บทที่ 2

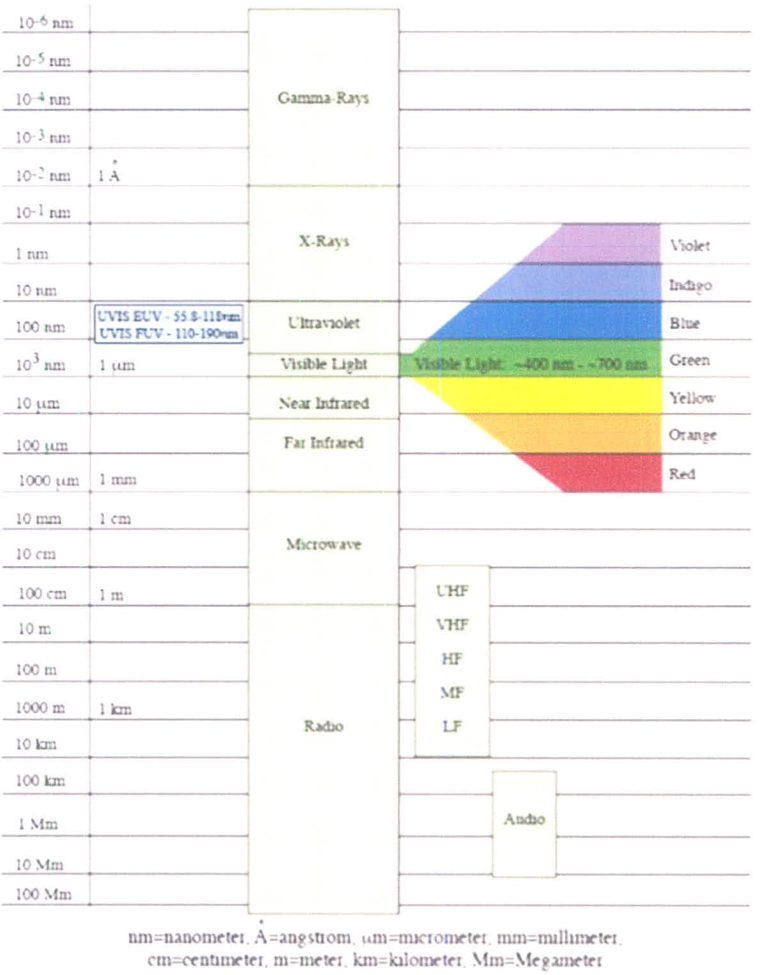
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรับรู้ระยะไกล

การรับรู้ระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่และปรากฏการณ์บนพื้นโลก จากเครื่องรับรู้ (Sensor) โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสกับวัตถุเป้าหมาย [8] ทั้งนี้อาศัยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) เป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลซึ่งมีคุณสมบัติ 3 ประการ คือ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectral Characteristics) ลักษณะเชิงพื้นที่ของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial Characteristics) และลักษณะการเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal Characteristics) [8]

1. พลังงานและหลักการแผ่รังสี (Energy Sources and Radiation Principle)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร (Nanometer: 10^{-9} เมตร) โดยดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติที่สำคัญและเป็นหลักทางการรับรู้จากระยะไกล คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งตามความยาวคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (Band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่สั้นที่สุดคือ รังสีคอสมิก (Cosmic Rays) มีความยาวช่วงคลื่นน้อยกว่า 10^{-10} เมตร จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร สำหรับคุณสมบัติของช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่นตามลำดับความยาวดังนี้ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ อัตราไวโอเลต ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟาเรด ไมโครเวฟและคลื่นวิทยุดังแสดงในภาพ 1 ช่วงคลื่นที่ใช้ประกอบในการรับรู้จากระยะไกล แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) ช่วงคลื่นเชิงแสง (Optical Wavelength) อยู่ระหว่าง 0.4-14 ไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูปและเครื่องรับรู้ ประกอบไปด้วย ช่วงคลื่นที่มีผลตอบสนองต่อตาของมนุษย์หรือช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible Light) อยู่ระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ น้ำเงิน เขียวและแดง ถัดมาเป็นช่วงคลื่นอินฟาเรดใกล้ (Near Inrared) หรืออินฟราเรดสะท้อนซึ่งอยู่ระหว่าง 0.7-3 ไมโครเมตรและอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) ระหว่าง 3-15 ไมโครเมตร 2) ช่วงคลื่นไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตรถึง 1 เมตร โดยช่วงคลื่นในกลุ่มนี้ มักนิยมเรียกหน่วยนับเป็นความถี่ ต่างจากกลุ่มช่วงคลื่นเชิงแสง ที่มีหน่วยเป็นความยาวคลื่น ที่รู้จักกันดีคือระบบเรดาร์ ซึ่งจะบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz นิยมใช้ตัวอักษรบอกช่วงคลื่น แบ่งเป็นช่วงคลื่นต่างๆ ดังแสดงใน ตาราง 1



ภาพ 1 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [8]

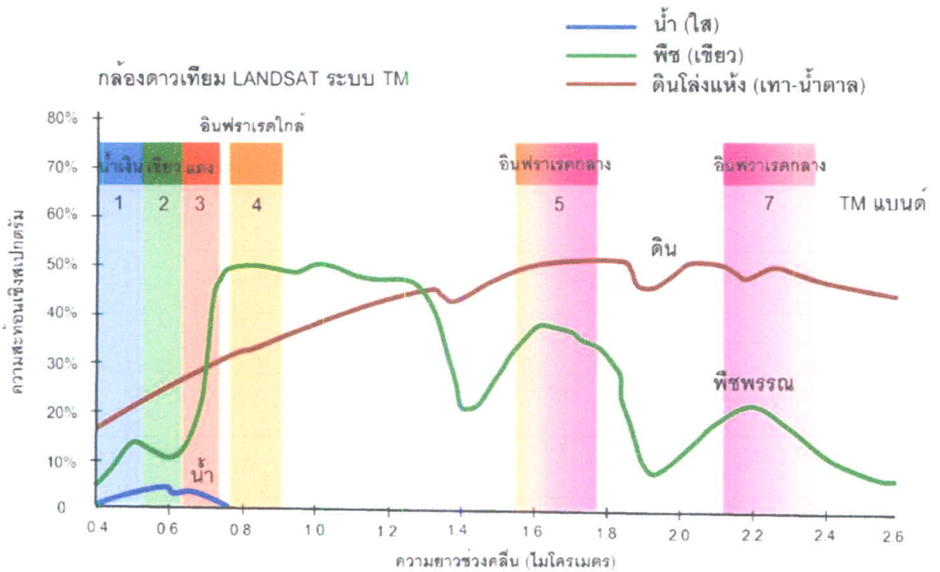
ตาราง 1 ความถี่และความยาวช่วงคลื่นไมโครเวฟ

ช่วงคลื่น	ความถี่ (GHz)	ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)
K	12.5 - 40	0.70 - 2.40
X	8 - 12.5	2.40 - 3.75
C	4 - 8	3.75 - 7.50
S	2 - 4	7.50 - 15
L	1 - 2	15 - 30
P	0.3 - 1	30 - 100

2. ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดินและน้ำ

พืชพรรณ ดินและน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นต่างกันของพืชพรรณ ดินและน้ำ ทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่างๆ ได้ โดยวัตถุทั้งสามชนิดหลักมีรูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่างๆ เฉพาะตัว เรียกว่า ลักษณะบ่งชี้เชิงสเปกตรัม (Spectral Signature) โดยที่ช่วงคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิดจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ขณะที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน ขณะที่ช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุต่างกันจะมีความสะท้อนเชิงสปกตรัมต่างกัน ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุได้

ในส่วนของน้ำ ที่มีคุณสมบัติดูดกลืนพลังงาน อย่างไรก็ตามน้ำมีหลายประเภทซึ่งจะทำให้การดูดกลืนพลังงานต่างกัน การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรด น้ำจะดูดกลืนพลังงานอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่นน้ำขุ่น น้ำใส หรือน้ำที่มีสารแขวนลอยต่างๆ เจือปน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานจึงแตกต่างกันออกไป น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมโครเมตร การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือมีสิ่งเจือปนการสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่มาก จะสะท้อนพลังงานได้มากกว่าน้ำ ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดินและน้ำแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 ความสะท้อนเชิงสเปกตรัมของ พืชพรรณ ดินและน้ำ [8]

