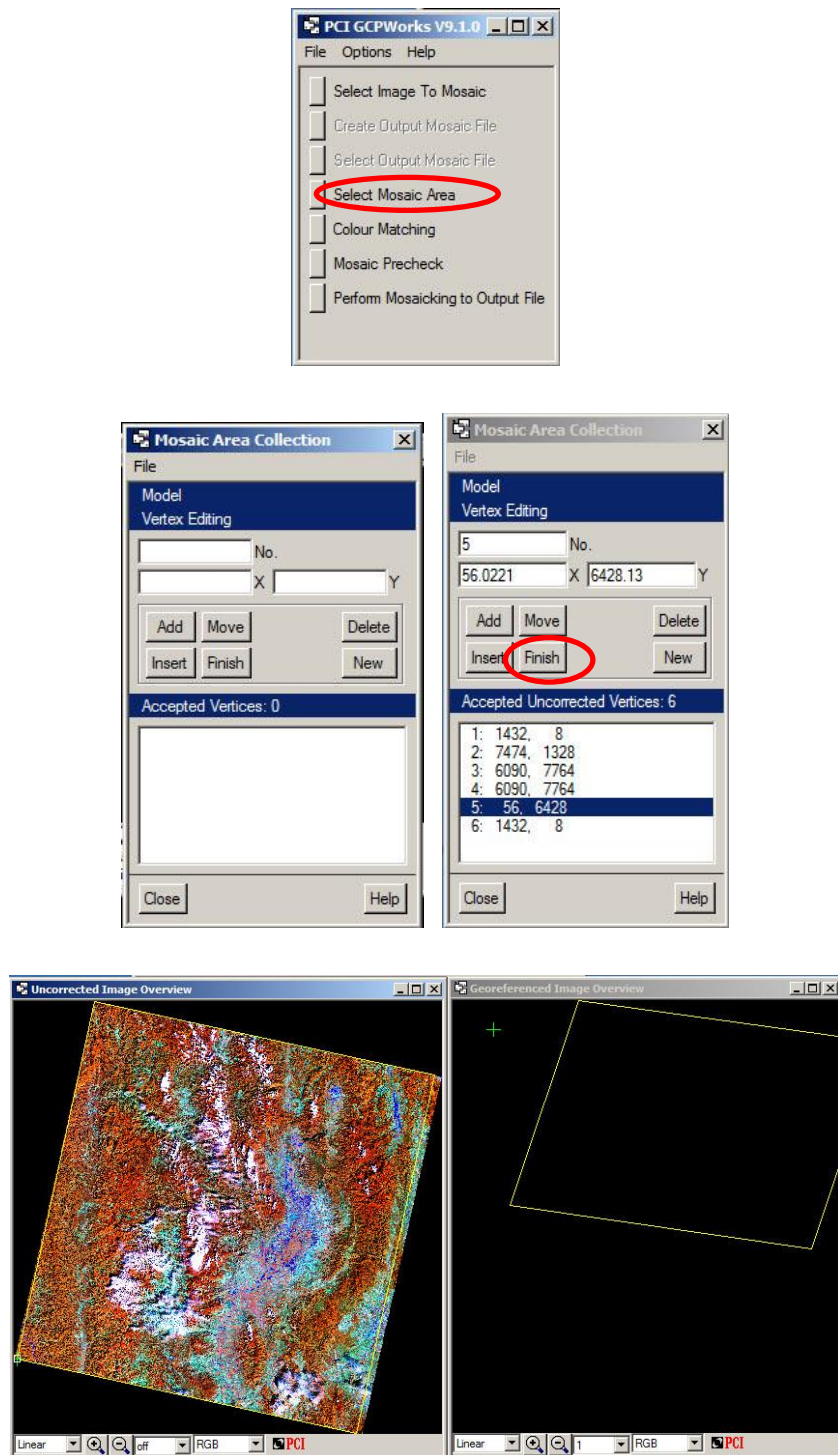
ภาพที่ 4-56 ภาพแรกที่จะนำมาต่อ

4.11.4 สร้างไฟล์ที่จะนำมาเก็บภาพที่จะทำการต่อ โดย คลิก Create Output Mosaic File ตั้งชื่อไฟล์และตำแหน่งที่เก็บไฟล์ คลิกตกลง จะปรากฏหน้าต่าง PCIDISK File Creation (ภาพที่ 4-57)



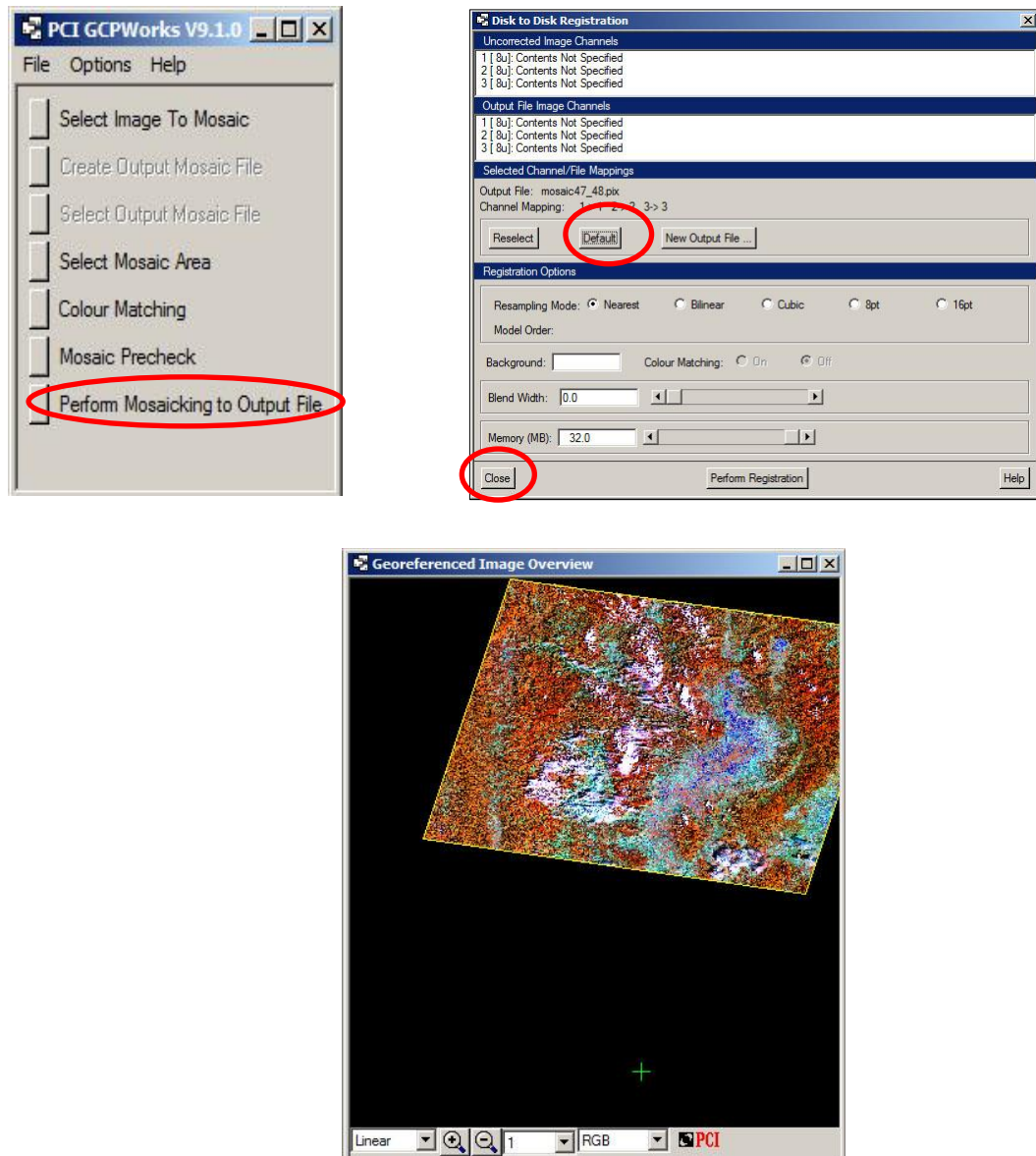
ภาพที่ 4-57 การสร้างไฟล์ที่ใช้เก็บภาพที่เกิดจากการนำภาพมาต่อกัน

4.11.5 คลิกเลือก Select Mosaic area จะปรากฏหน้าต่าง Mosaic Area Collection จากนั้นคลิก add แล้วทำการลากขอบเขตของภาพแรกที่จะนำไปต่อ เมื่อลากเสร็จคลิก Finish ปิดหน้าต่าง จะเห็นขอบเขตของภาพในภาพใหม่ (ภาพที่ 4-58)



