

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite)

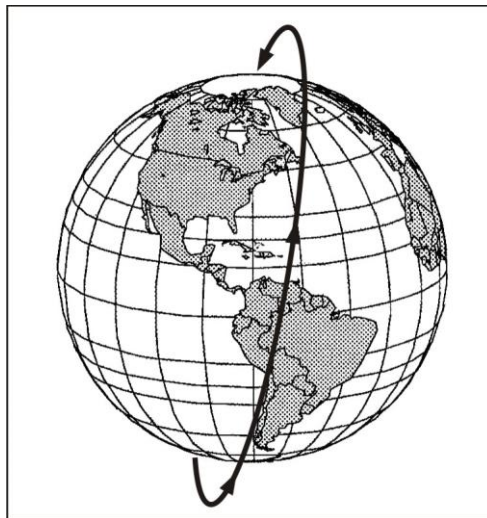
1. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบ่งออกเป็นสองชนิด(ตามลักษณะการโคจร) คือ

1. ชนิดโคจรผ่านใกล้ขั้วโลก (Polar Orbiter)

2. ชนิดโคจรประจำที่ (Equator Orbiter)

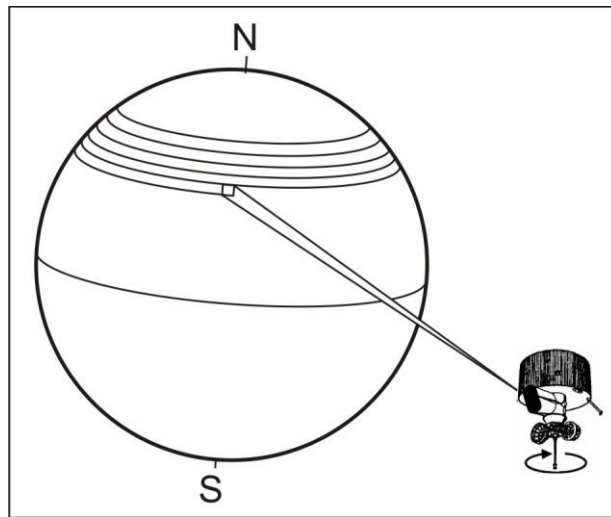
ทั้งสองชนิดติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดปริมาณพลังงานรังสี (Sensor) ในช่วงคลื่น Visible และ Infrared

1.1 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรผ่านใกล้ขั้วโลก (Polar Orbiter) ตำแหน่งของดาวเทียมอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 800 - 1,400 กม. (400 - 800 ไมล์ทะเล) ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โดยมีความคมชัดมากเพราะโคจรอยู่ในระดับต่ำ ให้ภาพได้เพียงวันละ 2 ภาพ (12 ชม. ต่อ 1 ภาพ) จึงไม่เหมาะในการติดตามความเป็นไปของสภาพอากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 1 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรผ่านใกล้ขั้วโลก

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรผ่านใกล้ขั้วโลก ได้แก่ดาวเทียมในชุด TIROS, TOS, ESSA, ITOS, NOAA, NIMBUS, DMSP วิธีโคจรจะผ่านไปใกล้ขั้วโลกทั้งสองในทุกรอบการโคจร คือ โคจรในแนวเหนือ - ใต้ ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเองในแนวตะวันออก - ตะวันตก ในรอบ 24 ชั่วโมงดาวเทียมจะผ่านตำบลหนึ่งๆ รวม 2 ครั้ง ตัวอย่างเช่น ดาวเทียม NOAA ผ่านประเทศไทยตอนบนเมื่อ 0900 จะกลับมาโคจรผ่านประเทศไทยอีกครั้งในเวลา 2100 ดาวเทียมชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า "ดาวเทียมชนิดโคจรพร้อมดวงอาทิตย์" (Sun synchronous Satellite) 1.2 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรประจำที่ (Equator Orbiter) ตำแหน่งของดาวเทียมอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,000 กม. (19,318 ไมล์ทะเล) ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสำหรับติดตามความเป็นไปของสภาพอากาศรุนแรงต่างๆ เช่น พายุหมุนเขตร้อน, แนวพายุฟ้าคะนอง ฯลฯ สามารถให้ภาพได้ทุกๆ 30 นาที (และสามารถใช้สัญญาณบังคับให้ส่งทุกๆ 15 นาทีได้) พื้นที่ที่อยู่ตั้งแต่ละติจูด 60 องศา ไปทางขั้วโลก (ทั้งเหนือและใต้) ที่ปรากฏในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาภาพที่ได้รับความนิยมชมชัดลดลง (เป็นผลจากมุมกล้อง) ยากต่อการแปลความ

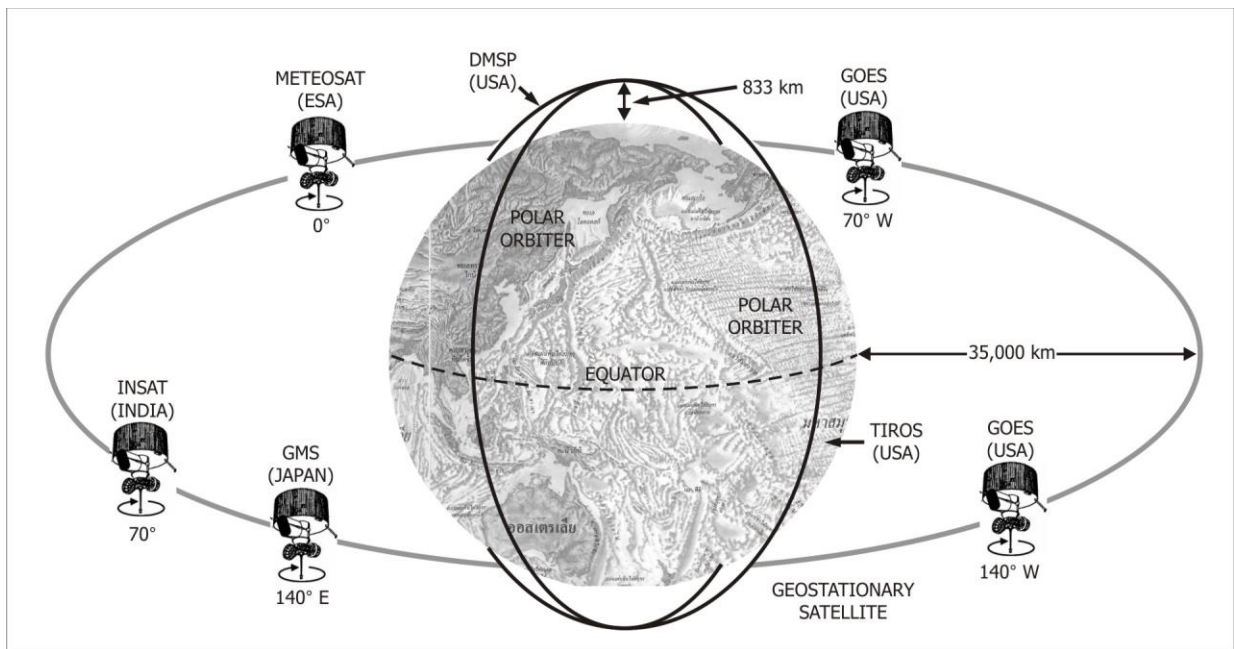


รูปที่ 2 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิตโคจรประจำที่

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิตโคจรประจำที่ ได้แก่ ATSM SMS/GOES, METEOSAT, GOMS และ GMS ดาวเทียมโคจรจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของโลก (11,000 กม./ชม.) จึงเสมือนว่าลอยตัวอยู่เหนือจุดหนึ่งตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันดาวเทียมก็หมุนรอบตัวเองด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที โดยแกนการหมุนจะขนานกับแกนขั้วโลกเหนือ - ใต้ ตลอดเวลา เนื่องจากอยู่ ณ จุดหนึ่งที่กำหนดไว้เหนือเส้นศูนย์สูตร จึงให้ภาพของบริเวณที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอเหมาะสำหรับการติดตามความเป็นไปของสภาพอากาศอย่างยิ่ง

โครงการดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิตโคจรประจำที่ เป็นโครงการภายใต้การส่งเสริมขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) กับสมาพันธ์วิทยาศาสตร์นานาชาติ (The International Council of Scientific Unions/ICSU.) เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างหลายชาติ โดยใช้ดาวเทียม 5 ดวง ส่งขึ้นประจำจุดต่างๆ เพื่อครอบคลุมอาณาบริเวณเป็นเครือข่ายรอบโลกระหว่างละติจูด 60 องศาเหนือ ถึง 60 องศาใต้ ประเทศต่างๆ ที่ส่งดาวเทียมขึ้นร่วมโครงการคือ

1. สหรัฐอเมริกา โดยองค์การ NOAA ควบคุม GOES East ซึ่งอยู่ ณ ลองจิจูด 75 องศาตะวันตก รัศมีปฏิบัติการครอบคลุมมหาสมุทรแอตแลนติกและทวีปอเมริกา กับ GOES West อยู่ ณ ลองจิจูด 135 องศาตะวันตก รัศมีปฏิบัติการครอบคลุมมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกและทวีปอเมริกา
2. องค์การค้นคว้าวิจัยด้านอวกาศของกลุ่มประเทศในยุโรป (European Space Research Organization / ESRO. หรือ European Space Agency/ESA.) ส่งดาวเทียม METEOSAT ขึ้นอยู่ ณ ลองจิจูด 0 รัศมีปฏิบัติการครอบคลุมอาณาบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกใต้ถึงกรีนแลนด์ และจากซาอุดีอาระเบียถึงบราซิล
3. โซเวียต ส่งดาวเทียม GOMS อยู่ ณ ลองจิจูด 170 องศาตะวันออก รัศมีปฏิบัติการครอบคลุมมหาสมุทรอินเดียและทวีปเอเชีย
4. ญี่ปุ่น ส่งดาวเทียม GMS อยู่ ณ ลองจิจูด 140 องศาตะวันออก รัศมีปฏิบัติการครอบคลุมอาณาบริเวณตั้งแต่มหาสมุทรแปซิฟิกใต้ถึงไซบีเรียและจากฮาวายถึงอินเดียซึ่งประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชียอยู่ในรัศมีปฏิบัติการของดาวเทียม GMS นี้ รวมทั้งทวีปออสเตรเลียด้วย



รูปที่ 3 โครงการเครือข่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินจิโคจรประจำที่

2. ข้อได้เปรียบ/เสียเปรียบของวงโคจร (Advantage/Disadvantage of these orbit)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินจิโคจรผ่านขั้วโลก

1. ตรวจวัดค่าพลังงานการแผ่รังสีในเวลาเดิมทุกครั้ง
2. ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก
3. ระยะวงโคจรอยู่ใกล้กับโลกมากที่สุด ทำให้ค่าความคมชัดสูงแต่มีแรงต้านทานมาก

ดาวเทียมชนิดโคจรประจำที่

1. ตรวจวัดค่าพลังงานการแผ่รังสีอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เดิม
2. ครอบคลุมพื้นที่ซึ่งมีอาณาเขตจำกัด
3. ค่าความคมชัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าดาวเทียมชนิดแรก
4. ระยะวงโคจรอยู่ไกลจากโลกจึงมีแรงต้านทานน้อยมาก

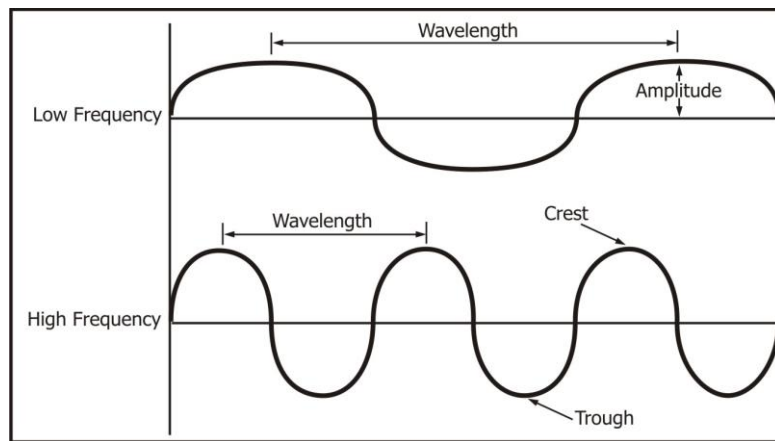
3. เทคโนโลยีดาวเทียม (Satellite Technology)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาใช้หลักการของ Remote Sensing หมายถึง การอธิบายการศึกษาบางสิ่งโดยปราศจากการกระทำหรือสัมผัสกับวัตถุนั้นโดยตรง รวมทั้งการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้นเป็นระยะทางไกล ดังนั้น ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจึงเป็นตัวอย่างหนึ่งของหลักการของ Remote Sensing ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องตรวจวัดพลังงานรังสีของดาวเทียมออกแบบเพื่อใช้ศึกษา พลังงานที่สะสมและการแผ่รังสีของโลก การใช้ข้อมูล ที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบตามสถานีรับภาคพื้นดินในแต่ละพื้นที่ที่สามารถที่จะตรวจวัดคุณสมบัติของโลก โดยปราศจากการเข้าไปในพื้นที่ที่สนใจและทำการตรวจวัดโดยตรง

4. การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation)

การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพื้นฐานสำคัญของ Remote Sensing การแผ่รังสี คือ การแพร่กระจายพลังงานในรูปแบบของคลื่นจากสสารทั้งหมดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (-273 องศาเซลเซียส หรือ -459 องศาฟาเรนไฮต์) คลื่นพลังงานการแผ่รังสีไม่ใช่วัตถุทั้งนี้เนื่องจากไม่มีมวล (Mass) และสามารถส่งผ่านพลังงานจากสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่อื่นๆ ได้ คลื่นพลังงานการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีรูปแบบของการปั่นป่วนภายในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Pattern of Disturbance of Electromagnetic Field) ในขณะที่คลื่นเคลื่อนผ่าน

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะแกว่งตัวขึ้น-ลงอย่างเป็นระเบียบ รูปแบบการเกิดขึ้นและการทวนซ้ำของคลื่นมีลักษณะดังรูปที่ 4

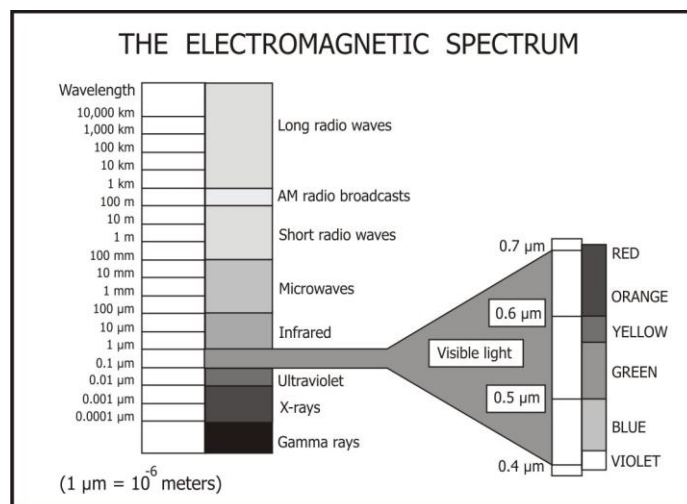


รูปที่ 4 Characteristics of an electromagnetic wave

คุณลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยความสูงของคลื่น (Amplitude) ความยาวคลื่น (Wavelength) และความถี่ของคลื่น (Frequency) ส่วนยอดของคลื่น (Ridge or Crest) คือบริเวณที่คลื่นสามารถแกว่งตัวขึ้นได้สูงที่สุดในขณะที่บริเวณท้องคลื่น (Trough) คือบริเวณที่คลื่นแกว่งตัวลงได้ต่ำที่สุดสำหรับความสูงของคลื่นนั้นเป็นการวัดขนาดของคลื่นและหมายถึง ทั้งปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ความยาวคลื่น (Wavelength) คือ การวัดระยะห่างระหว่างยอดคลื่นหรือท้องคลื่น สุดท้ายความถี่ของคลื่น (Frequency) กำหนดโดยจำนวนของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา (Period of Time) พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกช่วงคลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน (เคลื่อนที่เท่ากับความเร็วแสง) คลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นจำนวนคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดหนึ่งภายในหนึ่งหน่วยเวลาจะมีจำนวนมากกว่า ด้วยเหตุนี้คลื่นสั้นจึงมีความถี่ของคลื่นสูง ส่วนความยาวคลื่นที่ยาวกว่าจะมีความถี่ของคลื่นต่ำกว่า

5. แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)

คือแถบแสดงความต่อเนื่องของทุกช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสดงดังรูปที่ 5) โดยที่ในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจัดเรียงตามความยาวคลื่น รังสีแกมมา (Gamma rays) และเอ็กซ์เรย์ (X-ray) อยู่ปลายสุดของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด สำหรับปลายสุดอีกด้านหนึ่งของแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่าคือคลื่นวิทยุ สายตาของมนุษย์เห็นได้เฉพาะสัดส่วนเพียงเล็กน้อยของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า คลื่นแสง (Visible light)



รูปที่ 5 The Electromagnetic Spectrum

6. การแผ่พลังงานรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Emission of Electromagnetic radiation)

การแผ่รังสี (Radiation) คือ การแผ่พลังงานของวัตถุที่มีอุณหภูมิมากกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์วัตถุเหล่านั้นไม่จำเป็นต้องแผ่พลังงานรังสีเฉพาะความยาวคลื่นเพียงชนิดเดียว ส่วนใหญ่แผ่พลังงานได้หลายช่วงคลื่น ซึ่งเรียกว่าแถบพลังงานของวัตถุ (Object's Spectrum) อุณหภูมิของวัตถุเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของแถบการแผ่พลังงานรังสีของวัตถุนั้น วัตถุใดที่มีอุณหภูมิพื้นผิวสูงมากกว่จะแผ่พลังงานรังสีได้สูงกว่าและมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ในขณะที่วัตถุที่เย็นกว่าจะแผ่พลังงานในแถบที่ต่ำกว่าและมีความยาวช่วงคลื่นที่มากกว่าด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างการแผ่พลังงานสูงสุด (Wavelength of Maximum Emission) กับอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุแสดงดังสมการใน รูปที่ 6

$$\text{wavelength of maximum emission (microns)} = \frac{2832}{\text{temperature (K)}}$$

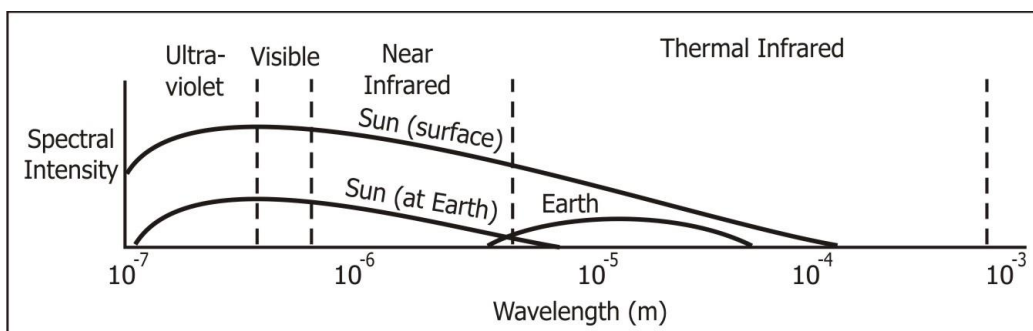
[1 micron (μm) = 10^{-6} meters]

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการแผ่พลังงานสูงสุดกับอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ

ด้วยเหตุนี้ดวงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 6,000 K จึงมีการแผ่พลังงานสูงสุดในความยาวคลื่นเท่ากับ 0.48 μm ซึ่งตกอยู่ในช่วงคลื่นแสงในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในทางกลับกันอุณหภูมิที่เย็นมากกว่าของพื้นผิวโลก ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 300 K จะมีการแผ่พลังงานสูงสุดในความยาวคลื่นเท่ากับ 9.4 μm อยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กราฟที่แสดงในรูปที่ 7 คือ การเปรียบเทียบการแผ่พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์กับโลกในลักษณะเส้นโค้ง 3 เส้น ซึ่งแทนการแผ่พลังงานรังสีของโลก ดวงอาทิตย์ และพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผิวโลก การแผ่พลังงานรังสีที่สำคัญที่สุดของโลกอยู่ในช่วงคลื่นยาวในสัดส่วนของช่วงคลื่นอินฟราเรดหรือเรียกว่า Thermal Infrared เพราะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของพื้นผิวที่แผ่พลังงานรังสี ดังนั้นเครื่องวัดปริมาณการแผ่รังสีของดาวเทียมที่ตรวจวัดพลังงานในย่านนี้จึงใช้ศึกษาคุณสมบัติของความร้อนของโลกและบรรยากาศได้

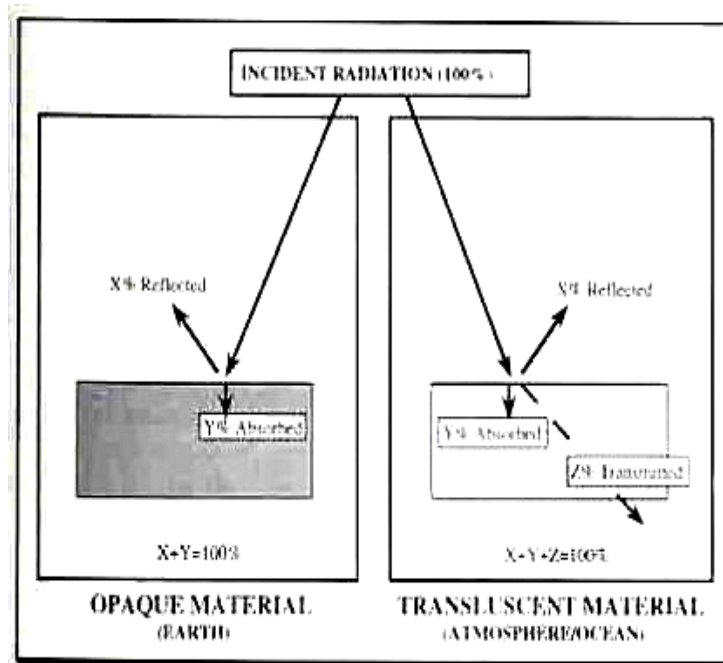
ในรูปที่ 7 พบว่าความเข้มข้นที่แท้จริงของการแผ่พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์มีมากกว่าในทุกๆ ความยาวคลื่นเมื่อเปรียบเทียบกับ การแผ่พลังงานรังสีของโลก ทั้งที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ต้องเดินทางผ่านอวกาศทำให้ความเข้มข้นลดลง ในขณะเดียวกันเมื่อถึงพื้นโลกความเข้มข้นของพลังงานก็ลดลงอีก อย่างไรก็ตามพลังงานการแผ่รังสีส่วนใหญ่ของดวงอาทิตย์ยังตกอยู่ในช่วงคลื่นแสง (Visible) ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ดวงอาทิตย์ยังแผ่พลังงานรังสีในช่วงคลื่นสั้นได้อย่างเข้มข้น โดยเฉพาะในย่านคลื่นอินฟราเรดของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า Near Infrared รวมทั้งพลังงานของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับในย่านนี้ เครื่องวัดพลังงานการแผ่รังสีของดาวเทียมที่ตรวจวัดในย่าน Visible และ Near Infrared วัดปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับ รวมทั้งพลังงานการแผ่รังสีของโลกและเมฆได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 7 The spectra of the sun's and Earth's radiation