โดยทั่วไประบบการรับรู้ระยะไกล (Sensing System) ที่สามารถตรวจวัดพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุและแผ่รังสีออกมาโดยธรรมชาติเรียกว่า ระบบแพสซีฟ (Passive Remote Sensing System) ไม่ว่าจะอาศัยดวงอาทิตย์ หรือเป็นพลังงานที่แผ่รังสีจากตัวเอง ส่วนระบบการรับรู้ที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมายเรียกว่า ระบบแอ็กทิฟ (Active Remote Sensing System) เช่น ระบบเรดาร์ ต้องส่งพลังงานที่สังเคราะห์ขึ้นไปกระทบวัตถุเป้าหมาย แล้วตรวจหา (Detect) พลังงานที่กระจัดกระจายกลับ (Backscatter)

3. เครื่องรับรู้แบบแพสซิฟอีเล็กทรอนิกส์ (Passive Electronic Sensors)

เป็นเครื่องรับรู้ (Sensor) ที่บันทึกพลังงานคลื่นแม่แหล็กไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกหรือจากธรรมชาติ แหล่งพลังงานทางธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ ดวงอาทิตย์ เป็นระบบการรับรู้จากระยะไกลที่ใช้งานกันแพร่หลายทั่วไปเครื่องรับรู้ที่ใช้งาน อย่างกว้างขวางคือ ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Scanner) ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่างๆ ระหว่าง 0.3 – 14 ไมโครเมตร

4. เครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ (Active Electronic Sensors)

เป็นเครื่องรับรู้ที่ผลิตพลังงานขึ้นมา ส่งพลังงานไปยังวัตถุเป้าหมาย แล้วรับพลังงานที่สะท้อนกลับจากวัตถุนั้น ที่รู้จักกันดี ได้แก่ ระบบถ่ายภาพเรดาร์ (Imagige Radar) เป็นเครื่องรับรู้แบบแอ็กทิฟอิเล็กทรอนิกส์ บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นที่มีความถี่ระหว่าง 3 – 12.5 GHz (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4 – 100 เซนติเมตร) เครื่องรับรู้เรดาร์ทำการผลิตและส่งสัญญาณไมโครเวฟไปยังวัตถุเป้าหมายและรับสัญญาณการสะท้อนกลับ การทำงานระบบนี้ต้องอาศัยสายอากาศ (Antenna) ที่ทำหน้าที่สลับการส่งและรับสัญญาณได้ในตัวเดียวกัน สัญญาณ (Pulse) ที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุ

ดาวเทียม (Satellite)

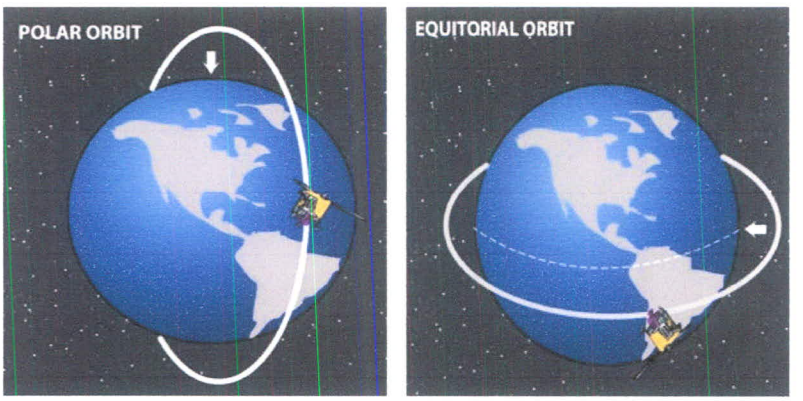
ดาวเทียม หมายถึง วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบดาวบริวารของดาวเคราะห์ เพื่อให้โคจรรอบโลก มีอุปกรณ์สำหรับเก็บรวมรวมข้อมูลเกี่ยวกับอวกาศและถ่ายทอดข้อมูลนั้นมายังโลก[9] มีการแบ่งตามลักษณะใช้ประโยชน์ เช่น ดาวเทียมสื่อสาร (Communication Satellite), ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก (Earth Observation Satellite) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา(Meteorological Satellite) เป็นต้น โดยลักษณะการเคลื่อนตัวหรือที่เรียกว่า "วงโคจร" มีสองลักษณะดังแสดงในภาพ 3

1. วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous Orbit)

เป็นวงโคจรในแนวเหนือ ใต้ และผ่านแนวละติจูดหนึ่งๆ ที่เวลาท้องถิ่นเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวงโคจรสำหรับดาวเทียมสำรวจทรัพยากร โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ วงโคจรผ่านขั้วโลก (Polar Orbit) ที่ระดับความสูง 500-1,000 กิโลเมตร จากพื้นโลก และวงโคจรเอียง (Inclined Orbit) ที่ระดับความสูง 5,000 – 13,000 กิโลเมตร จากพื้นโลก

2. วงโคจรระนาบศูนย์สูตร (Equatorial Orbit)

เป็นวงโคจรในแนวระนาบ มีลักษณะการโคจรเป็นรูปวงกลม โคจรในแนวระนาบกับเส้นศูนย์สูตร ที่ระดับความสูง 36,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก เคลื่อนตัวเท่ากับความเร็วที่โลกหมุนรอบตัวเอง ซึ่งเสมือนว่าตำแหน่งของดาวเทียมคงที่ตลอดเวลา เรียกว่า “วงโคจรค้างฟ้า” (Geo-stationary Orbit) ส่วนใหญ่เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เช่น ดาวเทียมไทยคม

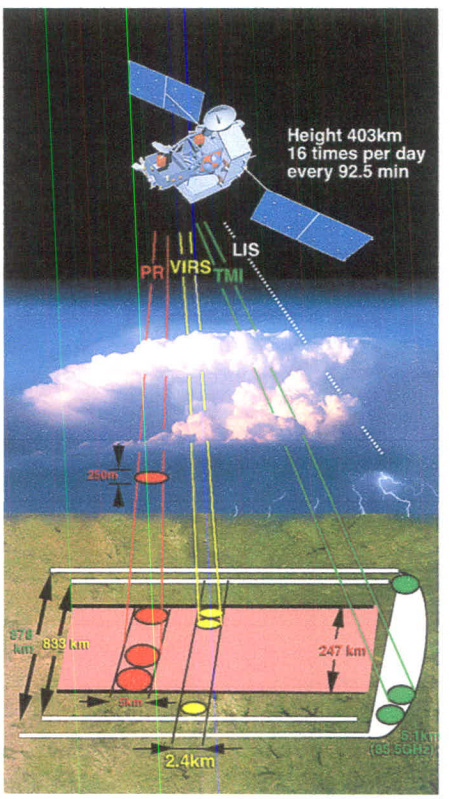


ภาพ 3 วงโคจรของดาวเทียม [10]

ดาวเทียม The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

การสำรวจปริมาณน้ำฝนนับเป็นเรื่องสำคัญโดยเฉพาะในเขตโซนร้อน (Tropical Zone) ซึ่งมีฝนเกิดขึ้นมากกว่าสองในสามของฝนที่เกิดทั่วโลก [11] นอกจากนั้น ความร้อนแฝง (Latent Heat) ที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของการเกิด ลมพายุขนาดใหญ่ ในบรรยากาศระดับล่างด้วย เช่นพายุใต้ฝุ่น ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ชื่อว่า The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือกันระหว่าง National Aeronautics Space Administration (NASA) และJapan Aerospace Exploration Agency (JAXA) เริ่มใช้งานเมื่อ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2540 [12] TRMM เป็นดาวเทียมชนิดที่มีวงโคจรไม่

สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Non-sun-synchronous Orbit) ที่ระดับความสูง 403 กิโลเมตร ระนาบวงโคจรเอียง(Inclined Orbit) ทำมุม 35 องศากับเส้นศูนย์สูตร ดังแสดงในภาพ 4 ใช้เวลา 92.5 นาทีสำหรับการโคจรรอบโลก 1 รอบ โคจรทั้งหมด 16 รอบในหนึ่งวัน [9]

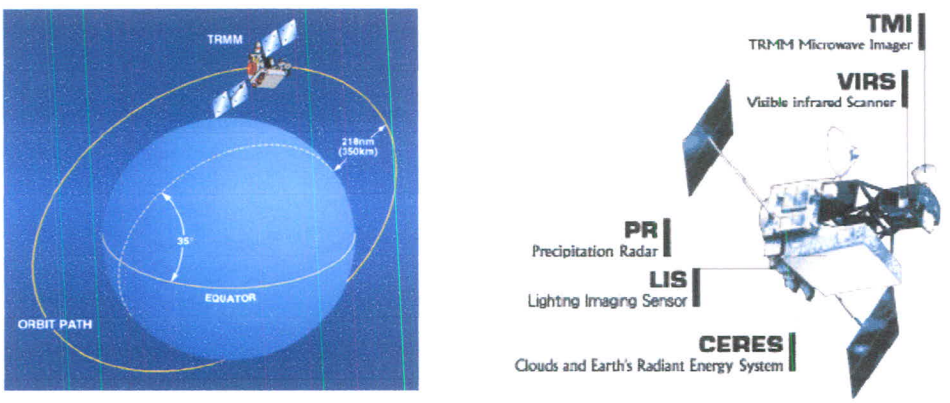


ภาพ 4 ดาวเทียมลักษณะการทำงานของดาวเทียม TRMM [13]