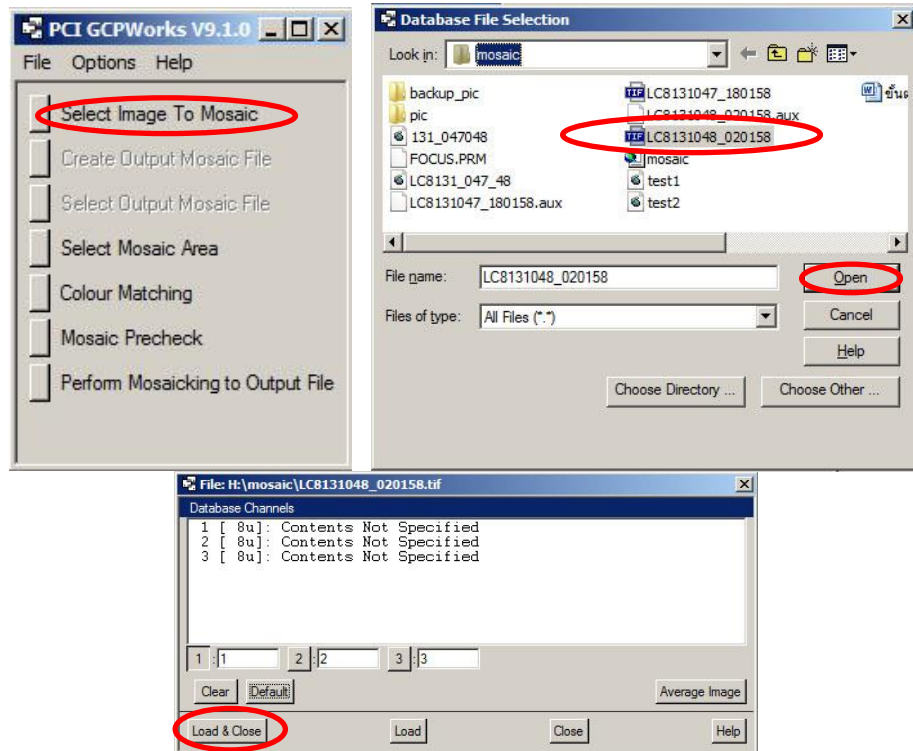
ภาพที่ 4-58 ขอบเขตของภาพแรกปรากฏในไฟล์ใหม่ที่สร้างขึ้น

4.11.6 คลิก Perform Mosaicking to Output File จะปรากฏหน้าต่าง Disk to Disk Registration คลิก Default เลือก Memory ให้เท่ากับ 32 MB เพื่อความเร็วในการประมวลผลจาก จากนั้นคลิก Perform Registration แล้วคลิก Close เพื่อปิดหน้าต่าง จะได้ภาพส่วนแรกที่ทำการต่อ (ภาพที่ 4-59)



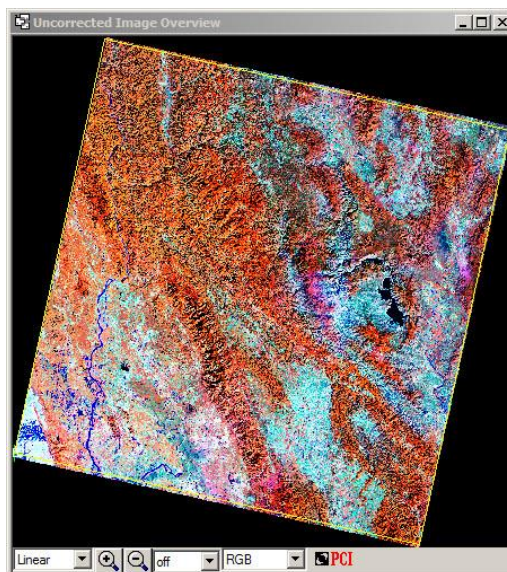
ภาพที่ 4-59 ภาพส่วนแรกที่ทำการต่อ

4.11.7 เลือกภาพส่วนที่สองที่จะนำมาต่อ โดยเข้าไปที่หน้าต่าง PCI GCPWorks คลิก Select Image To Mosaic เลือกไฟล์ภาพที่สองที่จะทำการต่อกับภาพแรก จากนั้นคลิก Open (ภาพที่ 4-60)



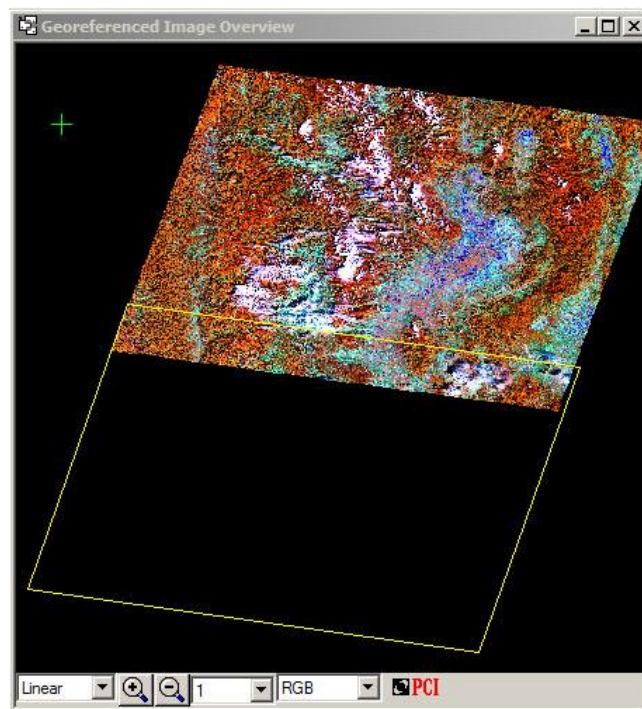
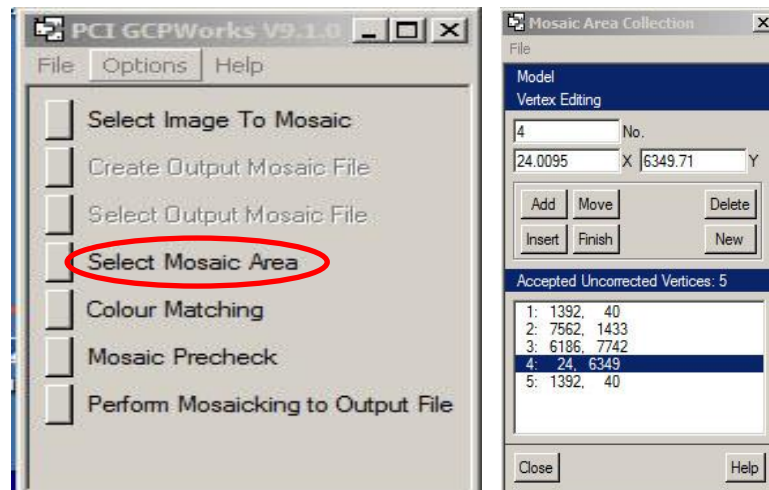
ภาพที่ 4-60 การเลือกภาพที่สองที่จะนำมาต่อ

ทั้งนี้การเลือกเลือกแบนด์ต้องให้ตรงกับภาพแรก จากนั้นคลิก Load & Close จะปรากฏภาพที่สองที่จะนำมาทำการต่อภาพ (ภาพที่ 4-61)



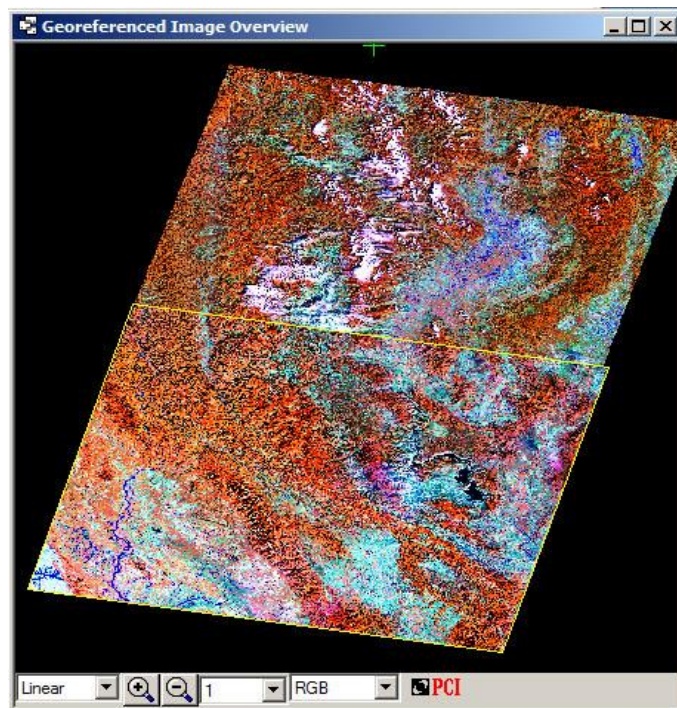
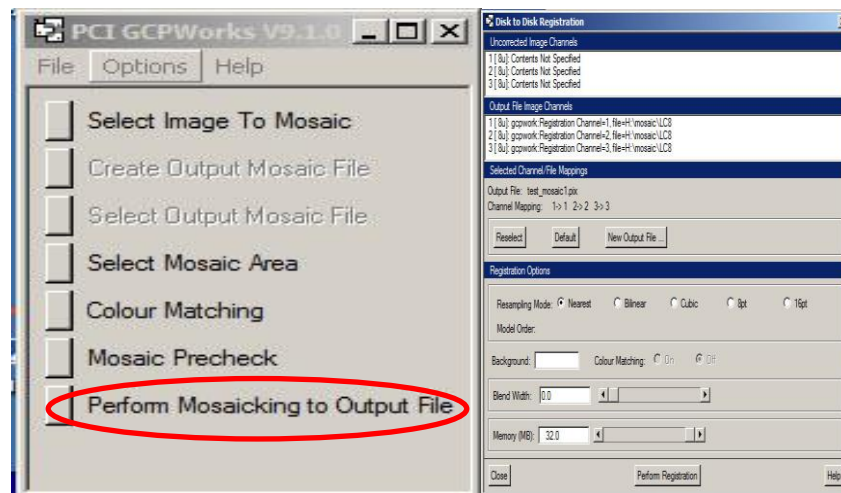
ภาพที่ 4-61 ภาพที่สองที่จะนำมาต่อภาพ