7. พลังงานรังสีที่ตกกระทบกับพื้นโลก (Radiation that strikes the Earth)

พื้นผิวโลกพิจารณาให้เป็นเสมือนพื้นผิวที่ทึบแสง (Opaque) คือ แสงไม่สามารถส่องผ่านได้ เมื่อพลังงานรังสีตกกระทบกับพื้นผิวโลกที่ทึบแสง เช่น พื้นหินแข็ง พลังงานส่วนนี้ถูกดูดซับ (absorbed) หรือสะท้อนกลับโดยพื้นหินแข็งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 8 สัดส่วนของพลังงานช่วงคลื่น Visible ที่สะท้อนกลับของพื้นผิว เรียกว่า Albedo แสดงค่าเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์วัตถุ เช่น หิมะที่ตกลงมาใหม่ๆ หรือเมฆที่หนามากๆ ค่าการสะท้อนกลับของพลังงานช่วงคลื่น Visible หรือค่า Albedo มีค่าสูงมาก เมื่อพิจารณาจากอวกาศวัตถุเหล่านี้จะสว่างจ้ามาก ทั้งนี้เพราะวัตถุสะท้อนพลังงานรังสีที่เข้ามาตกกระทบได้เป็นจำนวนมาก พื้นที่ป่าไม้และพื้นดินมีค่า Albedo ต่ำกว่าจึงปรากฏเป็นสีดำ สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของลักษณะเฉพาะของพื้นผิวโลกและในบรรยากาศแสดงดังตารางที่ 1



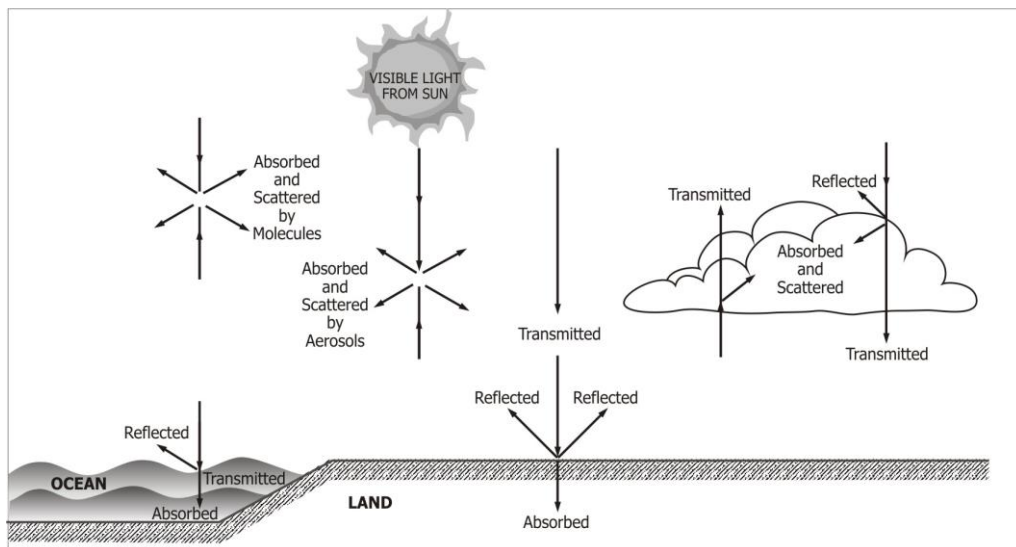
รูปที่ 8 คุณลักษณะของวัตถุทึบแสงและโปร่งแสง

<u>Clouds</u>		<u>Surface features—bare areas/soils</u>	
Cumulonimbus, large and tall	92	Snow, freshly fallen	75–90
Cumulonimbus, small, tops at 6 km	86	Snow, 3 to 7 days old	40–70
Cirrostratus, thick, with lower clouds	74	White Sands, New Mexico	60
Cumulus with stratocumulus	69	Sand dune, dry	35–45
Stratocumulus	68	Soil, dry light sand	25–45
Stratus, thick (0.5 km), over ocean	64	Soil, dry clay or gray	20–35
Stratocumulus masses, with cloud sheet, over ocean	60	Sand dune, wet	20–30
Stratus, thin, over ocean	42	Concrete, dry	17–20
Cirrus, alone, over land	36	Soil, moist gray	10–20
Cirrostratus, alone, over land	32	Soil, dark	5–15
Cumulus, fair weather	29	Road, blacktop	5–10
<u>Water features</u>		<u>Vegetative zones</u>	
Sunlight on Gulf of Mexico	17	Desert	25–30
Lake, Great Salt lake, Utah	9	Savanna, dry season	25–30
Ocean, Gulf of Mexico	9	Crops	15–25
Ocean, Pacific	7	Savanna, wet season	15–20
		Tundra	15–20
		Chaparral	15–20
		Meadows, green	10–20
		Forest, deciduous	10–20
		Forest, coniferous	5–15

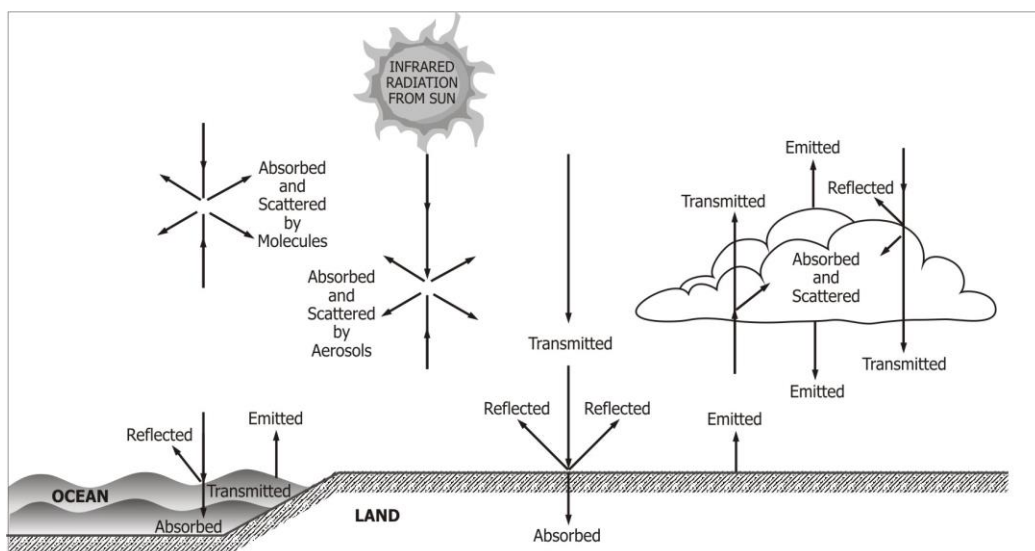
ตารางที่ 1 ค่าประมาณการสะท้อนกลับของลักษณะเฉพาะของพื้นผิวโลกในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ช่วงคลื่น Visible

วัตถุใดที่สามารถดูดซับพลังงานรังสีได้ทุกความยาวคลื่น เรียกว่า Blackbody แต่ในสภาวะการณ์ที่เป็นจริงไม่มีวัตถุใดที่มีความสามารถประพจน์ได้เช่นนั้น ดังนั้น Blackbody จึงไม่ปรากฏขึ้นจริงในธรรมชาติของโลกใบนี้ อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ใช้แนวคิดนี้เพื่อทำการศึกษาทฤษฎีพลังงานรังสี

การแผ่พลังงานรังสีในบรรยากาศ (Radiation in the Atmosphere) บรรยากาศเป็นสื่อโปร่งใส คือ พลังงานการแผ่รังสีส่งผ่านไปในบรรยากาศได้ ในขณะที่พลังงานการแผ่รังสีส่งผ่านบรรยากาศหรือพื้นมหาสมุทรมีหลายสิ่งเกิดขึ้น พลังงานรังสีช่วงคลื่น Visible ถูกดูดซับ (Absorb) ส่งผ่าน (Transmit) หรือสะท้อนกลับโดยโมเลกุล, สิ่งแขวนลอยในอากาศ (Aerosols), ผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystals) และหยดน้ำ (Water droplet) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในบรรยากาศ อนุภาคต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการกระจัดกระจาย (Scatter) คลื่นแสงออกเป็นสีต่างๆ อันประกอบด้วยสีแดง, ส้ม, เหลือง, เขียว, ฟ้า, และสีม่วง (เมื่ออนุภาคต่างๆ ในบรรยากาศกระจัดกระจายคลื่นแสง ช่วงคลื่นที่มีสีฟ้าจะแพร่กระจายได้มากที่สุดทำให้ท้องฟ้ามีสีฟ้า) นอกจากนี้พลังงานรังสีช่วงคลื่น Visible ถูกดูดซับหรือสะท้อนกลับโดยพื้นผิวโลกที่แตกต่างกันออกไป กระบวนการเหล่านี้แสดงในรูปที่ 9 ส่วนพลังงานรังสีช่วงคลื่นอินฟราเรดเมื่อผ่านเข้ามาในบรรยากาศจะถูกดูดซับ, ส่งผ่าน, สะท้อนกลับ หรือกระจัดกระจาย นอกจากนั้นความแตกต่างของพื้นผิวโลกและเมฆสามารถดูดซับพลังงานรังสีช่วงคลื่นอินฟราเรดและแผ่รังสีกลับ (re-emit) ในรูปแบบของความร้อนคืนสู่บรรยากาศดังแสดงในรูปที่ 10



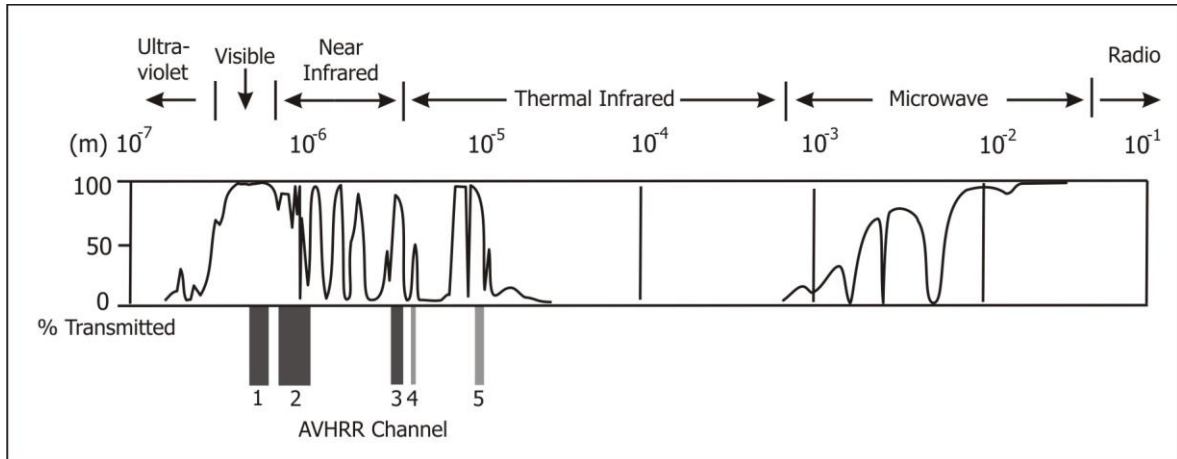
รูปที่ 9 Visible light in the Atmosphere



รูปที่ 10 Infrared energy in the Atmosphere

8. การส่งผ่านพลังงานของบรรยากาศ (Transmissivity of the Atmosphere)

คลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าบางช่วงคลื่นส่งผ่านบรรยากาศได้โดยง่าย ในขณะที่บางส่วนถูกกักไว้ ความสามารถของบรรยากาศที่ยอมให้พลังงานการแผ่รังสีส่งผ่าน เรียกว่า Transmissivity ค่าเฉลี่ยของ Transmissivity ของบรรยากาศในขณะที่ปราศจากเมฆแปรตามความยาวคลื่น แก๊สในบรรยากาศดูดซับพลังงานรังสีได้ในบางช่วงคลื่นและยอมให้พลังงานรังสีในบางช่วงคลื่นส่งผ่านไป รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานรังสีในแต่ละช่วงคลื่น โดยที่ความยาวคลื่น(เมตร) แสดงในแกนนอนทางตอนบนของกราฟและจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการส่งผ่านพลังงานรังสีของบรรยากาศแสดงในแกนตั้ง



รูปที่ 11 Transmissivity of the Atmosphere and the Spectral Range of Five Main Sensors on the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

บรรยากาศเป็นเสมือนสิ่งทึบแสงสำหรับรังสีคลื่นสั้นซึ่งมีพลังงานมากเช่น อัลตราไวโอเลต แกมมา และ เอ็กซ์เรย์ ทั้งนี้เพราะบรรยากาศดูดซับพลังงานเหล่านี้ไว้ ตัวอย่างที่พบโดยทั่วไปของปรากฏการณ์เหล่านี้เช่น การดูดซับรังสีคลื่นสั้นของโอโซนในบรรยากาศ ซึ่งโอโซนเป็นแก๊สในบรรยากาศดูดซับพลังงานรังสีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าประมาณ 0.3 μm ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหากบรรยากาศของโลกปราศจากชั้นโอโซน พลังงานรังสีคลื่นสั้นเหล่านี้ถึงพื้นโลกและเป็นไปไม่ได้เลยที่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะดำรงชีพอยู่ได้

บรรยากาศยังดูดซับพลังงานในแถบความยาวคลื่นในบางช่วงคลื่นโดยเฉพาะ (specific wavelength bands) ได้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงคลื่นอินฟราเรดและไมโครเวฟ ในย่านที่ถูกดูดซับโดยแก๊สในบรรยากาศที่ปรากฏในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเรียกว่า Absorption bands ในรูปที่ 11 แถบคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดซับแสดงด้วยค่าการส่งผ่านที่ค่อนข้างต่ำ ตามแนวแถบของคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดซับนั้นอาจมีบางช่วงคลื่นที่บรรยากาศทำตัวเหมือนสื่อโปร่งใสยอมให้คลื่นเหล่านั้นทะลุผ่านออกไปเรียกว่า Atmospheric windows ในรูปที่ 11 แสดงด้วยค่าการส่งผ่าน (Transmission values) ที่สูงที่สุดยังพบว่าภายในช่วงคลื่น Visible พบว่าเป็นบริเวณที่พลังงานของดวงอาทิตย์ออกสู่บรรยากาศได้มากที่สุด ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆพลังงานรังสีช่วงคลื่น Visible จากดวงอาทิตย์ส่งผ่านบรรยากาศได้อย่างอิสระโดยไม่ได้ถูกดูดซับจากแก๊สในบรรยากาศ ในขณะเดียวกันในช่วงคลื่นอินฟราเรดก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ มีบางช่วงที่สามารถทะลุออกไปจากบรรยากาศได้ ช่วงคลื่นอินฟราเรดนี้มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อ Remote Sensing ทั้งนี้เพราะช่วงคลื่นเหล่านี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการแผ่พลังงานรังสีออกของพื้นผิวโลกซึ่งพลังงานความร้อน (Thermal energy) ที่แผ่รังสีจากโลกทะลุผ่านบรรยากาศ และเข้าสู่อวกาศซึ่งมีเครื่องตรวจจับพลังงานการแผ่รังสีตรวจจับพลังงานในส่วนนี้

9. ชนิดของข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Satellite data types)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยากวาดจับ (scan) ในหลายช่วงคลื่นเพื่อผลิตเป็นภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ค่าความส่องสว่างตามอุณหภูมิของวัตถุ (Brightness Temperature value) ในแต่ละช่วงคลื่นพร้อมกับข้อมูลที่ตรวจวัดจากช่องรับสัญญาณอื่นๆ ที่ส่งลงมาจากดาวเทียม ช่องรับสัญญาณดาวเทียมในช่วงคลื่น Visible และ Infrared มีทั้งหมด 6 ช่อง อย่างไรก็ตามไม่มีดาวเทียมดวงใดๆ ที่กวาดจับครบทุกช่องสัญญาณ และแต่ละช่องสัญญาณจะมีลักษณะเฉพาะ สำหรับช่องรับสัญญาณของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงช่องสัญญาณของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

	GOES-NEXT	METEOSAT	GMS
Resolution Visible	A Sector 1 km B Sector 2 km C Sector 4 km D Sector 7 km	1 Sensor 5 km 2 Sensor 2.5 km	1.25 km
Resolution Far IR	4 km A-C, 7 km D	5 km	5 km
Resolution Water Vapor	4 km A-C, 7 km D	5 km	5 km
Types of Imaging	Fixed Stare	Spin Scanner (E-W)	Spin Scanner (W-E)
Telescope Step Direction	NA	S-N	N-S
Orbit Altitude	19,300 nm / 35,800 km / 22,300 mi		
Visual Sensor	.55 - .75 μm	.4 - 1.1 μm	.50 - .75 μm
IR Sensors	10-12.5 μm , 3.5-4.0 μm	10.5 - 12.5 μm	10.5 - 12.5 μm
Water Vapor Channel	6.7 μm	5.7 - 7.1 μm	6.7 μm

	NOAA	DMSP
Resolution (Subpoint-edge)	1.1 - 4 km * 4 km resolution for Automatic Picture Transmission	Fine Data .6 - 1.1 km Smooth Data 3.0-5 km * 3 km resolution for Automatic Picture Transmission
Types of Imaging	Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Spin Scan	Operation Line Scanner (OLS) Pendulum Scanner (Alternates W-E & E-W)
Telescope Step Direction	Ascending/Descending	
Orbit Altitude	420-480 nm	
Additional Features	Microwave Sensor Sounder	
Visual Sensor	Ch 1 .58 - .68 μm	.4 - 1.1 μm
Near IR Sensor	Ch 2 .725 - 1.1 μm	
Far IR Sensor	Ch 3 3.55-3.93 μm Ch 4 10.3-11.3 μm Ch 5 11.5-12.4 μm	10.8 - 12.5 μm

10. ประเภทของข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Type of Satellite Data)

10.1 ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Visible (Visible Imagery) เครื่องมือตรวจวัด (sensors)

ในยุคแรกที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียมใช้สำหรับตรวจวัดช่วงคลื่น Visible สามารถปรับรับสัญญาณได้ ช่วงคลื่นดังกล่าวจะอยู่ในช่วง 0.4 - 0.74 μm

การรับปริมาณรังสีของการสะท้อนของช่วงคลื่น Visible นั้นเครื่องมือตรวจวัดปฏิบัติการในเวลากลางวันเท่านั้น เพราะเครื่องมือตรวจวัดอาศัยการสะท้อนกลับของแสงอาทิตย์ (หรือในตอนกลางคืนที่พระจันทร์เต็มดวง) ความเข้มของการสะท้อนกลับของวัตถุใดๆ บนพื้นโลกจะขึ้นอยู่กับมุมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ มุมตกกระทบของดวงอาทิตย์แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาในแต่ละวัน, ปี และละติจูด

ค่าการสะท้อนของวัตถุที่ถูกกวาดจับ (Scan) มีผลต่อความเข้มในการส่องสว่าง (Brightness) โดยทั่วไปเมฆที่ปรากฏในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยามีค่าการสะท้อนมากที่สุด ปริมาณการสะท้อนของเมฆขึ้นอยู่กับความสูญเสียของพลังงานรังสีในขณะผ่านบรรยากาศ (Optical Depth) เมฆที่มีการสูญเสียของพลังงานรังสีในขณะผ่าน

บรรยากาศมากกว่าเป็นผลทำให้การส่งผ่านพลังงานรังสีในช่วงคลื่น Visible มีปริมาณน้อย ความสูญเสียของพลังงานรังสีในขณะผ่านบรรยากาศ (Optical Depth) เพิ่มมากขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับ

- ความหนาของชั้นเมฆ
- ความหนาแน่นของจำนวนอนุภาคของเมฆ
- ขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก
- สัดส่วนของอนุภาคของของเหลวกับผลึกน้ำแข็ง

ข้อจำกัดที่สำคัญของภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Visible คือ ไม่สามารถที่จะได้ภาพในตอนกลางคืน สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Visible นำมาใช้ในการแปลความหมายดังต่อไปนี้

1. แปลความชนิดของเมฆต่างๆ โดยพิจารณาจากรูปร่าง (Shape) และเนื้อของเมฆ (Texture) ซึ่งภาพ Visible ให้ค่าความคมชัดได้ดี
2. แปลความระบบของเมฆ (Cloud System) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมฆในระดับต่ำ
3. ประเมินความสูงของเมฆได้โดยอาศัยเงาของเมฆ
4. ประเมินความหนาของเมฆ
5. แปลภาพของเมฆที่มีขนาดเล็กหรือมีรูปร่างที่ผิดปกติ (Anomalous Cloud)
6. หากไม่มีเมฆปกคลุม สามารถแปลความของพื้นทะเล หรือพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยน้ำแข็งหรือหิมะ และ Sun glint
7. อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ เช่น เถ้าภูเขาไฟ, ฝุ่น และควัน

10.2 ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Near Infrared (Near Infrared Imagery = NIR)

ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น NIR เป็นภาพที่ได้จากการสะท้อนของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง $0.75 - 1 \mu\text{m}$ อยู่ระหว่างช่วงคลื่น Visible และ Infrared เป็นช่วงคลื่นที่มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ วัตถุบนพื้นโลกมีเพียงบางชนิดที่ได้รับความร้อนจนสามารถแผ่รังสี ในช่วงคลื่นนี้ได้ช่วงคลื่น NIR ที่สะท้อนกลับจากผิวโลกและถูกกวาดจับด้วยเครื่องตรวจจับ ทั้งนี้เพราะค่าความเข้มในการส่องสว่างของวัตถุในช่วงคลื่น NIR เป็นปัจจัยเช่นเดียวกับช่วงคลื่น Visible ข้อดีของภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น NIR คือ วัตถุบางชนิดสะท้อนคลื่นนี้ได้ดีกว่าช่วงคลื่น Visible ตัวอย่างเช่น พืชพันธุ์ ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของแนวชายฝั่งทะเลได้เป็นอย่างดี (ความแตกต่างระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำตามแนวชายฝั่ง) นอกจากนั้น ควัน หมอก แดดและฝุ่นก็สะท้อนได้ดีกว่าช่วงคลื่น Visible ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น NIR สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของวัตถุแม้ว่าจะมีปริมาณแสงน้อยหรือแม้กระทั่งแสงของดวงจันทร์

วัตถุบางอย่างสามารถที่แพร่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่าน NIR เพียงพอที่จะแยกให้เห็นความแตกต่างของวัตถุ เช่น แสงไฟในเมือง (City light) และไฟป่าปรากฏอย่างชัดในภาพ NIR ซึ่งกวาดจับได้โดยง่ายจากเครื่องมือตรวจจับของระบบ DMSP โดยใช้ Photomultiplier (ทำงานโดยอัตโนมัติ) แสงเหนือ-ใต้ (Aurora) มีความเข้มในการส่องสว่างเพียงพอที่ปรากฏได้ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น NIR โดยทั่วไปใช้แปลความหมายของสิ่งต่างๆ เหล่านี้