1. เครื่องรับรู้ (TRMM Sensor)

ดาวเทียม TRMM ได้ติดตั้งทั้งอุปกรณ์แบบ Passive Microwave และแบบ Active Microwave ดังแสดงในภาพ 5 ใช้ในการศึกษาพายุฝน และสภาพภูมิอากาศในเขตร้อน [9] ทั้งนี้อุปกรณ์ที่สำคัญของ TRMM มีอยู่ 5 ชนิด คือ 1) เครื่อง PR (Precipitation Radar) ทำงานที่ช่วงคลื่น 13.81 GHz มีความละเอียด 4.3 กิโลเมตร 2) เครื่อง VIRS (Visible/Infrared Scanner) ทำงานที่ช่วงคลื่น 0.60-12ไมโครเมตร ความละเอียด 2.0 กิโลเมตร 3) เครื่อง TMI (TRMM Microwave Imager) มี 5 แบนด์ ทำงานที่ช่วง 10-90 GHz ความละเอียด 5 – 45 กิโลเมตร 4) เครื่อง CERLS (Clouds and the Earths Radiant Energy System) ทำงานที่ช่วง 0.3-50

ไมโครเมตร ความละเอียด ~ 25 กิโลเมตร และ 5) เครื่อง LIS (Lightning Imaging Sensor) ทำงานที่ช่วง h0.774 ไมโครเมตร ความละเอียด 4 กิโลเมตรสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำฝนที่สำคัญที่สุดของ TRMM คือ เครื่อง PR เนื่องจากมีค่าความละเอียดและความถี่ของการตรวจวัดสูงสุด รองลงมาคือ เครื่อง TMI และ เครื่อง VIRS ตามลำดับ



ภาพ 5 ลักษณะวงโคจรและอุปกรณ์สำรวจของดาวเทียม TRMM [9]

2. ผลการสำรวจจากดาวเทียม (TRMM Product)

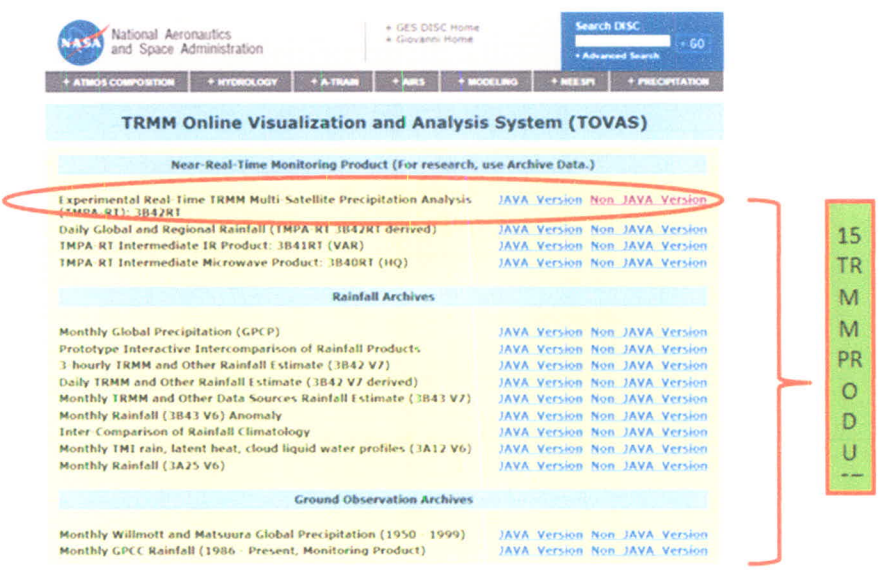
ผลการสำรวจปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ชนิด ข้อมูล [14] ได้แก่ Standard Product, Subset Product, Research Product, Near Real-time Product (Level 1 and 2) และ Near Real-time Product (Level 3) ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 2 หรือแยกเป็นผลสำรวจประเภทย่อยได้อีก 15 ประเภทดังในภาพ 6 ที่ประกอบด้วยผลสำรวจรายชั่วโมง ราย 3 ชั่วโมง รายวัน และรายเดือน

ตาราง 2 ชนิดของผลการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM

PRODUCT	DESCRIPTION
Standard Product	Operational product that produced at JAXA Earth Observation Center (EOC) and NASA/GSFC Precipitation Processing System (PPS) (*formerly, TRMM Science Data and Information System (TSDIS)*).

ตาราง 2 (ต่อ)

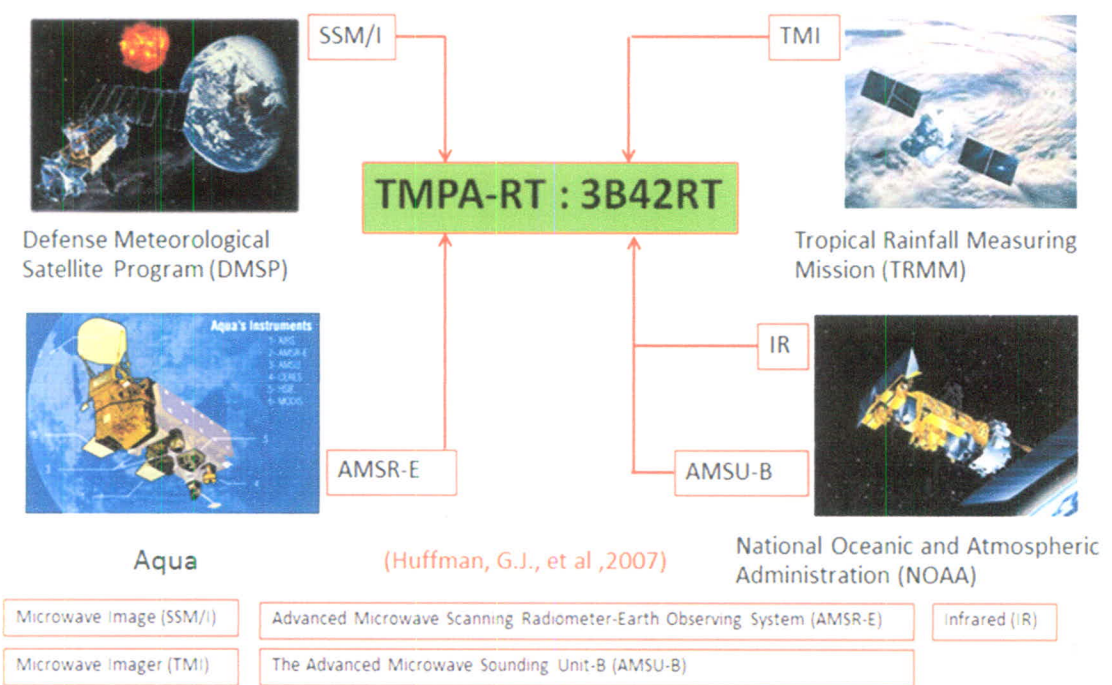
PRODUCT	DESCRIPTION
Subset Product	Sub-set of specific region or area, produced from standard product.
Research Product	Product that uses research algorithm and is produced mainly for research objectives. Products are not produced operationally.
Near Real-time Product (Level 1 and 2)	Product that uses research algorithm and is produced mainly for research objectives. Products are not produced operationally.
Near Real-time Product (Level 3)	3-hourly global rainfall products at 0.25 deg. grid boxes.