4.11.7 คลิก Select Mosaic Area จากนั้นคลิก Add เพื่อทำการลากขอบเขตของภาพที่สองที่จะทำการต่อกับภาพแรก เมื่อลากเสร็จแล้วคลิก Finish แล้วปิดโปรแกรม Close (ภาพที่ 4-62)

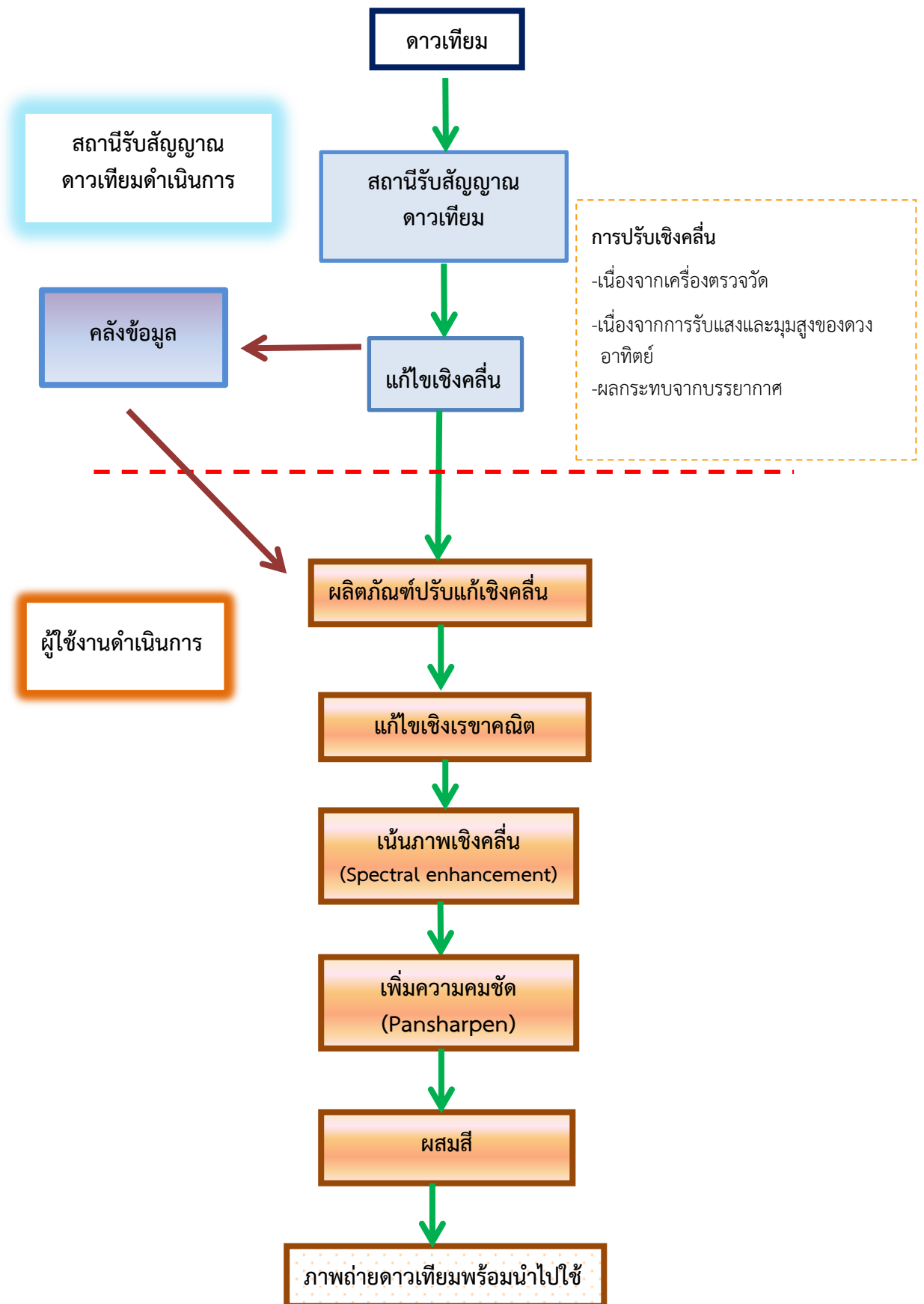


ภาพที่ 4-62 ขอบเขตของภาพแรกทีปรากฏในไฟล์ใหม่ที่สร้างขึ้น

4.11.7 คลิก Perform Mosaicking to output file จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Disk to Disk Registration คลิก Default เลือก Memory ให้เท่ากับ 32 MB เพื่อความรวดเร็วในการประมวลผล จากนั้นคลิก Perform Registration แล้วคลิก Close เพื่อปิดหน้าต่าง จะได้ภาพส่วนที่สองที่จะทำการต่อ (ภาพที่ 4-63)



ภาพที่ 4-63 ภาพที่ทำการต่อเรียบร้อยแล้ว



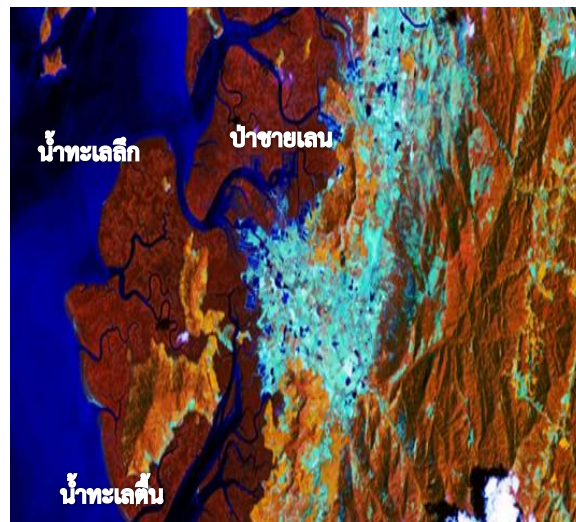
ภาพที่ 4-4 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม

### การแปลตีความและการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเมื่อทำการปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต และผ่านกระบวนการเน้นภาพ (Image enhancement) เรียบร้อยแล้ว ก็มีความพร้อมที่จะนำไปดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป คือ การแปลตีความและการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งมี 2 วิธี ได้แก่ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) และการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Image processing) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

**5.1 การแปลตีความด้วยสายตา (Visual analysis)** ให้ผลข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative) ไม่สามารถวัดออกมาเป็นค่าตัวเลขได้แน่นอน ใช้องค์ประกอบหลักที่สำคัญ (สุเทพ, 2555) ได้แก่

**5.1.1 ความเข้มของสีและสี (Tone/color)** ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนช่วงคลื่น การทำมุมกับแสง ตลอดจนการเรียงตัวของวัตถุ เช่น ป่าไม้ที่มีคลอโรฟิลล์หรือความเขียวมากปรากฏสีเขียวเข้ม ป่าโปร่งมีสีจาง น้ำลึกปรากฏสีดำหรือเข้ม น้ำตื้นหรือน้ำขุ่นมีสีจาง เป็นต้น (ภาพที่ 5-1)



