



วิทยานิพนธ์

การประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียม สำหรับบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่
ตะเภา ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

**SATELLITE BASED RAINFALL ESTIMATION OVER U-
TAPHAO RIVER BASIN DURING NORTHEAST MONSOON**

นายเจน อรุณสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียม สำหรับบริเวณลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ในช่วงมรสุม
ตะวันออกเฉียงเหนือ

Satellite Based Rainfall Estimation Over U-Taphao River Basin during Northeast
Monsoon

นามผู้วิจัย นายเจน อรุณสิทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ชัยภูมิ ศุภวัฒน์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล, M.Eng.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วรกร ไม้เรียง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียม สำหรับบริเวณลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ในช่วงมรสุม
ตะวันออกเฉียงเหนือ

Satellite Based Rainfall Estimation Over U-Taphao River Basin during Northeast Monsoon

โดย

นายเจน อรุณสิทธิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
พ.ศ. 2550

Chane Arunsit 2007: Satellite Based Rainfall Estimation Over U-Taphao River Basin during Northeast Monsoon.. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Mr. Dusadee Sukawat, Ph.D. 127 pages.

The purpose of this research was to study the satellite based rainfall estimation over U-taphao river basin during northeast monsoon comparing to ground based rainfall during June 2000 to January 2001 and June 2001 to January 2002. Daily rainfall data was collected from precipitation-gage network of Thai Meteorological Department and Royal Irrigation Department. Hourly GMS-5 (The Japanese Geostationary Meteorological Satellite 5) image data was downloaded from website:<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/GAME/> which included CAL, IR1, IR2, IR3 and VIS data. Statistical inference in simple linear regression and correlation analyses were used. Assumptions and procedures of the Techniques were applied from TAMSAT (Tropical Application of Meteorological SATellite) Rainfall Estimation Technique appropriately.

The optimum threshold temperature, that rainfall should be occurred, was 224 Kelvin or -49 Celsius degree. The result of estimated rainfall using the simple linear regression analyses indicated that the linear relation between CCD and estimated rainfall was reasonably good over IR1 ,IR2 and IR3 data channel for conditions: $\text{Rain} \geq 35 \text{ mm.}$, $\text{Rain} \geq 40 \text{ mm.}$, $\text{Rain} \geq 50 \text{ mm.}$, $\text{Rain} \geq 60 \text{ mm.}$, $\text{Rain} \geq 70 \text{ mm.}$ The coefficient of determination (R^2) of the equations comprised 0.620, 0.641, 0.530, 0.609, 0.680, 0.494, 0.509, 0.545, 0.498, 0.555, 0.581, 0.518, 0.494, 0.564 and 0.559 respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.คุณฤๅ ศุขวัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก, รศ.ดร.วรากร ไผ่เรียง กรรมการที่ปรึกษา วิชาการ และร.ศ.ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การ ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ ต่อไป ขอขอบคุณหน่วยงานด้านข้อมูลฝนของ กรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้เอื้อเฟื้อ ข้อมูลฝนเพื่อใช้ในการศึกษานี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยโคชิ ประเทศญี่ปุ่นที่ทำการเผยแพร่ ข้อมูลดาวเทียม GMS-5 โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณศิรินันท์ สันธวาทิน และคุณทัชเกษ กิจเจริญสิน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในส่วนของโปรแกรมสนับสนุนในการแปลค่าภาพถ่ายดาวเทียม ให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และ ขอขอบคุณ คุณวิศยา อุเบกขานนท์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติ ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณ แม่ และคุณน้ำ ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และกำลังทุนแก่ผู้วิจัยมาตลอดด้วยดีเสมอมา

เจน อรุณสิทธิ์
กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	48
อุปกรณ์	48
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	57
ผล	57
วิจารณ์	105
สรุปและข้อเสนอแนะ	107
สรุป	107
ข้อเสนอแนะ	109
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	111
ภาคผนวก	112
ภาคผนวก ก	113
ภาคผนวก ข	120
ภาคผนวก ค	124
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณลักษณะลุ่มน้ำ (Basin Characteristic) ของลุ่มน้ำคลองอุตะเถาและลุ่มน้ำสาขา	8
2	สถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำของกรมชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	15
3	สถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำของกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	17
4	แสดงรายละเอียดสถานีวัดน้ำฝนและระบบโทรมาตรเพิ่มเติมในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาของกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย	20
5	แสดงชื่อดาวเทียมชนิดโคจรรอบโลก และชื่อประเทศเจ้าของ	28
6	แสดงรายละเอียดช่องสัญญาณต่างๆ ของชุดดาวเทียม NOAA	30
7	แสดงชื่อและตำแหน่งดาวเทียมอุตุนิยมหาวิทยาลัยชนิดโคจรค้างฟ้าของประเทศต่างๆ	32
8	แสดงรายละเอียดของข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณช่วงคลื่นของดาวเทียม GMS-5	33
9	แสดงรายละเอียดของข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณของดาวเทียม METEOSAT	34
10	การประมาณค่าของฝนในประเทศไทยในจิเรีย (พ.ศ. – ต.ศ. ปี ค.ศ. 1986) การเปรียบเทียบของวิธีการ (Comparison Methods)	42
11	แสดงข้อมูลฝนรายปีที่รวบรวมได้ทั้งหมดจากสถานีวัดน้ำฝน	59
12	แสดงสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ	69
13	แสดงค่าพิกัดตำแหน่งพิกเซลของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนบนภาพถ่ายดาวเทียม	76
14	แสดงตัวอย่างตารางค่าอุณหภูมิที่ได้จากการแปลค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	77
15	แสดงตัวอย่างตารางค่าช่วงเวลาเมฆเย็น(CCD)ที่จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆ	78
16	การหาจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	80
17	แสดงการตรวจสอบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน	82
18	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ณ จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสม 224 เคลวิน ภายใต้เงื่อนไขปริมาณฝนต่าง ๆ กัน	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	แสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าฝนจริงกับค่าการประมาณฝนจากสมการ $Rain_{est} = 97.337 + 3.722CCD_IR1$	86
20	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ก่อนและหลังการคัดเลือกข้อมูล	88
21	แสดงสมการสำหรับการประมาณปริมาณฝน สำหรับบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลอง อุตะเกา	107

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงแนวเส้นทางของลำน้ำคลองอุตะเถา และตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนตาม แนวลำน้ำคลองอุตะเถาในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	5
2	แสดงลำน้ำคลองอุตะเถาและลำน้ำย่อยที่ไหลมาบรรจบ	6
3	แสดงทางเดินพายุและมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย	10
4	โครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำ (กรมชลประทาน)	14
5	สถานีเฝ้าระวังและตรวจวัดปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำคลองอุตะเถา(กรมชลประทาน)	16
6	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาปัจจุบันในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา	18
7	โครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาปัจจุบันและที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2545	19
8	แสดงเส้นทางที่ดาวเทียม NOAA เคลื่อนที่ผ่านในระหว่างการโคจรรอบโลก	28
9	แสดงตำแหน่งของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาและแสดงวงโคจรรอบโลกทั้ง 2 ชนิด	31
10	แสดงขอบเขต และความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากดาวเทียม GMS-5	51
11	แสดงรูปขยาย 1 เพื่อแสดงช่องกริดทุก ๆ 1 องศา	51
12	แสดงรูปขยาย 2 เพื่อแสดงช่องกริดทุก ๆ 1/20 องศา	52
13	แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณ IR1 วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ในประเทศไทย	62
14	แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณ IR2 วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ในประเทศไทย	63
15	แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณ IR3 (Water Vapour) วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ประเทศไทย	64
16	แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ (VIS) วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ประเทศไทย	65
17	แสดงขอบเขตทั้งหมดที่สามารถเก็บภาพได้ และขอบเขตพื้นที่ศึกษาของดาวเทียม GMS-5	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 แสดงขอบเขตทั้งหมดที่สามารถเก็บภาพได้ ของดาวเทียม GMS-5	67
19 แสดงพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแผนที่โลก	68
20 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58022 (ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่)	70
21 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58112 (สถานีตรวจอากาศเกษตร-คอหงส์)	71
22 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58210 (โครงการชลประทานคลองวาด)	72
23 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58232 (ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม)	73
24 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58332 (สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่)	74
25 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58341 (คลองอู่ตะเภา (x.173) บ้านคลองแงะ อำเภอหาดใหญ่)	75
26 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ (R^2) ของการทดสอบหาจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมแต่ละอุณหภูมิ	81
27 กราฟแสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าฝนจริงกับค่าการประมาณฝนจากสมการ $Rain_{est} = 97.337 + 3.722CCD_IR1$	87
28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 35 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล	89
29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 35 หลังการคัดเลือกข้อมูล	89
30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 35 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล	90
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 35 หลังการคัดเลือกข้อมูล	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 70 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล	103
57	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 70 หลังการคัดเลือกข้อมูล	103

การประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียม สำหรับบริเวณลุ่มน้ำคลองอุตะเกา ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ

Satellite Based Rainfall Estimation Over U-Taphao River Basin during Northeast Monsoon

คำนำ

ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2531 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2543 ที่ผ่านมามีเกิดน้ำท่วมใหญ่ขึ้นในหลายอำเภอของบริเวณลุ่มน้ำอุตะเกา จังหวัดสงขลา ซึ่งอยู่ในช่วงอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทั้งสองเหตุการณ์ ดังนั้นจึงเกิดความคิดที่จะนำดาวเทียมมาช่วยในการประมาณการเกิดฝน เพื่อที่จะได้มีการเตรียมพร้อม สำหรับสถานการณ์ไม่คาดฝันที่อาจเกิดขึ้น โดยก่อนที่จะสามารถนำดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ได้ ประการแรกจึงต้องศึกษาลักษณะการทำงานของดาวเทียม ประการที่สอง ศึกษาความถูกต้องของการประมาณฝนด้วยดาวเทียม และประการสุดท้าย ถ้าดาวเทียมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดีในการประมาณฝน ก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเตือนภัยทางน้ำ และป้องกันน้ำท่วมได้ โดยเฉพาะในช่วงที่เคยเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ในอดีต นั่นก็คือช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนั่นเอง

เหตุที่จำเป็นต้องทำการศึกษา เพราะปัจจุบันการทำนายฝนที่มีความเข้มสูงและตกต่อเนื่องเป็นเวลานานทำให้เกิดน้ำท่วมอย่างเฉียบพลัน ในปัจจุบันใช้วิธีการที่นำมาจากต่างประเทศ บางครั้งใช้ได้ไม่ดีในประเทศไทย ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการประมาณ หรือพยากรณ์ฝนในประเทศไทยต่อไป โดยช่วงเวลาที่ทำการศึกษาคอบคลุมมากกว่าช่วงเวลามรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และช่วงที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาคครั้งนี้ คือช่วงเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2543 ถึงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2544 ถึงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2545 ซึ่งดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาคคือดาวเทียม GSM-5 ของประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากเป็นดาวเทียมที่โคจรอยู่เหนือบริเวณขอบเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษา และข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมดวงนี้สามารถนำมาได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ องค์กรประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วจึงเป็นการเหมาะสมสำหรับการศึกษาคครั้งนี้

วัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา

วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการประมาณฝนบริเวณลุ่มน้ำคลองอุตะเถาให้ได้ค่าการประมาณที่ใกล้เคียงฝนที่ตกจริงมากที่สุด และใช้วิธีประมาณค่าที่ใช้ได้ดีที่สุดในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ดังนั้นจึงต้องกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังนี้ คือ

1. เพื่อศึกษาสภาพทั่วไปของฝนซึ่งเกิดจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา
2. เพื่อให้ได้วิธีการประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียมที่เหมาะสม สำหรับลุ่มน้ำคลองอุตะเถาในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ
3. เพื่อให้ทราบวิธีการประมาณปริมาณฝนที่เหมาะสม โดยการใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา
4. เพื่อเป็นแนวทางในการประมาณฝนด้วยดาวเทียมที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในอนาคต

ขอบเขตการศึกษา

เนื่องจากจังหวัดสงขลา มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อนชื้น ฝนตกชุกตลอดทั้งปี และมีเพียง 2 ฤดู โดยที่ ฤดูฝน คือ ในช่วงเดือนมิถุนายน-มกราคม และฤดูร้อน คือในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ทำการศึกษาก็อยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน-มกราคม เพราะเป็นช่วงฤดูฝน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถกำหนดขอบเขตการศึกษาได้ดังนี้

1. ขอบเขตพื้นที่ที่จะศึกษา คือ บริเวณลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา
2. ช่วงเวลาที่ใช้เพื่อการศึกษาได้แก่ ช่วงระหว่างเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2544 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2546
3. ดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา คือ ดาวเทียม GMS-5 ของประเทศญี่ปุ่น
4. ข้อมูลที่ใช้คือ ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน และข้อมูลจากดาวเทียม ในช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2543 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2544 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2545

การตรวจเอกสาร

ลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไป และพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา

1. ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลาตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง (Latitude) ที่ $6^{\circ} 28' 00''$ ถึง $7^{\circ} 10' 00''$ เหนือและเส้นแวง (Longitude) ที่ $100^{\circ} 00' 00''$ ถึง $100^{\circ} 40' 00''$ ตะวันออก รูปลักษณะของลุ่มน้ำเป็นลุ่มน้ำแบบรูปผสม (Complex basin) มีขอบเขตของลุ่มน้ำดังนี้ (ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2544)

ทิศเหนือ	ติดทะเลสาบสงขลา
ทิศใต้	ติดประเทศมาเลเซีย
ทิศตะวันออก	ติดอำเภอนาทวีและอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันตก	ติดอำเภอรัตภูมิจังหวัดสงขลา และอำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล

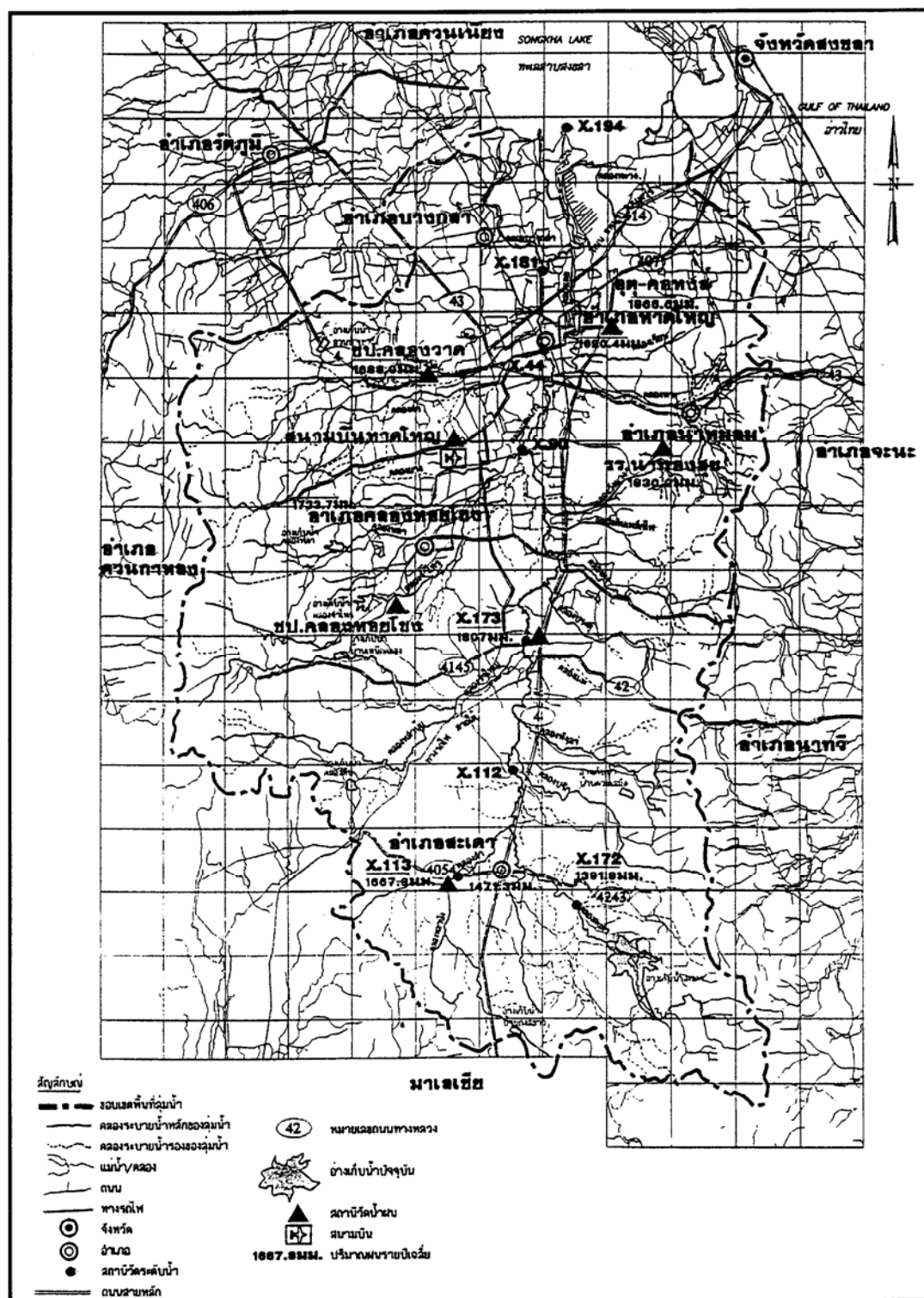
ลุ่มน้ำอุตะเถาเป็นลุ่มน้ำขนาดปานกลาง มีพื้นที่รับน้ำ 2,420 ตารางกิโลเมตร ต้นกำเนิดของลุ่มน้ำคลองอุตะเถาอยู่บริเวณเขตเทือกเขารอยต่อชายแดนไทย-มาเลเซีย ไปจนถึงปากน้ำทะเลสาบสงขลา ที่บ้านแหลมโพธิ์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปกคลุมพื้นที่ในเขตของอำเภอสะเดา กิ่งอำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม กิ่งอำเภอบางกล่ำและอำเภอหาดใหญ่ คิดเป็นอัตราส่วนของพื้นที่แต่ละอำเภอต่อพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาทั้งหมดประมาณ 30%, 10%, 7%, 10% และ 43% ตามลำดับ มีลำน้ำคลองอุตะเถาเป็นลำน้ำหลักไหลผ่าน (ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2544)