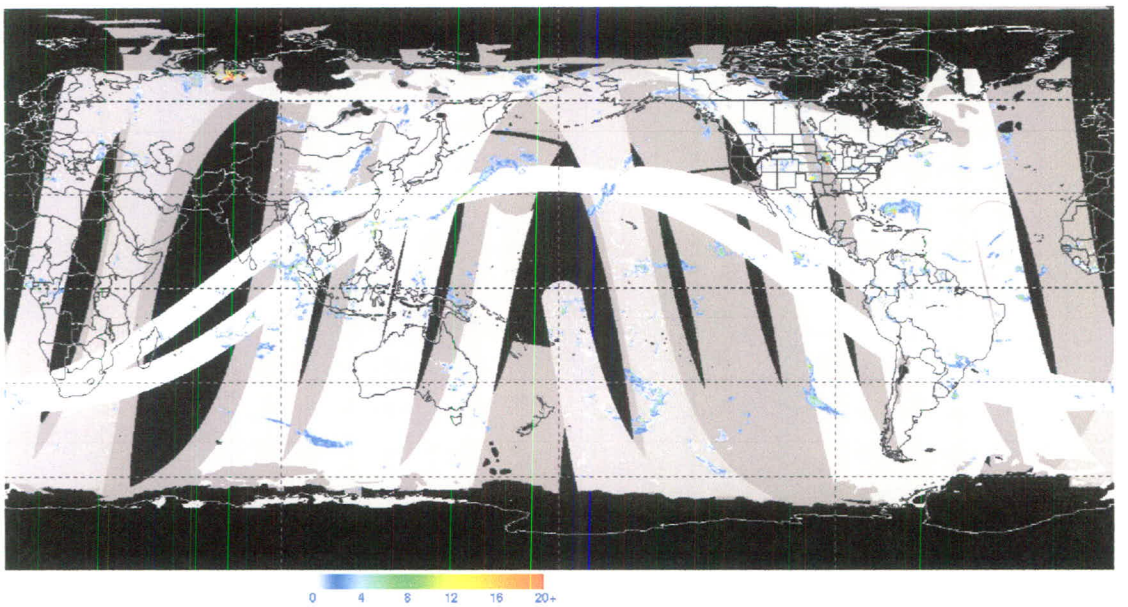
ภาพ 6 ผลสำรวจปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ที่เผยแพร่ทางเว็บไซต์ [15]

โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ชุดข้อมูลราย 3 ชั่วโมง โดยใช้ชื่อว่า TRMM Online Visualization and Analysis System (TMPA-RT : 3B42RT) [15] เป็นชุดข้อมูลที่มีความละเอียด 0.25 x 0.25 องศา (ประมาณ 25 x 25 กิโลเมตร) ขอบเขตการสำรวจครอบคลุมภายในเส้นรุ้งที่ 50 องศาเหนือและใต้[16] TMPA มีเครื่องรับรู้ที่แตกกันอยู่สองชนิด ชนิดแรกเป็น Passive microwave

ที่รับจากดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (Low earth orbit : LEO) ประกอบด้วย Microwave Imager (TMI) จากดาวเทียม TRMM, Special Sensor Microwave Image (SSM/I) จากดาวเทียม Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E) จากดาวเทียม Aqua, และ The Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B) จากดาวเทียมของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ชนิดที่สองเป็น Infrared (IR) จากดาวเทียมชนิดวงโคจรค้างฟ้า (Geosynchronous earth orbit : GEO) อันได้แก่ข้อมูลที่ได้จาก Climate Prediction Center ของดาวเทียม NOAA ที่ตรวจวัดอุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature : T_b) ดังแสดงในภาพ 7 โดยมีแนววงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 7 ดาวเทียมและเครื่องรับรู้ (Sensor) ใน 3B42RT PRODUCT ที่ใช้ในการศึกษา [17]



ภาพ 8 พื้นที่วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดของ TMPA [16]

ในภาพ 8 เป็นตัวอย่างแนววงโคจรของดาวเทียมใน เวลา 0 นาฬิกา วันที่ 25 มิถุนายน 2004 เวลาสากล แนววงโคจรสีขาวคือดาวเทียม TRMM แนววงโคจรสีเทาอ่อนคือดาวเทียม DMSP แนววงโครจสีเทาคือดาวเทียม Aqua แนววงโคจรสีเทาเข็มคือดาวเทียม NOAA

การสำรวจฝนด้วยดาวเทียม

การสำรวจปริมาณฝนด้วยดาวเทียมมีการสำรวจด้วยดาวเทียมหลายดวงและในแต่ละดวงได้ให้ผลการสำรวจ (Product) หลายชนิดต่างกัน เช่น ความละเอียดของการตรวจวัด (Resolution) ระยะช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด (Temporal) ก่อนมีการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM ดังแสดงในตาราง 3 และภายหลังจากมีดาวเทียม TRMM ดังแสดงในตาราง 4 [14]

Sapaino [18] ได้ทำการเปรียบเทียบผลการสำรวจ (Product) จากดาวเทียมตรวจฝนความละเอียดสูง (High-Resolution Satellite Precipitation) ขนาด 0.25x0.25 องศา จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ 1) TRMM Mutisatellite Precipitation Analysis (TMPA), 2) Climate Predition Center morphing Technique(CMORPH), 3) Naval Research Laboratory Blended Technique(NRL), 4) Preciptation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks(PERSIANN) และ 5) National Enviromental Satellite, Data and

Information Service Hydro-Estinator (NESDIS) กับผลการสำรวจจากสถานีวัดฝนในมหาสมุทรแปซิฟิกของ Tropical Atmosphere Ocean (TAO) และTriangle Trans-Ocean Buay Network (TRI-TON) และผลการสำรวจบนสถานีวัดฝนภาคพื้นดินของ Southern Great Plains(SGP) ตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงระหว่างปี 2003 ถึง 2006 ผลการศึกษาระบุว่าในบริเวณพื้นดิน TMPA ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ส่วนในพื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิก TMPA และ CMORPH ให้ผลความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน

ตาราง 3 การสำรวจปริมาณฝนด้วยดาวเทียมก่อนมีดาวเทียม TRMM

Product (organization)	Hori. res.	Temp. res.	NRT (delay)	Data source and major characteristics
GPCP (WCRP/GEWEX) http://cics.umd.edu/~yin/GPCP/main.html	2.5 deg	1-month	×	Merge satellite (IR,SSM/I,TOVS/MSU) with gauge data
GPCP 1DD (NASA/GSFC) http://precip.gsfc.nasa.gov/	1 deg	1-dy	×	Merge satellite (IR,SSM/I, TOVS/MSU) with gauge data
CMAP (NOAA/CPC) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.cmap.html	2.5 deg	5-dy	× (1-dy)	Merge satellite (IR,SSM/I, TOVS/MSU) with gauge data.

ตาราง 4 การสำรวจปริมาณฝนด้วยดาวเทียมภายหลังจากมีดาวเทียม TRMM

Product (organization)	Hori. res.	Temp. res.	Data latency	Data source and major characteristics
TRMM TMPA 3B43/3B42/3B42RT (NASA/GSFC) http://trmm.gsfc.nasa.gov/	0.25 deg	1-month (3B43)	1-month	Combine passive microwave sensors (radiometer /sounder) & IR estimated rainfall. Direct use of monthly rain gauge.
	0.25 deg	3-hr (3B42)	1-month	Combine passive microwave sensors (radiometer /sounder) & IR estimated rainfall, indirect use of monthly rain gauge.
	0.25 deg	3-hr (3B42RT)	10-hr	Real-time version of 3B42. Not use rain gauge data.
GSMaP MWR/MVK/NRT (JST, JAXA, NICT, etc.) http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm	0.25 deg	1-/24-hr (MWR)	Not in real-time	Merging microwave radiometer rainfall using PR indirect information. Not use rain gauge data.
	0.1 deg	1-hr (MVK)	2-3 days	Combine MWR and whose features are transported via spatial propagation information by IR, combinational use of Kalman filtering approach. Not use rain gauge data.
	0.1 deg	1-hr (NRT)	4-hr	Real-time version of MVK. Using forward propagation only. Not use rain gauge data.

ตาราง 4 (ต่อ)

Product (organization)	Hori. res.	Temp. res.	Data latency	Data source and major characteristics
CMORPH/QMORPH (NOAA/CPC) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/janowiak/cmorph_description.html	~8 km	3-hr (CMORPH)	18-hr	Merging passive microwave sensors (radiometer/sounder) estimated rainfall & whose features are transported via spatial propagation information by IR. Not use rain gauge data.
	0.5 deg	3-hr (CMORPH)		
	~8 km/ 0.25 deg	30-min (QMORPH)	3-hr	Real-time version of CMORPH. Using forward propagation only. Not use rain gauge data.
PERSIANN (UCI/HyDIS) http://hydis8.eng.uci.edu/persiann/	0.25 deg	1-hr	2-day	Calibration and training IR estimated rainfall using microwave sensor (radiometer & sounder) rainfall. Not use rain gauge data.
NRL Blended (NRL) http://www.nrlmry.navy.mil/sat-bin/rain.cgi	0.25/0.1 deg	3-hr	3-hr (image only)	Blending IR estimated rainfall and passive microwave sens ors. Not use rain gauge data.

ตาราง 4 (ต่อ)

Product (organization)	Hori. res.	Temp. res.	Data latency	Data source and major characteristics
Hydro-Estimator (NOAA/NESDIS) http://www.orbit.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/auto.html	4~6 km	30-min~ 3-hr	10-min (local)	Regional IR estimated rainfall calibrated by numerical weather prediction and ground-based radars.