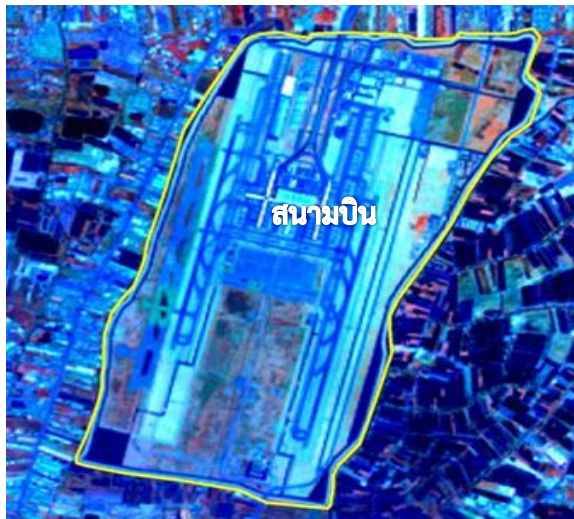
ภาพที่ 5-1 ความเข้มของสีบริเวณที่เป็นน้ำลึกมีสีเข้ม ป่าชายเลนจะมีสีแดง

**5.1.2 ขนาด (Size )** ขนาดของวัตถุที่ปรากฏในภาพซึ่งขึ้นกับรายละเอียดของจุดภาพหรือมาตราส่วนของภาพที่ปรากฏในรูปของความยาวกว้าง หรือพื้นที่ เช่น ความแตกต่างระหว่างแม่น้ำและคลองชลประทาน พื้นที่ป่าไม้ธรรมชาติและสวนป่า เป็นต้น (ภาพที่ 5-2)



ภาพที่ 5-2 แม่น้ำและคลองชลประทาน

**5.1.3 รูปร่าง (Shape)** รูปร่างของวัตถุที่เป็นเฉพาะตัว อาจสม่ำเสมอ (regular) หรือรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (irregular) เช่น สนามบิน พื้นที่นาข้าว ถนน แม่น้ำ คลองชลประทาน และเขื่อนเก็บกักน้ำ เป็นต้น (ภาพที่ 5-3 และภาพที่ 5-4)



ภาพที่ 5-3 พื้นที่สนามบิน



ภาพที่ 5-4 พื้นที่นาข้าว

**5.1.4 เนื้อภาพ (Texture) หรือความหยาบ ละเอียดของผิววัตถุ** เป็นผลมาจากความสม่ำเสมอ ของวัตถุที่รวมกันอยู่ หรือความต่อเนื่องของค่าการสะท้อน เช่น สวนยางพารามีเนื้อภาพละเอียด เนื่องจากมีขนาดความสูงใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างจากพืชไร่ และสวนผสม เป็นต้น (ภาพที่ 5-5)



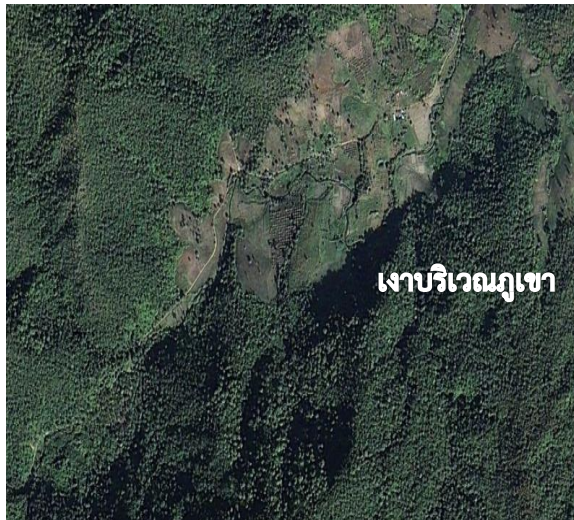
ภาพที่ 5-5 ความแตกต่างของสวนยางพาราและพืชไร่

**5.1.5 รูปแบบ (Pattern)** ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติ และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แม่น้ำ ลำคลอง กับคลองชลประทาน บ่อน้ำ สระน้ำกับเขื่อน เป็นต้น (ภาพที่ 5-6)



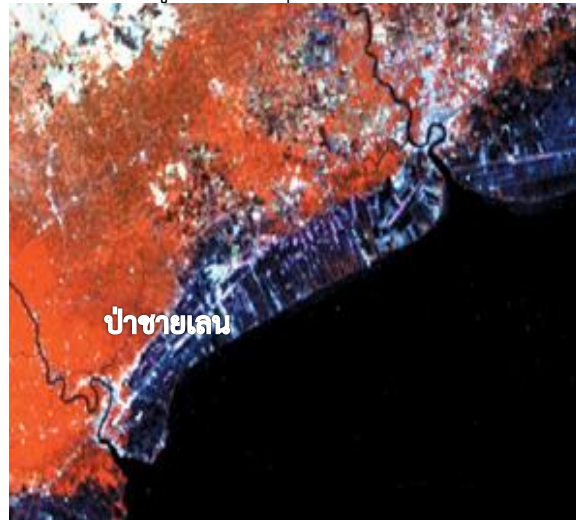
ภาพที่ 5-6 รูปแบบของเขื่อน

**5.1.6 ความสูงและเงา (Height and Shadow)** เงาของวัตถุมีความสำคัญในการพิจารณาความสูง และมุมของดวงอาทิตย์ เช่น เงาบริเวณเขา หรือหน้าผา เงาของเมฆ เป็นต้น (ภาพที่ 5-7)



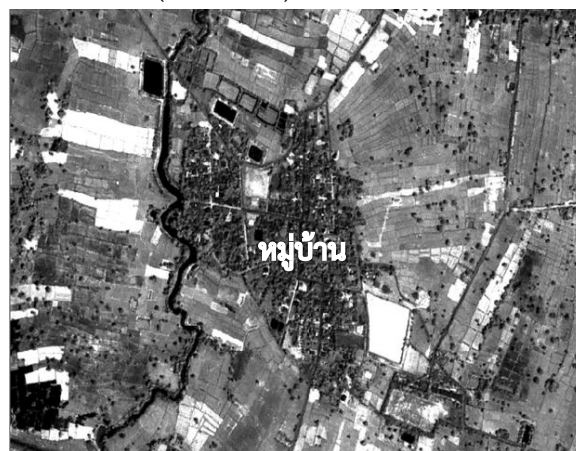
ภาพที่ 5-7 เงาบริเวณภูเขา

**5.1.7 ที่ตั้ง (Site)** หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเลน้ำท่วมถึง สนามบินอยู่ใกล้แหล่งชุมชน เป็นต้น (ภาพที่ 5-8)



ภาพที่ 5-8 พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเล

**5.1.8 ความเกี่ยวพัน (Association)** วัตถุบางอย่างมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น บริเวณที่มีต้นไม้เป็นกลุ่ม ๆ มักเป็นที่ตั้งของหมู่บ้าน ไร่เลื่อนลอยอยู่ในพื้นที่ป่าไม้บนเขา นาทุ่งอยู่บริเวณชายฝั่งร่วมกับป่าชายเลน เป็นต้น (ภาพที่ 5-9)



ภาพที่ 5-9 บริเวณที่เป็นหมู่บ้านจะมีต้นไม้ขึ้นเป็นกลุ่ม

การแปลภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อม ๆ กันตามความยากง่ายและมาตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไป รูปร่าง สี ขนาด อาจใช้เป็นองค์ประกอบในการแปลภาพพื้นที่หนึ่งหรือลักษณะหนึ่ง ส่วนอีกบริเวณหนึ่งของพื้นที่เดียวกันอาจจะใช้องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งก็ได้ ทั้งนี้การใช้คอมพิวเตอร์จะเป็นการนำเอาเฉพาะค่าการสะท้อน ซึ่งในที่นี้คือค่าความเข้มมาใช้เท่านั้น นอกจากนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลที่รับจากภาพจากดาวเทียมอีก 3 ลักษณะ มาประกอบการพิจารณา (จรัสธร, 2546) คือ

1) ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (Spectral characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นแสงในแต่ละแบนด์ โดยวัตถุต่าง ๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างกันในระดับสีขาว-ดำ ซึ่งทำให้สีแตกต่างในภาพสีผสมด้วย

2) ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (Spatial characteristic) แตกต่างตามมาตราส่วน และรายละเอียดภาพจากดาวเทียม เช่น ดาวเทียม MSS วัตถุหรือพื้นที่ขนาด 80 เมตร x 80 เมตร จึงจะปรากฏในภาพ และระบบ PLA มีขนาด 10 เมตร x 10 เมตร เมื่อคุ้นเคยกับลักษณะรูปร่างวัตถุ ทำให้ทราบลักษณะที่จำลองในภาพจากดาวเทียมจะมีลักษณะเดียวกัน

3) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปี หรือรายคาบ เป็นต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำ และภาพสีผสม ทำให้เราสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่าง ๆ ติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่า การเติบโตของพืชตั้งแต่ปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

**5.2 การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital analysis)** ให้ผลข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าตัวเลขได้ ซึ่งจะต้องมีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (data error) สัญญาณที่รบกวน (noise) และความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการถ่ายภาพ การแก้ไขความคลาดเคลื่อนของภาพเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) การผสมช่วงคลื่นเพื่อผลิตภาพสีผสม นอกจากนี้ยังใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติเพื่อจำแนกประเภทข้อมูล