1. แปลความชนิดของเมฆในเวลากลางวันและลักษณะของพื้นผิวโลก
2. พื้นที่ตั้งของเมือง (อาศัยแสงไฟ City light)
3. เมฆในเวลากลางคืน (อาศัยการสะท้อนของแสงดวงจันทร์)
4. ติดตามการแพร่กระจายของไฟป่า ควัน หมอก แดด ฝุ่น รวมทั้งหมอกปนควัน (Smog)
5. พิจารณาลมในระดับต่ำ (Low Level Winds) ที่พัดอยู่เหนือสิ่งแขวนลอยในอากาศ

10.3 ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Far Infrared (Far Infrared Imagery = FIR)

ช่วงคลื่น FIR มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งคือ Long Wave Infrared ความยาวของช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง $10.2 - 12.5 \mu\text{m}$ ในช่วงคลื่นนี้ดาวเทียมกวาดจับการแผ่พลังงานรังสีเฉพาะอย่าง การสะท้อนกลับของพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่มีความ

จำเป็นต้องใช้วัตถุส่วนใหญ่มีสภาพเป็น Blackbody กล่าวคือวัตถุส่วนใหญ่จะดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ (แทนที่จะสะท้อนกลับ)

ความเข้มในการส่องสว่างที่ปรากฏที่เครื่องตรวจวัดพลังงานในช่วงคลื่น FIR ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น อุณหภูมิของวัตถุขึ้นอยู่กับมุมของดวงอาทิตย์ ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของวันและปีรวมทั้งละติจูดด้วย นอกจากนั้นลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยที่สำคัญด้วย เช่นพื้นที่สูงกว่าอุณหภูมีย่อมต่ำกว่า

การส่งผ่านรังสีในช่วงคลื่น FIR ผ่านบรรยากาศนั้นมีปัจจัยที่สำคัญที่ควรพิจารณา เมฆที่เป็นชั้นบางๆ อันประกอบไปด้วยผลึกน้ำแข็งส่วนมากเกือบจะโปร่งแสงสำหรับช่วงคลื่น Visible แต่สามารถดูดซับและกักกั้นการส่งผ่านขึ้นมาของพลังงานรังสีในช่วงคลื่น FIR โดยเฉพาะหยดน้ำในเมฆเป็นตัวดูดซับได้ดี ดังนั้น เมฆชั้นต่ำและเมฆชั้นกลางล้วนแล้วมีผลต่อการแผ่ขึ้นมาของรังสี FIR ความสามารถในการดูดซับของเมฆเพิ่มขึ้นหากความหนาแน่นของอนุภาคเพิ่มขึ้นและขนาดของอนุภาคลดลง อย่างไรก็ตามการดูดซับและการแพร่กระจายพลังงานจากเมฆในช่วงคลื่น FIR ในอัตราสูงเราสามารถสันนิษฐานว่าเมฆส่วนใหญ่แพร่กระจายดังเช่น Blackbody ช่วยให้เราตรวจวัดได้อย่างแม่นยำในการตรวจค่าอุณหภูมิแล้วอนุมานความสูงของเมฆนั้น ในทางปฏิบัติใช้ในการแปลความสิ่งต่างๆ เหล่านี้คือ

1. เมฆ

- ความสูงของเมฆ
- ระบบของเมฆ (cloud system) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมฆในระดับสูง
- ชนิดของเมฆ
- ความหนาของเมฆ

2. กระแสลมในระดับบน (Upper Levels)

3. วิเคราะห์อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (STT : Sea Surface Temperature)

4. ติดตามการเคลื่อนตัวของกลุ่มควัน หรือเถ้าภูเขาไฟในระดับบน

5. สิ่งแขวนลอยหรือเจือปนในอากาศ และควันปนหมอก (Smog)

6. พายุฝุ่น

7. ความแตกต่างของภูมิประเทศ (เช่น พื้นดิน/น้ำ)

8. ทางเมฆ (Aircraft Contrail) อันเกิดจากเครื่องบินและความชื้นในระดับต่ำ

10.4 ภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Middle Infrared (Middle Infrared Imagery = MIR)

ภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น MIR ได้จากการตรวจวัดพลังงานการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่น 3.55–4.03 μm ซึ่งเป็นแถบคลื่นที่อยู่ใกล้กับ Visible และ Infrared หรือเรียกว่า Short Wave Infrared มีลักษณะคล้ายกับภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น NIR กล่าวคือเป็นการรวมค่าของพลังงานในการสะท้อนและการแผ่รังสี แต่มีปริมาณการแผ่รังสีได้มากกว่า ในเวลากลางวันภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่นนี้ค่อนข้างจะสับสนยากต่อการแปลความ ดังนั้น จึงไม่นิยมใช้แปลความ แต่ในเวลากลางคืนการสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์หมดไปภาพที่ได้รับจะมีลักษณะเช่นเดียวกับภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น FIR ปริมาณการแผ่รังสีของวัตถุขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อช่วงคลื่น FIR

ข้อดีของภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น MIR คือ เมฆชั้นต่ำที่มีปริมาณการแผ่รังสีอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น FIR เมฆชั้นต่ำจึงมีลักษณะเป็น Graybody แทนที่จะเป็น Blackbody เมฆชั้นต่ำมีลักษณะที่เย็นกว่าที่ปรากฏในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น FIR ช่วยเพิ่มความแตกต่างของพื้นดินและเมฆและง่ายต่อการแปลความ

นอกจากนั้นพลังงานรังสีช่วงคลื่น MIR ทะลุผ่านเมฆชั้นสูงได้มากกว่าช่วงคลื่น FIR ทำให้เมฆที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งอุ่นกว่าเมฆที่ประกอบด้วยน้ำ ภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น MIR ใช้ค้นหาเมฆ Cumulonimbus ที่ฝังตัวอยู่ในเมฆ Cirrostratus ที่หนาๆ ได้ และใช้ตรวจจับตาของพายุได้ถึงแม้ว่าจะถูกปกคลุม

ด้วยเมฆ Cirrus อากาศอุ่นขึ้นที่มีความลึกมาก (หนา) เช่นมวลอากาศในเขตร้อน โดยทั่วๆไปจะปรากฏเป็นบริเวณที่ค่อนข้างจะแจ่มใสมากกว่าเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น FIR สิ่งนี้ทำให้เมฆชั้นต่ำแยกออกได้โดยง่ายและการอ่านค่าอุณหภูมิผิวพื้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดภายใต้สภาวะเงื่อนไขนี้ ภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น MIR ใช้ในการแปลความเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เมฆชั้นต่ำ
2. เมฆชั้นสูง (เปรียบเทียบกับ FIR)
3. ลักษณะภูมิประเทศ (แสดงความแตกต่างของพื้นดินและพื้นน้ำได้ดี)
4. อุณหภูมิพื้นทะเล
5. ไฟป่า
6. สิ่งแขวนลอยในอากาศ (ควัน เถ้าภูเขาไฟ และฝุ่น)

10.5 ภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor

เครื่องตรวจจับพลังงานแผ่รังสีตรวจวัดพลังงานในช่วงคลื่นของ Infrared ความยาวคลื่นระหว่าง 5.7-7.1 μm ในย่านดังกล่าวพลังงานถูกดูดซับด้วยไอน้ำ (Water Vapor) ทำให้การส่งผ่านพลังงานเป็นไปได้เพียงเล็กน้อย ดาวเทียม GOES และ GMS ตรวจวัดความยาวคลื่น 6.7 μm และ METEOSAT ตรวจวัดความยาวคลื่นระหว่าง 5.8 - 7.1 μm

เนื่องจากการดูดซับและการแผ่กระจายของพลังงาน ในช่วงคลื่นนี้อยู่ในอัตราที่สูง ชั้นความชื้นในบรรยากาศดูดซับพลังงานจากชั้นความชื้นที่อยู่ในระดับต่ำกว่า ในขณะที่เดียวกันก็แผ่กระจายรังสีโดยที่มีสภาพเป็น Blackbody ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการแผ่กระจายที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ ซ้อนกันขึ้นไป กล่าวคือมีการดูดซับและแผ่กระจายจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งจนกระทั่งถึงชั้นบนสุด

ถ้าความชื้นใกล้กับระดับ Tropopause มีปริมาณมากอย่างมีนัยสำคัญ สภาพของ Blackbody ถูกตรวจพบโดยดาวเทียมในระดับนี้ ซึ่งปรากฏเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิเย็น (Cold Temperature) ในทางตรงข้ามถ้าบริเวณนี้มีปริมาณความชื้นค่อนข้างน้อย พลังงานที่ตรวจจับได้ที่มาจากเบื้องล่างหรือผิวพื้น ซึ่งปรากฏเป็นบริเวณที่อุณหภูมิอุ่นกว่า (Warm Temperature) ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิเย็นสอดคล้องกับความชื้นสูงในระดับบน ในขณะที่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำหรือเย็นสอดคล้องกับความชื้นน้อยในระดับบน

อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความหนาแน่นของจำนวนไอน้ำ ถึงแม้ว่าอากาศบริเวณ Tropopause มีความชื้นเกือบ 100% แต่ความหนาแน่นของไอน้ำมีน้อยพลังงานบางส่วนจากระดับล่างจะทะลุผ่านขึ้นไปได้ พลังงานที่ตรวจวัดได้สูงสุดจึงไม่ได้มาจากระดับบนสุดเพียงระดับเดียว แต่มาจากหลายระดับด้วยกัน ปริมาณพลังงานประมาณ 80% ที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียมส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับ 610 - 240 hPa เฉลี่ยแล้วอยู่ในระดับ 400 hPa

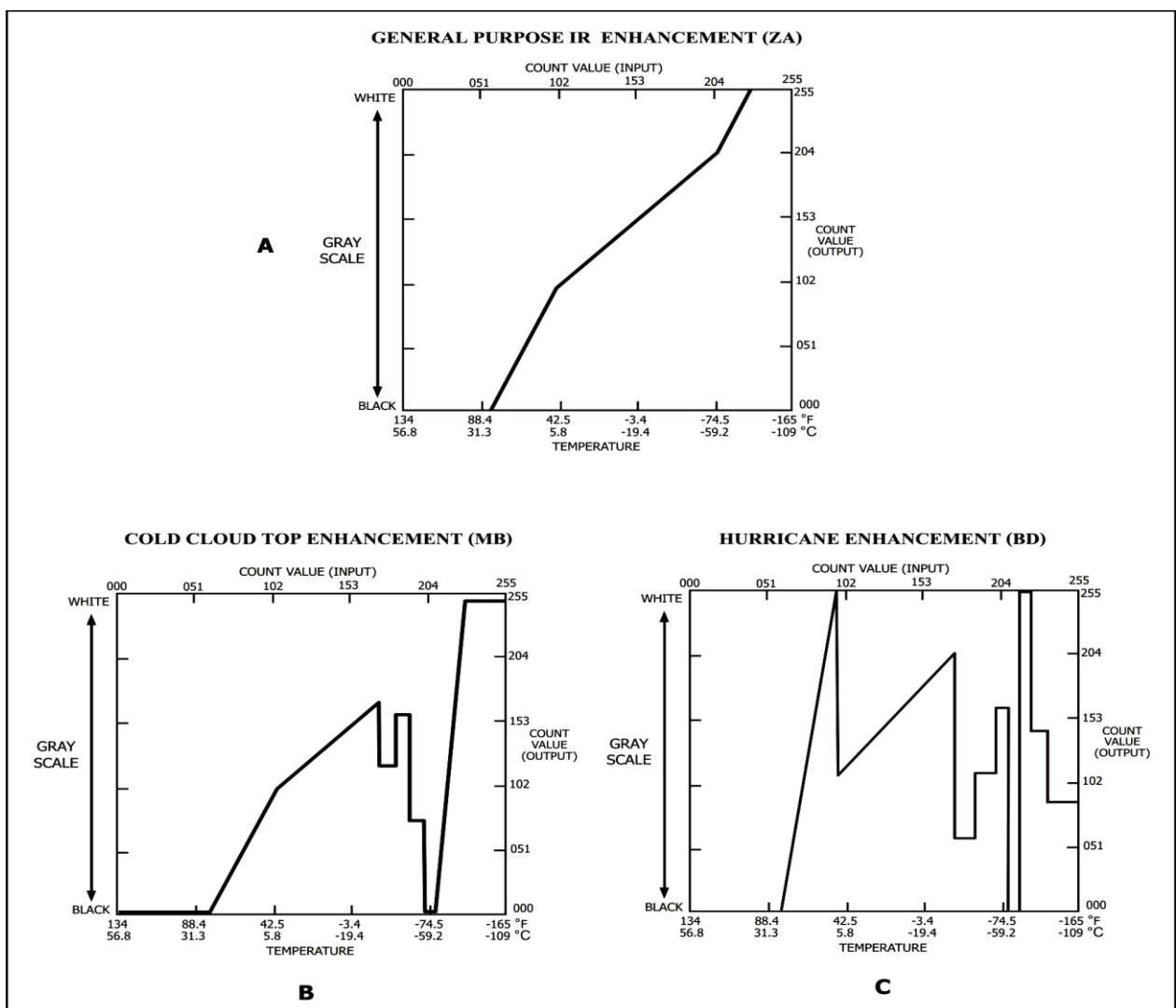
ปริมาณการแผ่กระจายของรังสีขึ้นอยู่กับจำนวนและความสูงของไอน้ำ จำนวนและความสูงของเมฆ และอุณหภูมิของระดับที่แผ่กระจาย ภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor ใช้ในการแปลความเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ เหล่านี้

1. ประเมินปริมาณความชื้นของไอน้ำในระดับกลางและระดับสูง
2. ติดตามสภาพอากาศในระดับบน
3. การกำหนดบริเวณกระแสลมกรด
4. บริเวณ Clear Air Turbulence
5. บริเวณ Clear Icing
6. บริเวณที่มีโอกาสในการเกิดทางเมฆ (Contrail)

11. การเน้นลำดับความเข้มในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Infrared (Enhanced Infrared)

ในกรณีที่มีการแปลความภาพเมฆด้วยสายตาในช่วงคลื่น Infrared ถ้าบริเวณเมฆที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันน้อย โทนสีจะมีความใกล้เคียงกันมาก ทำให้ยากต่อการแปลความ จึงมีการใช้วิธีที่เรียกว่า Enhanced Infrared ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนโทนสีภาพ โดยมีการกำหนดค่าอุณหภูมิให้สัมพันธ์กับความสว่างที่เป็นเป้าหมาย แล้วกำหนดสีตามต้องการ ซึ่งจะเป็นภาพในโทนสีเทา (ในภาพขาว - ดำ) หรือเป็นแถบสีตามคุณสมบัติความสามารถของคอมพิวเตอร์ ที่จะทำได้วิธีการเน้นลำดับความเข้มของภาพนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการแปลความเกี่ยวกับความแรงของ พายุหมุนเขตร้อนหรืออุณหภูมิยอดเมฆแต่ทั้งนี้ต้องมีความเข้าใจและทราบถึงการกำหนดสีที่สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิ ของภาพนั้นๆ ด้วย และโดยทั่วไปกรรมวิธีในการเน้นลำดับความเข้มที่นิยมใช้แบ่งออกได้เป็น

1. ZA Curve
2. MB Curve
3. BD Curve



รูปที่ 12 แสดงการเน้นลำดับความเข้มของภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น IR

ต่อมาได้มีการพัฒนาการเน้นลำดับความเข้มของภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาโดยใช้สีต่างๆ นำมาประยุกต์ใช้ในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแทนการแสดงด้วยสีขาว โทนสีเทา และสีดำ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแยกลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏอยู่บนภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เทคนิควิธีการดังกล่าวเรียกว่า Color Enhancement

สำหรับเทคนิคล่าสุดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากในปัจจุบันคือ Multispectral Techniques คือ เทคนิคที่อาศัยความแตกต่างของภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ได้รับมาจากหลายช่องรับสัญญาณ เพื่อให้ปรากฏข้อมูลที่สำคัญในทางอุตุนิยมวิทยาได้อย่างเด่นชัด ซึ่งจำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะรวมทั้งจุดเด่นและจุดด้อยของภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ได้รับในแต่ละช่องรับสัญญาณเป็นสำคัญก่อนที่จะนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ โดยทั่วไปเป็นการนำภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไปที่ครอบคลุมพื้นที่และเป็นช่วงเวลาเดียวกัน ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรใกล้ผิวโลกจะใช้ข้อมูลในแต่ละช่องรับสัญญาณแต่เป็นเส้นทางที่กวาดจับสัญญาณเดียวกัน ส่วนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรประจำที่อาจใช้ภาพดาวเทียมหลายดวง เช่น GOES EAST และ GOES WEST เพื่อใช้ในการสร้างภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาด้วยเทคนิคนี้

เทคนิค Multispectral มีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การนำข้อมูลจากช่องรับสัญญาณหนึ่งมาลบออกจากข้อมูลของอีกช่องรับสัญญาณหนึ่ง ดังตัวอย่าง

	A	B	
	FIR BT	MIR BT	Subtraction
Land	220	220	0
Water	225	225	0
Altostratus	150	150	0
Stratus	219	214	5
Cirrostratus	60	65	-5

รูปที่ 13 แสดงการลบกันระหว่างค่า Brightness Temperature FIR และ MIR

ถ้าข้อมูลจากช่องรับสัญญาณ A กวาดจัดพลังงานมากกว่าช่องรับสัญญาณ B (ในพื้นที่เดียวกัน) ผลจากการนำ $A - B$ ค่าที่ได้จะเป็นบวก ในทำนองเดียวกันหาก A น้อยกว่า B ค่าที่ได้จะเป็นลบ แต่หากไม่มีความแตกต่างค่าที่ได้เท่ากับศูนย์

จากตัวอย่างคือการนำภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น MIR ลบออกจากภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น FIR ซึ่งทั้งสองเป็นภาพในเวลาใกล้เคียงกัน พบว่าพื้นดิน พื้นน้ำ และเมฆชั้นกลางที่ปรากฏในภาพทั้งสองนั้นมีค่าเท่ากัน เมื่อนำมาลบกันจึงได้ผลลัพธ์เท่ากับศูนย์ ส่วนเมฆชั้นต่ำค่า Brightness Temperature ที่ปรากฏในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น MIR มีค่าต่ำกว่าที่ปรากฏในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น FIR ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีค่าที่ไม่เท่ากับศูนย์ ในขณะที่เมฆที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งที่ปรากฏในภาพ FIR มีลักษณะเย็นกว่าที่ปรากฏในภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา MIR ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีค่าไม่เท่ากับศูนย์เช่นเดียวกัน ผลของภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ได้จึงแสดงให้เห็นเฉพาะเมฆชั้นต่ำและเมฆชั้นสูงเท่านั้น

นอกเหนือจากนี้ยังมีเทคนิคในการสร้างภาพด้วยเทคนิค False Color Multispectral ซึ่งเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่นำมาใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการแสดงผลของจอแสดงผลภาพ โดยการนำแม่สีหลักอันประกอบด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน มาใช้แทนค่าความเข้มที่ปรากฏในภาพขาว - ดำ แสดงดังตัวอย่าง

	MIR (Red gun)	FIR (Green gun)	FFIR (Blue gun)	Combination
Land	Dark Red	Dark Green	Dark Blue	Dark Gray
Warm water	Very Dark Red	Very Dark Green	Very Dark Blue	Very Dark Gray
Cumulonimbus	Very Bright Red	Very Bright Green	Very Bright Blue	White
Altostratus	Medium Red	Medium Green	Medium Blue	Medium Gray
Stratus	Medium Red	Dark Green	Dark Blue	Red-Tinted Gray
Cirrostratus	Light Red	Light Green	Very Light Blue	Blue-Tinted Gray

รูปที่ 14 False Color multispectral

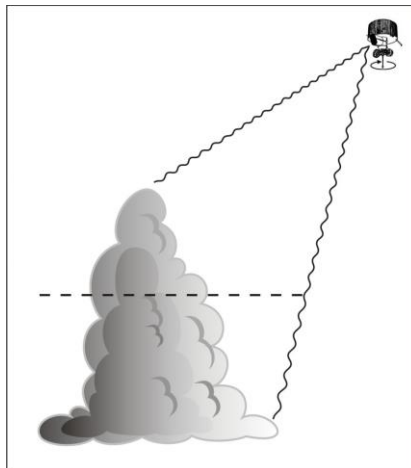
12. ข้อจำกัดที่มีผลกระทบต่อข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Limitation Affecting Satellite data)

12.1 Attenuation คือการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการดูดซับ (Absorption) หรือกระจัดกระจาย (Scattering) ทำให้พลังงานที่ไปถึงเครื่องมือตรวจวัดพลังงานที่ติดตั้งบนดาวเทียมมีปริมาณน้อยกว่าที่เป็นจริง ทำให้ภาพของเมฆที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาอยู่สูงกว่าความสูงจริง (appear colder than) สถานะที่ทำให้เกิด Attenuation ขึ้นอยู่กับ

- ความหนาแน่นของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศเนื่องจากไอน้ำเป็นตัวการดูดซับพลังงานที่สำคัญที่สุด หากพลังงานที่แผ่ขึ้นไปผ่านบริเวณที่บรรยากาศมีไอน้ำหนาแน่น พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ พลังงานส่วนที่เหลือที่แผ่ไปถึงดาวเทียมจึงมีใช้ปริมาณจำนวนเต็มที่แท้จริงที่แผ่กระจายออกจากแหล่ง
- ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับแหล่งส่งพลังงาน ที่มีระยะทางยาวกว่ามีผลทำให้เกิด Attenuation มากกว่าด้วย อย่างไรก็ตาม Attenuation ที่มีสาเหตุจากระยะทางหรือจากการดูดซับโดยแก๊สอื่นๆ นับว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ Attenuation ที่มีสาเหตุมาจากการไอน้ำการกระจัดกระจาย (Scattering) ที่เกิดขึ้นเมื่อพลังงานแผ่ไปกระทบอนุภาคของสิ่งต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น ฝุ่น ผง หรือหยดน้ำก็เป็นสาเหตุของ Attenuation ได้เช่นเดียวกัน

12.2 Contamination เกิดขึ้นเนื่องจากมีแหล่งพลังงานหลายแหล่งซ้อนทับกันค่าของปริมาณพลังงานที่เครื่องตรวจวัดพลังงานบนดาวเทียมที่ตรวจจับได้จึงเป็นค่าที่ไม่ถูกต้องจากระดับยอดเมฆนั้นๆ อย่างแท้จริง สถานะที่ทำให้เกิด Contamination ขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ ดังนี้