การประยุกต์ใช้ข้อมูลฝนจาก TRMM

Valeriano, O.C.S., Masahiro, R., and Kazuki, T. [19] ได้ศึกษาการใช้ข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM (3B24) ในการจำลองสภาพน้ำท่วม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ Huong ในประเทศเวียดนาม และลุ่มน้ำปิง ประเทศไทย ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่ามากกว่าฝนที่ได้จากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และได้แนะนำให้ทดลองนำข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM ไปประยุกต์กับพื้นที่อื่นๆ

Al-Dousari, A., et al. [20] ได้ใช้ข้อมูลฝนจาก TRMM รายสามชั่วโมงในการเป็นข้อมูลเบื้องให้กับแบบจำลอง SWAT เพื่อประมาณค่าน้ำอัดเสริมใต้ดิน ณ ทางตอนเหนือของประเทศคูเวตและพื้นที่ลุ่มน้ำ Umm Al Aish ในตอนกลางประเทศคูเวต ทำการศึกษาในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ ผลปรากฏว่าฝนจากดาวเทียม TRMM ให้ความถูกต้องถึง 90 % ของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจริง

Tobin, K.J. and Bennett, M.E. [21] ได้ทดลองใช้ข้อมูลฝนจาก 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ 1) National Weather Service(NWS), 2) NWS Mutisensor Precipitation Estimator(MPE), 3) Tropical rainfall Measurement Mission (TRMM 3B42-V6), 4)TRMM Muti-Satellite Precipitation Analysis(TMPA-RT) และ 5) Climate Predition Center (CPC) Morphing Method(CMORPH) ในแบบจำลอง SWAT เพื่อศึกษาการไหลในลำน้ำใน 7 ลุ่มน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกา ผลปรากฏว่า ข้อมูลฝนจาก TRMM และ TMPA-RT ให้ประสิทธิภาพในการจำลองการไหลไม่ดีเมื่อเทียบกับข้อมูลฝนจากแหล่งอื่น

Seppelt, R. [22] กล่าวว่าฝนที่จากการสำรวจด้วยดาวเทียมจะมีข้อจำกัดเรื่องความแม่นยำ จึงได้ทำการหาวิธีการคำนวณปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยวิธี Inverse Distance Weighting(IDW) เทียบกับฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM (3B42 V.6) ในพื้นลุ่นน้ำปิง ผลการศึกษาพบว่าการหาปริมาณฝนเชิงพื้นที่ด้วยวิธี IDW มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM โดยการประมาณค่าฝนทั้งสองแบบจะได้ค่ามากกว่าที่วัดได้จากสถานีวัดฝน การนำค่าปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM เพื่อคำนวณหาค่าน้ำท่า โดยให้ค่าปริมาณน้ำท่าแตกต่างจากปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัด

Almazroui, M. [23] ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM(3B42 V.6) กับปริมาณฝนจากสถานวัดฝนจำนวน 29 สถานีในพื้นที่ประเทศซาอุดิอารเบีย โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันระหว่างปี 1998-2009 พบว่าปริมาณฝนจาก TRMM มีค่ามากกว่าฝนจากสถานีวัดในฤดูฝนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเปรียบปริมาณฝนรายเดือนจะพบว่าค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) สูงถึง 0.9

การประมาณค่าปริมาณฝนจากข้อมูลดาวเทียม

Engman and Gurney [24] บรรยายวิธีการประเมินปริมาณฝนโดยเครื่อง VIRS (Visible/Infrared Scanner) แบ่งออกเป็น 3 เทคนิค ได้แก่ 1) วิธี Cloud Indexing เป็นวิธีระบุชนิดของเมฆและคำนวณจากความถี่ที่พบและพื้นที่ที่เกิดฝน เป็นวิธีที่ไม่มีส่วนสัมพันธ์กับเวลา 2) วิธี Lift – History เป็นวิธีที่เกี่ยวข้องกับเวลา โดยคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์บางชนิดในเมฆ 3) วิธี Thresholding ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับTRMM

สงกรานต์ กาญจนสุธรรม [25] กล่าวว่า การประเมินฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม 2 เทคนิค ไดแก่ 1) วิธี Cloud Indexing เป็นวิธีระบุชนิดของเมฆและคำนวณจากความถี่ที่พบและพื้นที่ที่เกิดฝน เป็นวิธีที่ไม่มีส่วนสัมพันธ์กับเวลาดังแสดงรายละเอียดในสมการ 1 และ 2) วิธีการ Life-History เป็นวิธีที่เกี่ยวข้องกับเวลา โดยพิจารณาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์บางชนิดในเมฆทั้งดังแสดงรายละเอียดในสมการ 2

$$R = f[c, i(a)] \tag{1}$$

$$R_V = a_O A_c + a_1 \frac{dA_C}{dt} \tag{2}$$

โดยที่ R คือ ปริมาณทั้งหมด

R_V คือ อัตราที่ฝนตกเป็นปริมาตรต่อเวลา (t)

c คือ พื้นที่ที่เมปกคลุม

i คือ ชนิดของเมฆ

a คือ ความสูงของเมฆ

A_C คือ พื้นที่ของเมฆ

a_0 และ a_1 คือ ค่าคงที่

จงกลนี วาณิชย์เสริมกุล [26] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเมฆยอดเมฆ จากภาพถ่ายดาวเทียมทุก 3 ชั่วโมงของเดียวเทียม GMS-3 กับความแรงของฝนที่ได้จากผลการตรวจด้วยเรดาร์ตรวจอากาศทั่วประเทศและในอ่าวไทยได้ระดับช่วงอุณหภูมิและระดับความแรงของฝนดังแสดงในตาราง 5 ซึ่งจากผลที่แสดงในตาราง จะเห็นว่าระดับอุณหภูมิยอดเมฆจากภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่จะทำให้มีฝนได้ควรเริ่มจากอุณหภูมิ – 32 องศาเซลเซียสและความแรงของฝนจะยิ่งแรงขึ้นเมื่ออุณหภูมิยอดเมฆเย็นลง

ตาราง 5 ความสัมพันธ์ของระดับอุณภูมิยอดเมฆกับระดับความแรงของฝน

ที่	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	ไม่มีฝนตก (%)	มีฝนตก (%)	ระดับของฝนตก		
				ฝนอ่อน	ฝนปานกลาง	ฝนหนัก
1	-10 ถึง -32	72.83	27.17	-	-	-
2	-32 ถึง -46	13.46	86.35	62.86	22.86	0.63
3	-46 ถึง -60	13.29	86.71	9.46	67.09	10.13
4	-60 ถึง -74	7.62	92.38	29.83	60.93	7.62
5	ต่ำกว่า -74	7.41	92.59	16.20	36.11	40.28

ประเสริฐ อังสุรัตน์ [7] ได้ประเมินปริมาณฝนในภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS-4 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2536 เปรียบเทียบกับข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (P) กับอุณหภูมิยอดเมฆ (T_p) คือ

$$P = 135.03\ T_p^{-24.8} \tag{3}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (P) กับอุณหภูมิยอดเมฆเฉลี่ย (T_a) คือ

$$P = 145.26 T_a^{-26.69} \tag{4}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของฝนสูงสุดใน 60 นาที (P_i) กับอุณหภูมิยอดเมฆ (T_P) คือ

$$P_i = 126.12 T_p^{-23.17} \tag{5}$$

สัญชัย เจริญตะคุ [27] ได้ประเมินน้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ของลุ่มน้ำเขตจังหวัดนครราชสีมา จากภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 และข้อมูลจาก Radar กับปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ระหว่างเดือน สิงหาคม – ตุลาคม ปี 2000-2002 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณภูมิยอดเมฆกับปริมาณน้ำฝน ในรูปของสมการ 6

$$P = aT^{b} \tag{6}$$

โดย P คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)