การประมวลผลข้อมูล (Image analysis) เป็นขั้นตอนการจำแนกประเภทข้อมูลจากดาวเทียม มี 2 วิธี คือ

**5.2.1 การจำแนกข้อมูลแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification)** เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยค่าสถิติการสะท้อนแสงช่วงคลื่นแสงของวัตถุต่าง ๆ โดยไม่ใช้ข้อมูลภาคพื้นดินช่วยในการจำแนก เรียกว่า การจับกลุ่มของข้อมูล สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลได้ตามที่ต้องการ การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ทำได้เร็วแต่ยังไม่ค่อยถูกต้อง

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบไม่ควบคุม มีหลักเกณฑ์การจำแนกข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจำนวนชั้นที่ต้องการ (cluster class) จำนวนช่วงคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์และจำนวนครั้งในการอ่านทวนข้อมูล (iteration)

2) จำแนกข้อมูลเชิงคลื่น (spectral classification) ด้วยกฎเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง (สุเทพ, 2555) ดังนี้

- โปรแกรมจะคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม (cluster) เรียกว่า เซลล์สเตอร์ (K-cluster) แล้วทำการจำแนกให้พิทเชลใด ๆ ที่มีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ย เป็นกลุ่มข้อมูลเดียวกับกลุ่ม (K-mean clustering) นั้น ๆ

- โปรแกรมจะคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม หากกลุ่มใดมีค่าเบี่ยงเบนมากก็จะแยกกลุ่มนั้นออกเป็น 2 กลุ่ม หากมีค่าเฉลี่ยเข้าใกล้กันมากจะรวมเป็นกลุ่มเดียวกัน ถ้ากลุ่มใดมีจำนวนพิกเซลน้อยเกินไปจะตัดทิ้งไป (isodata) เหมือนกับเคมีน (K-mean)
- นาเรนด้าโกลด์เบิร์ก-คลัสเตอร์ริง (Narendra-goldberg clustering) ตามกฎเกณฑ์นี้จะใช้ฮิสโตแกรมในทุกมิติ มาจัดกลุ่มต่างจากสองวิธีแรก คือ โปรแกรมจะคำนวณ และกำหนดจำนวนกลุ่มให้ส่วนของรูปร่างในทุกมิติจะเป็นแบบ non-parametric นอกจากนี้จะไม่มีการอ่านทวนซ้ำ

**5.2.2 การจำแนกข้อมูลแบบควบคุม (Supervised classification)** เป็นการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยพื้นที่ตัวอย่างโดยการสุ่ม (sampling) ข้อมูลที่เป็นตัวแทนภาคพื้นดินลักษณะต่าง ๆ ที่ปรากฏในภาพจากดาวเทียม นำไปใช้คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่า Covariance matrix ของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวเป็นค่าตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด มีขั้นตอนการวิเคราะห์ (สุเทพ, 2554) ดังนี้

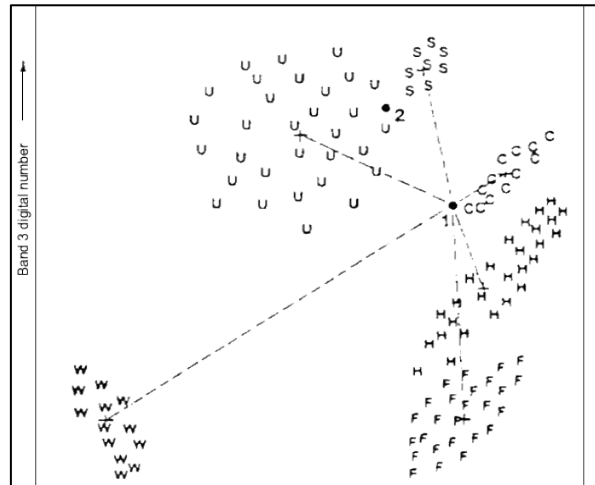
- 1) ภาพดาวเทียมบริเวณที่ต้องการปฏิบัติงานเป็นภาพผสมสี โดยเลือกช่วงคลื่นที่ต้องการให้แสดงเป็นภาพสี 3 ช่วงคลื่น ใช้การผสมสีใดก็ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
- 2) กำหนดขอบเขตพื้นที่ตัวอย่าง (Training areas) ลงบนภาพผสมสี โดยกำหนดกลุ่มพื้นที่ตัวอย่างที่แสดงถึงพืชหรือการใช้ที่ดินที่รู้แน่ชัดว่าเป็นพื้นที่ปลูก ณ ตำแหน่งนั้นจริง ซึ่งอาจใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามประกอบ
- 3) โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าสถิติของกลุ่มข้อมูลแต่ละพื้นที่ตัวอย่าง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ฮิสโตแกรมความถี่ (Histogram) ความห่างระหว่างกลุ่มพื้นที่ตัวอย่าง (Separability)

เมื่อทำการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ค่าสถิติของพื้นที่ตัวอย่างแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะต้องกำหนดวิธีการจำแนกข้อมูลภาพให้กับคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพให้กับคอมพิวเตอร์นั้น มีหลายวิธี (Lillesand and Kiefer, 1994) ดังนี้

- (1) การจำแนกข้อมูลแบบระยะห่างต่ำสุด (Minimum distance to means classifier) พิจารณาจากค่าสะท้อนช่วงคลื่นแต่ละจุดภาพ ที่มีความห่างน้อยที่สุดจากค่าจุดศูนย์กลางค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล เป็นกฎการจำแนกที่ง่ายที่สุดและทำงานได้เร็วที่สุด ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- การคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนตัวเลข (DN) ของข้อมูลตัวอย่างจากทุกช่วงคลื่นค่าเฉลี่ยนี้เรียกว่า เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย (Mean vector)
- จำนวนจุดภาพทั้งหมดที่อยู่ในข้อมูลที่จะนำมาจำแนกนั้นถูกจัดให้อยู่ในชั้นข้อมูลที่อยู่ใกล้เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของชั้นนั้น
- แนวขอบเขตของชั้นข้อมูล (Data boundary) ถูกกำหนดให้อยู่รอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย ดังนั้นหากจุดภาพใดตกอยู่นอกขอบเขตก็就会被จำแนกเป็นค่าที่ไม่ทราบ (unknown)

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ หากระยะห่างต่ำสุดของจุดภาพใกล้เคียงกับกลุ่มประเภทข้อมูลมากกว่าหนึ่งกลุ่ม การจำแนกให้จุดภาพนั้นเข้าไปอยู่ในประเภทข้อมูลหนึ่งอาจมีความผิดพลาดได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัด คือจะทำงานได้ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพกับข้อมูลที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับชั้นข้อมูลที่มีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกันและมีความแปรปรวนสูง ดังภาพที่ 5-10

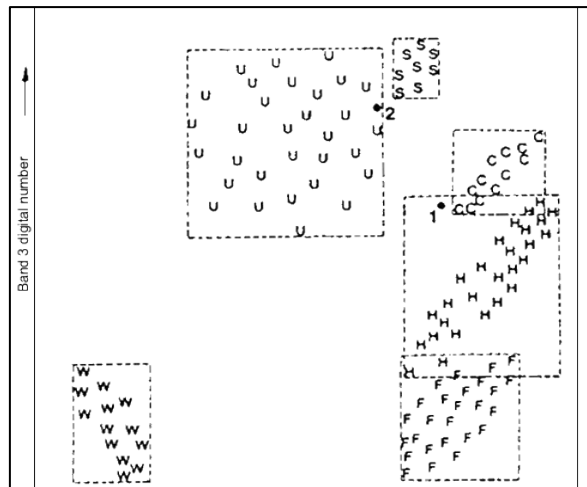


ภาพที่ 5-10 การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมด้วยวิธี Minimum Distance

ที่มา: Lillesand and Kiefer, 1994

(2) การจำแนกข้อมูลภาพแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน (Parallelepiped classifier or Box classifier) เป็นการจำแนกข้อมูลที่นิยมใช้มากที่สุดในงานประมวลผลข้อมูลเพราะทำงานได้รวดเร็ว มีขีดความสามารถในการคำนวณสูง การทำงานของวิธีนี้เป็นการจำแนกจุดภาพออกโดยกำหนดค่าจำนวนตัวเลขต่ำสุด และสูงสุดของแต่ละช่วงคลื่น หรือใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเสมือนเอกรูปสี่เหลี่ยมไปวางรอบ ๆ ชั้นข้อมูลในข้อมูลตัวอย่าง จุดภาพจะถูกจำแนกตามกลุ่มที่ตกอยู่ในขอบเขตของกรอบสี่เหลี่ยมหนึ่งดังภาพที่ 5-11