ลุ่มน้ำคลองอุตะเถามีลักษณะเป็นลุ่มน้ำแบบผสม (ลุ่มน้ำแบบรูปขนนกรวมกับลุ่มน้ำแบบรูปวงกลม) ซึ่งมีแนวเทือกเขาสูงเป็นขอบเขตลุ่มน้ำในทางทิศตะวันตก ทิศใต้ และทิศตะวันออก ส่วนทางทิศเหนือบรรจบทะเลสาบสงขลา จากลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำซึ่งขอบทางด้านทิศตะวันตกและด้านทิศตะวันออกเป็นพื้นที่สูงลาดเทไปยังทิศเหนือ จึงทำให้บริเวณ

เทศบาลนครหาดใหญ่กับทะเลสาบสงขลามีลักษณะเป็นแอ่งรองรับน้ำ โดยลุ่มน้ำคลองอุตะเภามีคลองอุตะเภาเป็นคลองระบายน้ำหลักมีความยาวประมาณ 112 กม. (จากอ่างเก็บน้ำสะเดาถึงทะเลสาบสงขลา) พาดผ่านกลางพื้นที่ลุ่มน้ำในแนวใต้-เหนือ มีความลาดชันเฉลี่ยของท้องน้ำเท่ากับ 1: 2,300 ตั้งแต่บริเวณสถานีวัดน้ำ X.111 (คลองสะเดา ที่บ้านไพร) ลงมาจนถึงบริเวณ สถานีวัดน้ำ X.44 (คลองอุตะเภา ที่บ้านโคกเสม็ดชุน) และจากบริเวณสถานีวัดน้ำ X.44 ไปจนถึงทะเลสาบสงขลา มีความลาดชันเฉลี่ยของท้องน้ำเท่ากับ 1: 10,000 ตำแหน่งของสถานีโดยประมาณดังแสดงในภาพที่ 1 ทั้งนี้คลองอุตะเภามีลักษณะคดเคี้ยวมากในบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ (ความลาดชันของท้องน้ำสูง) และเป็นแนวตรงเมื่อเข้าสู่พื้นที่ราบ ความลึกของคลองอุตะเภาอยู่ระหว่าง 4-10 เมตร และมีความกว้างคลองเฉลี่ยประมาณ 40 เมตร (ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [วศ.ทน. มก.], 2545)

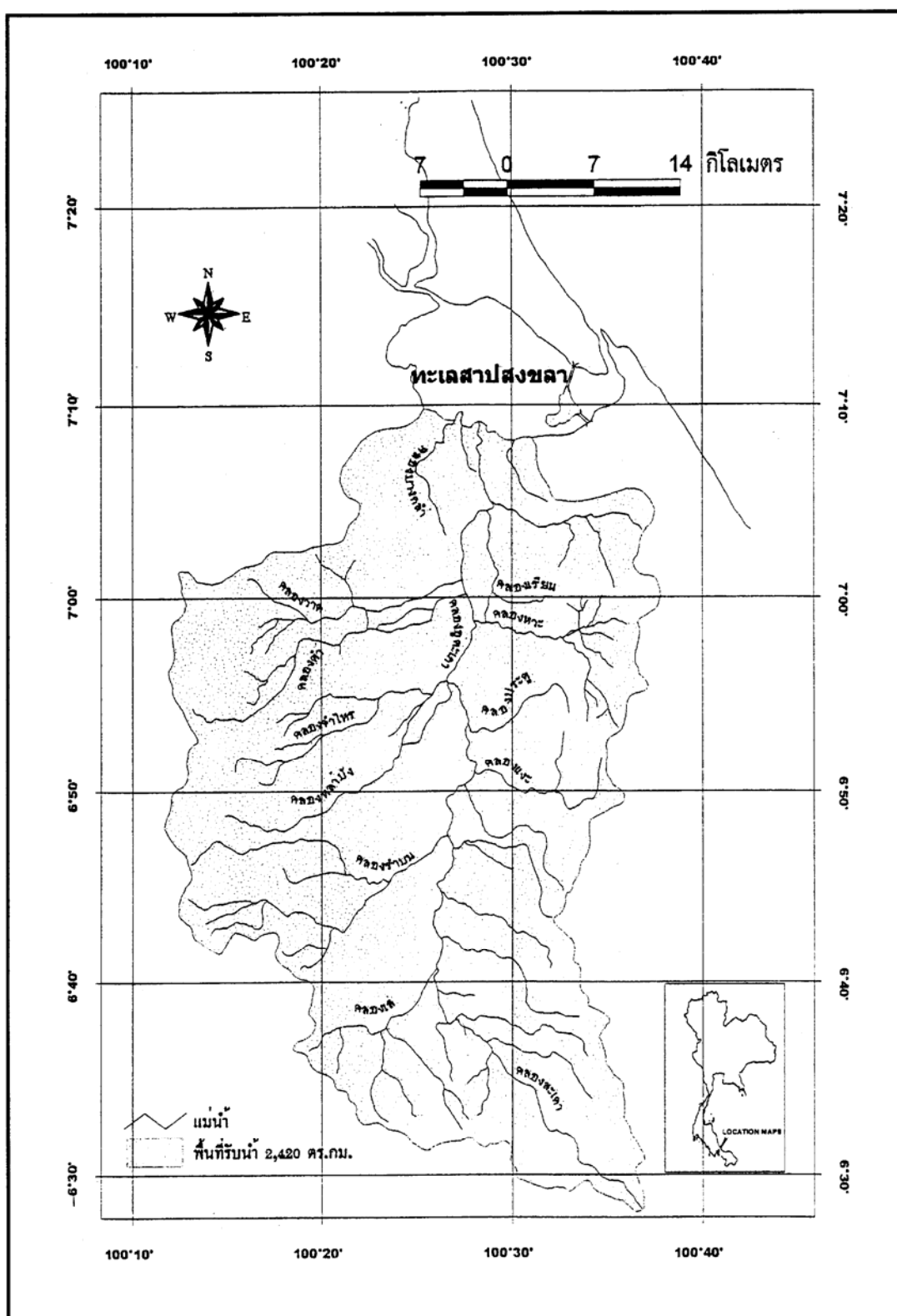
ลุ่มน้ำคลองอุตะเภามีสภาพภูมิประเทศเป็นแอ่งกระทะ พื้นที่ลาดเทจากทิศใต้ลงสู่ทิศเหนือ มีค่าระดับผิวดินอยู่ระหว่าง +350 ม.รทก. ในทางทิศใต้ลาดเทลงมาถึง +0.00 ม.รทก. ในทางทิศเหนือ และมีพื้นที่ราบระหว่างเทศบาลนครหาดใหญ่กับทะเลสาบสงขลา (ระดับ +0.00 ถึง +7.00 ม.รทก.) ส่วนด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของลุ่มน้ำสภาพพื้นที่จะยกสูงเนื่องจากเป็นแนวสันเขา (ค่าระดับประมาณ +100 ถึง +600 ม.รทก.) และลาดเทสู่บริเวณพื้นที่ตอนกลางซึ่งเป็นที่ราบ (บริเวณแนวคลองอุตะเภา) ระยะทางระหว่างขอบพื้นที่ด้านตะวันตกถึงคลองอุตะเภามีค่าประมาณ 25-30 กม. ส่วนระยะทางระหว่างขอบพื้นที่ด้านตะวันออกถึงคลองอุตะเภามีค่าประมาณ 10-25 กม. จึงทำให้พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายของคลองอุตะเภา (ตามแนวทิศเหนือ) มีพื้นที่ระบายน้ำมากกว่าพื้นที่ฝั่งขวาของคลองอุตะเภา ในขณะที่พื้นที่ฝั่งขวาของคลองอุตะเภาจะมีความลาดชันของผิวดินมากกว่า (วศ.ทน. มก., 2545)