T คือ อุณหภูมิยอดเมฆ (องศาเคลวิน)

a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่เปลี่ยนแปลงตามพื้นที่

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณฝน ณ เวลาหลังจากที่ถ่ายภาพ (Lag Time) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิยอดเมฆในรูปแบบ

$$Phr_{(t+1\frac{1}{2})} = 3 \times 10^{33} Thr^{-13.859} \tag{7}$$

$$Phr_{(t+2\frac{1}{2})} = 3 \times 10^{39} Thr^{-16.25} \tag{8}$$

โดย $Phr_{(t+1\,½)}$ คือ ปริมาณ ณ เวลาหลังจากถ่ายภาพ 1 ½ ชั่วโมง

$Phr_{(t+2\,½)}$ คือ ปริมาณ ณ เวลาหลังจากถ่ายภาพ 2 ½ ชั่วโมง

Thr คือ อุณหภูมิยอดเมฆเฉลี่ยรายวัน

ได้ความสัมพันธ์สำหรับลุ่มน้ำมูล Lag Time 1 ½ ชั่วโมง ดังนี้

$$P_{day} = 9 \times 10^{7} T_{average}^{-2.5387} \tag{9}$$

ได้ความสัมพันธ์สำหรับลุ่มน้ำลำตะคอง Lag Time 1 ½ ชั่วโมง ดังนี้

$$P_{day} = 7 \times 10^{53} T_{average}^{-22.536} \tag{10}$$

โดย P_{day} คือ ปริมาณฝนรวมรายวัน

$T_{average}$ คือ อุณหภูมิยอดเมฆเฉลี่ย ในช่วงเวลาฝนตก

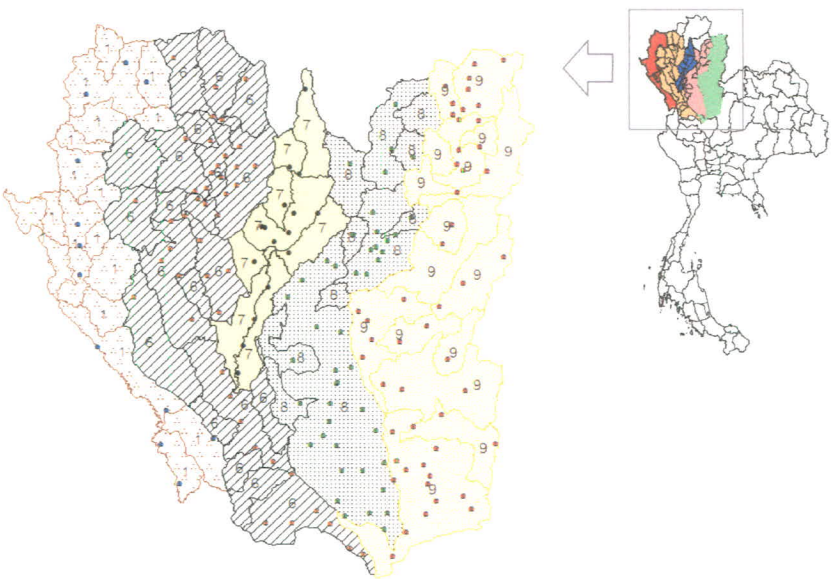
เครือข่ายสถานีวัดฝนอัตโนมัติ

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ได้ดำเนินการตามแผนการติดตั้งเครือข่ายสถานีวัดฝนอัตโนมัติ พัฒนาระบบเฝ้าระวังการเตือนภัย โดยกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นหน่วยงานหลักในการดูแลรับผิดชอบ ดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดฝนอัตโนมัติพร้อมระบบสื่อสาร จำนวน 820 สถานี

ทั่วประเทศไทย แล้วเสร็จพร้อมทั้งทดสอบการทำงานในช่วงต้นปี 2552 และได้ขยายเป็น 1,184 สถานี ในช่วงปลายปี 2552 [28] สามารถรายงานข้อมูลได้ทันท่วงทีและมีความละเอียดถึงระดับนาที โดยจำนวนสถานีวัดปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักทางภาคเหนือ 5 ลุ่มน้ำ มีจำนวนและความหนาแน่นดังแสดงในตาราง 6 และแสดงในภาพ 9

ตาราง 6 ความหนาแน่นของสถานีวัดฝนในลุ่มน้ำทางภาคเหนือ

หมายเลขลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำ	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวนสถานีวัดฝน	ความหนาแน่น (ตร.กม. / สถานี)
1	สาละวิน	17,918	12	1,493.16
6	ปิง	33,896	45	753.24
7	วัง	10,791	16	674.44
8	ยม	23,330	45	518.44
9	น่าน	34,330	50	686.60



ภาพ 9 ตำแหน่งเครือข่ายสถานีวัดฝนอัตโนมัติกรมอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางภาคเหนือ

ความหนาแน่นของสถานีวัดฝน

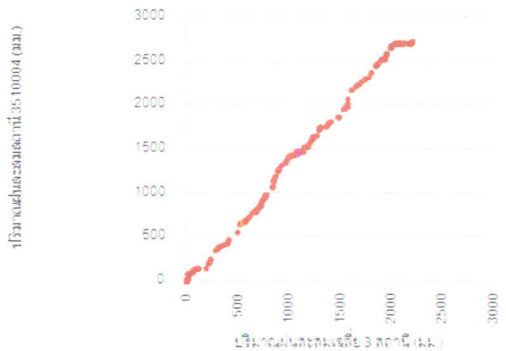
เครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนควรให้มีการกระจายโดยรอบพื้นที่ ปัจจัยสำคัญในการจัดตั้งเครือข่ายสถานี คือ งบประมาณในการติดตั้งและบำรุงรักษา โดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้เสนอแนะความหนาแน่นของจำนวนสถานีวัดฝน ตามลักษณะและขนาดของพื้น [29] ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 เกณฑ์ความหนาแน่นของสถานีวัดฝนตามลักษณะพื้นที่

ลักษณะพื้นที่	ความหนาแน่นอย่างน้อย (ตร.กม./ สถานี)
พื้นที่ราบในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อน	600
พื้นที่ที่เป็นภูเขาในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อน	100-250
พื้นที่ที่มีภูเขาขนาดเล็กและมีฝนตกไม่สม่ำเสมอ	25
เขตแห้งแล้งและเขตภูมิอากาศขั้วโลก	1,500 – 10,000

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือข้อมูลฝน

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ ใช้วิธีเส้นโค้งทับทวี (Double Mass Curve Method) โดยการเปรียบเทียบค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนรายปีของสถานีที่จะตรวจสอบกับค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของกลุ่มสถานีที่ตั้งอยู่โดยรอบ การเปรียบเทียบกระทำโดยการเขียนกราฟ ดังแสดงในภาพ 10 ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้กราฟจะเป็นเส้นตรงที่มีความลาดคงที่



ภาพ 10 ตัวอย่างการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝนโดยใช้วิธีเส้นโค้งทับทวี

การหาปริมาณฝนเชิงพื้นที่

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ คือ " วิธีการทำนายค่าของพื้นที่ในตำแหน่งที่ข้อมูลมีไม่เพียงพอ โดยใช้ค่าข้อมูลที่อยู่ข้างเคียง" ความถูกต้องของการประมาณค่าขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเซลล์ที่ทราบค่า รวมทั้งสมการหรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ [8]

Naoum, S. and Tsanis, IK. [30] ได้นำโปรแกรม AVENUE ที่ใช้เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System ,DSS) เพื่อการจัดอันดับวิธีการประมาณค่าฝนเชิงพื้นที่ (Areal Rainfall) ที่มีอยู่ในโปรแกรม ArcView GIS อันได้แก่ Spline, Inverse Distance Weighting(IDW), Kriging, Trend Surface และ Theissen Polygons โดยใช้ข้อมูลระดับความสูงดิจิตอล(Digital Elevation Model, DEM) ครอบคลุมพื้นที 41,284 ตารางกิโลเมตรในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ผลการศึกษาพบว่าวิธี Kriging ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ส่วนวิธี Thiessen Polygon จะให้งานได้ดีก็ต่อเมื่อพื้นที่(Polygon) ต่อหนึ่งสถานีวัดฝนต้องมีค่าน้อยกว่า 88 ตารางกิโลเมตร

Taesombat [31] ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณหาค่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่ 3 ชนิด ได้แก่ 1) Thin Plate Spline Technique(TPS) 2) Thiessen Polygon Technique และ 3) Isohyetal Technique ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยใช้ข้อมูลฝนรายเดือนจากสถานีวัดฝนในพื้นที่จำนวน 68 สถานี ในเดือนสิงหาคม 2001 และ กันยายน 2003 ผลการศึกษาพบว่า วิธีการประมาณค่าฝนเชิงพื้นที่แบบ TPS ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดโดยการพิจารณาค่าสถิติ Mean Error(ME), Mean Absolute Error(MAE) และ Root Mean Square Error(RMSE) หากพิจารณาความแตกต่างของปริมาณฝนรายเดือนระหว่างวิธี TPS และ Thiessen Polygon จะเห็นว่ามีค่าความแตกต่างไม่มากโดยมีค่าความแตกต่างเพียง 1.38 มิลลิเมตรและ -1.01 มิลลิเมตร ในเดือนสิงหาคม 2001 และเดือนกันยายน 2003 ตามลำดับ