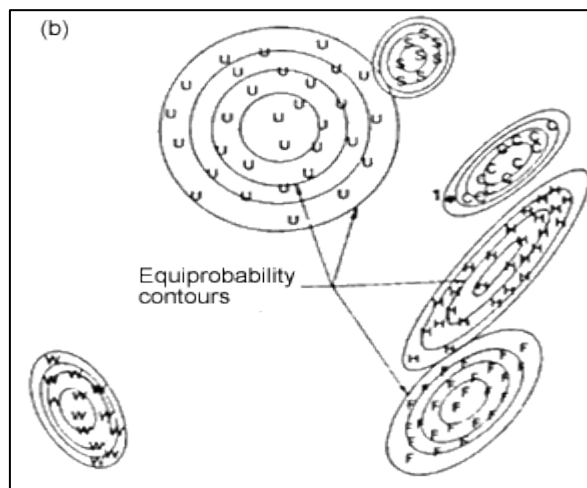
ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถคำนวณได้ผลลัพธ์รวดเร็วเนื่องจากการคำนวณไม่ซับซ้อน แต่มีข้อบกพร่องที่จะเกิดการปะปนของประเภทข้อมูลสูง เพราะค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด บางส่วนของแต่ละประเภทข้อมูลจะตกอยู่ในช่วงค่าเดียวกัน จนเครื่องไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มใดได้ เกิดเป็นข้อมูลที่จำแนกประเภทไม่ได้จำนวนมาก หรือถ้าขอบสี่เหลี่ยมซ้อนกันก็จะทำให้ยากในการตัดสินใจในการจัดจุดภาพให้อยู่ในชั้นข้อมูลประเภทใด ซึ่งจะเกิดกับข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง (High correlation) หรือค่าความแปรปรวนร่วมสูง (High covariance)



ภาพที่ 5-11 การจำแนกข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน

ที่มา: Lillesand and Kiefer, 1994

(3) การจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood classification) เป็นการจำแนกข้อมูลโดยใช้ค่า Mean vector และ Convariance matrix ของข้อมูลแต่ละประเภท แล้วคำนวณค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของแต่ละจุดภาพว่าถูกจำแนกในข้อมูลประเภทใด โดยทั่วไปวิธีนี้ให้ความถูกต้องมากที่สุด เป็นที่นิยมมากที่สุด แต่มีข้อเสียคือใช้เวลานานกว่าวิธีอื่น แต่สามารถแก้ไขได้โดยลดขนาดของข้อมูลก่อนนำมาใช้ในการจำแนกประเภท ดังภาพที่ 5-12



ภาพที่ 5-12 การจำแนกข้อมูลแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด

ที่มา: Aronoff, S. (2005)

### 5.3. ระบบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน

ระบบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน พัฒนามาจากระบบการจำแนกการใช้ที่ดินของกระทรวงเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกา (Land Use Classification System for Use with Remote-sensor Data) มีการจำแนกสภาพการใช้ที่ดินหลักออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย

- 1) **พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง** เป็นการจำแนกที่ดินเพื่อใช้ประโยชน์เป็นที่อยู่อาศัย แหล่งชุมชน ตัวเมืองและย่านการค้า หรือสิ่งปลูกสร้างที่เกี่ยวข้องกับเมือง และชุมชน เช่น สถานที่ราชการ สถาบันต่าง ๆ ถนน สนามบิน สถานีรถไฟ สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ สนามกอล์ฟ พื้นที่อุตสาหกรรมซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นต้น
- 2) **พื้นที่เกษตรกรรม** เป็นการจำแนกที่ดินเพื่อใช้ในการปลูกพืช เช่น นาข้าว พืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน ไร่มวนเวียนทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ พืชน้ำ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เกษตรผสมผสาน ไร่นาสวนผสม เป็นต้น
- 3) **พื้นที่ป่าไม้** เป็นการจำแนกตามลักษณะของป่า เช่น ป่าดิบพรุสภาพพื้นที่พรุ ป่าดิบสมบูรณ์ ป่าผลัดใบพรุสภาพพื้นที่พรุ ป่าผลัดใบสมบูรณ์ สวนป่าพรุสภาพพื้นที่พรุ สวนป่าสมบูรณ์ เป็นต้น
- 4) **พื้นที่แหล่งน้ำ** เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร่นา คลองชลประทาน เป็นต้น
- 5) **พื้นที่เบ็ดเตล็ด** เช่น พื้นที่ลุ่ม ทุ่งหญ้า ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม เหมืองเก่า บ่อขุดเก่า เหมืองแร่ บ่อลูกรัง บ่อทราย บ่อดิน ที่หินโผล่ ที่ทิ้งขยะ พื้นที่ถม เป็นต้น

จากนั้นมีการแบ่งประเภทการใช้ที่ดินระดับย่อยอย่างเป็นระบบไปสู่หน่วยย่อยใน ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 เช่น ระดับที่ 1 พื้นที่เกษตรกรรม ระดับที่ 2 จะแบ่งย่อยเป็น ประเภท เกษตรกรรม เช่น พื้นที่นาข้าว พืชไร่ ไม้ยืนต้น เป็นต้น ระดับที่ 3 จะแย่งย่อยจากระดับที่ 2 ลงไปอีก เช่น พื้นที่นาข้าว จะแบ่งออกเป็น นาไร่ นาข้าว พืชไร่ผสม จะแบ่งออกเป็น พืชไร่ผสม ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น ไม้ยืนต้น แบ่งออกเป็น ไม้ยืนต้นผสม ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ยูคาลิปตัส เป็นต้น ดังตัวอย่างในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ตัวอย่างการจำแนกใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) ของกรมพัฒนาที่ดิน

| ระดับ/Level 1     | ระดับ/Level 2 |                          | ระดับ/Level 3 |                          |                       |
|-------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|
| A                 | A1            | พื้นที่นา Paddy field    | A100          | นาร้าง                   | Abandoned paddy field |
| พื้นที่เกษตรกรรม  |               |                          | A101          | นาข้าว                   | Active paddy field    |
| Agricultural land | A2            | พืชไร่ Field crop        | A200          | ไร่ร้าง                  | Abandoned field crop  |
|                   |               |                          | A201          | พืชไร่ผสม                | Mixed field crop      |
|                   |               |                          | A202          | ข้าวโพด                  | Corn                  |
|                   |               |                          | A203          | อ้อย                     | Sugarcane             |
|                   |               |                          | A204          | มันสำปะหลัง              | Cassava               |
|                   |               |                          | A205          | สับปะรด                  | Pineapple             |
|                   |               |                          | A206          | ยาสูบ                    | Tobacco               |
|                   |               |                          | A2...         | .....                    | .....                 |
|                   | A3            | ไม้ยืนต้น Perennial crop | A300          | ไม้ยืนต้นร้าง/เสื่อมโทรม | Abandoned perennial   |
|                   |               |                          | A301          | ไม้ยืนต้นผสม             | Mixed perennial       |
|                   |               |                          | A302          | ยางพารา                  | Para rubber           |
|                   |               |                          | A303          | ปาล์มน้ำมัน              | Oil palm              |
|                   |               |                          | A304          | ยูคาลิปตัส               | Eucalyptus            |
|                   |               |                          | A305          | สัก                      | Teak                  |
|                   |               |                          | A306          | สะเดา                    | Magosa                |
|                   |               |                          | A3...         | .....                    | .....                 |

## บทที่ 6

### บทสรุป

คู่มือการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินเป็นองค์ความรู้ในการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) ชนิดของดาวเทียมที่นำมาใช้ในปัจจุบัน การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม ตลอดจนสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการสำรวจระยะไกล มาใช้ในการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำไปใช้ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้ในการสำรวจ และวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน สรุปขั้นตอนได้ ดังนี้

#### 6.1 การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction)

ก่อนการนำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์ จะต้องมีการปรับแก้เชิงเรขาคณิต เพราะพิกัดตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง เนื่องจากข้อบกพร่องทางเครื่องรับสัญญาณ และรูปลักษณะของวัตถุ การตรวจแก้เชิงเรขาคณิตมีความจำเป็นมากหากต้องการนำข้อมูลจากระยะไกลไปใช้ศึกษาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงแผนที่อื่น ๆ

ขั้นตอนการปรับแก้ทางเรขาคณิต แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

##### 6.1.1 การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCPs)

การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวนจุด GCPs ควรมีมากพอ และกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งพื้นที่ของภาพ เพื่อควบคุมการแปลงพิกัด (Transformation) ให้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ นอกจากนี้ตำแหน่งของจุด GCP ควรครอบคลุมทั่วทั้งภาพรวมถึงบริเวณมุมภาพด้วย

สำหรับวิธีกำหนดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้กับข้อมูลภาพ มี 2 วิธีการ ได้แก่