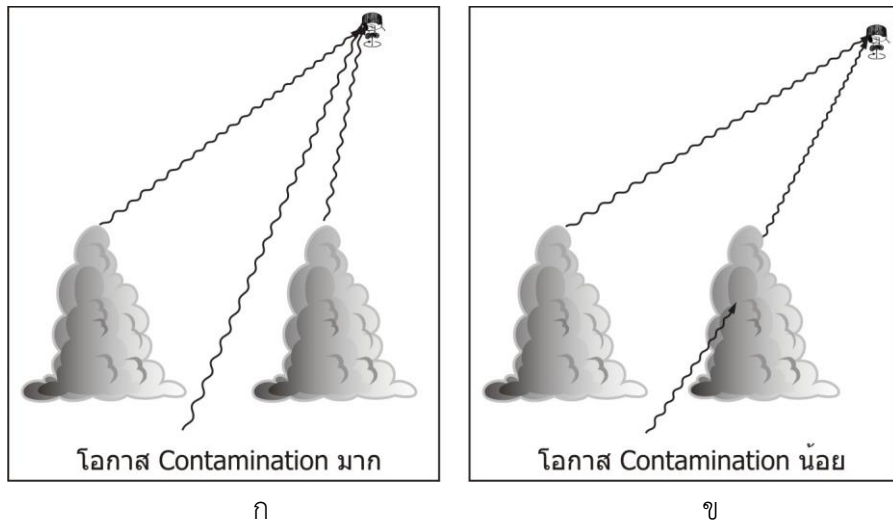
1. ความหนาของเมฆและมุกกล้อง



รูปที่ 15 การเกิด Contamination จากความหนาของเมฆและมุกกล้อง

จากรูปที่ 15 อุนหภูมิที่แผ่จากส่วนยอดของเมฆย่อมต่ำกว่าอุนหภูมิที่แผ่จากฐานของเมฆ ดังนั้นดาวเทียมจะเฉลี่ยจำนวนพลังงานที่ได้รับจากเมฆก่อนนี้ออกมา ซึ่งจะปรากฏว่าอุนหภูมิของเมฆก่อนนี้สูงกว่าอุนหภูมิที่ยอดเมฆ ดังนั้นในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา จะแสดงยอดของเมฆก่อนนี้มีระดับต่ำกว่าความสูงจริง

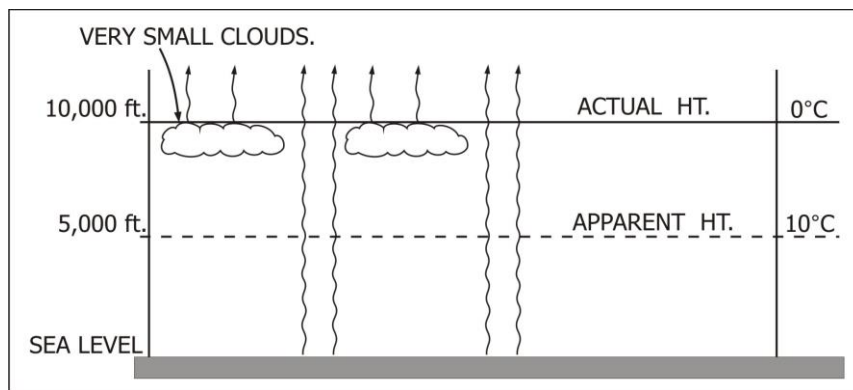
2. ช่องว่างระหว่างเมฆ



รูปที่ 16 การเกิด Contamination จากช่องว่างระหว่างเมฆ

จากรูปที่ 16 ในภาพ ก. พลังงานจากแหล่งอื่นๆ ในระดับต่ำกว่าแทรกตัวขึ้นไปตรงบริเวณช่องว่างของเมฆ เมื่อพลังงานในบริเวณนี้ไปถึงเครื่องตรวจวัดพลังงาน อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จึงสูงกว่าอุณหภูมิควรจะเป็นจริงของยอดเมฆนั้น ส่วนในภาพ ข. พลังงานในระดับต่ำกว่าไม่สามารถแทรกตัวขึ้นไปสู่ดาวเทียมได้โอกาสที่จะเกิด Contamination ย่อมน้อยกว่ากรณีของภาพ ก. อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิจริงของยอดเมฆนั้น

3. ความแตกต่างของความชันอุณหภูมิทางตั้ง



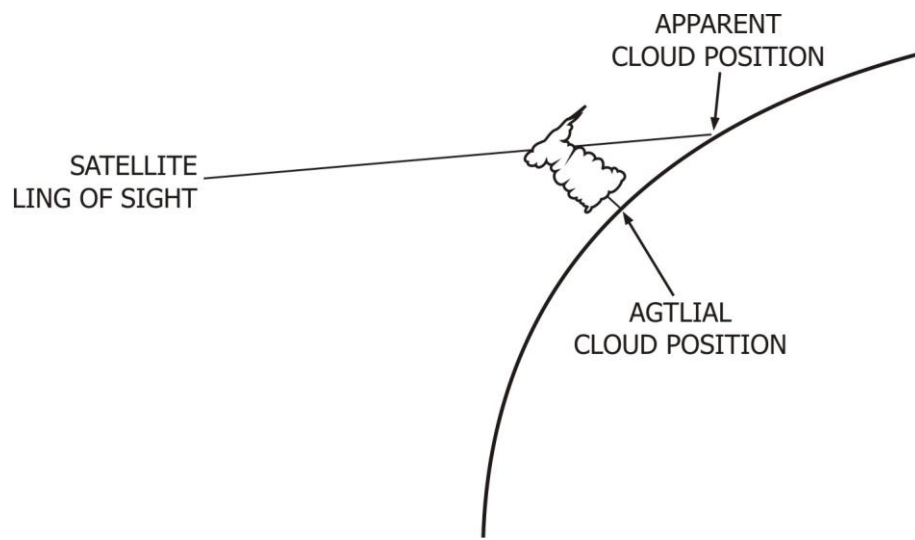
รูปที่ 17 แสดงความแตกต่างของความชันอุณหภูมิทางตั้ง

จากรูปที่ 17 เมฆ CI บางๆ จะปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาอยู่ต่ำกว่าความเป็นจริง เพราะอุณหภูมิจากเมฆ หรือจากผิวพื้นในระดับต่ำกว่าจะแผ่ขึ้นไปรวมกับอุณหภูมิของเมฆ CI บางๆ นั้น ปริมาณพลังงานรวมที่ไปถึงดาวเทียมจึงมากกว่าพลังงานจริงของเมฆ CI

ผลจาก Contamination ทำให้ภาพของเมฆที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมนั้นอยู่ต่ำกว่าความสูงจริง

12.3 Foreshortening คือ สภาพของเมฆที่เกิดขึ้นบริเวณใกล้ๆ กับขอบภาพในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีลักษณะร่นชิดติดกัน อันเป็นผลมาจากมุมกล้อง Foreshortening ทำให้ข้อมูลผิดพลาดดังต่อไปนี้

1. ช่องว่างระหว่างเมฆอยู่ชิดกันเกินไปกว่าความเป็นจริง
2. เนื่องจากเมฆตามบริเวณขอบภาพกับเครื่องตรวจวัดพลังงานทำมุมกันค่อนข้างลาดมาก ดังนั้นพลังงานที่จับได้อาจมาจากด้านข้างของเมฆ (โดยเฉพาะเมฆก่อตัวในทางตั้ง) แทนที่จะเป็นพลังงานจากยอดเมฆ
3. ตำแหน่งของเมฆที่แสดงในภาพอยู่เลยตำแหน่งจริงที่เมฆนั้นปกคลุมผิวโลกอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 Foreshortening

การแปลความภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Satellite Imagery Interpretation)

ในการจำแนกเมฆแต่ละชนิดในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา พิจารณาได้จากการสังเกตลักษณะเฉพาะ (Feature) ที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอันประกอบด้วย

1. ค่าความส่องสว่าง (Brightness) ค่าความเข้มในการส่องสว่างเป็นสิ่งที่ดีที่สุดที่ใช้ในการพิจารณาคุณลักษณะของเมฆ และยังใช้ประเมินค่าความหนาและความสูงของเมฆได้ โดยทั่วไปค่าความส่องสว่างมากๆ ที่ปรากฏในภาพ VIS เกี่ยวข้องกับความหนาของเมฆ ซึ่งมีการสะท้อนแสงดวงอาทิตย์ได้มากกว่า และแสดงให้เห็นเป็นสีขาวเจิดจ้าลงไปจนถึงสีเทาอ่อนๆ ส่วนเมฆที่บางกว่าจะมีโทนสีเทาเข้มจนถึงค่อนข้างดำ

ในภาพ IR บริเวณที่มีค่าความส่องสว่างมากๆ หมายถึง บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำมาก เช่นบริเวณส่วนยอดของเมฆ หรือเมฆที่ก่อตัวในระดับสูงมักจะมีอุณหภูมิต่ำ สีที่ปรากฏในภาพดาวเทียมจึงเป็นสีขาวหรือสีเทาอ่อนๆ ส่วนเมฆที่อยู่ต่ำกว่าและมีอุณหภูมิอุ่นกว่าจะปรากฏในโทนสีที่คล้ำกว่าหรือบางครั้งอาจกลมกลืนไปกับพื้นดินหรือพื้นน้ำได้

2. ความหยาบ/ละเอียดของพื้นผิวเมฆ (Cloud Texture) ความหยาบ/ละเอียดของพื้นผิวเมฆเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาแปลความ ซึ่งแสดงเฉพาะในภาพ VIS เท่านั้น โดยพิจารณาเงาที่ปรากฏขึ้นของเมฆ เมฆที่มีลักษณะตะปุ่มตะป่ำและก่อตัวในทางตั้งมักทำให้เกิดเงาได้ดีและมีเงาเป็นจำนวนมาก แสดงว่าเมฆก้อนนั้นมีพื้นผิวที่หยาบ ขณะที่เมฆที่มีพื้นผิวในส่วนยอดของเมฆราบเรียบ (Smooth) มักจะปรากฏเป็นเงาขึ้นในบริเวณส่วนยอดของเมฆนั้น แต่จะมีการทอดเงาเฉพาะบริเวณขอบไปยังชั้นเมฆที่อยู่ต่ำกว่าหรือบนพื้นดิน ลมชั้นบนอาจทำให้เมฆที่เกิดขึ้นในระดับสูงฉีกขาดออก ซึ่งอาจปรากฏให้เห็นเป็นเส้นใยในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

3. รูปร่างลักษณะของโครงสร้าง (Organizational pattern) รูปร่างที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอาจมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบแถบ (Band), แนวหรือเส้น (Linear), การหมุนวนหรือแนวโค้ง (Circular) และรูปแบบเซลล์ (Cellular)

4. ความคมชัดของขอบ (Edge definition) ขอบของเมฆที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมเช่นลักษณะที่ขาดวัน หรือเป็นขอบที่คมชัดรวมทั้งขนาดและรูปร่างของเมฆสามารถใช้ในการพิจารณาชนิดของเมฆได้ โดยทั่วไปวิธีที่ดีที่สุดในการพิจารณาจำแนกเมฆแต่ละชนิดต้องนำภาพ VIS และภาพ IR ในช่วงเวลาเดียวกันกันหรือใกล้เคียงกันและเป็นบริเวณเดียวกันมาพิจารณาร่วมกันเสมอ ในภาพ VIS ใช้ในการพิจารณาเกี่ยวกับรูปร่างของเมฆ, ความหยาบ/ละเอียดพื้นผิวของเมฆ, รูปร่างลักษณะโครงสร้างของเมฆและความหนาของเมฆได้เป็นอย่างดี ข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต้องนำไปเปรียบเทียบกับภาพ IR เพื่อพิจารณาความสูงต่ำของเมฆ ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันจะช่วยทำให้ได้ข้อสรุปในการแปลความเมฆในภาพถ่ายดาวเทียมได้ถูกต้อง รวมทั้งสภาพอากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากเมฆชนิดนั้นด้วย

1. การแปลความเมฆแผ่น (Stratiform Clouds)

เมฆแผ่นเกิดในสภาวะที่อากาศทรงตัวดี (Stable Air) ลักษณะแบนราบและแผ่ออก อาจปรากฏเป็นชั้นๆ ได้ บริเวณส่วนบนของเมฆมีพื้นผิวที่ราบเรียบ รูปร่างลักษณะทางโครงสร้างไม่เด่นชัด อาณาบริเวณของเมฆแผ่นที่แผ่ปกคลุมภูมิภาคต่างๆ จะช่วยในการจำแนกชนิดของเมฆได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะเมฆที่เกิดในระดับต่ำๆ และเนื่องจากอุณหภูมิของเมฆเหล่านั้นค่อนข้างอุ่นทำให้ปรากฏเป็นสีค่อนข้างดำจนถึงเทาปานกลาง (Dark to Medium Gray)

1. หมอก/ St รวมกัน ส่วนยอดราบเรียบพื้นที่ปกคลุมเป็นไปตามลักษณะภูมิประเทศ ในภาพ VIS สีขาวถึงเทาปานกลางเมื่อหนา หากบางจะปรากฏเป็นรอยกระดำกระด่าง ส่วนภาพ IR มีสีดำจนถึงเทาปานกลาง เป็นเนื้อเดียวกัน อาจแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิแต่ละฤดูกาล หากอุณหภูมิระหว่างเมฆกับพื้นผิวมีความแตกต่างกันน้อยจะทำให้การแปลความทำได้ยาก บางครั้งอาจมีสีดำกว่าพื้นดินหากอุณหภูมิของพื้นดินนั้นเย็นกว่า

2. Ac/As ส่วนยอดราบเรียบปรากฏเป็นชั้นๆ หรืออาจเป็นริ้วๆ หรือพื้นผิวราบเรียบหรืออาจเป็นเซลล์ขนาดเล็กๆ มักเกิดร่วมกับเมฆ Ci ในภาพ VIS มีสีเทาอ่อนกระดำกระด่างหรือเป็นริ้วๆ ขึ้นอยู่กับความหนาและลักษณะชั้นของเมฆ ส่วนภาพ IR เทาปานกลางเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นอยู่กับระดับความสูงของเมฆ

2. การแปลความหมอกในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Visible หมอกปรากฏเป็นแผ่นราบเรียบเหมือนกับเมฆ St ซึ่งเป็นการยากมากในการที่จะแยกหมอกออกจากเมฆ St สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Infrared หมอกปรากฏเป็นสีเทาหม่น (Dull Shade of Gray) (ในกรณีที่มีมองเห็น) หากอุณหภูมิของผิวพื้นและหมอกใกล้เคียงกันจะไม่ปรากฏหมอกในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น Infrared นอกจากนั้นหากหมอกเกิดขึ้นในเวลากลางวัน ซึ่งไม่มีภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น Visible เป็นเครื่องมือช่วยประกอบในการแปลความด้วยจึงเป็นไปได้เลยที่จะตรวจพบบริเวณที่มีหมอกปกคลุม

โดยทั่วไปภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Visible/Infrared สามารถใช้ร่วมกันในการแปลความหมอกซึ่งต้องพิจารณาหลายช่วงเวลาประกอบกัน โดยพิจารณาบริเวณที่ปรากฏเป็นเมฆสีขาวราบเรียบ หากกลุ่มเมฆสีขาวเหล่านั้นไม่มีการเคลื่อนที่เมื่อเวลาผ่านไป แสดงว่าบริเวณนั้นเป็นพื้นที่หมอกปกคลุม สำหรับการสลายตัวของหมอกจะเริ่มสลายตัวจากบริเวณขอบนอกเข้าสู่พื้นที่ด้านในทั้งนี้เนื่องจากบริเวณขอบนอกนั้นบางกว่าหมอกที่เกิดขึ้นบริเวณภูเขา แม่น้ำ หรือหุบเขาจะมีขอบที่คมชัด เพราะเป็นที่หมอกเกิดขึ้นในพื้นที่ค่อนข้างจำกัด

3. การแปลความเมฆก้อน (Cumuliform Clouds)

เมฆก้อนเกิดขึ้นในสภาวะที่อากาศไม่ทรงตัว (Unstable Air) ซึ่งอากาศมีการยกตัวและจมตัว รูปทรงของเมฆจะเป็นก้อนๆ, แถบ, เซลล์ หรือมีลักษณะคล้ายคลื่น (Wave) ในภาพ VIS มักปรากฏให้เห็นลักษณะพื้นผิวของเมฆเป็นตะปุ่มตะป่ำ ส่วนในภาพ IR ขึ้นอยู่กับความสูงของเมฆเหล่านั้น

1. CU ก้อนเล็กๆ รูปทรงแตกต่างกันไปอาจเกิดเป็นเงาขึ้นหากมุมของดวงอาทิตย์อยู่ต่ำ พื้นผิวเป็นลักษณะตะปุ่มตะป่ำในภาพ VIS สีขาวปานกลาง ส่วนภาพ IR ดำถึงขาวปานกลางหากเป็นก้อนเล็กๆ หรือเป็นก้อนเดี่ยวๆ อาจตรวจพบได้ยาก

2. CB ก้อนกลมโตหรือคล้ายหัวแครอทขึ้นอยู่กับลมชั้นบน ส่วนยอดของเมฆเป็นตะปุ่มตะป่ำยอดสูงเฉลี่ย 35,000 ฟุต และ 60,000 ฟุต หากเป็น พายุฟ้าคะนองอย่างรุนแรง ปรากฏเป็นสีขาวมาก หรืออาจปรากฏเงาขึ้นในส่วนบนของยอดเมฆในภาพ VIS ส่วนในภาพ IR มีสีขาวมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ส่วนยอดของเมฆที่ Active

3. Sc เป็นก้อนหรือเซลล์และอาจเรียงตัวเป็นแนวหรือเป็นกลุ่มๆ ขอบของเมฆมักติดกัน บางครั้งอาจเห็นพื้นผิวตะปุ่มตะป่ำ ในภาพ VIS บริเวณตรงกลางเป็นสีขาว ส่วนบริเวณขอบเป็นสีเทาเพราะค่อนข้างบาง ภาพ IR มีสีดำถึงเทาเป็นเนื้อเดียวกัน หากเป็นแบบเซลล์อาจเห็นไม่ชัดเจนและหากความแตกต่างของอุณหภูมิเมฆกับพื้นดิน/น้ำน้อยจะไม่สามารถแยกแยะออกจากกันได้

4. การแปลความเมฆชั้นสูง (Cirriform Clouds)

1. Ci มีลักษณะเป็นเส้นใยบางๆ อาจมองทะลุผ่านและเห็นเมฆหรือผิวพื้นที่อยู่ต่ำกว่า ในภาพ VIS สีดำถึงเทาปานกลางขึ้นอยู่กับผิวพื้นด้านล่าง ส่วนภาพ IR สีเทาอ่อน หากเป็นเส้นใยอาจเห็นไม่ชัดเจน

2. Cs/Cc ราบเรียบส่วนบนและเป็นเนื้อเดียวกันอาจเห็นเป็นเส้นใยหรือแผ่น ในภาพ VIS สีเทาอ่อนหากบาง หากมีความหนาเพิ่มขึ้นจะปรากฏเป็นสีขาว ส่วนภาพ IR มีสีขาวถึงเทาอ่อน และแยกแยะออกจากเมฆชั้นกลางได้ยาก

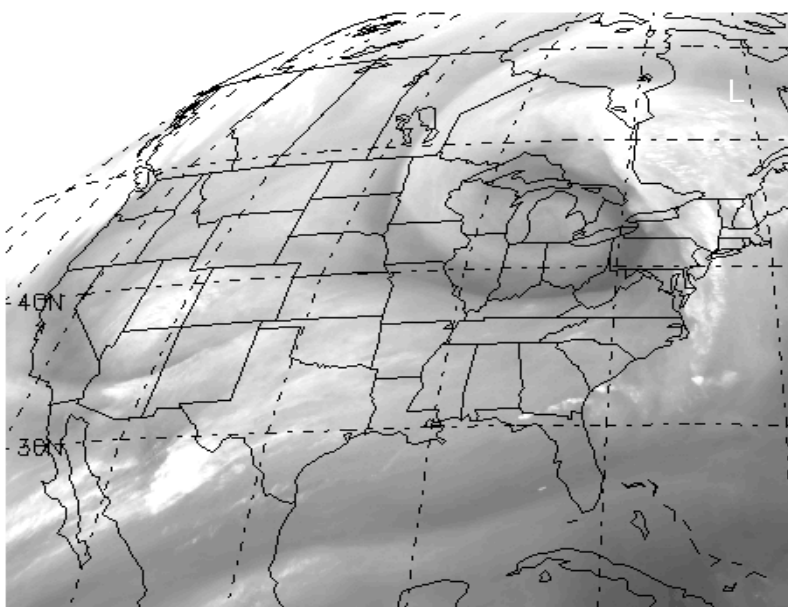
3. Anvil Ci มักราบเรียบ ยกเว้นบริเวณยอดที่พุ่งลำขึ้นไปด้านบน ขอบชัดเจนทางด้านต้นลมและทางด้านปลายลมอาจไม่ชัดเจน ในภาพ VIS ปรากฏสีขาวมาก ในส่วนที่ TS กำลังแรง และจางลงทางด้านปลายลม ส่วนภาพ IR ปรากฏเป็นสีขาวมากบริเวณที่มี TS รุนแรง และจางลงทางด้านปลายลม

การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวิเคราะห์ลักษณะอากาศใน Synoptic Scale (Synoptic scale Analysis on Satellite Imagery)

ลักษณะตัวการที่ก่อให้เกิดสภาพอากาศใน Synoptic Scale มีขนาดใกล้เคียง 1,000 กม. ซึ่งเทียบเคียงได้เท่ากับความยาวคลื่นของ Short Wave อันมีลักษณะของความปั่นป่วนแบบ Baroclinic ที่เกิดขึ้นของ Trough และ Ridge เคลื่อนที่ที่อยู่ใน Long Wave Trough สิ่งต่างๆ ที่สามารถวิเคราะห์ร่วมกับ Short Wave คือ Vorticity, ศูนย์กลางความกดอากาศ และแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้น ดังนั้น ผลของการวิเคราะห์จึงได้จากการสรุปภาพรวมที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาของนักพยากรณ์อากาศที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์

1. หย่อมความกดอากาศต่ำในระดับบน (Upper Level Low Center)

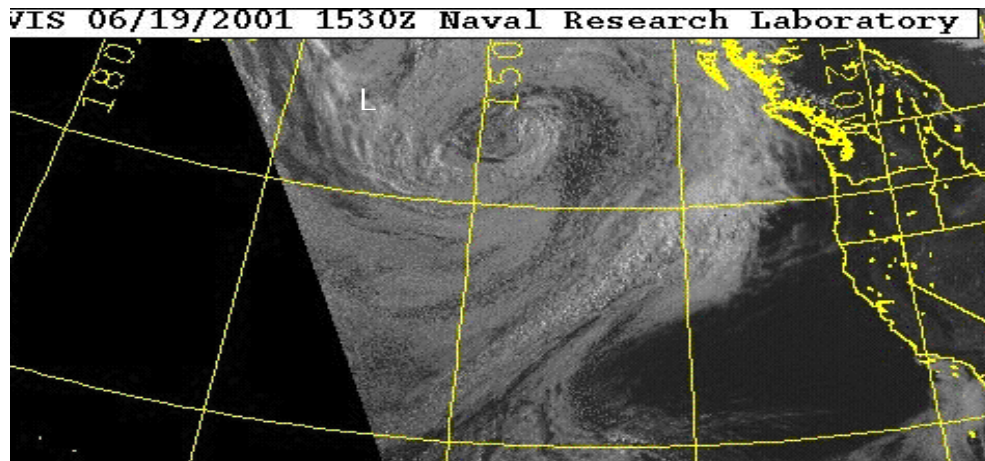
การหมุนวนของเมฆในระดับบนแบบ Cyclone คือหย่อมความกดอากาศต่ำในระดับบน สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor ก็แสดงการหมุนแบบเดียวกัน โดยทั่วไปตำแหน่งของหย่อมความกดอากาศต่ำในระดับบนกับ Vorticity Max ที่ระดับ 500 hPa มีความสัมพันธ์กัน โดยหากระบบของหย่อมความกดอากาศต่ำค่อนข้างคงที่ (stationary) ศูนย์กลางของหย่อมความกดอากาศต่ำในระดับบนและ Vorticity Max จะอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ถ้าหากว่าระบบของหย่อมความกดอากาศต่ำเคลื่อนตัวช้ากว่าการหมุน (Rotating) การวิเคราะห์เส้นชั้นความสูง (Contour) ที่ระดับ 500 hPa จะวิเคราะห์ได้เป็นวงปิด และศูนย์กลางของความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางด้านซ้ายของ Vorticity Max ตามทิศทางการเคลื่อนที่ แต่ถ้าระบบเคลื่อนตัวได้เร็วกว่าการหมุนเส้นชั้นความสูงที่ปรากฏใน 500 hPa จะวิเคราะห์ได้ในลักษณะที่ไม่เป็นวงปิดและการวางตำแหน่งของศูนย์กลางของความกดอากาศต่ำจะไม่สัมพันธ์กับ Vorticity Max