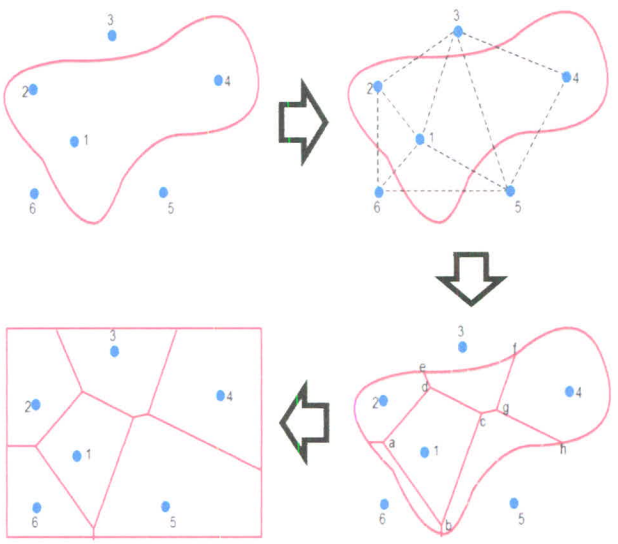
ในการประมาณค่าปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ เริ่มจากข้อมูลน้ำฝนที่วัดได้แต่ละจุดสถานี ในทางอุทกวิทยาส่วนใหญ่มักจะต้องการทราบปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง การประมาณค่าฝนเฉลี่ยบนพื้นที่มีวิธีการที่นิยมกัน 3 วิธี คือ วิธีค่าเฉลี่ยทางเลขาคณิต (Arithmatic Mean Method) วิธี Isohyetal และวิธีของ Thiessen [32] วิธีของ Thiessen ดังแสดงในภาพ 11 เป็นวิธีที่ให้น้ำหนักของข้อมูลน้ำฝนแต่ละสถานีตามสัดส่วนของขนาดพื้นที่ที่อยู่ล้อมรอบสถานีนั้นๆ ขั้นตอนสำหรับการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อยที่อยู่ล้อมรอบแต่ละสถานีมี ดังนี้

1. เริ่มต้นโดยการวาดแผนที่แสดงขอบเขตของพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณฝนเฉลี่ยพร้อมกับตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนบนแผนที่

2. ลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างสถานี ซึ่งจะเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยเส้นเชื่อมต่อดังกล่าวจะต้องไม่ตัดกัน

3. ลากเส้นแบ่งครึ่งและตั้งฉากกับด้านทั้งสามของสามเหลี่ยม ซึ่งจะไปพบกันที่จุดๆ หนึ่งภายในสามเหลี่ยมและจะทำให้เกิดเป็นพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานี

4. หาพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมที่ล้อมรอบหรือเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ครอบคลุมแต่ละสถานี



ภาพ 11 การหาปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ (Areal Rainfall)
โดยวิธีธีเอสเสน (Thiessen Method)

ค่าน้ำหนักของข้อมูลแต่ละสถานีหาได้จากสัดส่วนของพื้นที่ย่อยที่ล้อมรอบแต่ละสถานีต่อพื้นที่ทั้งหมด ปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ $\bar{P}$ หาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าปริมาณน้ำฝนและค่าน้ำหนักของแต่ละสถานี ดังสมการ

$$\bar{P} = \frac{1}{A_T}\sum_{i=1}^{n} P_i A_i \qquad (11)$$

โดยที่ A_T คือ พื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการหาค่าฝนเฉลี่ย

A_i คือ พื้นที่ย่อยของแต่ละสถานีวัดน้ำฝน

P_i คือ ข้อมูลปริมาณฝนที่แต่ละสถานี

n คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมด

การเปรียบเทียบปริมาณและความสัมพันธ์

สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบความสัมพันธ์และเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ได้จาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ ได้แก่ Mean Absolute Error (MAE) คือค่าความคลาดเคลื่อนกลางเฉลี่ยสมบูรณ์, Multiplicative Bias (Bias) คือค่าเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง, Probability of Detection (POD) และ False-alarm Ratio (FAR) [33]

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum|(\mathrm{S}-\mathrm{G})| \tag{12}$$

$$\mathrm{Bias} = \sum \mathrm{S}/\sum \mathrm{G} \tag{13}$$

$$\mathrm{POD} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{A+C}} \tag{14}$$

$$\mathrm{FAR} = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{A+B}} \tag{15}$$

โดยที่ G คือ ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่ได้จากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ (มม.)

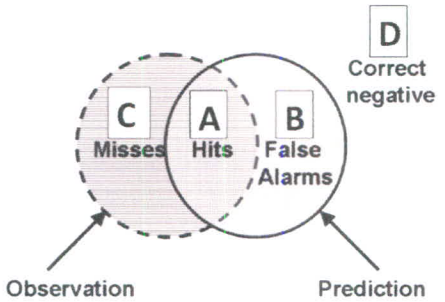
S คือ ปริมาณฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM (มม.)

N คือ จำนวนคู่ของข้อมูลระหว่าง S และ G ที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาเดียวกัน

ค่า A B C และ D คือกรณีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน โดยให้ค่าเริ่มต้นที่ 0.1 มม.ที่เป็นค่าเริ่มต้นที่ได้จากดาวเทียม TRMM ดังแสดงกรณีต่างๆ ในตาราง 8 และในภาพ 12

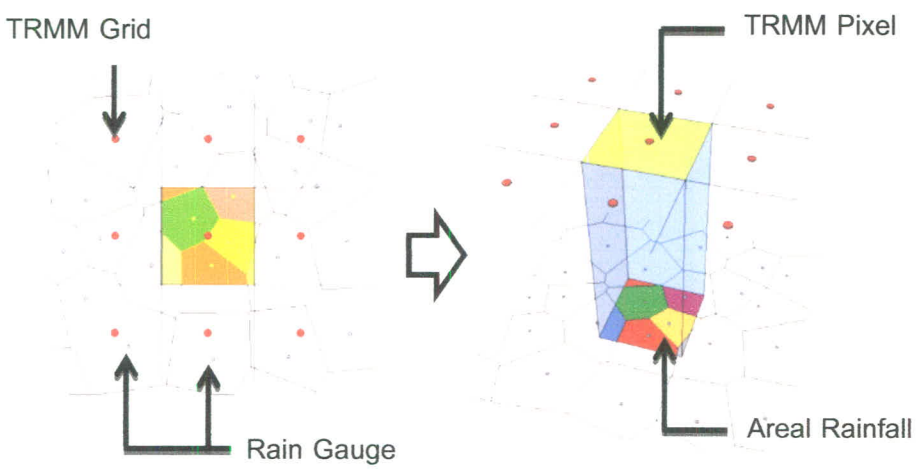
ตาราง 8 กรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม

	ฝนเชิงพื้นที่ $\geq$ 0.1 มม.	ฝนเชิงพื้นที่ $<$ 0.1 มม.
TRMM $\geq$ 0.1 มม.	A	B
TRMM $<$ 0.1 มม.	C	D



ภาพ 1 กรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม [34]

Symeonakis [35] ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณฝนจากสถานวัดฝนพื้นดินกับปริมาณฝนที่ตรวจวัดโดยดาวเทียม Meteosat ในพื้นที่ Sub-Saharan Africa โดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า Pixel to Pixel (PI-PI) และ Point to Pixel (PO-PI) ดังแสดงในภาพ 13 จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าลักษณะการเปรียบเทียมทั้งสองวิธีให้ผลการเปรียบเทียบที่ใกล้เคียงกัน ในการศึกษาครั้งนี้ได้อาศัยหลักการเปรียบเทียบดังกล่าวข้างต้น โดยทำการแปลงค่าปริมาณฝนจาก TRMM ที่เริ่มแรกจะอยู่ในรูปแบบ Grid Point ให้เป็นแบบ Pixel เปรียบเทียบกับปริมาณฝนตามพื้นที่จากเครือข่ายสถานีวัดฝน จากการคำนวณด้วยวิธี Thiessen ในพื้นที่และเวลาเดียวกัน



ภาพ 2 เปรียบเทียบปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีพื้นดินและปริมาณจากสำรวจโดยดาวเทียม

การปรับแก้ปริมาณฝน

เนื่องจากดาวเทียม TRMM ทำการตรวจวัดปริมาณฝนที่อยู่เหนือพื้นดิน ในขณะที่สถานีวัดน้ำฝนทำการตรวจวัดปริมาณฝนที่อยู่บนพื้นดิน ความแตกต่างของเครื่องมือตรวจวัดทั้งสองชนิดนี้ส่งผลให้เกิดค่าความลำเอียงในปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียม TRMM ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปรับแก้ (Bias Correction) ค่าปริมาณฝนจาก TRMM ให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกลงบนพื้นดิน