นอกจากลำน้ำคลองอุตะเภาที่เป็นลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำคลองอุตะเภา แล้วยังมีลำน้ำสาขาหลายสายที่มีความสำคัญต่อภาวะการเกิดน้ำท่วมของบริเวณเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ไหลมาเชื่อมบรรจบกับตัวลำน้ำคลองอุตะเภาได้แก่ ลำน้ำคลองพังลา คลองหลา คลองจำไทร คลองเรียน คลองหะ คลองตำ คลองวาด ฯลฯ ดังแสดงในภาพที่ 2 และจากพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเภาทั้งหมดประมาณ 2,420 ตารางกิโลเมตร สามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเภาด้านฝั่งตะวันออก 924 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเภาด้านฝั่งตะวันตก 1,496 ตารางกิโลเมตร โดยมีรายละเอียดของลุ่มน้ำทั้ง 2 ฝั่ง (ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2544) ดังนี้คือ



ภาพที่ 1 แสดงแนวเส้นทางของลำน้ำคลองอุตะเถา และตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนตามแนวลำน้ำคลองอุตะเถาในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ที่มา: วศ.ทน. มก. (2545)



ภาพที่ 2 แสดงลำน้ำคลองอุตะเถาและลำน้ำย่อยที่ไหลมาบรรจบ
 ที่มา: ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ (2544)

ลุ่มน้ำคลองอุตะเขาด้านฝั่งตะวันออก ประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ ทั้งหมด 16 ลุ่มน้ำ ได้แก่

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1. ลุ่มน้ำคลองต้นสะทอน | 2. ลุ่มน้ำคลองวังครกเปือ |
| 3. ลุ่มน้ำคลองบ้านนาป่อง | 4. ลุ่มน้ำคลองพังตา |
| 5. ลุ่มน้ำคลองลำโล๊ะ | 6. ลุ่มน้ำคลองแงะ |
| 7. ลุ่มน้ำคลองประตู่ | 8. ลุ่มน้ำคลองปริก |
| 9. ลุ่มน้ำคลองตง | 10. ลุ่มน้ำคลองปอม |
| 11. ลุ่มน้ำคลองหวะ | 12. ลุ่มน้ำคลองเรียน |
| 13. ลุ่มน้ำคลองห้วยยู | 14. ลุ่มน้ำคลองพรุแค |
| 15. ลุ่มน้ำคลองหินเหล็กไฟ | 16. พื้นที่ Flood Plain กับสบน้ำ |

ลุ่มน้ำคลองอุตะเขาด้านฝั่งตะวันตก ประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ ทั้งหมด 9 ลุ่มน้ำ ได้แก่

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. ลุ่มน้ำคลองชัน | 2. ลุ่มน้ำคลองเล่ |
| 3. ลุ่มน้ำคลองรำบน | 4. ลุ่มน้ำคลองลำใหญ่+ ลำน้อย |
| 5. ลุ่มน้ำคลองจำไหร | 6. ลุ่มน้ำคลองหลา |
| 7. ลุ่มน้ำคลองตำ | 8. ลุ่มน้ำคลองวาด |
| 9. พื้นที่ Flood Plain กับสบน้ำ | |

คุณลักษณะต่าง ๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะคู่น้ำ (Basin Characteristic) ของคู่น้ำคลองอยู่ตะเภาและคู่น้ำสาขา

ที่	คู่น้ำ	คู่น้ำคลองอยู่ตะเภาฝั่งตะวันออก			ที่	คู่น้ำ	คู่น้ำคลองอยู่ตะเภาฝั่งตะวันตก		
		พื้นที่รับน้ำ (DA.) (ตร.กม.)	ความลาดชัน ลำน้ำ (S)	ความยาวลำน้ำ (L) (กม.)			พื้นที่รับน้ำ (DA.) (ตร.กม.)	ความลาดชัน ลำน้ำ (S)	ความยาวลำน้ำ (L) (กม.)
1	คลองต้นสะพาน	42.0	0.23000	13.00	6.12	1	คลองชัน	0.00232	22.96
2	คลองวังครกบือ	15.0	0.00443	10.62	5.58	2	คลองเล่	0.00128	29.26
3	คลองบ้านนาป้อ	13.0	0.00925	7.00	3.95	3	คลองร่าบน	0.00193	13.27
4	คลองพังลา	72.1	0.0035	21.52	12.30	4	คลองลำ	0.00136	42.74
5	คลองลำโละ	24.0	0.00448	12.14	7.14	5	คลองจำไทร	0.00169	39.95
6	คลองแจะ	23.0	0.00318	10.00	4.95	6	คลองหลา	0.00080	30.00
7	คลองประดู่	59.6	0.00265	21.60	11.50	7	คลองดำ	0.00220	40.42
8	คลองนาปรัก	50.0	0.00254	22.30	12.20	8	คลองวาด	0.00210	40.87
9	คลองตง	82.7	0.00093	23.69	13.51	9	สนน้ำ+Flood Plain	-	-
10	คลองป้อม	31.8	0.00412	15.80	9.20	รวมพื้นที่			
11	คลองหวะ	115.1	0.00267	20.86	12.38		1496.0	-	-
12	คลองเรียน	20.2	0.0024	11.36	6.39				
13	คลองหัวตุ	49.9	0.00162	19.30	8.80				
14	คลองพุดแค	21.4	0.00087	4.84	2.95				
15	คลองหินเหล็กไฟ	30.8	0.00149	10.90	5.19				
16	สนน้ำ+Flood Plain	273.0	-	-	-				
	รวมพื้นที่	923.6	-	-	-				

ที่มา: ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ (2544)

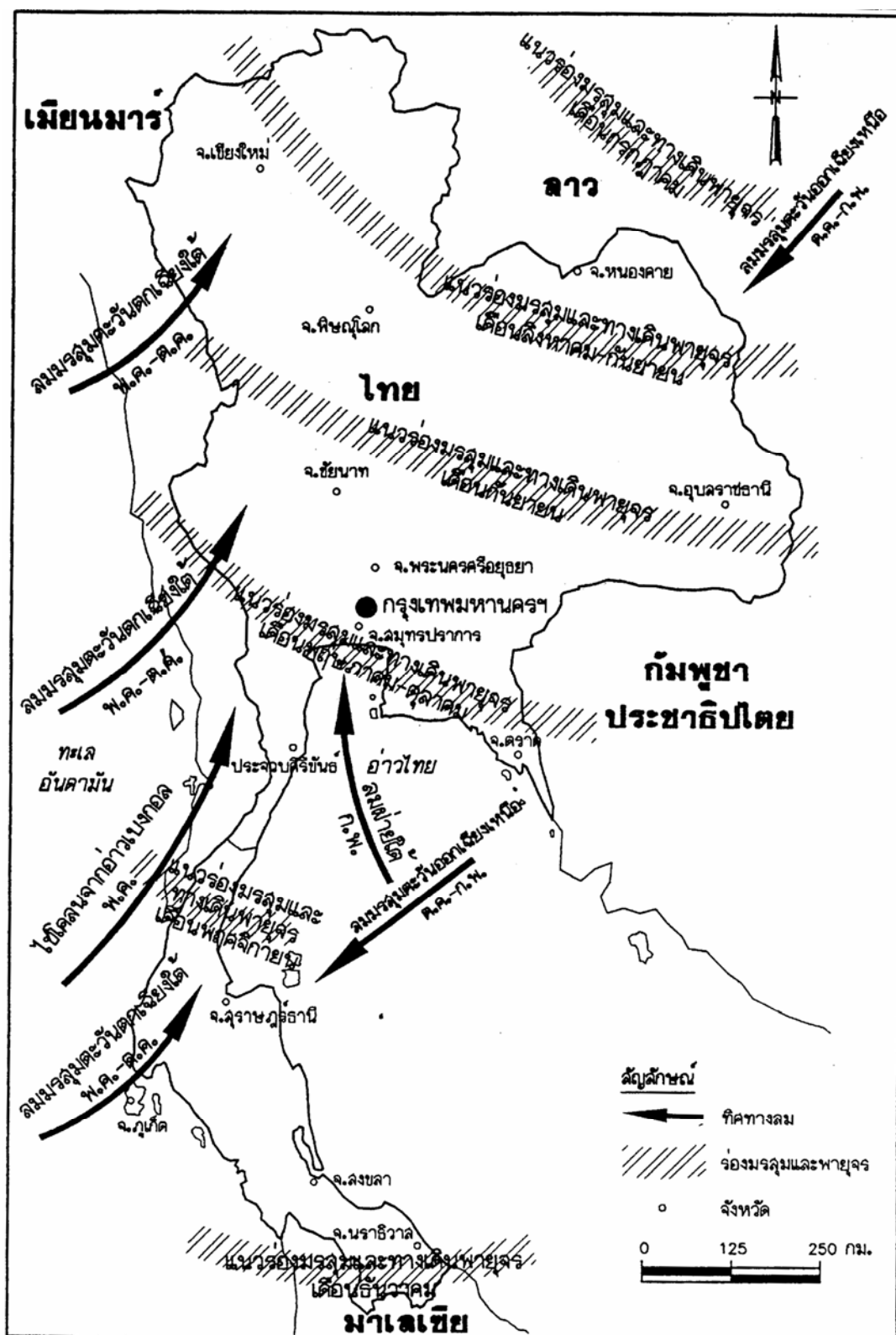
1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาเป็นลุ่มน้ำที่มีปริมาณฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปีได้รับอิทธิพลทั้งจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมกราคม นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุจร ที่ก่อตัวขึ้นในทะเลจีนใต้ตอนล่างหรืออ่าวไทย พัดพาผ่านและเคลื่อนตัว ขึ้นฝั่งแถบบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 3 เป็นผลทำให้ในช่วงฤดูนี้เกิดน้ำท่วมบริเวณที่ลุ่มของเทศบาลนครหาดใหญ่อยู่เสมอ ๆ เพราะจะมีฝนตกหนักมาก หนาแน่นทั่วบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ (ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2544)

ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของลุ่มน้ำ ประมาณ 1,677.8 มิลลิเมตร โดยปีที่มีค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดคือ ปี พ.ศ. 2543 ค่าปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 2,623 มิลลิเมตร และปีที่มีค่าปริมาณน้ำฝนต่ำสุดคือปี พ.ศ. 2509 ค่าปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 960.6 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีไม่ร้อนจัดประมาณ 27.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 31.9 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนสิงหาคม โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดของสถิติเกิดในเดือนเมษายน อุณหภูมิสูงประมาณ 39.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 23.3 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม โดยมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดของสถิติเกิดเดือนมกราคม อุณหภูมิต่ำประมาณ 17.2 องศาเซลเซียส

อัตราค่าการระเหยตลอดทั้งปีประมาณ 1,619.5 มิลลิเมตร โดยจากสถิติที่ทำการตรวจวัดเดือนมีนาคม เป็นเดือนที่มีอัตราการระเหยมากที่สุด ประมาณ 170.1 มิลลิเมตร และเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีอัตราการระเหยน้อยที่สุด ประมาณ 95.9 มิลลิเมตร

ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปี ประมาณ 79% โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดประมาณ 94% โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของสถิติเดือนพฤศจิกายนประมาณ 96% ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 62% โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของสถิติเดือนมีนาคมประมาณ 25%



ภาพที่ 3 แสดงทางเดินพายุและมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย
ที่มา: วศ.ทณ. มก. (2545)

2. ฝนที่ทำให้เกิดน้ำท่วมลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ช่วงวันที่ 21 – 25 พฤศจิกายน 2543

เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือได้พัดปกคลุมบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง ทำให้พื้นที่หลายจังหวัดในเขตของภาคใต้เกิดฝนตกหนักมากทั่วทั้งพื้นที่ และเกิดน้ำท่วมฉับพลัน (Flash flood) โดยเฉพาะบริเวณลุ่มน้ำคลองอุตะเถา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรงในเขตของเทศบาลนครหาดใหญ่และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งมีความรุนแรงของระดับน้ำท่วมมากกว่าประมาณ 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการอุทกภัยของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2531 (ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2544)

สาเหตุที่เกิดน้ำท่วมฉับพลันในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และมีความรุนแรงมาก เนื่องจากว่าที่ตั้งของตัวเมืองหาดใหญ่ซึ่งเป็นเมืองศูนย์กลางทางด้านเศรษฐกิจการค้าของภาคใต้ มีลักษณะพื้นที่เป็นแอ่งรูปกะทะ เหมือนเป็นที่รองรับน้ำจากลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ ที่ไหลลงมาจะต้องผ่านเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งหลีกเลี่ยงไม่พ้นเมื่อเกิดฝนตกหนักมากติดต่อกันนานถึง 3 วัน กล่าวคือ ทางด้านทิศตะวันออกมาจากลุ่มน้ำคลองหะมิคั้นน้ำอยู่ในเขตของอำเภอนาหม่อม และลุ่มน้ำคลองเรียน ซึ่งมีต้นกำเนิดบริเวณเทือกเขาคอหงส์ในเขตอำเภอหาดใหญ่ ด้านทิศใต้เป็นลุ่มน้ำคลองอุตะเถา และลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ ส่วนทางด้านทิศตะวันตกเป็นลุ่มน้ำคลองด้าและลุ่มน้ำคลองวาด

จากลุ่มน้ำสาขาดังกล่าวเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนจะเห็นว่าในช่วงวันที่ 18 - 20 พฤศจิกายน 2543 ปริมาณน้ำฝนบนลุ่มน้ำคลองหะมิคั้นจำนวน 204 มม. ลุ่มน้ำคอหงส์ จำนวน 214.2 มม. ลุ่มน้ำคลองวาดกับคลองด้าจำนวน 250 มม. ในขณะที่ทางตอนบนของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา และลุ่มน้ำสาขามีปริมาณฝนตกน้อยและจากปริมาณน้ำฝนของทั้ง 4 ลุ่มน้ำดังกล่าว เป็นผลทำให้เกิดปริมาณน้ำหลากจากทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของลุ่มน้ำได้ไหลลงสู่ตัวลุ่มน้ำคลองอุตะเถาแล้วมุ่งเข้าสู่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ประกอบกับในช่วงวันที่ 21 – 22 พฤศจิกายน 2543 ได้เกิดมีฝนตกหนักมากเต็มพื้นที่ทางตอนบนของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา เป็นผลทำให้มีปริมาณน้ำท่าโดยรวมของลุ่มน้ำคลองอุตะเถาและสาขากินกว่าความจุของลำน้ำธรรมชาติแต่ละคลองจะรับได้ (ความจุของลำน้ำคลองอุตะเถา ประมาณ 461.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่ระดับ +6.94 เมตร (รทก.) ของสถานี X.44) จึงเกินปริมาณน้ำล้นตลิ่งและท่วมแผ่ออกไปตามพื้นที่ลุ่มต่ำโดยเฉพาะเขตเทศบาลนครหาดใหญ่

การเกิดน้ำท่วมในเขตเมืองหาดใหญ่ เกิดจากลำน้ำที่มาจากเทือกเขาคอหงส์ทางด้านทิศตะวันออกของกลุ่มน้ำไหลมาตามคลองเรียนเข้าสู่ใจกลางเมือง ตอนเย็นของวันที่ 21 พฤศจิกายน 2543 ในขณะที่ระดับน้ำที่สถานี X.44 คลองอุตะเกา ค่าระดับน้ำยังต่ำกว่าตลิ่งประมาณ 1 เมตร ขณะเดียวกันปริมาณน้ำที่มาจากลำน้ำคลองหะกีสันตลิ่ง ส่วนหนึ่งไหลลงคลองอุตะเกาอีกส่วนหนึ่งท่วมแผ่ออกสันตลิ่งมาถึงแนวถนนรถไฟสายหาดใหญ่ – ปาดังเบซาร์ แล้วเปลี่ยนทิศทางไหลขนานมากับทางรถไฟเข้าสู่ตัวเทศบาลนครหาดใหญ่ ทำให้ระดับน้ำเพิ่มระดับสูงขึ้น จนท่วมสันตลิ่งเส้นทางรถไฟที่กั้นขวางทางน้ำอยู่ทั้งทางด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ จึงจะไหลผ่านไปลงคลองอุตะเกาได้

ในขณะเดียวกันในคืนวันที่ 21 พฤศจิกายน 2543 ปริมาณน้ำจากลำน้ำคลองดำ และคลองวาดที่ไหลมาจากทิศตะวันตกลงคลองอุตะเกา ทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณพื้นที่บ้านหาดใหญ่ (สถานี X.44) และปริมาณน้ำได้ท่วมแผ่ตลอดไปจนถึงถนนลพบุรีราเมศวร์ ช่วงฝั่งขวาของลำน้ำคลองอุตะเกา และปริมาณน้ำส่วนหนึ่งได้ไหลบ่าข้ามทางรถไฟไหลไปลงคลองอุตะเกาตอนล่างเป็นผลทำให้วันที่ 22 พฤศจิกายน 2543 เป็นวันที่มีปริมาณน้ำท่วมเต็มทั่วพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ และระดับน้ำท่วมได้ยกระดับสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 18.00 น. – 19.00 น. ในช่วงค่ำของวันที่ 23 พฤศจิกายน 2543 วัดระดับน้ำสูงสุดได้เท่ากับ 8.77 เมตร (รทก.) ที่สถานี X.44 มีปริมาณน้ำสูงสุด โดยการประเมินอ่านจากเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณน้ำ (Rating Curve) มีค่าประมาณ 764.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (เฉพาะที่ตัวลำน้ำคลองอุตะเกา) ข้างที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่ ในขณะที่ทำการสำรวจปริมาณน้ำได้ท่วมล้นตลิ่งแผ่ออกไปทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา แล้ว หลังจากนั้นตั้งแต่วันที่ 24 พฤศจิกายน 2543 มีฝนตกในกลุ่มน้ำเล็กน้อย ระดับน้ำจึงลดลงอยู่ที่ระดับตลิ่งสถานี X.44 คือระดับ 6.94 เมตร (รทก.) เมื่อเวลา 15.00 น. มีปริมาณน้ำประมาณ 461.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที วันที่ 25 พฤศจิกายน 2543 และระดับน้ำลดลงเรื่อย ๆ จนเข้าสู่สภาพปกติ