1) การกำหนดระบบพิกัดระหว่างภาพกับภาพ (Image to image) เป็นการสร้างความสัมพันธ์ของระบบพิกัดของข้อมูลภาพ 2 ภาพ หรือ มากกว่า ระหว่างข้อมูลภาพที่ไม่มีระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Ungeocoded image) กับข้อมูลภาพในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geocoded image) หรือข้อมูลอ้างอิง เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่ไม่มีพิกัดให้เป็นระบบพิกัดใหม่จากระบบพิกัดของข้อมูลอ้างอิง

2) การกำหนดระบบพิกัดระหว่างภาพกับแผนที่ (Image to map) เป็นการกำหนดจุด GCPs ให้กับข้อมูลภาพที่ต้องการให้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยอ้างอิงจากข้อมูลเชิงเส้นที่มีอยู่แล้ว โดยใช้ข้อมูลจากระบบกำหนดพิกัดพื้นโลกด้วยสัญญาณดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) ใช้แผนที่ภูมิประเทศ หรือแผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic map) ที่มีระบบพิกัดภูมิศาสตร์เป็นระบบ UTM เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง

##### 6.1.2 การแปลงค่าพิกัด (Co-ordinate transformation)

การแปลงค่าพิกัด เป็นการดึงภาพที่บิดเบือนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยมีจุด GCP เป็นจุดตรึงตำแหน่งต่าง ๆ ผลการคำนวณจะระบุค่าความ

คลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square : RMS) ของแต่ละจุดโดยทั่วไปค่า RMS ที่ยอมรับได้จะมีค่าบวก หรือ ลบไม่เกิน 1 จุดภาพ ถ้า RMS มีค่าสูงแสดงว่ามี ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมาก

### 6.1.3 การสุ่มตัวอย่างซ้ำ (Resampling)

การสุ่มตัวอย่างซ้ำ เป็นการปรับค่าระดับสีเทา (Digital Number-DN value) ของข้อมูลใหม่โดยการ Resampling interpolation เพื่อให้ค่าระดับสีเทาที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง วิธี Resampling โดยการประมาณค่าจากตำแหน่งใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor interpolation : NN) การประมาณค่าแบบเส้นคู่ (Bi-Linear interpolation: BL) หรือการประมาณค่าแบบการประสานเชิงลูกบาศก์ (Cubic Convolution interpolation : CC)

## 6.2 การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลภาพ (Image enhancement)

การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลภาพ เป็นการเพิ่มความชัดเจนของข้อมูลภาพ หรือเพิ่มความแตกต่างระหว่างวัตถุ เพื่อช่วยให้การตีความประเภวัตถุด้วยสายตาได้ง่ายขึ้น ซึ่งส่วนมากในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจะเน้นความคมชัดของภาพ (Contrast stretch) ด้วยการยืดข้อมูลแบบเส้นตรง (Linear contrast stretch)

สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ สรุปได้ดังนี้

- 6.2.1 เลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการนำมาปรับความคมชัดของภาพ
- 6.2.2 ปรับค่าสีความคมชัดของภาพด้วยการยืดข้อมูลแบบเส้นตรง
- 6.2.3 ยืดข้อมูลภาพเชิงตัวเลขเดิมที่เกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงแคบ ๆ ให้กระจายให้กว้างขึ้น
- 6.2.4 บันทึกภาพที่ทำการปรับความคมชัดแล้ว

## 6.3 การผสมสี

การผสมสีเป็นการนำข้อมูลแต่ละช่วงคลื่นครั้งละ 3 ช่วงคลื่นมาผสมรวมกันโดยใช้แม่สีของแสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง จะได้ภาพสีผสม ช่วยในการแปลตีความด้วยสายตาได้ดีกว่าภาพระดับสีเทา การทำภาพสีผสมนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้เพื่อแยกรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้ชัดเจน ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน นิยมใช้สีผสมเท็จโดยการผสมสีให้พืชพรรณเป็นสีแดง เนื่องจากสายตาของมนุษย์สามารถแยกแยะได้ดีกว่าสีอื่น ๆ โดยมีหลักการผสมสี ดังนี้

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ให้ผ่านฟิลเตอร์สีแดง

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีแดง ให้ผ่านฟิลเตอร์สีเขียว

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีเขียว ให้ผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

กรณีที่ดาวเทียม มีช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น จะช่วยให้การแยกพืชพรรณมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ให้ผสมสี ดังนี้

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ให้ผ่านฟิลเตอร์สีแดง

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น ให้ผ่านฟิลเตอร์สีเขียว

ข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีเขียว ให้ผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

## 6.4 การทำ Pansharpenning

การทำ Pansharpenning เป็นการปรับเพื่อต้องการให้ได้ภาพที่มีความคมชัดของรายละเอียดจุดภาพ (resolution) และเป็นภาพสี การทำภาพแบบนี้นิยมใช้กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงที่มีระบบการบันทึกภาพช่วงคลื่นเดียว (panchromatic) และภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral) พร้อมกัน เช่น ดาวเทียม IKONOS QuickBird WorldView และ GeoEye หรือจะเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดปานกลางก็ได้ เช่น แลนด์แซท SPOT หรือ ไทยโชด

สำหรับขั้นตอนการทำ Pansharpenning สรุปได้ดังนี้

- 6.4.1 เลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่เป็นภาพหลายช่วงคลื่น
- 6.4.2 เรียงช่วงคลื่นตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
- 6.4.3 ตั้งชื่อไฟล์ใหม่ที่จะทำการบันทึก
- 6.4.4 เลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่เป็นภาพช่วงคลื่นเดียว
- 6.4.5 บันทึกไฟล์

## 6.5 การต่อภาพ (Mosaicking)

ในกรณีที่พื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ต้องใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายภาพมาต่อกัน ภาพที่นำมาต่อกันควรใช้ภาพในแนวโคจรเดียวกัน ถ้าบันทึกต่างเวลาหรือต่างแนวโคจรควรได้รับการปรับค่าสีเทามาก่อน และหลังต่อภาพแล้วไม่ควรเห็นรอยต่อระหว่างภาพที่นำมาต่อ สำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลังจากที่เน้นภาพแล้วควรบันทึก (Save) ตารางค่าสี (Lookup table -LUT) ของแต่ละช่วงคลื่นในภาพไว้อย่างถาวร (Save permanent LUT) เพื่อประโยชน์ในการต่อภาพ เพราะจะทำให้ค่าระดับสีเทาคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการต่อภาพ และจะทำให้ภาพคมชัดตามเดิม

สำหรับขั้นตอนการต่อภาพ สรุปได้ ดังนี้

- 6.5.1 เลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่เป็นมาสเตอร์
- 6.5.2 เลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่จะนำมาต่อ
- 6.5.3 กำหนดขอบเขตบริเวณที่จะทำการต่อ
- 6.5.4 กำหนดชื่อไฟล์ของภาพหรือแผนที่เมื่อต่อเสร็จแล้ว
- 6.5.5 ใช้คำสั่ง Mosaic จากซอฟต์แวร์
- 6.5.6 บันทึกไฟล์

6.6 การแปลตีความและการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม มี 2 วิธี ได้แก่ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) และการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Image processing)

6.6.1 การแปลตีความด้วยสายตา (Visual analysis) ใช้องค์ประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ ความเข้มของสีและสี ขนาดและรูปร่างของวัตถุ เนื้อภาพหรือความหยาบละเอียดของผิววัตถุ รูปแบบ ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุ ความสูง และเงาของวัตถุ ที่ตั้ง หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ ความเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

6.6.2 การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital analysis) เป็นขั้นตอนการจำแนกประเภทข้อมูลจากดาวเทียมมี 2 วิธี คือ

### 1) การจำแนกข้อมูลภาพแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification)

เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยค่าสถิติการสะท้อนแสงช่วงคลื่นแสงของวัตถุต่าง ๆ โดยไม่ใช้ข้อมูลภาคพื้นดินช่วยในการจำแนก เรียกว่า การจับกลุ่มของข้อมูล สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลได้ตามที่ต้องการ

### 2) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (Supervised classification)

เป็นการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยพื้นที่ตัวอย่าง (training area) โดยการสุ่ม (sampling) ข้อมูลที่เป็นตัวแทนภาคพื้นดินลักษณะต่าง ๆ ที่ปรากฏในภาพจากดาวเทียม นำไปใช้คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่า Covariance matrix ของแต่ละประเภทข้อมูล แล้วจึงทำการจำแนกประเภทข้อมูล

## 6.7 ข้อควรระวังในการเตรียมข้อมูลดาวเทียม

### 6.7.1 การเลือกภาพ

1) การเลือกระบบบันทึกข้อมูลต้องตรงกับวัตถุประสงค์ที่จะใช้งาน เนื่องจากปัจจุบันมีดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโคจรหลายดวง เช่น ดาวเทียมแลนด์แซท 8 ดาวเทียมไทยโชต ดาวเทียม SPOT ดาวเทียม Radasat เป็นต้น มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น อุปกรณ์การรับรู้ (sensors) ช่วงคลื่น (wavelength) รายละเอียดจุดภาพ (resolution) พื้นที่ครอบคลุม (area coverage) การบันทึกภาพบริเวณเดิม (Repetitive coverage) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานจะต้องศึกษาคุณสมบัติของดาวเทียมก่อน เพื่อจะได้นำไปใช้งานได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์