Vila, D.A., et al. [36] ได้ทำการปรับแก้ค่าฝนจากดาวเทียม TRMM (3B42RT) ในพื้นที่อเมริกาใต้ โดยวิธี Additive Bias Correction(ADD), Ratio Bias Correction (RAT) และวิธี Combine Scheme (CoSch) ซึ่งเป็นการรวมวิธี ADD และ RAT เข้าด้วยกัน โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันในปี 2004 ทำการตรวจสอบผลการศึกษากับข้อมูลฝนจากสถานีวัดฝนในพื้นที่ โดยวิธี Cross Validation พบว่า การปรับแก้ค่าฝนทั้งสามวิธีให้ค่า Bias และ RMSE ลดลง วิธี CoSch ให้ค่า Bias และ RMSE ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกันทั้งสองวิธี

Chumchean, S., Sharma A. and Seed A. [37] ได้ศึกษาความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าฝนจากเรดาร์ พบว่าการประมาณค่าฝนจากเรดาร์นั้นเป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อน ถึงแม้จะมีการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลเรดาห์ที่เหมาะสมแล้ว ยังพบว่าความคลาดเคลื่อนเหลืออยู่ เนื่องจากการตรวจวัดจากเรดาร์นั้นทำการตรวจฝนที่อยู่เหนือพื้นดินในขณะที่สถานีวัดฝนตรวจวัดฝนอยู่บนพื้นดิน ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความโค้งของโลก ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขา ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลของกระแสลมที่พัดขึ้น (Updraft) และกระแสลมที่พัดลง (Downdraft) เป็นต้น

Forero, Carlos A.Valasco., et al. [38] ได้เลือกใช้วิธีการทาง Geostatistical ได้แก่ Ordinary Kriging (OK), Kriging with External Drift (KED), และ Collocated CoKriging (ColCOK) ในการประมาณค่าฝนจากสถานีวัดฝนและฝนเรดาร์ พร้อมกับตรวจสอบผลการศึกษาโดยวิธี Cross Validation พบว่าวิธีการ KED เป็นวิธีการประมาณค่าฝนที่ดีที่สุดซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนที่ประเมินได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดจากสถานีภาคพื้นดิน จำนวน 77 สถานีที่อยู่ใน Catalunya (NE Spain) โดยทำการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนในช่วงวันที่ 28 กันยายน 2000 ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงที่ตรวจวัดได้

Chumchean, S., Seed A. and Sharma A. [39] ทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าฝนจากเรดาร์ โดยได้เสนอวิธี Mean Field Bias (G/R) และวิธี Kalman Filltering กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ Kurnell ที่ตั้งอยู่ใน Sydney ร่วมกับข้อมูลจากสถานีวัดฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาสรุปได้ว่า 1)วิธี Mean Field Bias ให้ค่า RMSE

น้อยที่สุดเมื่อมีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนมาก (ประมาณ 70 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี) 2) Kalman Filltering มีความเหมาะสมกว่าวิธี Mean Field Bias เมื่อมีความหนาแน่นของสถานีฝนน้อยกว่า (ประมาณ 90 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี)

Ozturk, K. and Yilmazer A.U. [40] ได้ทำการปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์ในพื้นที่ Balikesir ทางตะวันตกของประเทศตุรกี โดยหาค่า Adjustment Factor จากอัตราส่วนปริมาณฝนทั้งหมดต่อปริมาณฝนจากเรดาร์ในช่วงเวลา 24-25 พฤศจิกายน 2005 ผลการศึกษาพบว่าฝนเรดาร์ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้ มีความคลาดเคลื่อนจากต่างที่วัดได้จากสถานีวัดฝน 30.61 และ 16.46 มม. ตามลำดับ เมื่อเทียบประสิทธิผลจากค่า RMSE พบว่าฝนเรดาร์ภายหลังการปรับแก้ทำให้ค่า RMSE มีค่าน้อยกว่าฝนเรดาร์ก่อนปรับแก้ 17.26 มิลลิเมตร

Ratchawatch, H., Uruya W. and Sirilak C. [41] ได้ศึกษาการประมาณค่าน้ำฝนรายชั่วโมงโดยใช้ข้อมูลเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยในการศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีหาค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์โดย Geostatistical Technique แบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ วิธีการปรับแก้เฉลี่ยรวมทั้งพื้นที่ (Mean Fieid Bias Correction, MFB), วิธีการปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง (Hourly Mean Field Bias Correction, HMFB), วิธีปรับแก้ตามระยะทางรายชั่วโมง (Hourly Range Dependent Mean Field Bias Correction, HRMFB) และวิธีปรับแก้ตามพื้นที่รายชั่วโมง (Hourly Local Bias Correction, HLB) โดยพื้นที่ศึกษาคือภายในรัศมี 160 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ในช่วงปี 2546 – 2548 ผลจากการศึกษาพบว่าวิธี HLB เป็นวิธีการปรับแก้ที่ให้ผลการปรับแก้มีความถูกต้องมากขึ้นมากที่สุด จากทั้ง 4 วิธี โดยค่าปรับแก้ดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการ 15

$$(G/R)_{HLB_t} = \frac{\sum_{i=1}^{N} G_{k,i,t}}{\sum_{i=1}^{N} R_{k,i,t}} \tag{16}$$

โดยที่ $(G/R)_{HLB_t}$ คือ แฟคเตอร์ปรับแก้ตามพื้นที่รายชั่วโมง

$G_{k,i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน *i* ที่ตั้งอยู่พื้นที่ *k* ณ ชั่วโมง *t* (มม./ชม.)

$R_{k,i,t}$ คือ ปริมาณฝนเรดาร์ที่ประมาณโดยใช้สมการ $Z = 56.5R^{1.5}$ ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกับสถานีวัดน้ำฝน *i* ที่ตั้งอยู่พื้นที่ *k* ณ ชั่วโมง *t* (มม./ชม.)

N คือ จำนวนคู่ข้อมูลฝนเรดาร์ที่ประมาณโดยใช้สมการ $Z = 56.5R^{1.5}$ และ ฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการคำนวณที่ตั้งอยู่พื้นที่ *k* ณ ชั่วโมง *t* (มม. /ชม.)

Vernimmen, R.R.E., et al. [42] ได้ปรับแก้ปริมาณฝนรายเดือนจากผลการสำรวจ (Product) จาก TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) และสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 6 สถานีในพื้นที่ประเทศอินโดนีเซียเพื่อเฝ้าระวังสภาวะฝนแล้งในช่วงระหว่างปี 2003-2008 โดยใช้วิธี Power Transformations ดังแสดงในสมการ 17

$$\mathrm{TRMM_{adj}} = a * (\mathrm{TRMM})^{b} \tag{17}$$

โดยที่ $\mathrm{TRMM_{adj}}$ คือ ปริมาณฝนปรับแก้ (mm.)

TRMM คือ ปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียมท TRMM (mm.)

a , b คือ ค่าพารามิเตอร์ (Dimensionless)

Sarintip [2] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของฝนรายวันจากการสำรวจของดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อการปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากการสำรวจของดาวเทียม TRMM โดยบินนิ่งเทคนิค (Binning Technique) โดยการแบ่งช่วงปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ออกเป็นช่วงละ 5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการหาค่าปริมาณฝน TRMM เฉลี่ยในช่วงนั้นๆ พร้อมกับค่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่เฉลี่ยในช่วงนั้นๆ ที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาเดียวกัน ได้สมการความสัมพันธ์ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านดังแสดงในสมการ 18

$$\mathrm{TRMM_{adj}} = (0.295 * \mathrm{TRMM}) + 8.638 \tag{18}$$

โดยที่ $\mathrm{TRMM_{adj}}$ คือ ปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ที่ปรับแก้ค่า (mm./day)

TRMM คือ ปริมาณฝนที่ได้จากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM (mm./day)

การตรวจสอบประสิทธิภาพผลของการปรับแก้ค่าปริมาณฝน

ประสิทธิผลของการใช้วิธีปรับแก้ค่าในการประมาณค่าฝนโดยพิจารณาจากค่า Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolude Error (MAE) และ Mean Error (ME) ระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดินกับปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม ที่อยู่ในพื้นที่และเวลาเดียวกัน ซึ่งค่า RMSE, MAE และ ME สามารถคำนวณได้ดังสมการ 19 [31, 33]

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(S-G)^2}{N}} \tag{19}$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{N}\sum|(S-G)| \tag{20}$$

$$\mathrm{ME} = \frac{1}{N}\sum(S-G) \tag{21}$$

โดยที่ S คือ ปริมาณฝนที่ได้จากการสำรวจโดยดาวเทียมที่ปรับแก้ค่าแล้ว

G คือ ปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน

N คือ จำนวนคู่ข้อมูลปริมาณฝนในพื้นที่และเวลาเดียวกัน