ดังนั้นถ้าได้มีการประมาณฝนในแต่ละพื้นที่ที่ได้ใกล้เคียงกับฝนที่เกิดขึ้นแล้ว ย่อมสามารถที่จะประมาณฝนที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ และยังทำให้สามารถนำมาใช้ในการประมาณปริมาณน้ำหลากที่จะเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ได้ ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ในการเตือนภัย หรืออพยพประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ที่คาดว่าจะเกิดน้ำท่วมอย่างเฉียบพลันได้ทันทั่วทั้ง ด้วยเหตุนี้ถ้าหากมีการประมาณฝนโดยดาวเทียมซึ่งมีขอบเขตปกคลุมพื้นที่ได้กว้างและสามารถทำได้ในพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนได้ หรือพื้นที่ที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝน ก็จะช่วยบรรเทาปัญหา และความเสียหายอย่างรุนแรงที่เกิดขึ้นได้

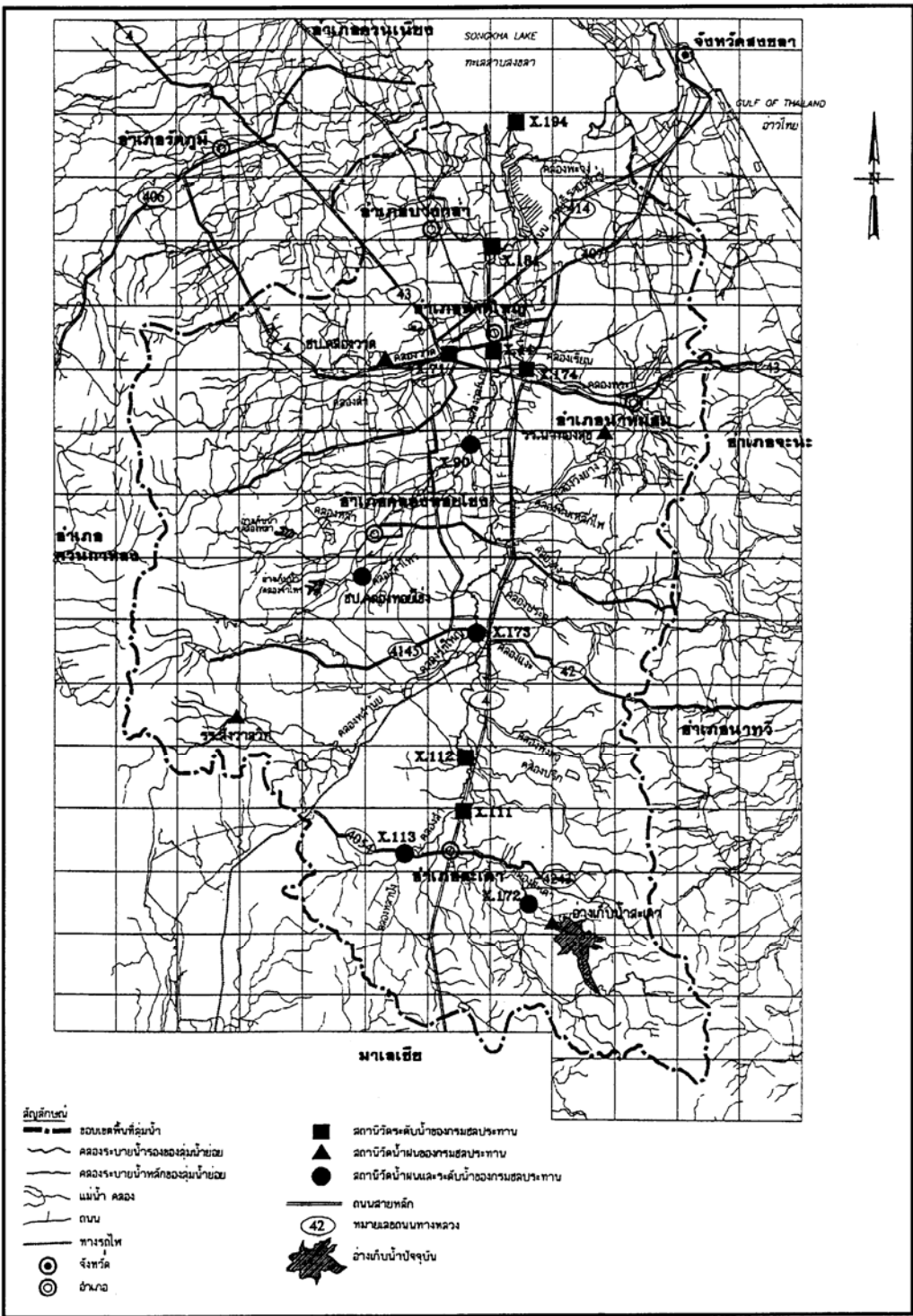
3. สถานีตรวจวัดน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาและพื้นที่ใกล้เคียง

ปัจจุบันในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาได้มีตรวจวัดปริมาณฝนและระดับน้ำเพื่อใช้ในการเตือนภัยน้ำท่วมจาก 2 หน่วยงานหลัก ได้แก่ กรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา รายละเอียดของการตรวจวัดของทั้ง 2 หน่วยงาน สามารถสรุปได้ดังนี้ (วศ.ทน. มก., 2545)

3.1 กรมชลประทาน

กรมชลประทานได้จัดตั้งสถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถารวมทั้งหมด 16 สถานี ดังแสดงในภาพที่ 4 เป็นสถานีวัดน้ำฝนเพียงอย่างเดียว 4 สถานี วัดระดับน้ำเพียงอย่างเดียว 7 สถานี และเป็นสถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำ 5 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 2

การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนของกรมชลประทานจะอาศัยถังวัดน้ำฝน โดยจะให้ปริมาณฝนรวมตามเวลาที่ทำการตรวจสอบปริมาณน้ำฝนในถังวัดน้ำฝน ทั้งนี้วิธีการวัดดังกล่าวจะไม่สามารถทราบถึงการกระจายตัวของฝนตามช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ ในปี พ.ศ. 2544 กรมชลประทาน โดยสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ 5 สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ สำนักชลประทานที่ 12 และ วศ.ทน. มก. ได้ดำเนินการเฝ้าระวังอุทกภัยในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถา โดยได้จัดตั้งสถานีเฝ้าระวังและตรวจวัดปริมาณฝนในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาทั้งหมด 7 สถานี ดังแสดงในภาพที่ 5 และได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำฝนแบบอัตโนมัติ Tipping bucket เพื่อตรวจวัดการกระจายตัวของฝนเป็นมิลลิเมตรในแต่ละช่วงเวลา 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง (วศ.ทน. มก., 2545)

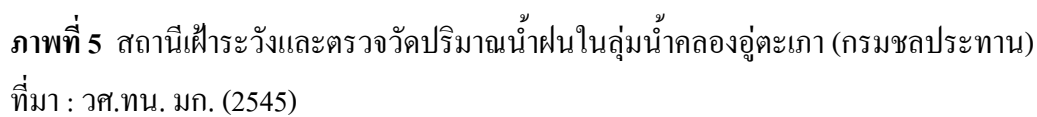


ภาพที่ 4 โครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำ (กรมชลประทาน)
ที่มา : วศ.ทน. มก. (2545)

ตารางที่ 2 สถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำของกรมชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ลำดับที่	ชื่อสถานี	ข้อมูลที่ตรวจวัด	
		วัดน้ำฝน	วัดระดับน้ำ
1	อ่างเก็บน้ำสะเดา	X	-
2	สถานี X.172	X	X
3	สถานี X.113	X	X
4	สถานี X.111	-	X
5	สถานี X.112	-	X
6	โรงเรียนสังวาลวิท	X	-
7	สถานี X.173	X	X
8	โครงการชลประทานคลองจำไทร-หอยโข่ง	X	X
9	สถานี X.90	X	X
10	โครงการชลประทานคลองวาด	X	-
11	สถานี X.71	-	X
12	สถานี X.174	-	X
13	สถานี X.44	-	X
14	สถานี X.181	-	X
15	สถานี X.194	-	X
16	โรงเรียนนาทองสุข	X	-

ที่มา: วศ.ทน. มก. (2545)