รูปที่ 26 Upper Level Low Center ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด "Water Vapor"

2. หย่อมความกดอากาศต่ำบริเวณผิวพื้น (Low Level /Surface Lows)

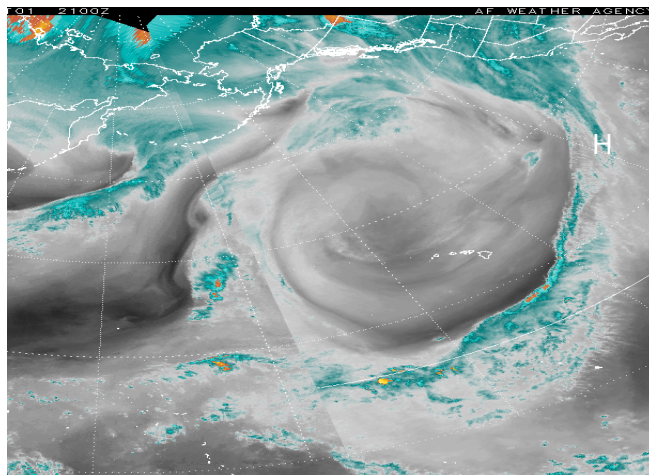
พิจารณาจากศูนย์กลางของการหมุนวนของเมฆชั้นต่ำ ซึ่งตามปกติมักถูกปิดบังโดยเมฆที่อยู่สูงกว่า ดังนั้น การวางตำแหน่งศูนย์กลางของหย่อมความกดอากาศต่ำจึงทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของนักพยากรณ์อากาศ โดยพิจารณาถึงการซ้อนขึ้นไปของระบบความกดอากาศต่ำ รวมทั้งการเคลื่อนที่ของระบบ



รูปที่ 27 Surface Low Center ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น Visible

3. บริเวณความกดอากาศสูงในระดับบน (Upper Level High Center)

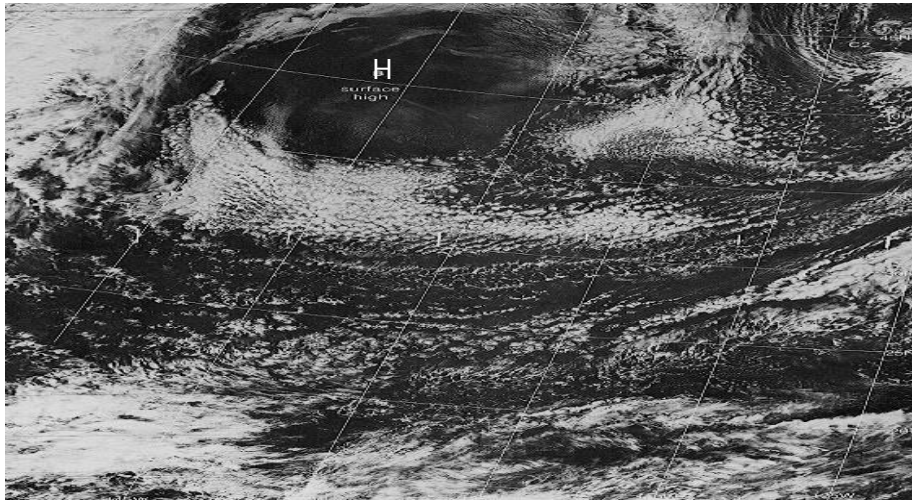
ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor เป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการพิจารณา Anticyclone หากขอบด้านในสีดำเห็นได้อย่างชัดเจน และเป็นแนวโค้งจากทางตอนใต้และด้านตะวันตกของความกดอากาศสูงแสดงว่าเป็น High วงปิดในระดับบน การเกิด Anticyclone ระดับบนนั้นบริเวณสีดำจะเริ่มปรากฏทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของ Upper Ridge ที่ขยายออกไปทางทิศตะวันตก ในบางครั้งการหมุนวนแบบ Anticyclone อาจพบได้ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น VIS จากรูปแบบของเมฆ อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่บริเวณที่เป็นความกดอากาศสูงมักมีเมฆเพียงเล็กน้อย หากบริเวณความกดอากาศสูงมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น บริเวณที่อากาศแห้งจะมีด (สีดำ) และมีความราบเรียบมากขึ้น และหากบริเวณดังกล่าวมีสีอ่อนลง (ความชื้นเพิ่มขึ้น) แสดงว่าบริเวณความกดอากาศสูงอ่อนกำลังลง โดยทั่วไป Anticyclone ในระดับบนปรากฏทางด้านปลายลมของแนว Trough ที่มีกำลังแรง



รูปที่ 28 Upper Level High Center

4. บริเวณความกดอากาศสูงในระดับต่ำ (Low level/Surface high)

บริเวณที่อากาศแจ่มใส หรือบริเวณที่มีหมอกปกคลุมหรือ Close cell stratocumulus ซึ่งล้วนแล้วแต่เกิดใกล้กับบริเวณศูนย์กลางของบริเวณความกดอากาศสูง บางครั้ง Cumulus Street ที่ปรากฏมีลักษณะเป็นแนวโค้งออกจากศูนย์กลางในลักษณะ Anticyclone ที่เกิดขึ้นโดยรอบบริเวณความกดอากาศสูง ส่วนแกนของ Ridge ที่ผิวพื้นปรากฏอยู่ทางด้านศูนย์กลางสูตรของ Cloud Finger ซึ่งเกี่ยวข้องกับแนวปะทะอากาศเย็นและบริเวณรอยบากของ Sun Glint



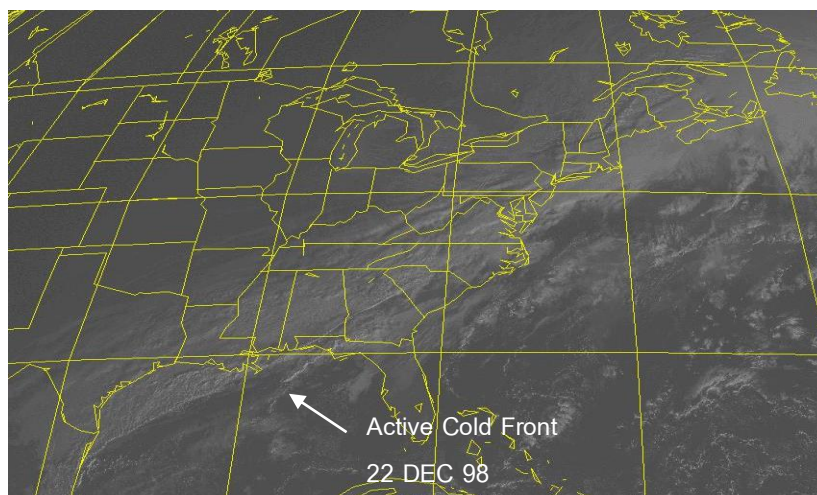
รูปที่ 29 Surface High Center

5. แนวปะทะอากาศ (Front)

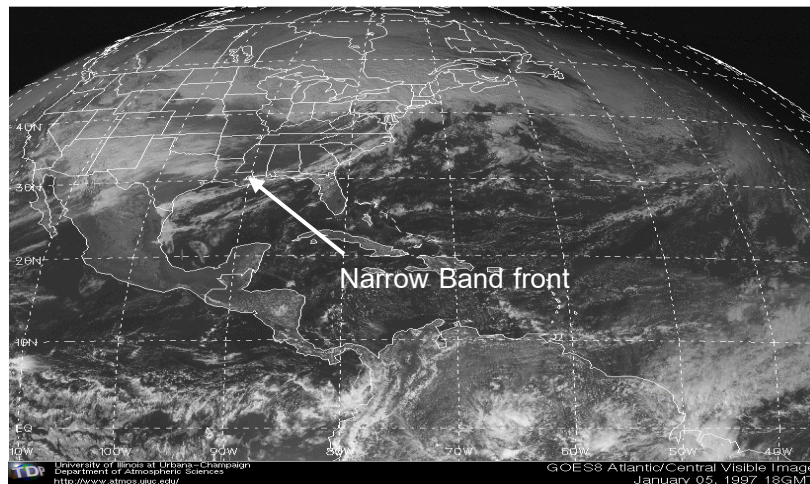
5.1 แนวปะทะอากาศเย็น (Cold Front)

แนวปะทะอากาศเย็นแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แบบ Wide Band และ Narrow Band แต่ส่วนใหญ่ที่พบอาจเปลี่ยนจากชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่งได้ตามแนวยาวของแนวปะทะอากาศ

Wide Band Front อาจเรียกว่า Active Front หรือ Anabatic Front คุณลักษณะของแนวปะทะอากาศชนิดนี้จะมีแถบของเมฆกว้างประมาณ 600 ไมล์ และยาวนับเป็นพันๆ ไมล์ ตำแหน่งของแนวปะทะอากาศอากาศจะอยู่ในส่วนหน้าของแถบเมฆ ส่วนแนวปะทะอากาศชนิด Narrow Band หรือ Inactive หรือ Katafront มักขึ้นอยู่กับการยกตัวของแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้น สภาพอากาศที่เกิดขึ้นอาจมีท้องฟ้าโปร่งจนถึงเมฆพายุฟ้าคะนองอย่างรุนแรง ตำแหน่งแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้นจะอยู่ทางด้านหลังของแถบเมฆ ในบางโอกาสอาจปรากฏแนวของ Squall Line เกิดขึ้นบริเวณส่วนหน้าของ Katafront ตำแหน่งของแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้นจะเอียงไปทางด้านหลังของแถบเมฆ มักพบว่าแนวปะทะอากาศเปลี่ยนเป็น Narrow Band ใก้ๆ กับบริเวณที่เป็นแนวปะทะอากาศปิดและกลับกลายเป็น Wide Band ในบริเวณที่กระแสลมกรดพัดขนาน และเปลี่ยนเป็น Narrow Band อีกครั้งเมื่อเคลื่อนตัวผ่าน Trough



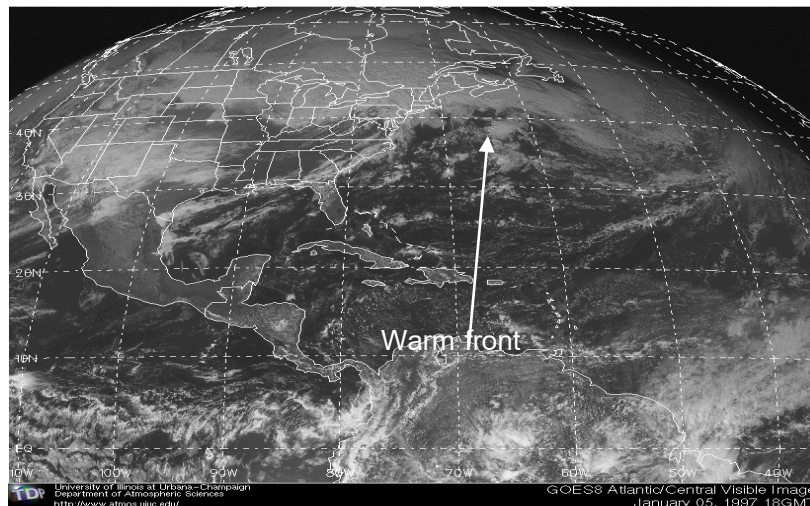
รูปที่ 30 Active Cold Front



รูปที่ 31 Inactive Cold Front หรือ Narrow band

5.2 แนวปะทะอากาศอุ่น (Warm front)

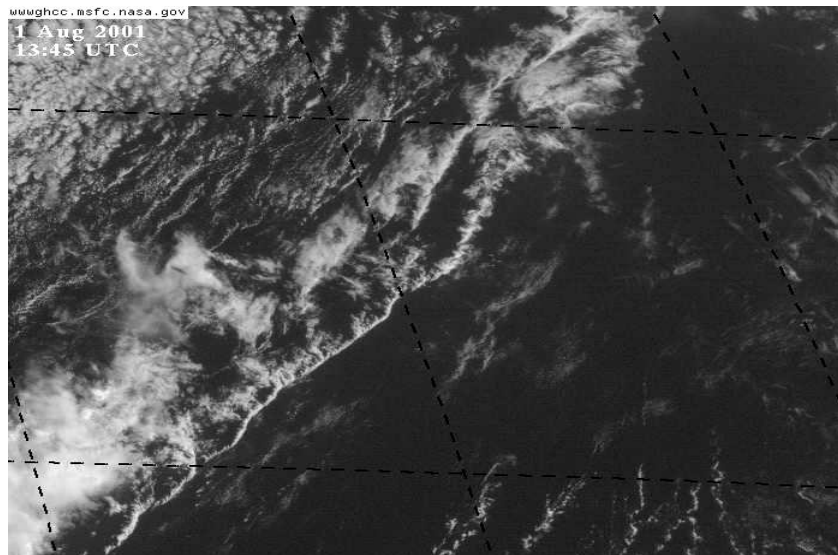
สภาพอากาศที่เกิดอาจปรากฏท้องฟ้าโปร่งใสจนถึงมีเมฆปกคลุมอย่างหนาแน่น ในการกำหนดตำแหน่งของแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้นทำได้ยาก ซึ่งอาจสังเกตได้จากรอยบาก (Notch) หรือลิ้ม (Wedge) ของแถบเมฆจะเป็นที่ตั้งของมวลอากาศอุ่น จำนวนของเมฆและการยกตัวของอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำ และการทรงตัวของอากาศรวมทั้งช่วงเวลาของปี



รูปที่ 32 Warm Front

5.3 แนวปะทะอากาศแบบไม่เคลื่อนที่ (Stationary Front)

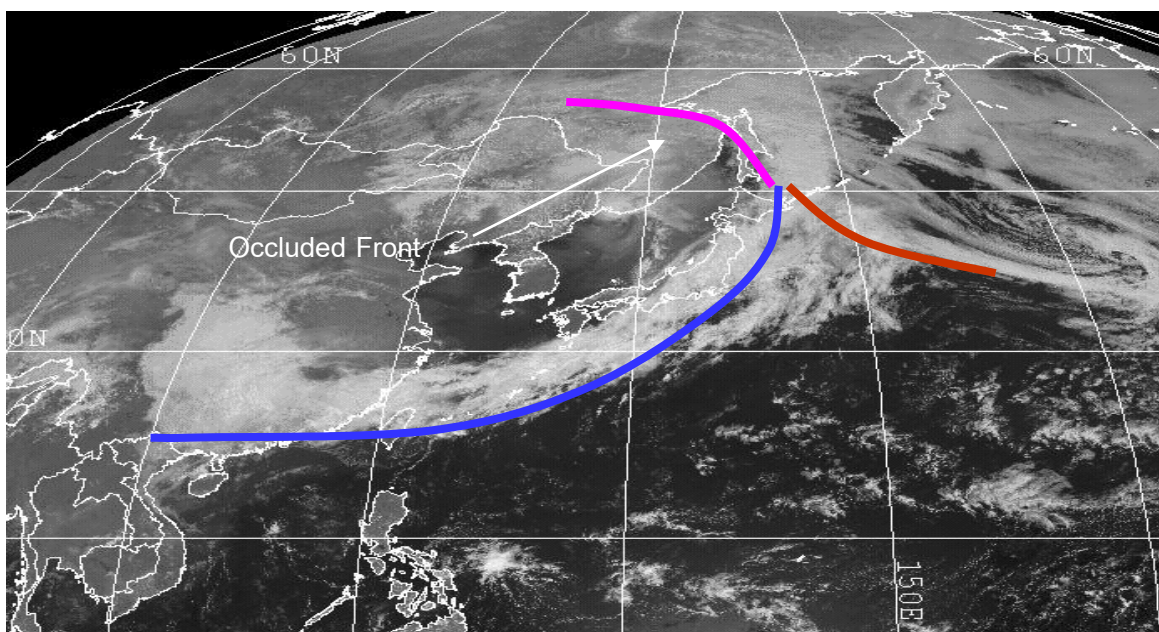
แนวปะทะอากาศผิวพื้นอยู่ในบริเวณขอบหน้าของ Cloud shield เกิดเหนือพื้นดินหากมีกำลังอ่อนยากที่จะตรวจพบได้ แต่หากเกิดเหนือหน้าน้ำมักปรากฏ Rope Cloud เสมอซึ่งบ่งชี้ถึงแนวปะทะอากาศแบบไม่เคลื่อนที่



รูปที่ 33 Stationary Front & Rope Cloud

5.4 แนวปะทะอากาศปิด (Occluded Front)

ทั้งแนวปะทะอากาศปิดชนิดอุ่นและเย็นจะอยู่บริเวณด้านหลังของแถบเมฆ Comma cloud



รูปที่ 34 Occluded Front

6. ระบบเมฆที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Cloud System on Imagery)

6.1 การก่อตัวของระบบ Mid Latitude Cyclones

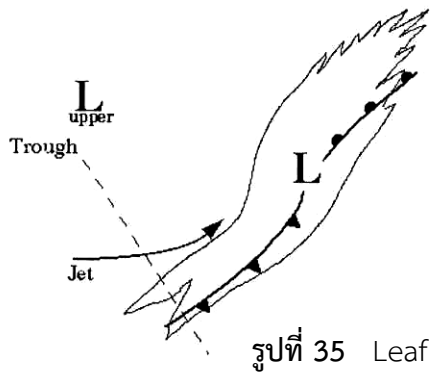
ในเขตละติจูดกลางสภาพอากาศ แนวปะทะอากาศเป็นส่วนหนึ่งของระบบพายุ เรียกว่า Mid Latitude Cyclone เป็นระบบของสภาพอากาศที่ก่อให้เกิดหย่อมความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้นและเกี่ยวข้องกับแนวปะทะอากาศอุ่น แนวปะทะอากาศเย็นและแนวปะทะอากาศปิด

Cyclogenesis หมายถึง บริเวณละติจูดที่มี Cyclone เกิดขึ้นบ่อยๆ เมื่อ Upper Trough มีความยาวคลื่นปานกลาง (Intermediate Wavelength) (2,500 - 5,000 กม.) ส่งผลกระทบต่อนพื้นผิวของแนวปะทะ หย่อมความกดอากาศต่ำเจริญเติบโตในบริเวณที่ปรากฏของ Shear ในทางตั้งและ Thermal Instability (Convection) ปัจจัยที่นำไปสู่การลดลงของความกดอากาศที่ผิวพื้นได้แก่

1. Divergence ในระดับบนเป็นผลให้มวลของอากาศเหนือห่อความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้นลดลง
2. การไหลเข้า (Inflow) มาของอากาศอุ่นขึ้นในระดับต่ำและระดับกลาง
3. การคายความร้อนอันเกิดจากการยกตัวของอากาศบริเวณที่เป็นมวลของอากาศอุ่น (Warm Air Mass Sector) ซึ่งเป็นบริเวณที่พายุก่อตัวขึ้น

เมื่อเงื่อนไขดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเกิดขึ้นร่วมกันก็จะทำให้พายุเริ่มก่อตัวขึ้น ประเภทของ Cyclogenesis เริ่มตั้งแต่ Leaf ไปจนถึง Comma การพัฒนาตัวของพายุเริ่มตั้งแต่ระบบของเมฆที่เรียกว่า Leaf Cloud และสิ้นสุดลงด้วยเมฆรูป Comma (Comma Shaped Cloud System)

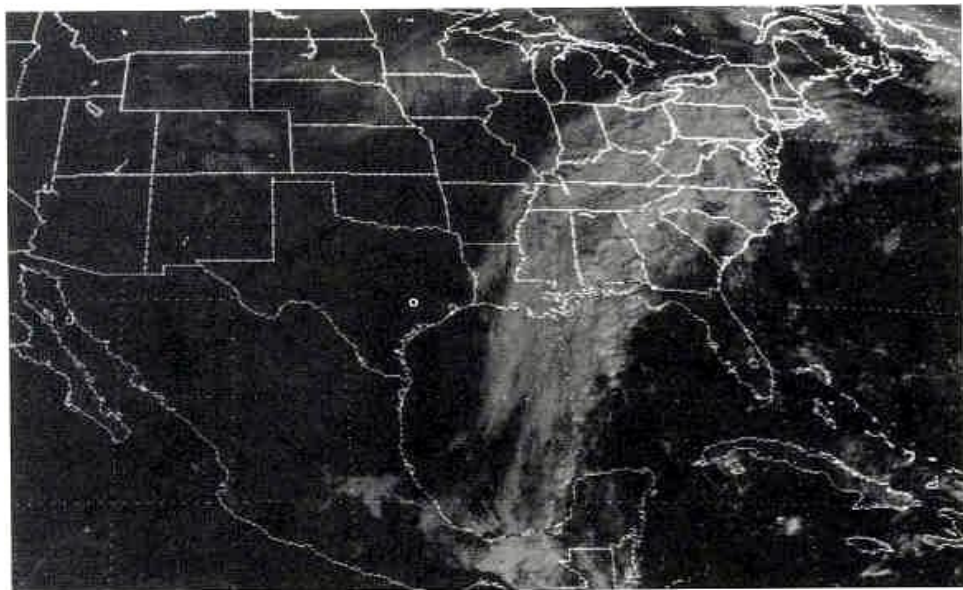
6.1.1 Leaf Stage



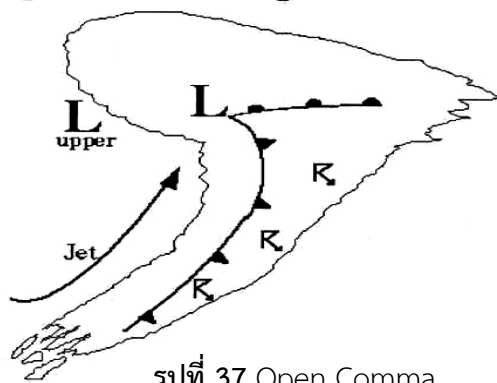
รูปที่ 35 Leaf

ระบบพายุเริ่มต้นจาก Leaf Cloud ลักษณะดังกล่าวมักพบทางด้านตะวันออกของ Trough ในระดับบน และวางตัวไปตามแนวของ Trough มีรูปร่างคล้ายกับใบไม้ ขอบเขตของ Leaf Cloud เห็นได้อย่างชัดเจน ประกอบด้วยกลุ่มเมฆที่มีความหนาและโครงสร้างทางตั้งค่อนข้างลึก ปรากฏอย่างชัดเจนในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงคลื่นอินฟราเรดและ Visible บริเวณขอบของเมฆทางขั้วโลก (Poleward side) ปรากฏรูปร่างในลักษณะของรูปตัว S อย่างเด่นชัด ส่วนบริเวณขอบด้านปลายของ Leaf Cloud ทางทิศตะวันตกหรือตะวันตกเฉียงใต้ปรากฏเป็นรอยบากอันเกิดจากกระแสลมกรดที่พัด