2) ปฏิทินการเพาะปลูก เนื่องจากพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิดจะมีช่วงเวลาการเพาะปลูก และการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ควรจะใช้ข้อมูลที่มีการบันทึกในช่วงที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุด เช่น พืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชไร่ซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 ฤดูกาลเพาะปลูก มักจะมีระยะการเจริญเติบโตสูงสุดในช่วงฤดูฝน ควรจะใช้ข้อมูลที่มีการบันทึกในฤดูฝน (ตุลาคม) ซึ่งจะให้ข้อมูลได้ถูกต้องที่สุด ในขณะที่เดียวกันในกรณีที่ต้องทำการศึกษาพื้นที่ปลูกพืชฤดูแล้ง ควรใช้ข้อมูลที่มีในเดือนมีนาคม เป็นต้น

4) มาตรฐานของแผนที่ที่ต้องการจัดทำ เช่น แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ควรใช้ข้อมูลดาวเทียมที่มีรายละเอียดจุดภาพไม่ต่ำกว่า 30 เมตร แผนที่มาตราส่วน 1:25,000 ควรใช้ข้อมูลดาวเทียมที่มีรายละเอียดจุดภาพไม่ต่ำกว่า 2 เมตร และแผนที่มาตราส่วน 1:4,000 ควรใช้ข้อมูลดาวเทียมที่มีรายละเอียดจุดภาพไม่ต่ำกว่า 1 เมตร เป็นต้น

5) การเลือกช่วงคลื่นเพื่อเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) ในกรณีที่ใช้ดาวเทียมที่มีระบบ Multispectral band การเลือกใช้ช่วงคลื่นให้เหมาะกับวัตถุประสงค์ในการจัดทำแผนที่ เช่น อินฟราเรดใกล้ (near infrared) เหมาะสำหรับศึกษาด้านพืชพรรณ การแยกแยะดินกับน้ำ อินฟราเรดคลื่นสั้น (short wave infrared) เหมาะสำหรับศึกษาด้านการใช้ที่ดิน อินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) เหมาะสำหรับศึกษาโรคพืชเนื่องจากความร้อน ความแตกต่างของความร้อนในพื้นที่ศึกษา ความแตกต่างของความชื้นของดิน เป็นต้น

### 6.7.2 การปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต

1) การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน จะต้องเป็นจุดที่ตำแหน่งใดก็ได้บนข้อมูลดาวเทียมและปรากฏได้ชัดเจนเป็นจุดเดียวกันบนข้อมูลอ้างอิง ๆ ซึ่งมีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ถูกต้อง เช่นแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ภาพออร์โธรีของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยการเลือกตำแหน่งจะต้องเลือกให้ครอบคลุมทั่วทั้งภาพรวมถึงบริเวณมุมภาพด้วย ต้องเป็นจุดที่สังเกตง่าย เช่น จุดตัดของวัตถุต่าง ๆ (สี่แยกถนนตัดกัน สะพานข้ามแม่น้ำ หรือ สะพานข้ามทางรถไฟ) มุมของวัตถุ หรือ วัตถุที่มีมุมแหลม (แปลงที่ดิน มุมอาคาร) จำนวนจุดควบคุม ควรมีมากพอและกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งพื้นที่ของภาพ เพื่อควบคุมการแปลงพิกัด (Transformation) ให้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่

2) การทำ Pansharpened ควรเลือกภาพดาวเทียมที่บันทึกข้อมูล MS กับ PAN วันเดียวกัน หากวันที่บันทึกข้อมูล MS กับ PAN ไม่ใช่วันเดียวกันต้องทำการใส่ค่าพิกัดใหม่ก่อนทั้งสองภาพแล้วจึงนำมาทำ pansharpen ได้

3) ก่อนแปลและตีความภาพจากดาวเทียม ควรศึกษาด้านโครงสร้างและลักษณะของภูมิประเทศ ควรมีความรู้ในสาขาที่จะแปลภาพเป็นอย่างดี เช่น ความรู้ทางด้านการเกษตร ความรู้ทางด้านป่าไม้

### ประโยชน์ที่ได้รับ

สำหรับคู่มือการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินเล่มนี้ เป็นการให้ความรู้เกี่ยวกับการสำรวจระยะไกล ดาวเทียมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดาวเทียมอื่น ๆ นอกเหนือจากที่นำเสนอในคู่มือเล่มนี้ นอกจากนั้นขั้นตอนการใช้โปรแกรมด้านสำรวจระยะไกลในการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง มีประโยชน์ในการดำเนินงานในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- จรัสธร บุญญาณภาพ. 2546. การสำรวจข้อมูลระยะไกล. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก, 189 หน้า.
- เชาวลิต ศิลปะทอง. 2550. หลักการเบื้องต้นการสำรวจระยะไกล. เอกสารประกอบการอบรม เทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกล 16-25 มกราคม 2550. 29 หน้า.
- สโรชา โพธิ์กระจำว (ม.ป.ป.) หลักการของรีโมทเซนซิง. แหล่งที่มา <http://remote1m.blogspot.com/2014/11/blog-post.html>, 15 ตุลาคม 2556.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. 2552. ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์.ISBN: 978-611-12-0008-9 เมษายน 2552. บริษัท อมรินทร์ พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ. 331 หน้า.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2556. การรับรู้ระยะไกล แหล่งที่มา. [http://www.gistda.or.th/gistda\\_n/](http://www.gistda.or.th/gistda_n/), 15 ตุลาคม 2556.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). ม.ป.ป. คู่มือผลิตภัณฑ์ภาพจากดาวเทียมแบบออร์โธ (Ortho Image Product). 28 หน้า.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2553. คุณลักษณะของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร. 6 หน้า.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน): 2556. ดาวเทียม LANDSAT-8. แหล่งที่มา <http://www.gistda.or.th>, 11 มีนาคม 2557.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน): 2557. คู่มือการใช้งานระบบสืบค้นข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-8. 22 หน้า.
- สุเทพ ชุติรัตน์พันธุ์. 2555. คู่มือการวิเคราะห์ข้อมูลและการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยระบบการจำแนกสิ่งปกคลุมดินขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ 69 หน้า.
- สุรณี อิงคากุล. 2548. การวิเคราะห์ข้อมูลระยะไกล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 267 หน้า.

สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์. 2536 การรับรู้ระยะไกล. แหล่งที่มา [http://www.tobthong.rbru.ac.th/wp-content/uploads/2015/09/GI\\_13](http://www.tobthong.rbru.ac.th/wp-content/uploads/2015/09/GI_13), 10 สิงหาคม 2556.

หน่วยวิจัยระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. 2553. เรียนรู้การใช้งานโปรแกรม PCI/EasyPace. แหล่งที่มา <http://www.gis2me.com/th/?p=1317>, 10 มิถุนายน 2558.

แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2557.[http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro\\_sub\\_content.php?content\\_id=34&content\\_folder\\_id=416](http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=34&content_folder_id=416), 15 สิงหาคม 2558.

เอกราช ปรีชาชน และเครือข่าย จำปาเงิน. 2550. การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, กรุงเทพฯ. 51 หน้า.

Aronoff, S. 2005. Remote Sensing for GIS manager. 1<sup>st</sup> ed [n.p.], Reland ESRI press.

ERDAS. 1999. ERDAS Field Guide. ERDAS, Inc Atlanta, Georgia pp.134-155.

Geo-informatics and Space Technology Development Agency (Public Organizations). 2010. THEOS User Guide History of Scientists and Technology. 140 p.

Lillesand T.M. and R.W.Kiefer ,1994. Remote sensing and image interpretation. 5th ed., New York :John Wiley and Sons, Inc. 612 p.

Miko, T. and Haruhisa, S. 1991. Handbook of Image Analysis. University of Tokyo Press.

Murai S.,1993 ed. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Date of Issue: 1993.5.19 University of Tokyo, Japan. 145p.

PCI Remote Sensing Corp. 1997. Using PCI Software Volume II : Version 9.1. PCI Inc.Ontario, Canada.

Short , N. M ., 2008 .The Remote Sensing Tutorial. (Online) Available <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/overview.html>, August 20, 2014.

**การสืบค้น online**

<http://earthexplorer.usgs.gov>, 10 มิถุนายน 2558

<http://www.gis2me.com>, 10 มิถุนายน 2558

<http://www.social.nu.ac.th>, 10 มิถุนายน 2558