ภาพที่ 5 สถานีเฝ้าระวังและตรวจวัดปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา (กรมชลประทาน)
ที่มา : วศ.ทน. มก. (2545)

3.2 กรมอุตุนิยมวิทยา

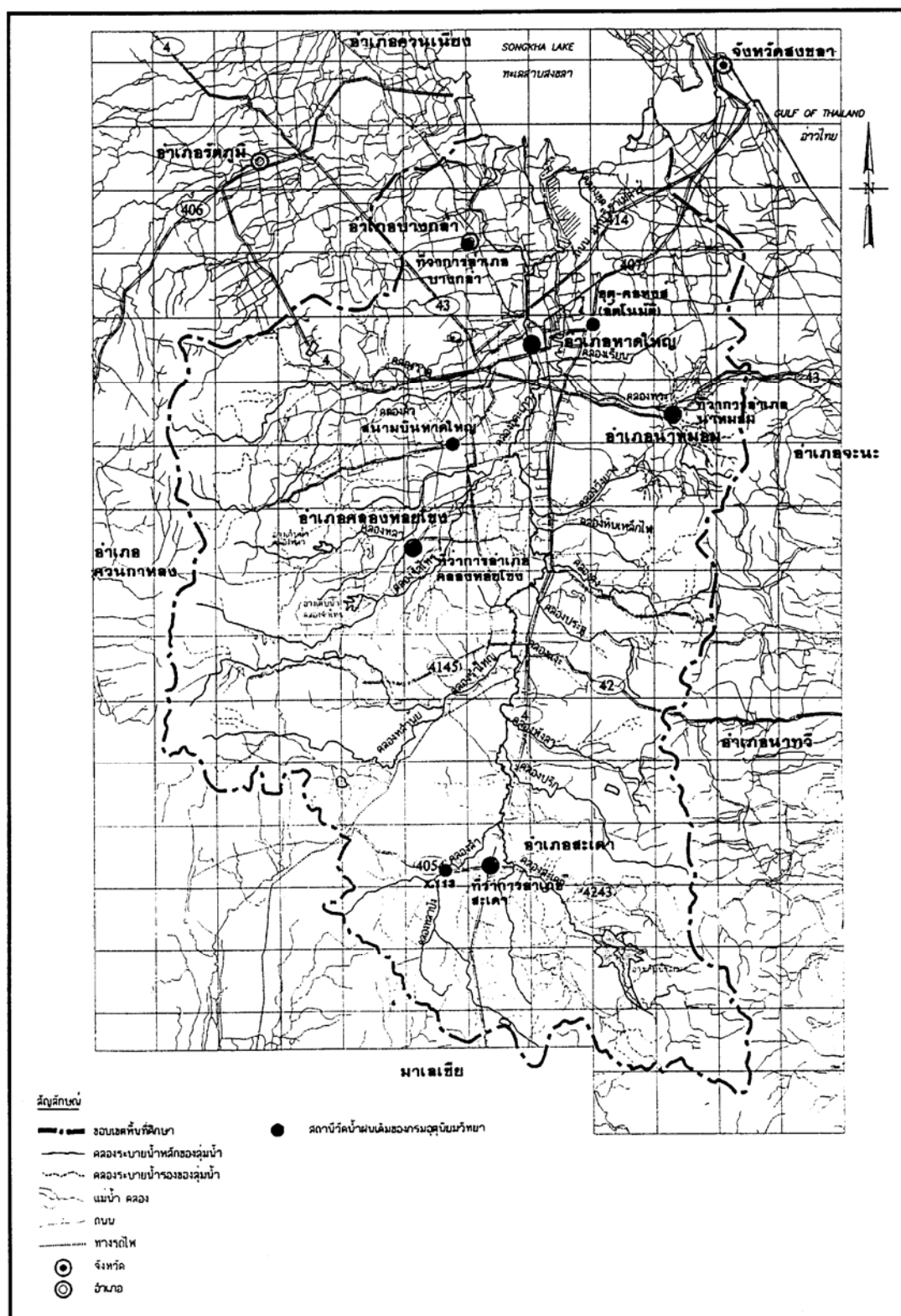
กรมอุตุนิยมวิทยาได้มุ่งเน้นการตรวจวัดปริมาณฝนเป็นสำคัญ โดยก่อนปี พ.ศ. 2544 กรมอุตุนิยมวิทยามีสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถารวม 8 สถานี ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยที่ใน 8 สถานีจะเป็นสถานีวัดปริมาณฝนเพียงอย่างเดียว 7 สถานี และเป็นสถานีวัดทั้งปริมาณฝนและระดับน้ำ 1 สถานี การตรวจวัดน้ำฝนจะรายงานการตรวจวัดเป็นรายวัน รายเดือน และรายปี ทั้งนี้จะมีเพียงสถานีวัดน้ำฝนเพียง 3 สถานีที่ตรวจวัดความเข้มฝน ได้แก่ สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่ , สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์ และสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกสะเดา ดังแสดงในตารางที่ 3

นอกจากสถานีตรวจวัดน้ำฝน 8 สถานีดังกล่าวแล้ว เพื่อให้การตรวจวัดปริมาณฝนปกคลุมทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา และเพื่อให้การตรวจวัดมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น กรมอุตุนิยมวิทยาจึงได้จัดทำโครงการก่อสร้างสถานีตรวจวัดและพยากรณ์น้ำฝนอัตโนมัติ (ภายใต้แผนป้องกันอุทกภัยพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา) โดยในโครงการจะมีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมด 20 สถานี ดังแสดงในภาพที่ 7 และตารางที่ 4 การตรวจวัดฝนจะใช้อุปกรณ์วัดน้ำฝนอัตโนมัติแบบ Tipping bucket และส่งข้อมูลด้วยระบบสายโทรศัพท์เป็นหลักและในบางสถานีจะใช้ระบบวิทยุในการส่งข้อมูล

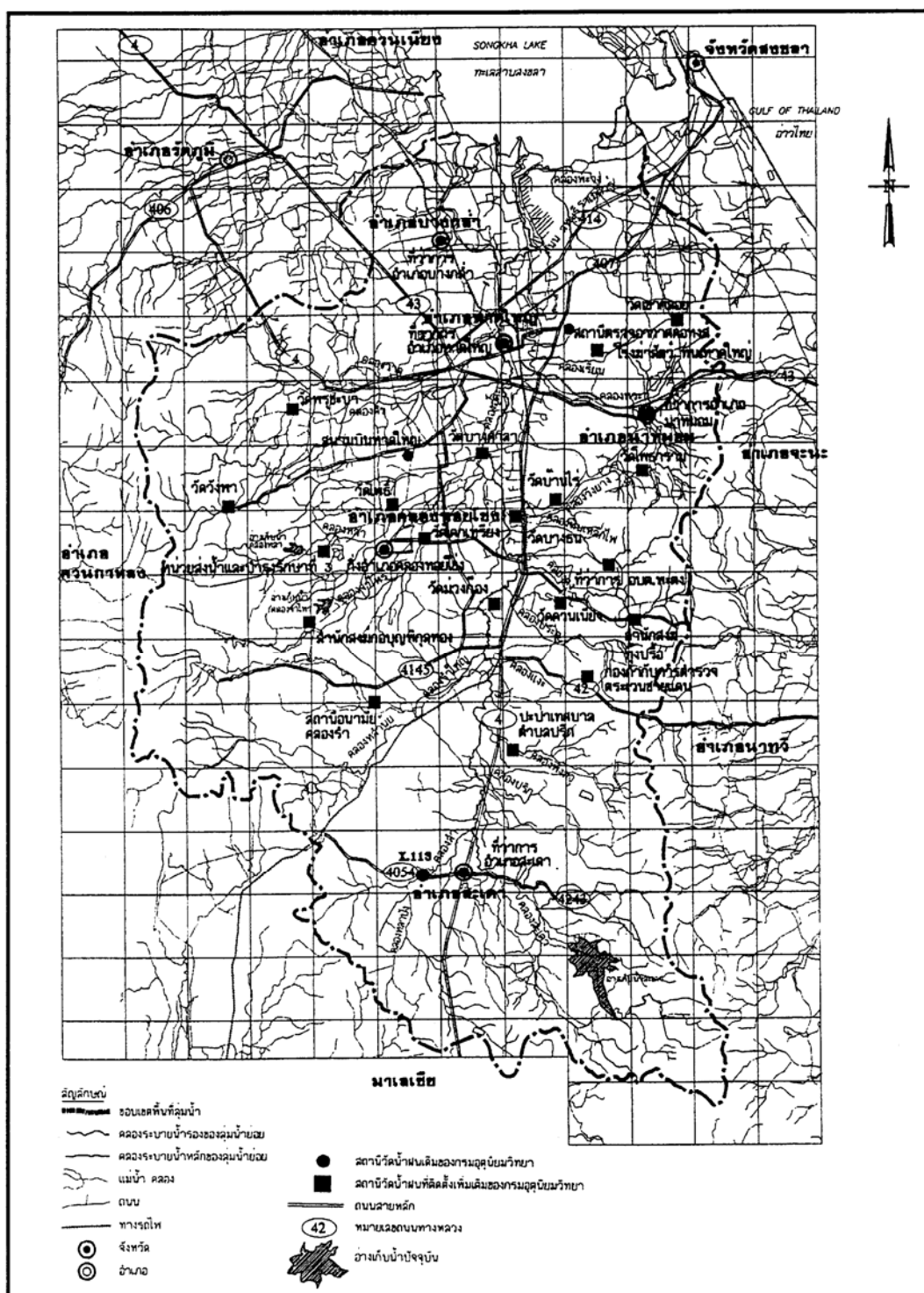
ตารางที่ 3 สถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำของกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