ผ่านเข้ามาทางขอบด้านตะวันตก ยอดเมฆที่สูงที่สุดที่อยู่ใน Leaf Cloud ส่วนใหญ่จะอยู่ทางซีกด้านตะวันออกและลดหลั่นลงมาทางด้านตะวันตก เมฆชั้นกลางส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ทางด้านตะวันตกของรอยบาก ส่วนเมฆชั้นต่ำพบในบริเวณตอนบนของรอยบาก โดยปกติแนวปะทะอากาศเย็นวางตัวตามแนวของขอบเมฆทางด้านศูนย์สูตร (Equatorward) ของ Leaf หรือภายในโครงสร้างของเมฆนั้น Leaf ถือว่าเป็นบริเวณที่มีความสำคัญเกี่ยวกับเมฆและน้ำฟ้าถึงแม้ว่าจะไม่เกิด Cyclone เกิดขึ้นก็ตาม Leaf Cloud เกิดขึ้นทางด้านตะวันออกของกระแสลมกรดที่เคลื่อนตัวในลักษณะของ Trough ที่มียอดค่อนข้างสูง (High Amplitude Jet Stream Trough)



6.1.2 Open Comma Stage

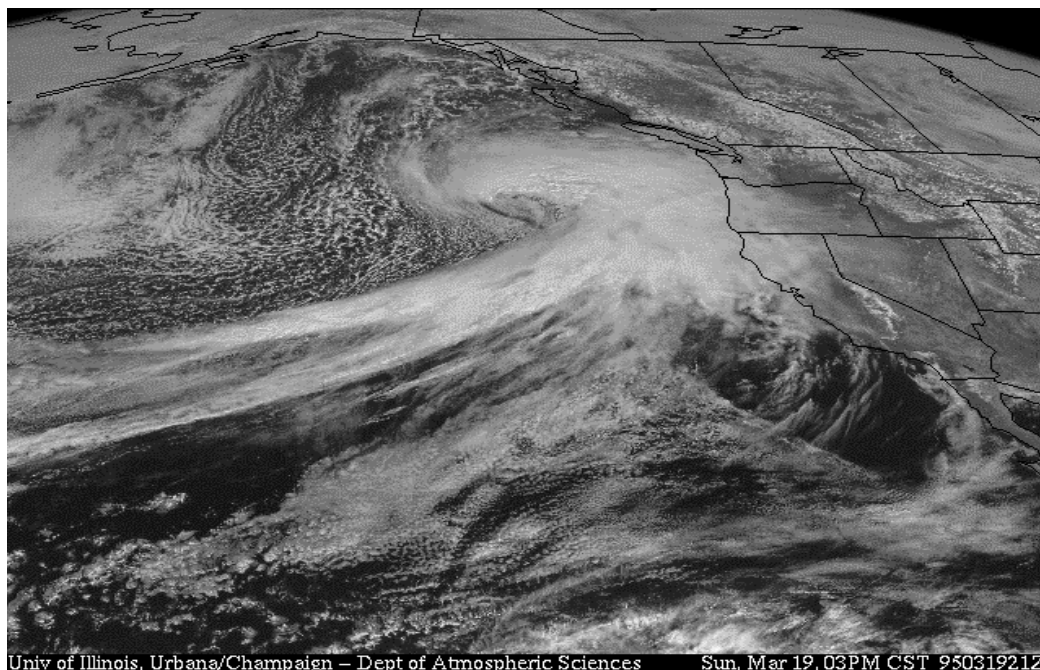
Open comma stage

รูปที่ 37 Open Comma

ภายใน Leaf Cloud อากาศไหลรอบหรือหมุนรอบจุด Vorticity Maximum (บริเวณที่มีการหมุนรอบจุดแรงที่สุด) เนื่องจากอากาศเคลื่อนที่ไปรอบๆ จุดของ Vorticity Maximum เมฆก็หดตัวลง หากระบบดังกล่าวยังคงอยู่กับที่เมฆจะเริ่มเปลี่ยนรูปลักษณ์กับ Comma หากระบบเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันออก เมฆจะหดตัวลงอีก เรียกว่า Comma Cloud รูปร่างของ Comma Cloud ที่ปรากฏขึ้นอยู่กับการพัฒนาการของรูปแบบ Vorticity ขนาดของ Comma Cloud มีตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ นอกจากนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว

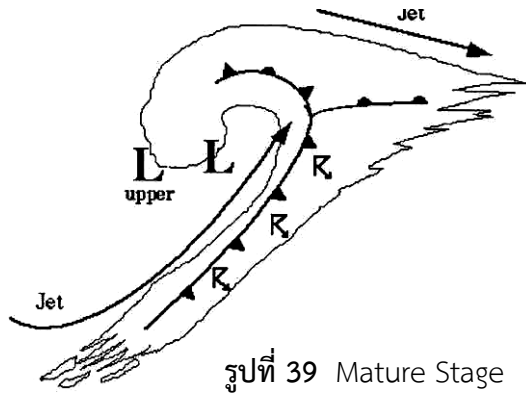
ลักษณะของ Comma Cloud มีความหลากหลาย ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการศึกษา บริเวณขอบด้านหลังของ Comma Cloud เป็นบริเวณที่พบได้ง่ายซึ่งปรากฏเป็นรูปตัว S ณ จุดที่มีการเปลี่ยนจากไซโคลนเป็นแอนติไซโคลนบริเวณขอบด้านหลัง เรียกว่า Inflection Point ส่วนบริเวณขอบด้านหน้าของ Comma Cloud ปรากฏไม่ชัดเจนและมีลักษณะฉีกขาดอันเนื่องจากลมชั้นบน ปกติเมฆ Comma Cloud เริ่มพบ Dry Slot หรืออาจเรียกว่า Surge Region ซึ่งเป็นบริเวณที่กระแสลมกรดพัดผ่าน บริเวณนี้โดยปกติเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของเมฆบริเวณรอยบาก ณ ที่นี้กระแสลมกรดเป็นตัวการทำให้เมฆเคลื่อนตัวเร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมฆอื่นๆ และกลุ่มเมฆเหล่านั้นสะสมเพิ่มมากขึ้นทางด้านปลายลม บริเวณส่วนหัวของ Comma จะวางตัวอยู่ทางด้านตะวันตกของกระแสลมแรงสูงสุด (Maximum Winds) และเยื้องไปทางด้านหลังและแสดงให้เห็นลักษณะแนวโน้มการหมุนวนที่รุนแรงที่สุด ส่วนหางของ Comma ขยายออกไปทางตอนใต้ ซึ่งวางตัวขนานกับแกนของกระแสลมแรงสูงสุด แนวปะทะอากาศเย็นโดยปกติวางตัวไปตามส่วนหางของเมฆ Comma

เมื่อ Comma ก่อตัวขึ้นความกดอากาศของระบบพายุนี้ลดลง ความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้น เคลื่อนที่ไปยังขอบด้านตะวันตกของกลุ่มเมฆใกล้กับบริเวณจุดเปลี่ยน (Inflection point) และบริเวณกระแสลมกรด สำหรับแนวปะทะอากาศอุ่น (มักพบได้ยากในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา) ขยายไปทางด้านตะวันออกของจุดเปลี่ยน



รูปที่ 38 ส่วนประกอบของ Comma Cloud

6.1.3 Mature (Occluded) Stage

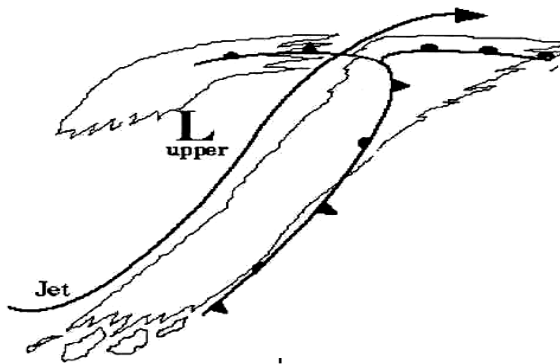


รูปที่ 39 Mature Stage

หากพายุพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การหมุนเวียนของระบบ หย่อมความกดอากาศต่ำถูกตัดออกหรือแยกออกจาก กระแสลมกรด ซึ่งเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นและหากปราศจาก แรงโมเมนตัม (Momentum) จากกระแสลมกรดและ Temperature Gradient ที่เกิดขึ้นตามแนวกระแส ลมกรด พายุสูญเสียพลังงานที่จะทำให้มีความรุนแรง เพิ่มขึ้น (Deepen) ดังนั้น ความกดบริเวณศูนย์กลางของ พายุหยุดการลดลงของความกด และความกดอากาศอาจ เริ่มต้นเพิ่มขึ้นได้ การหมุนเวียนรอบศูนย์กลางของกลุ่ม

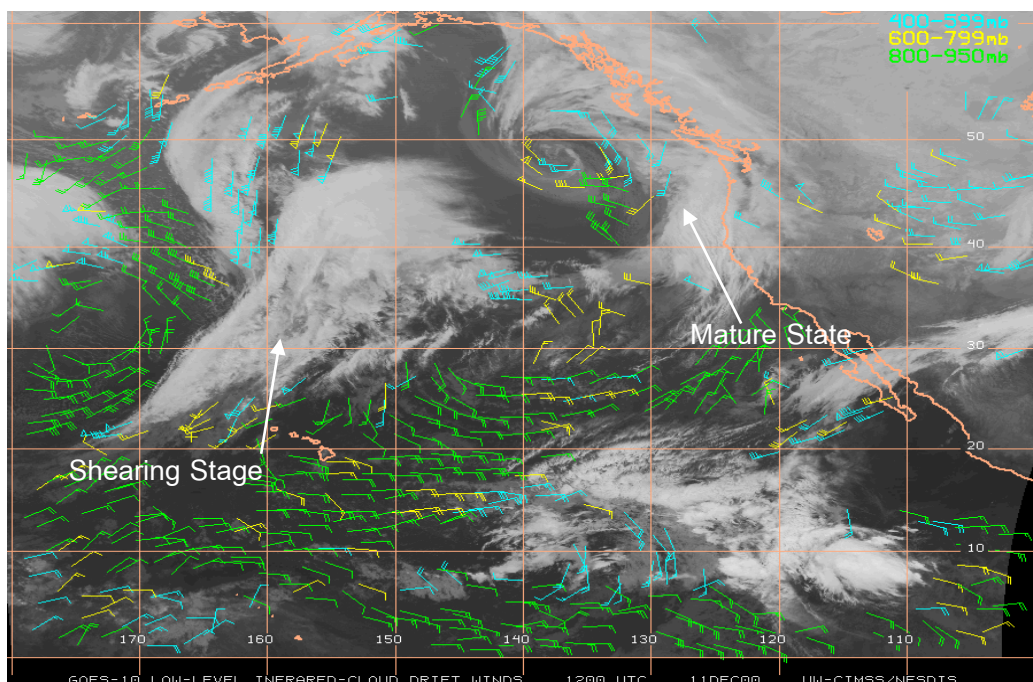
เมฆรอบๆ พายุ และแนวปะทะอากาศเย็นเริ่มเคลื่อนตัวมาซ้อนทับแนวปะทะอากาศอุ่น เกิดเป็นระบบแนวปะทะ อากาศปิดขึ้น บริเวณจุดที่เป็นแนวปะทะอากาศปิดซึ่งบริเวณที่แนวปะทะอากาศเย็นและอากาศอุ่นมาบรรจบกัน เรียกว่า Triple Point มักพบในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาตรงบริเวณที่กระแสลมกรดตัดผ่านระบบนี้

6.1.4 Shearing Stage



รูปที่ 40 Shearing Stage

ในขณะที่พายุอ่อนกำลังอย่างต่อเนื่อง ลมในระดับบนจะ แยกส่วนหัวของ Comma ออกจากส่วนหางและรูปแบบ ของโครงสร้างของเมฆเปลี่ยนแปลงไป บริเวณส่วนหัวของ Comma ที่เกี่ยวข้องกับกับความกดอากาศต่ำจะคล้อยไป ทางด้านหลังและยังคงระบบการหมุนเวียน ลักษณะ ดังกล่าวเป็นการเริ่มต้นของ Cut off Low หรือ Cold Core Low แต่เนื่องจากหย่อมความกดอากาศต่ำอ่อนตัว ลงอย่างช้าๆ และมีแนวโน้มที่ จะคงที่อยู่อันเป็นเวลานาน ในบางกรณีอาจนานนับสัปดาห์หรือมากกว่า

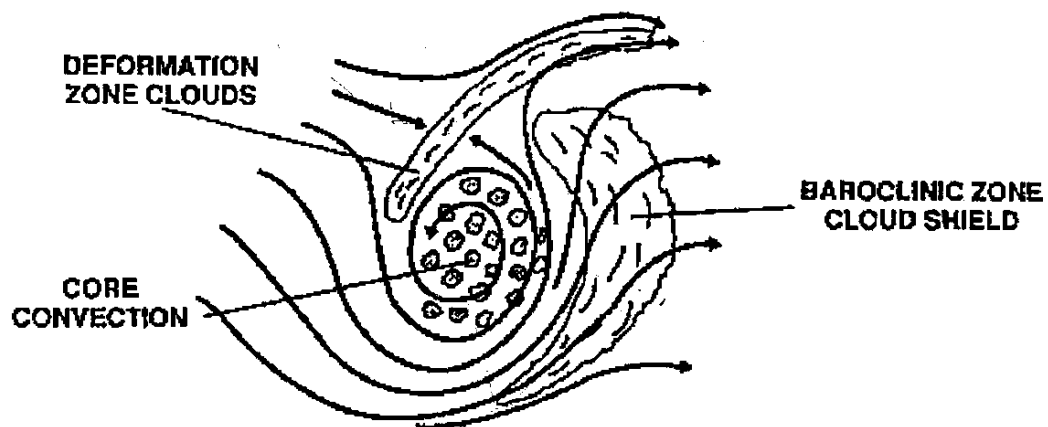


รูปที่ 41 Mature Stage and Shearing Stage

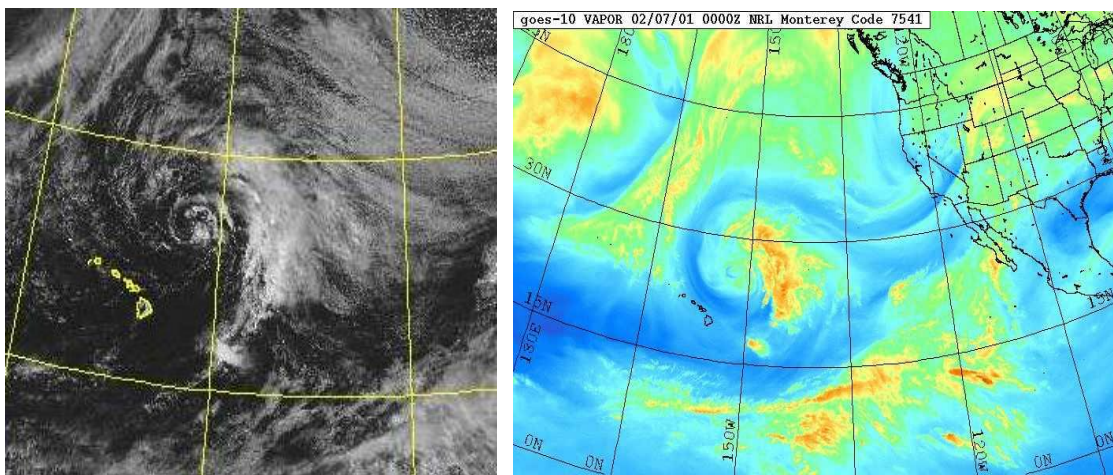
6.2 Cut off Low

ลักษณะของ Cut off Low ที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแสดงดังรูปข้างล่าง เกิดจากการก่อตัวลึกลงมาจาก Upper Trough โดยที่กระแสลมกรดวางตัวเป็นแนวจากทิศใต้ไปทิศเหนือโดยเฉพาะบริเวณด้านตะวันออกของศูนย์กลางของหย่อมความกดอากาศต่ำ แถบเมฆ Baroclinic Zone เกิดขึ้นทางด้านตะวันออกของ Cut off Low ในบริเวณที่ลมในระดับบนเป็นลมทิศตะวันตกเฉียง-ใต้เนื่องจาก Low ในระดับบนเป็นวงปิด กลุ่มเมฆ Deformation Zone ก่อตัวขึ้นทางตอนเหนือของ Low ลมที่พัดอยู่ในบริเวณนี้เป็นลมพัดไปทางทิศเหนือรอบ Low ซึ่งไปบรรจบกับลมที่มุ่งสู่ทิศใต้เนื่องจาก Upper Trough สำหรับบริเวณศูนย์กลางของการยกตัว (Core Convection) อาจสังเกตพบได้เมื่อ low นั้นเกิดเหื่อน่านน้ำ อุณหภูมิของน้ำทะเลค่อนข้างจะไม่แตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นดิน ดังนั้นอากาศเหื่อน่านน้ำส่วนใหญ่จะไม่ทรงตัว (Unstable) ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศในระดับบนจะเย็นที่สุดโดยเฉพาะบริเวณศูนย์กลางของระบบ เมฆก่อตัวในทางตั้งเกิดขึ้นบริเวณที่อากาศไม่ทรงตัว ณ ศูนย์กลางของ Low หากศูนย์กลางของ Vorticity อยู่ใกล้กับศูนย์กลางของหย่อมความกดอากาศต่ำ บริเวณนี้มีเมฆ Cu เกิดขึ้นและอาจปรากฏเป็น Comma

Cut off Low กำลังอ่อนที่เกิดในละติจูดต่ำๆ อาจไม่มีเมฆจำนวนมากเกิดขึ้นและหากปรากฏให้เห็นเมฆส่วนมากเกิดขึ้นครึ่งหนึ่งของวงกลมรอบหย่อมความกดอากาศต่ำทางด้านตะวันออกของ Low ในขณะที่อีกครึ่งหนึ่งสภาพอากาศเกิดเพียงเล็กน้อยทางด้านตะวันตกของหย่อมความกดอากาศต่ำ



รูปที่ 42 ลมชั้นบนและรูปแบบของเมฆบริเวณ Cut off Low



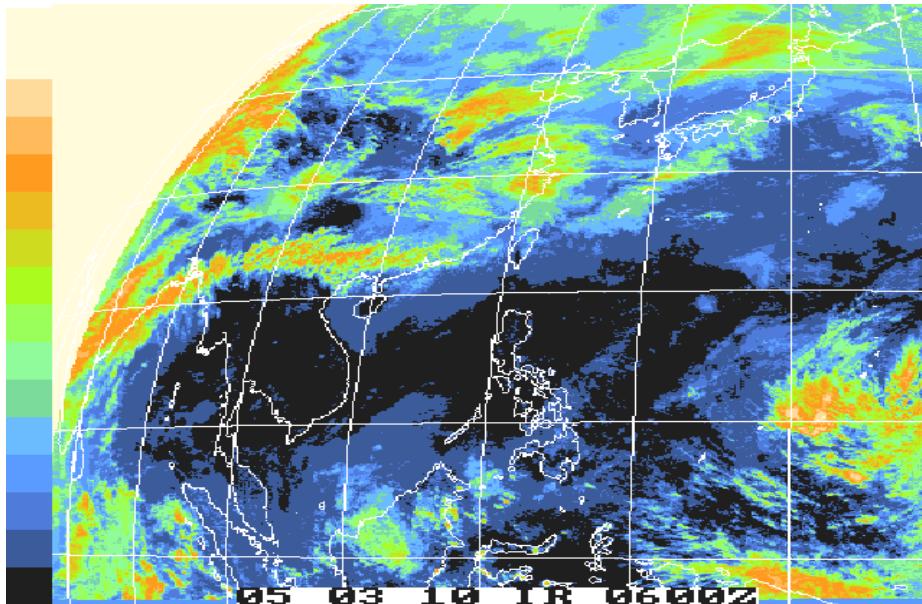
รูปที่ 43 Cut off Low ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่น VIS (ซ้าย) และ Water Vapor (ขวา)

7. บริเวณความกดอากาศสูงกึ่งเขตร้อน/ลิ่มความกดอากาศสูง (Subtropical High/Ridge)

Subtropical High/Ridge คือ Anticyclone ขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทร พบได้ทุกระดับในชั้นบรรยากาศและมีลักษณะกึ่งถาวร โดยมีศูนย์กลางอย่างคร่าวๆ ปกคลุมอยู่ตอนกลางพร้อมกับการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ ของมหาสมุทรในบริเวณละติจูด 30 องศาเหนือ/ใต้ การเคลื่อนตัวจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยจะเคลื่อนขึ้นสู่ขั้วโลกเหนือและมีความรุนแรงในฤดูร้อนและเคลื่อนที่กลับลงมาทางศูนย์สูตรในฤดูหนาว ความรุนแรงลดลง

ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา บริเวณความกดอากาศสูงมักไม่ปรากฏเมฆที่ก่อตัวในทางตั้ง แต่ปรากฏเป็นแผ่นของเมฆ Closed Cell Stratocumulus ก่อตัวขึ้นทางด้านตะวันออก ในขณะที่เมฆ Cumulus ขนาดเล็กๆ ปรากฏทางด้านตะวันตกหรือทางตอนใต้ของบริเวณความกดอากาศสูงนั้น Subsidence Inversion ที่รุนแรงเกิดขึ้นทางด้านตะวันออกยับยั้งการก่อตัวในทางตั้งของเมฆ ส่วนเมฆชั้นกลางค่อนข้างเกิดขึ้นได้ยาก ในขณะที่เมฆชั้นสูงมักเกิดร่วมกับ Subtropical Jet โดยเป็นแนวขึ้นมาจากทางด้านตะวันตกของ Ridge ในระดับบน

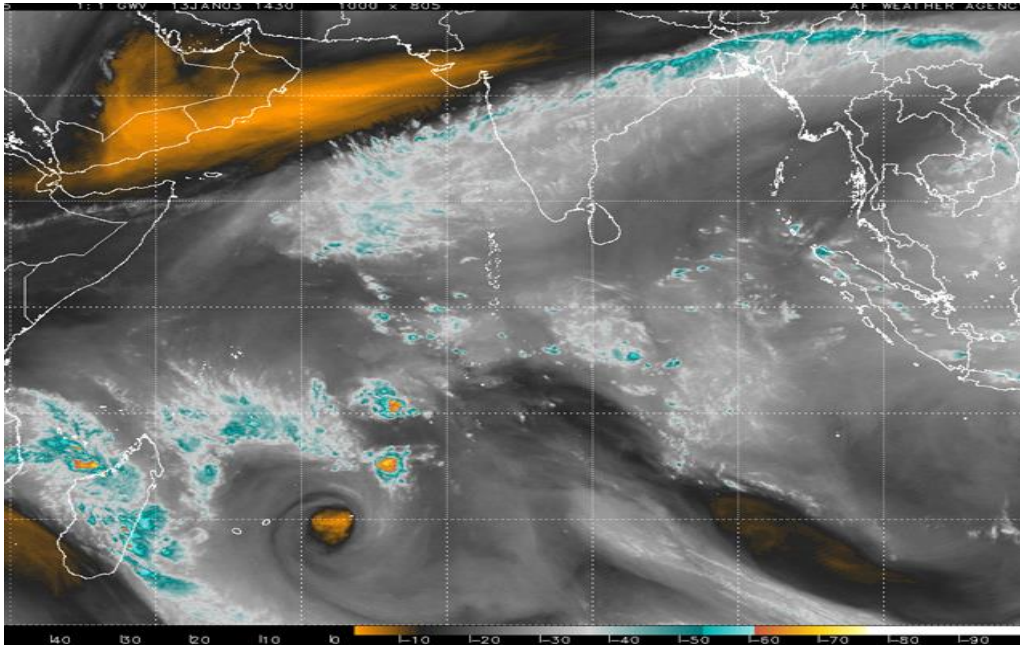
อาณาบริเวณของ Subtropical High ที่ผิวพื้นที่ขยายตัวไปทางขั้วโลกจะไปบรรจบกับแนวปะทะอากาศแถบขั้วโลก แต่ทางแถบศูนย์สูตรจะไปบรรจบกับ NECZ (Near Equatorial Convergence Zone) แนวของ Ridge มีความคมชัดและสามารถแปลความได้จากเมฆและบริเวณลมอ่อน นอกจากนี้อาจพบรอยบากที่เกิดจาก Sunlint หรือบริเวณที่มีความโค้งอย่างชัดเจน รวมทั้งบริเวณส่วนยอดเมฆ Cumulus Streets ในภาพไมโครเวฟ ข้อมูลความเร็วลมจะเป็นตัวบ่งชี้ได้ดีในการวางแนวของ Ridge ทั้งนี้เนื่องจากจะเป็นบริเวณที่ปราศจากน้ำฟ้า และมีพื้นน้ำที่ราบเรียบเป็นฉากหลังเสมอ



รูปที่ 44 STR (Subtropical High) ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

8. กระแสลมกรดกึ่งเขตร้อน (Subtropical Jet)

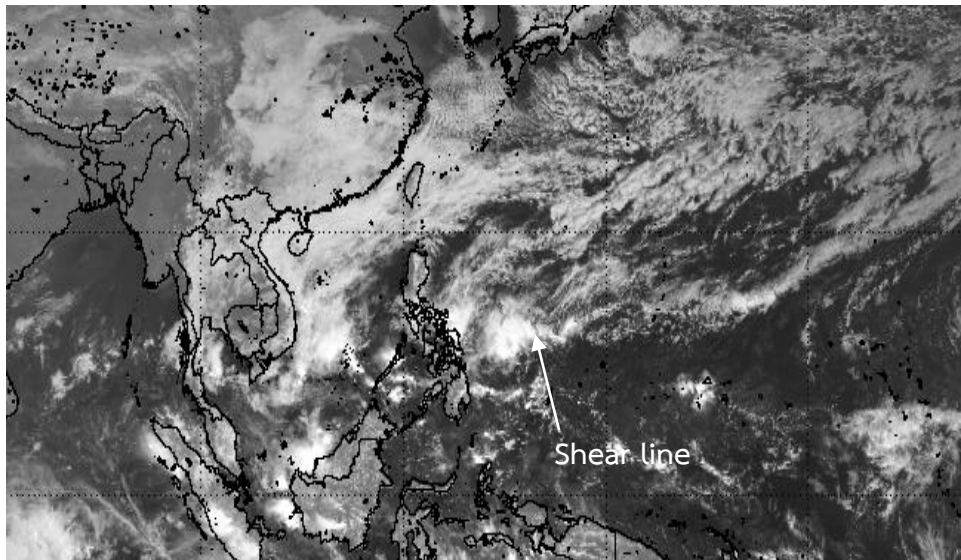
ปกติแถบเมฆที่เกิดร่วมกับ Subtropical Jet แสดงเป็นแนวโค้งในลักษณะของ Anticyclone แนวของแถบเมฆจะเริ่มตั้งแต่ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ไปสู่ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และบ่อยครั้งที่พบเมฆ Transverse Band ซึ่ง Transverse Band อาจโค้งลงในบริเวณที่กระแสลมลดลง หากแนวหน้าของแถบเมฆเคลื่อนที่ได้เร็วจะเป็นเป็นเครื่องช่วยในการกำหนดแนวของกระแสลมกรดได้ดี โดยให้วางตำแหน่งแกนของกระแสลมกรดทางดานซ้ายโลก ห่างจากแถบเมฆประมาณ 1 องศาละติจูด



รูปที่ 45 Subtropical Jet เหนือบริเวณประเทศอินเดียในฤดูหนาว
(Meteosat 5 , WV , Jan 13 2003)

9. Frontal Shear Lines

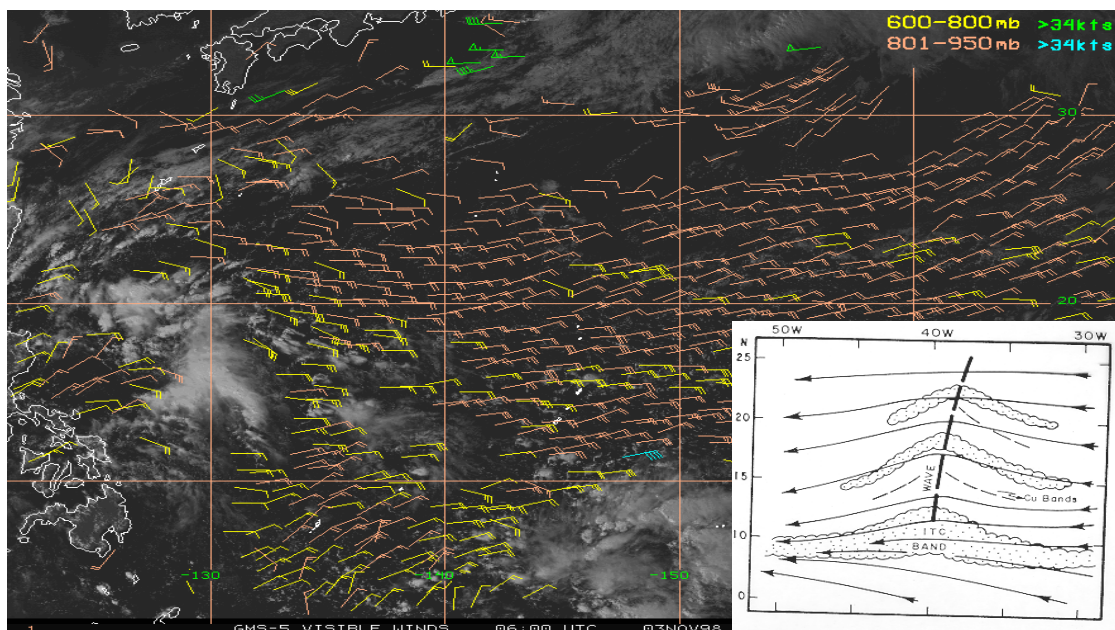
Shear Line คือ บริเวณส่วนปลายของแนวปะทะอากาศแถบขั้วโลกที่ทอดแนวลมมายังแถบศูนย์สูตรเคลื่อนตัวลงมาปกคลุมบริเวณพื้นน้ำที่อุ่นกว่า ซึ่งเป็นส่วนที่มวลอากาศเย็นหนาไม่มาก เมื่อเคลื่อนลงมาปกคลุมบริเวณพื้นน้ำที่อุ่นกว่าอยู่เบื้องล่าง เป็นเหตุทำให้มวลอากาศนั้นเปลี่ยนแปลงอย่างมากทั้งในทางด้านของความหนาแน่นหรืออุณหภูมิ จนกระทั่งคุณสมบัติของมวลอากาศทั้งสองด้านของ Shear Line มีความแตกต่างกันน้อยมาก ความเร็วลมส่วนใหญ่บริเวณที่อยู่ทางด้านหลังของ Shear Line (ทางด้านขั้วโลก) เป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือความเร็วประมาณ 20 - 35 นอต ด้านหน้าของ Shear line (ทางด้านศูนย์สูตร) เป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือกำลังอ่อน ความเร็วลมประมาณ 10 - 20 นอต การเคลื่อนที่ของ Shear Line ค่อนข้างช้ามาก หรือบางครั้งอาจใช้เวลาหลายวันในการเคลื่อนตัวผ่าน Cyclonic Shear และเป็นแนวลมสอ (Convergence) ทำให้เกิดแนวของเมฆขยายตัวออกไปทางตะวันตกเฉียงใต้ต่อจากแนวปะทะอากาศแถบขั้วโลก เมฆที่เกิดบริเวณ Shear Line ส่วนมากเป็นเมฆคิวมูลัสก้อนเล็กๆ หรือสเตรโตคิวมูลัส จนถึงเมฆ Towering Cumulus เมฆที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยามักมีอุณหภูมิอุ่นเนื่องจากเมฆไม่สูงนักประกอบกับมักจะเกิด Contamination รอบๆ เมฆคิวมูลัส ในการวางตำแหน่งของ Shear Line ในภาพไมโครเวฟทำได้สะดวกมากกว่า โดยอาศัยการคำนวณความเร็วลมหรือรูปแบบของฝน



รูปที่ 46 shear line

10. คลื่นตะวันออก (Easterly Wave)

คลื่นตะวันออก (Easterly Wave) คือ การเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในรูปแบบของคลื่นที่เคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตก สังเกตได้จากเมฆที่ก่อตัวในทางตั้งที่มีลักษณะเป็นรูปตัว V หักกลับ สภาพอากาศอาจเกิดในส่วนหน้าตอนกลาง หรือด้านหลังของแกนคลื่น การยกตัวของอากาศ (Convection) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทางด้านตะวันตก ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความรุนแรงสูงสุดและต่ำสุดในรอบวันได้ (Diurnal Maxima and Minima Activity) โดยมีความรุนแรงสูงสุดเกิดขึ้นในเวลากลางคืน (0100 - 0300) เนื่องจากการเย็นลงเนื่องจากการแผ่รังสีออกบริเวณส่วนยอดของเมฆ ในขณะที่ความรุนแรงต่ำสุดเกิดขึ้นในช่วงบ่ายของวัน ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานิต Water Vapor ปรากฏให้เห็นถึงระบบการหมุนเวียนของ Easterly Wave อย่างชัดเจน หาก Divergence ในระดับบนมีความรุนแรงมากพอและการยกตัวของอากาศยังคงอยู่อย่างต่อเนื่อง คลื่นสามารถพัฒนาตัวขึ้นเป็นระบบของพายุหมุนได้



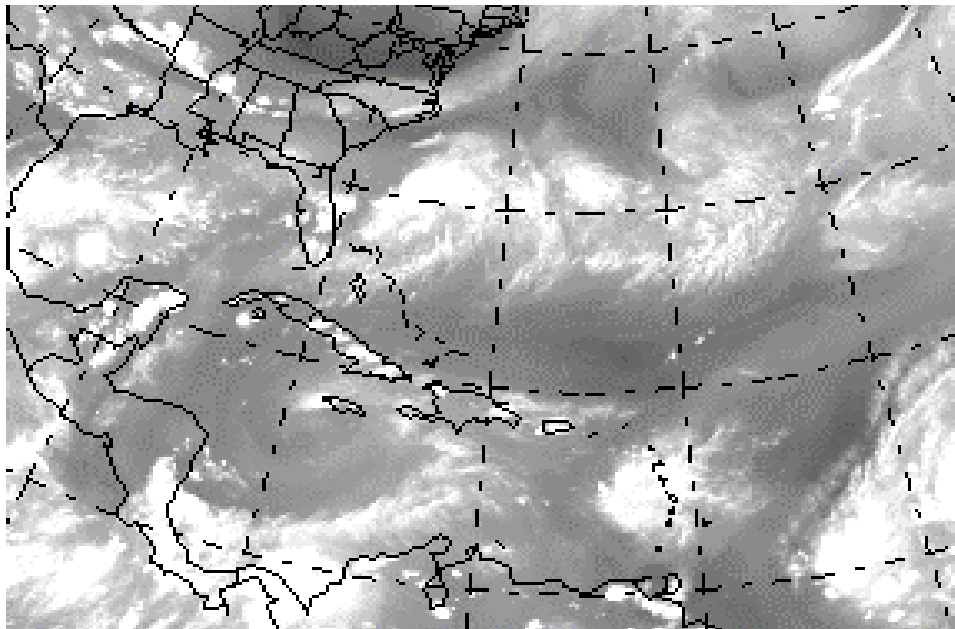
รูปที่ 47 Easterly Wave in West Pacific

11. ร่องความกดอากาศต่ำระดับสูงในเขตร้อน (Tropical Upper Tropospheric Trough = TUTT)

ตำแหน่งของ TUTT อยู่ที่ความสูงเหนือระดับ 400 hPa และปกคลุมอยู่เหนือมหาสมุทรแอตแลนติกและมหาสมุทรแปซิฟิก ในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายน แนวของแกน Trough โดยเฉลี่ยอยู่บริเวณละติจูดที่ 5 - 10 องศาไปทางแถบศูนย์สูตรของ Subtropical Ridge วางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือถึงทิศตะวันตกเฉียงใต้ แนวของ Trough ประกอบด้วย Cyclone หลายตัว (TUTT Lows หรือ Cells)

ปกติมีเมฆชั้นต่ำเพียงเล็กน้อยในบริเวณแกนของ Trough เมฆ Cirrus Plume หรือแถบของเมฆซึ่งมีลักษณะคล้ายชาม (Bowl Shape) ปรากฏเป็นรูปครึ่งวงกลมทางด้านใต้ของบริเวณความกดอากาศต่ำหรือ Trough นั้น TUTT Cell ส่วนใหญ่ตรวจพบได้ง่ายในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor ซึ่งแสดงด้วยบริเวณที่เป็นสีดำ, การหมุนตัวของ Cell แบบ Cyclonic โดยปกติจะมีความกว้างประมาณ 10 องศาละติจูด

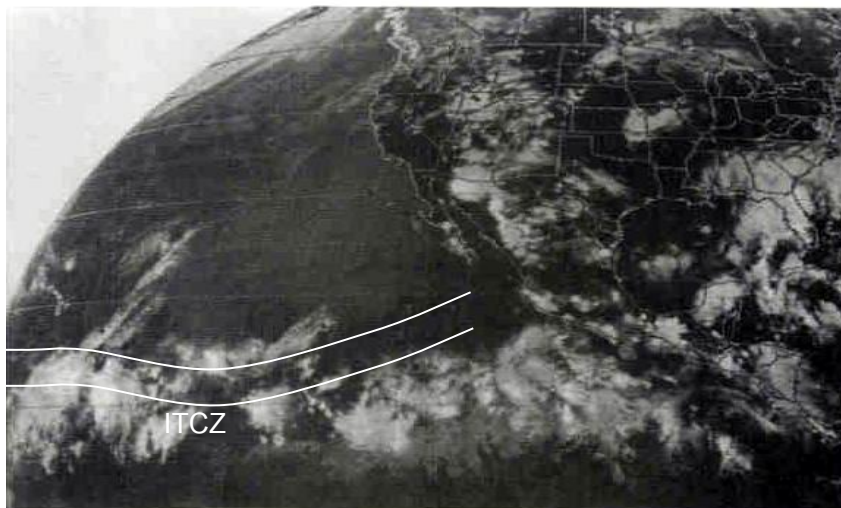
การยกตัวของอากาศขึ้นไปในระดับบนอาจเกิดขึ้นบริเวณศูนย์กลางของ Cell ได้ ถ้าหากการทรงตัวของอากาศเย็นในระดับบนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก convergence และจมตัวลงมานั้นเสียการทรงตัว ในกรณีนี้บริเวณศูนย์กลางของ Cell ปรากฏเมฆพายุฟ้าคะนองขนาดใหญ่ (Large Cold Thunderstorm Cells) โดยปราศจากเมฆที่อยู่ในระดับต่ำกว่า บริเวณโดยรอบของ TUTT โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นบริเวณของ Divergence ในระดับบนอันเป็นสาเหตุทำให้ระบบของสภาพอากาศในเขตร้อนพัฒนาตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นตัวการหลักในการก่อตัวของพายุหมุนได้



รูปที่ 48 Tropical Upper Tropospheric Trough (TUTT)

12. Near Equatorial Convergence Zone

ในบางครั้งเรียกว่าร่องมรสุม (Intertropical Convergence Zone : ITCZ) ซึ่งเป็นแนวลมสอระหว่าง Subtropical High พบเหนือน่านน้ำบริเวณละติจูด 10 องศาเหนือ ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจะพบแนวของเมฆที่ก่อตัวในทางตั้ง (Convective Clouds) โดยเริ่มตั้งแต่เมฆคิวมูลัสก้อนเล็กๆ จนถึงเมฆคิวมูโลนิมบัสขนาดใหญ่ ปรากฏให้เห็น



รูปที่ 49 Intertropical Convergence Zone (ITCZ)

13. Monsoon Trough

เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของ NECZ ซึ่งพบในเขตร้อนด้านตะวันออกเป็นส่วนใหญ่และบริเวณชายฝั่งอเมริกา กลางในเดือนที่อุณหภูมิอุ่นกว่า (Warmer Month) ใน Monsoon Trough สมพัทธ์จากซีกโลกที่เป็นฤดูหนาวข้าม เส้นศูนย์สูตรและมุ่งไปสู่ทิศตะวันออก และปรากฏเป็นแนวของ Cyclones ที่เกิดขึ้นในร่อง NECZ เมื่อลมฝ่าย ตะวันตกทางด้านศูนย์สูตรพัดไปบรรจบลมฝ่ายตะวันออกทางขั้วโลก

Monsoon Trough อาจลึกและเกิดการยกตัวได้อย่างต่อเนื่องภายในแนวร่อง Trough เหนือหน้าน้ำหรือ บริเวณที่มีความชื้นอย่างเพียงพอเหนือพื้นดิน ลักษณะเด่นโดยทั่วไปทางด้านขั้วโลกของ Monsoon Trough ประกอบด้วยพายุฟ้าคะนองกระจาย และเบาบางลงเมื่อระยะทางห่างออกไปจากร่อง Trough นี้ ส่วนด้านศูนย์ สูตรของ Trough เป็นบริเวณของเมฆ Nimbostratus, Cumulus และเมฆ Cumulonimbus ที่ฝังตัวอยู่ในเมฆ เมฆที่เกิดต่ำกว่าถูกปิดบังภายใต้เมฆ Cirrostratus ที่แผ่มาปกคลุม

14. พายุหมุนเขตร้อน (Tropical Cyclone)

รูปแบบของ Tropical Cyclone ตรวจพบได้ง่ายในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจาก Tropical Cyclone ก่อตัวและพัฒนาตัวเองเหนือน่านน้ำเพียงอย่างเดียว ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานับว่าเป็น เครื่องมือที่ดีในการพิจารณาการก่อตัวของ Tropical Cyclone รวมทั้งการติดตามการเคลื่อนตัวและวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงของ Tropical Cyclone

เงื่อนไขการก่อตัวของ Tropical Cyclone

ตามหลักของ Thermodynamic ต้องมีองค์ประกอบ ดังนี้

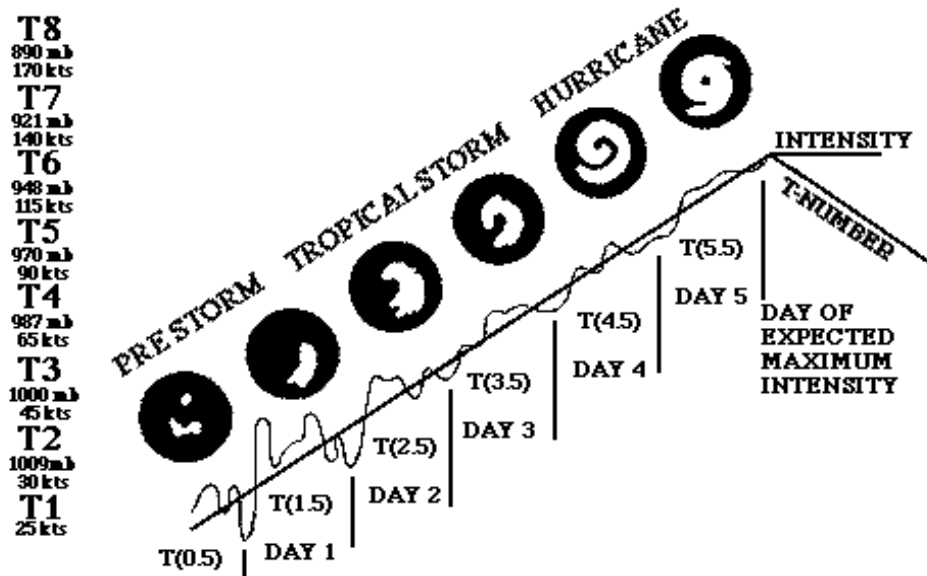
1. อุณหภูมิผิวน้ำทะเลตั้งแต่ 26 องศาเซลเซียส
2. ความชื้นสูงในทุกระดับ
3. ความไม่ทรงตัวของบรรยากาศ ก่อให้เกิดการยกตัวขึ้นของอากาศ

เงื่อนไขทางด้าน Dynamic ประกอบด้วย

1. Shear ในทางตั้งค่อนข้างอ่อน (น้อยกว่า 20 นอต ระหว่าง 850 และ 200 hPa)
2. ในระดับบนมีลักษณะเป็น Divergence
3. ในระดับต่ำมีลักษณะเป็น Convergence
4. แรงคอริโอลิสต้องมีค่าสูง (อย่างน้อย 5 องศาจากเส้นศูนย์สูตร)

การสังเกตพายุหมุนเขตร้อนจากภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Observing Tropical Cyclone Development from Satellite)

การวิเคราะห์การก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อนในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาโดยการสังเกตรูปแบบของเมฆและการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบเมฆต่อระยะเวลา ความถี่ในการสังเกตช่วยให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับความรุนแรง และอัตราการเจริญเติบโตหรือกำลังสลายตัวของพายุจากรูปที่ 50



รูปที่ 50 แบบจำลองพายุหมุนเขตร้อน

แสดงรูปแบบการพัฒนาตัวของพายุหมุน วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความรุนแรงของพายุหมุนขึ้นอยู่กับระดับของการหมุนวนของกลุ่มเมฆวันต่อวัน แกนตั้งของกราฟคือ Tropical Number (T-number) ของพายุเขตร้อน T-number หมายถึงอัตราการความรุนแรงของพายุหมุนเขตร้อน โดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตของพายุจะเปลี่ยนแปลงคราวละหนึ่ง T-number ต่อวัน สำหรับเส้นตรงแสดงการเปลี่ยนแปลงความรุนแรงจนถึงขึ้นเป็นพายุ Typhoon/Hurricane ส่วนเส้นที่มีลักษณะเป็นคลื่นแสดงระดับความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนแปลงความรุนแรงระหว่างวัน

กราฟดังกล่าวสามารถใช้เป็นกรอบในการประมาณความรุนแรง อัตราการเจริญเติบโตของพายุ หากเมื่อพบว่าไซโคลนแสดงการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับที่ปรากฏในรูปหมายถึงพายุหมุนดังกล่าวกำลังพัฒนาด้วยอัตราที่ระบุได้ในรูปนั้น ถ้าหากการหมุนตัวเข้าสู่ศูนย์กลางของกลุ่มเมฆพัฒนาตัวเร็วกว่าหรือช้ากว่าก็ให้พิจารณาเพิ่ม/ลดความรุนแรงด้วยเช่นเดียวกัน

ส่วนความกดอากาศบริเวณศูนย์กลางและความเร็วลมอยู่ทางตอนใต้ของ T-number ในขั้นเริ่มแรกของการก่อตัวของพายุ สิ่งแรกที่พบได้คือแนวโค้งของเมฆหรือแถบเมฆมีศูนย์กลางเกิดขึ้นอยู่ใกล้ๆ หรือภายในกลุ่มเมฆที่หนาแน่นเหล่านั้น ซึ่งในขั้นนี้หมายถึง T-number มีค่าเท่ากับ T-1 ส่วน T-2 ควรที่จะปรากฏให้เห็นภายใน 24 ชั่วโมงต่อมา และเมื่อมีการโค้งตัวของกลุ่มเมฆเข้าสู่ศูนย์กลางได้ระยะทางประมาณครึ่งหนึ่ง หมายถึง พายุหมุนเขตร้อนเริ่มเกิดขึ้นอย่างอ่อน ๆ แสดงว่าการพัฒนาตัวของพายุหมุนมาถึงขั้น T-2.5 สำหรับ T-4 ถือว่าเป็นขั้นเริ่มต้นของพายุเฮอริเคน กลุ่มเมฆเวียนเข้าสู่ศูนย์กลางอย่างสมบูรณ์ หากพัฒนาต่อไปสังเกตพบตาพายุเกิดขึ้น (T-4.5) อย่างเด่นชัด กลุ่มเมฆหนาแน่นเพิ่มขึ้นและมีความราบเรียบ (Smoothness of the Dense Overcast) หรือตาอาจฝังตัวอยู่ในกลุ่มเมฆหนาแน่นนั้น นานกว่าที่เงื่อนไขของปัจจัยเกื้อหนุนพายุยังคงอยู่ พายุหมุนเขตร้อนพัฒนาตัวให้มีความรุนแรงสูงสุดภายใน 4 ถึง 6 วันหลังจากที่เกิดในขั้น T-1 แล้ว ซึ่งช่วงเวลานี้อาจแปรเปลี่ยนได้เพราะขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุ หากพายุเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือความรุนแรงสูงสุดของพายุคาดว่าจะต้องใช้เวลา 4 วัน ในขณะที่พายุเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือคาดว่าพายุจะมีความรุนแรงสูงสุดภายในเวลา 5 วัน

และหากเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตก ความรุนแรงสูงสุดจะใช้เวลา 6 วัน พายุ Typhoon/Hurricane จะเข้าสู่ชั้น
สลายตัว/อ่อนกำลังลงเมื่อเคลื่อนตัวออกจากแหล่งกำเนิดที่เป็นพื้นน้ำซึ่งมีอุณหภูมิอุ่นเพียงพอต่อการอยู่รอดของ
พายุหรือเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งหรือพื้นดิน



รูปที่ 51 Hurricane Hugo (GOES VIS, September 21, 1989)

การวิเคราะห์เส้นลายกระแสในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Streamlining Satellite Data)

จุดเด่นของภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาคือการพิจารณาเกี่ยวกับเมฆ อย่างไรก็ตามภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาบ่งบอกบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลม นับว่าเป็นประโยชน์อย่างมากที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ในบริเวณที่ขาดแคลนข้อมูล สิ่งบ่งบอกที่ควรทราบและค้นหาคือ รูปแบบของเมฆและความชันพายุฝน Sun glint และสิ่งอื่นๆ ที่บ่งบอกถึงทิศทางที่ลมกำลังพัดอยู่ในขณะนั้นและความเร็วโดยประมาณ ข้อมูลที่ได้รับจากช่วงคลื่นไมโครเวฟใช้ประมาณความเร็วลมเหนือผิวน้ำได้เป็นอย่างดี แต่จำเป็นต้องแปลความจากสิ่งบ่งบอกอื่นๆ เพื่อบ่งชี้ทิศทางของลม

การวิเคราะห์เส้นลายกระแสคือเทคนิคในการวิเคราะห์สภาพอากาศโดยใช้ข้อมูลลมแทนการวิเคราะห์ด้วยความกดอากาศเพื่อแสดงรูปแบบของสภาพอากาศ ส่วนใหญ่เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยมือ (Manual Technique) และเป็นการใช้การรายงานผิวพื้นร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาพิจารณาสภาพอากาศ

1. เส้นลายกระแสบนภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Streamlines on Satellite)

ก่อนที่จะเริ่มวิเคราะห์เส้นลายกระแสควรพิจารณาจุดสำคัญที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมกล่าวคือ รูปแบบของเมฆ ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่ใช้เป็นพื้นฐานของการอ้างอิง โดยการกวาดสายตามตามแนวการเคลื่อนที่ของเมฆที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันโดยไม่ต้องคำนึงว่าจะสัมพันธ์กับผิวพื้นบริเวณศูนย์กลางของการหมุนของ Mid Latitude Cyclone ที่สังเกตได้จากรูปแบบของเมฆในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยามักจะไม่สอดคล้องกับศูนย์กลางที่ได้จากการวิเคราะห์ลมที่ผิวพื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างจะเพิ่มมากขึ้นหากระบบที่เกิดขึ้นนั้นเคลื่อนที่เร็ว เช่น วิเคราะห์ระบบของ Cyclone ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแต่การวิเคราะห์ลมผิวพื้นอาจแสดงเป็น Trough พึงระลึกอยู่เสมอว่ากรอบที่ใช้ในการอ้างอิงแตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์เส้นลายกระแสระดับต่ำ

ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่น Visible เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงเบื้องต้นในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสในระดับต่ำ ทั้งนี้เพราะเหตุผลสองประการ กล่าวคือ ประการแรกแสดงให้เห็นเมฆชั้นต่ำที่สัมพันธ์กับทิศทางของลม ประการที่สองค่าความคมชัดอยู่ในเกณฑ์สูงที่ทำให้มองเห็นลักษณะต่างๆ ที่มีขนาดเล็กอันเป็นสิ่งบ่งบอกเกี่ยวกับทิศทางลม อย่างไรก็ตามควรเปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่นอินฟราเรดเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเส้นลายกระแสที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นการลากไปตามแนวของเมฆชั้นต่ำ

โดยทั่วไปพื้นที่ที่มีความเร็วลมอ่อนและล้อมรอบด้วยความเร็วลมที่แรงกว่าเกิดขึ้นในบริเวณของศูนย์กลางความกดอากาศสูง, Ridge Line หรือ Col ส่วนบริเวณที่มีลมพัดแรงเป็นพื้นที่กว้างเกิดขึ้นกับบริเวณที่มีลมพัดเกือบเป็นเส้นตรง เช่น บริเวณลมค้าหรือบริเวณที่ลมฝ่ายตะวันตกกำลังแรงพัดผ่าน สำหรับบริเวณพื้นที่เล็กกว่าแต่ความเร็วลมค่อนข้างแรงมักเกิดรอบๆ โซโคลน, แนวปะทะอากาศ, Shear Line และบริเวณที่มีลักษณะพื้นผิวที่เหนียวน่าทำให้เกิดลมแรง เช่น บริเวณช่องเขา เป็นต้น

2.1 ลมพัดไปตามแนวของเมฆคิวมูลัส (Cumulus Lines) ซึ่งเมฆคิวมูลัสที่มีขนาดใหญ่กว่าเกิดขึ้นทางด้านปลายลม (Downstream) แนวนี้เกิดขึ้นได้เฉพาะในกรณีที่อากาศขึ้นพัดผ่านพื้นผิวที่อุ่นกว่า และมักปรากฏพื้นที่ว่างปราศจากเมฆ (Cloud Free Area) ทางด้านต้นลม (ตัวอย่างเช่น ใกล้บริเวณชายฝั่งในขณะที่ลมพัดขึ้นสู่ฝั่ง) แนวเมฆอาจหายไปอย่างรวดเร็วตรงบริเวณที่ผิวพื้นเย็นกว่า (ตัวอย่างเช่น บริเวณที่ลมพัดออกจากฝั่ง) หรือบริเวณที่อากาศไหลจากพื้นดินสู่บริเวณที่เป็นน้ำแข็ง

2.2 ลมพัดไปตามแนวเมฆสตราโตคิวมูลัสที่เกิดขึ้นใหม่ เมื่อมวลอากาศเย็นจากขั้วโลกเคลื่อนที่ผ่านผิวน้ำที่อุ่นกว่า มักเกิดในฤดูหนาวบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของพื้นที่ทวีปในแถบละติจูดกลาง แต่ประมาณ 1-2 องศา

ทางด้านปลายลมความสัมพันธ์ระหว่างลมและรูปแบบของเมฆลดลง เมฆที่ก่อตัวขึ้นจะวางกับทิศทางของลมหรือแยกออกทำให้เกิดความสับสน

2.3 ลมแรงพัดผ่านบริเวณ Closed Cell Stratocumulus หรือ Open Cell Cumulus ซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปเกือกม้า

2.4 บริเวณ Confluent ที่เกิดในบริเวณแนวบรรจบของ Cumulus Line และแนวของเมฆ Cumulus Towering Cumulus และเมฆ Cumulonimbus และเป็นสิ่งบอกเหตุได้อย่างชัดเจนเกี่ยวกับการเกิดสภาพอากาศรุนแรง (Severe Weather)

2.5 บริเวณ Diffluent ในระดับต่ำ อาจเป็นบริเวณที่แจ่มใส หรือบริเวณที่มีหมอกปกคลุมในพื้นที่ของ Closed Cell Stratocumulus

2.6 Closed Cell Stratocumulus แสดงการไหลเวียนแบบ Anticyclone และบริเวณ Open Cell Cumulus แสดงการไหลเวียนแบบ Cyclone

2.7 บริเวณที่เป็นแนวปะทะของลมบก/ลมทะเล ปกติแสดงถึงบริเวณที่ระบบลมผิวพื้น (Synoptic Pattern) ค่อนข้างอ่อน ดังนั้น ลมที่พัดในบริเวณดังกล่าวจึงมีกำลังอ่อน

2.8 ผลกระทบที่เกิดจากเกาะที่มีต่อทิศทางของลม สังเกตได้จากเมฆ, Sunlint, Karmann Vortices, Island Plume และบริเวณแจ่มใสที่มีลักษณะเป็นรูปตัว V ที่ปรากฏทางด้านปลายของเกาะ ส่วน Bow Wave มักเกิดขึ้นบริเวณด้านรับลม

2.9 Wave Cloud ในระดับต่ำวางตัวขวางทิศทางลม ภูเขาที่อยู่ต่ำกว่ายอดเมฆซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมฆแผ่นเป็นบริเวณกว้าง เป็นสาเหตุทำให้รูปร่างของเมฆคล้ายกับกำแพงลาดทางด้านปลายลม

2.10 Sunlint ที่เกิดในน่านน้ำที่มีขนาดเล็กและสว่างจ้า หมายถึงบริเวณลมสงบ เช่น ศูนย์กลางของบริเวณความกดอากาศสูงหรือ Ridge Line

2.11 Sunlint ที่มีขนาดใหญ่และมีลักษณะแผ่กระจายออก แสดงว่าผิวน้ำไม่ราบเรียบและความเร็วลมมากกว่า

2.12 เมฆแผ่นในระดับต่ำ มักสะสมเพิ่มมากขึ้นทางด้านรับลมของแนวเทือกเขา

2.13 การปลิวของฝุ่น (Blowing Dust) แสดงถึงทิศทางของลมในระดับต่ำ

3. การวิเคราะห์เส้นลายกระแสด้านบน

ในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสด้านบนใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่วงคลื่นอินฟราเรด และภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินิต Water Vapor เป็นข้อมูลพื้นฐานอ้างอิง ในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสด้านบน เมฆชั้นสูง (Ciriform) ปรากฏอย่างชัดเจนในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาช่วงคลื่นอินฟราเรด นอกจากนั้นรูปแบบของความชื้น (Moisture Patterns) แสดงให้เห็นการไหลเวียนของอากาศที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินิต Water Vapor ใช้ค้นหาเกี่ยวกับ Trough, Ridge, Vorticity Maxima และกระแสลมกรด สิ่งต่างๆ ที่บ่งบอกทิศทางของลมมีดังต่อไปนี้

3.1 ข้อสังเกตโดยทั่วไปในการกำหนดทิศทางลม

3.1.1 เมฆ Anvil Cirrus ที่เกิดจากเมฆยกตัวในทางตั้ง (Convective Clouds) แผ่ออกไปทางด้านปลายลม

3.1.2 Leaside Cirrus เกิดขึ้นทางด้านหลังของภูเขา

3.2 การวิเคราะห์กระแสลมกรด

3.2.1 กระแสลมกรดวางตัวไปตามขอบทางขั้วโลกของ Baroclinic Zone Cirrus

3.2.2 กระแสลมกรดวางตัวตามแนวการเคลื่อนตัวระหว่างอากาศชั้นแถบศูนย์สูตรและอากาศแห้งแถบขั้วโลกในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชินิต Water Vapor

3.2.3 ทางตอนเหนือของขอบ Leaside Cirrus

3.2.4 ทิศทางการเคลื่อนตัวไปทางขั้วโลกและเกือบตั้งฉากกับ Transverse Band

3.2.5 ประมาณ 3 องศาเหนือบริเวณ Open Cell Cumulus และ Closed Cell Stratocumulus
เหนือน่านน้ำ

3.2.6 ขนานไปกับ Cirrus Streaks

3.3 Anticyclone/Cyclone

3.3.1 การไหลเวียนแบบ Anticyclone และ Divergence ในระดับบนแสดงโดยบริเวณที่มีลักษณะของการยกตัวขึ้นของอากาศ (Convective Area) หรือบริเวณกว้างใหญ่ของความชื้นในระดับบนในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor โดยเฉพาะในเขตร้อน

3.3.2 การไหลเวียนแบบ Cyclone และ Convergence ในระดับบน แสดงให้เห็นในลักษณะบริเวณที่แจ่มใส และเป็นพื้นที่สีดำในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิด Water Vapor

4. เทคนิคในการวิเคราะห์เส้นลายกระแส (Streamlining Technique)

ภายหลังจากพิจารณาข้อสังเกตต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว จึงเริ่มต้นในการวิเคราะห์เส้นลายกระแส โดยมีเทคนิคโดยสรุปดังต่อไปนี้

4.1 ร่างเส้นลายกระแสและแกนของลม (Asymptotes)

4.2 บริเวณความกดอากาศสูงวิเคราะห์เป็น Divergence หรือ Anticyclone

4.3 หย่อมความกดอากาศต่ำวิเคราะห์เป็น Convergence หรือ Cyclone

4.4 หากวิเคราะห์ Vortices ได้ 2 จุดต้องมี Neutral point หรือ Col อยู่ระหว่าง Vortices

4.5 Mid Latitude Cyclone บริเวณที่เป็น Col อยู่ทางตอนเหนือหรือด้านตะวันตกเฉียงเหนือและมี Ridge อยู่ทางด้านตะวันออก

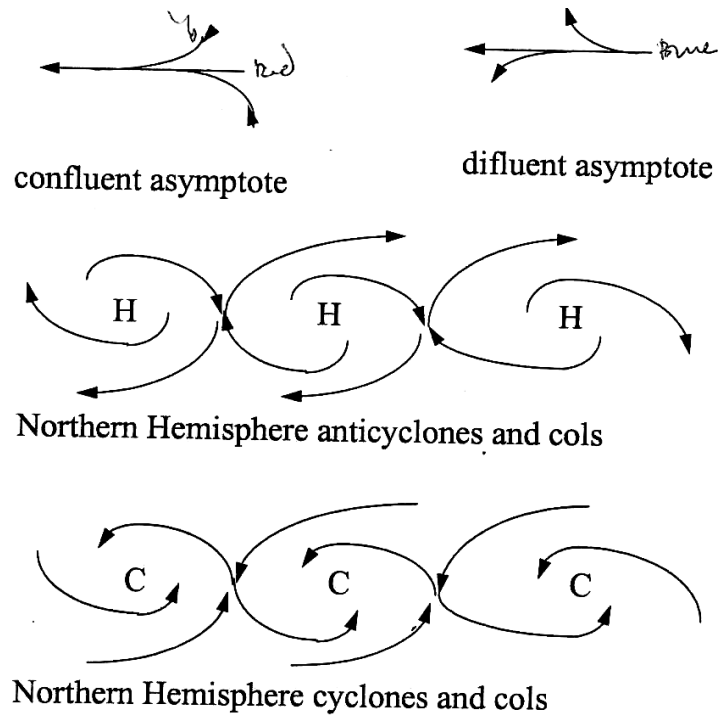
4.6 แนวปะทะอากาศเหนือน่านน้ำมีความคมชัดของแถบเมฆซึ่งเกิดขึ้นทางด้านหลังของแนวปะทะอากาศ

4.7 แนวปะทะอากาศที่ไม่รุนแรง (Inactive Front) หรือ Katafront เส้นลายกระแสมีลักษณะเป็น Trough เหนือแนวปะทะพร้อมกับ Confluent Asymptote อยู่ทางส่วนหน้าของแนวปะทะ

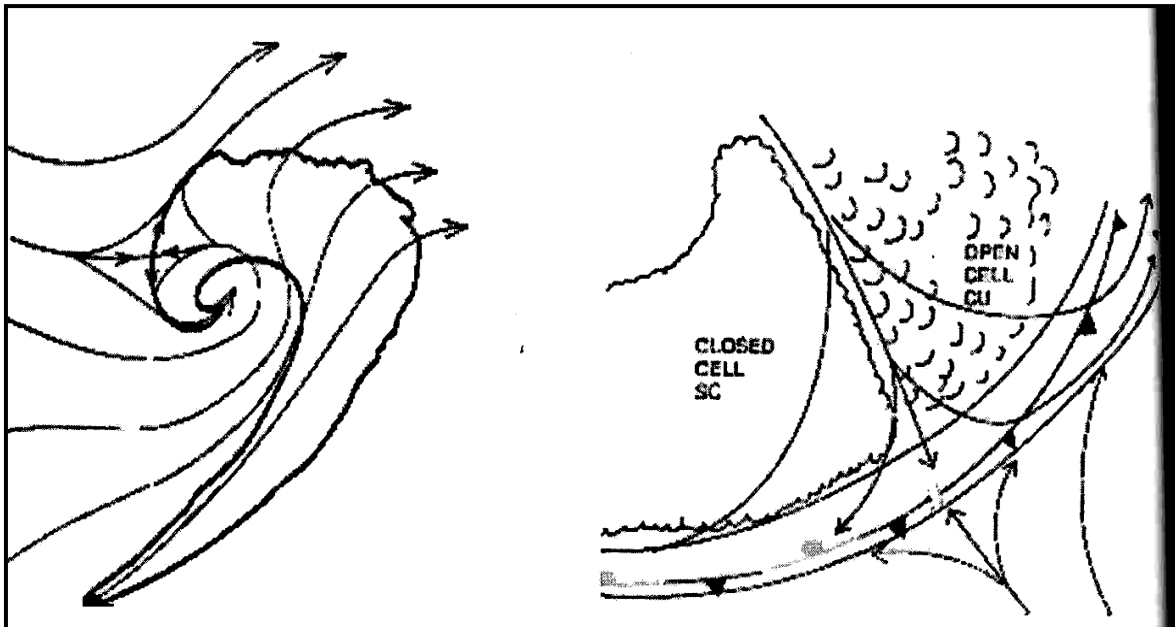
4.8 แนวปะทะอากาศที่รุนแรง (Active Front) และแนวปะทะอากาศคงที่ (Stationary Front) จะมีแกนแนวลมสอ (Confluent Asymptotes) เหนือแนวปะทะอากาศและอยู่บนแถบเมฆเหล่านั้น

4.9 Shear Line คือ Confluent Asymptotes ของลมตะวันตกเฉียงเหนือและปรากฏแนวของเมฆ Cumulus หรือ Towering Cumulus Shear Line อยู่บริเวณส่วนหางของแนวปะทะอากาศ โดยปกติอยู่ทางใต้ของ Polar High ซึ่งมี Neutral Point เป็นตัวแบ่งแยกออกจากแนวปะทะอากาศ

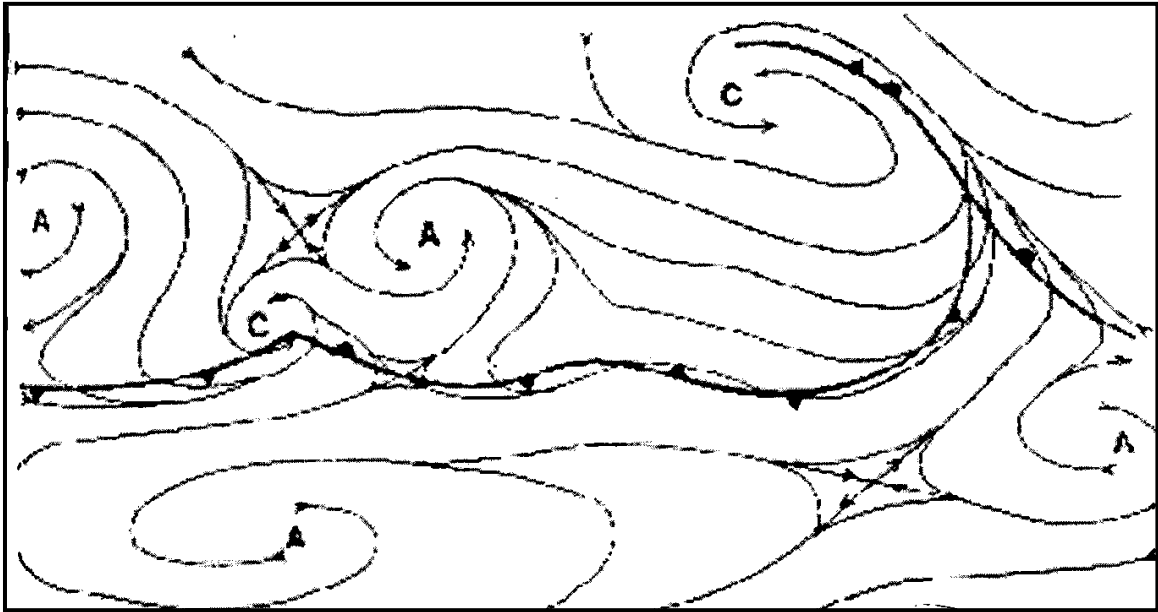
4.10 วิเคราะห์แกนแนวลมสอในระดับต่ำร่วมกับแถบเมฆ เช่น NECZ, Trade wind Trough หรือบริเวณ Feeder Bands ของพายุหมุนเขตร้อน



รูปที่ 52 รูปแบบต่าง ๆ ของเส้นลายกระแส



รูปที่ 53 แสดง Upper level low (ซ่าย) และ Surface front and Shear line (ขวา)



รูปที่ 54 รูปแบบเส้นลายกระแสบริเวณแนวปะทะอากาศ, Cyclones และ Anticyclones

ตัวอย่าง การวิเคราะห์เส้นลายกระแสบนภาพถ่ายดาวเทียม