ลำดับที่	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	วัดน้ำฝน	วัดระดับน้ำ
1	ที่ว่าการอำเภอสะเดา	06°38'10"	100°25'30"	X	-
2	ที่ว่าการอำเภอคลองหอยโข่ง	-	-	X	-
3	ที่ว่าการอำเภอลาดใหญ่	07°00'03"	100°27'40"	X	-
4	ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม	06°58'30"	100°33'27"	X	-
5	ที่ว่าการอำเภอบางกล่ำ	-	-	X	-
6	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกสะเดา	-	-	X	-
7	สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่	06°55'00"	100°24'25"	X	-
8	สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์	07°00'50"	100°30'00"	X	-

ที่มา : วศ.ทน. มก. (2545)



ภาพที่ 6 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุณมหาวิทยาลัยปัจจุบันในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา
ที่มา: วศ.ทณ. มก. (2545)



ภาพที่ 7 โครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาปัจจุบันและที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในปี พ.ศ.

2545

ที่มา: วศ.ทน. มก. (2545)

ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดสถานีวัดน้ำฝนและระบบโทรมาตรเพิ่มเติมในกลุ่มน้ำคลองอุตะเถาของ
กรมอุตุฯนิคมวิทยา

ลำดับที่	สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
1	โรงฆ่าสัตว์เทศบาลนครหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่	6° 56' 45"	100° 31' 31"
2	บ้านวังมะพร้าว บริเวณวัดเขากลอย ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่	7° 01' 21"	100° 34' 58"
3	บ้านนาหม่อม ที่ว่าการ อ.นาหม่อม	6° 57' 22"	100° 33' 38"
4	บ้านบางศาลา วัดบางศาลา ต.ทุ่งลาน อ.คลองหอยโข่ง	6° 55' 42"	100° 26' 33"
5	บ้านลานไทร วัดโพธาราม (วัดทุ่งย่านาง) หมู่ 2 ต.ทุ่งขมิ้น อ.นาหม่อม	6° 54' 59"	100° 33' 32"
6	บ้านไร่ วัดบ้านไร่ หมู่ 10 ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่	6° 53' 36"	100° 29' 50"
7	บ้านบางชน วัดบางชน ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่	6° 52' 59"	100° 28' 01"
8	บ้านคลองแจะ วัดม่วงก้อง ต.พังงา อ.สะเดา	6° 49' 15"	100° 26' 33"
9	บ้านทุ่งจิ้ง ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลพะตง (อบต.)	6° 51' 17"	100° 32' 17"
10	บ้านควนเนียง วัดควนเนียง ต.พะตง อ.หาดใหญ่	6° 49' 54"	100° 30' 05"
11	บ้านทุ่งปรือ สำนักสงฆ์ทุ่งปรือ หมู่ 7 ต.พะตง อ.หาดใหญ่	6° 48' 48"	100° 33' 29"
12	บ้านเขามิเกียรติ กองกำกับการ 9 ตำรวจตระเวนชายแดน (ค่ายท่านมูก) อ. สะเดา	6° 45' 54"	100° 30' 57"
13	บ้านพรุชะบา วัดพรุชะบา ต.ทุ่งตำเสา อ.หาดใหญ่	6° 57' 45"	100° 18' 31"
14	บ้านวังพา วัดวังพา หมู่ 9 ต.ทุ่งตำเสา อ.หาดใหญ่	6° 53' 40"	100° 15' 45"
15	บ้านคลองหลา หน่วยส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3 คลองหลา ต.คลองหลา อ.คลองหอยโข่ง	6° 51' 43"	100° 19' 51"
16	บ้านโพธิ์ วัดโพธิ์ หมู่ 2 ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง	6° 53' 41"	100° 22' 45"
17	บ้านโลกเหริยง วัดโลกเหริยง ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง	6° 52' 16"	100° 24' 07"
18	บ้านเก้าร้าง สำนักสงฆ์ก่อนบุญพิบูลทอง หมู่ 6 ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง	6° 48' 51"	100° 19' 36"
19	บ้านบ่อเกิด สถานีอนามัยคลองรำ ต.ทุ่งหมอ อ.สะเดา	6° 45' 23"	100° 22' 24"
20	บ้านปริง ประปาเทศบาลตำบลบ้านปริง อ.สะเดา	6° 42' 39"	100° 26' 59"

หมายเหตุ สถานีโทรมาตรลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จำนวน 20 สถานี จะเริ่มปฏิบัติงานปลายปี พ.ศ.2545
ที่มา: วศ.ทน. มก. (2545)

ดาวเทียมและเทคนิคการประมาณฝนโดยใช้ดาวเทียม

4. ฝนและการวัดฝน

ฝนเป็นแหล่งน้ำหลักที่สำคัญที่สุดของมนุษย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาฝนเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับน้ำ ในส่วนของความพอเพียงและความต้องการของน้ำ การเกิดฝนแปรผันตามลักษณะของ ความถี่การเกิด (frequency), ช่วงเวลาฝนตก (duration), ความเข้มของฝนที่ตก (intensity) และการกระจายตามระยะทาง (spatial distribution) ดังนั้นในการสำรวจข้อมูลฝนต้องกระทำด้วยความถูกต้องแน่นอน ฝนในเขตโซนร้อน (tropical rainfall) โดยมากเป็นฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการยกตัวขึ้นตามแนวตั้งของมวลอากาศร้อน (convective) ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตามบริเวณที่มีการยกตัวของมวลอากาศร้อน ดังนั้นจึงทำให้การกระจายตัวของฝนที่ตกมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก ทั้งตามระยะทาง, เวลา และความเข้มฝน ลักษณะเช่นนี้จะมีผลทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อเศรษฐกิจสังคมในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเกษตรกรรม, แหล่งน้ำ, การขนส่ง, การก่อสร้าง และอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวัดการตกของฝนในพื้นที่ตามเวลาจริงที่ฝนตก (real time) เพื่อที่จะดูผลกระทบในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของฝนนั้น อุปกรณ์หลายชนิดถูกใช้ในการวัด และประมาณฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งจะกล่าวถึงเพียงบางชนิด ดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือวัดน้ำฝน (Rain gauges)

เครื่องมือวัดน้ำฝนสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด (วีระพล, 2533) คือ

4.1.1 เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบไม่อัตโนมัติ (non-recording rain gauge) เป็นเครื่องมือวัดน้ำฝนที่ไม่สามารถบันทึกปริมาณน้ำฝนได้ตลอดเวลา แต่จะวัดปริมาณน้ำฝนรวมในการอ่านแต่ละครั้งเท่านั้น เครื่องมือประเภทนี้มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันก็คือ แบบ standard 8-inch rain gauge โดยปกติแล้วการอ่านปริมาณน้ำฝนด้วยเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบไม่อัตโนมัตินี้จะกระทำวันละหนึ่งครั้งประมาณเวลา 7.00 น. หรือ 8.00 น.

4.1.2 เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ (recording rain gauge) เป็นเครื่องมือวัดน้ำฝนที่สามารถคำนวณหาความเข้มของฝนที่ตก (intensity) และช่วงเวลาฝนตก (duration) ได้ ความลึกของน้ำฝนที่ตกจะบันทึกลงบนแผ่นกราฟ ซึ่งจะแบ่งเวลาให้ได้แผ่นละ 24 ชั่วโมง สำหรับการเก็บการเปลี่ยนกระดาษกราฟทุก ๆ วัน เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 ชนิด คือ แบบถังกระดก (tipping bucket gauge), แบบชั่งน้ำหนัก (weighing gauge) และแบบฟูลอย (float gauge)

โครงข่ายของสถานีวัดน้ำฝน (Precipitation-Gage Network) มีการจัดตั้งสถานีวัดน้ำฝนหลาย ๆ สถานีในบริเวณใกล้ ๆ กัน หรือการจัดตั้งสถานีวัดน้ำฝนทั่วประเทศนั้นก็เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อหาข้อมูลใช้สำหรับงานพัฒนาแหล่งน้ำ
2. เพื่อการพยากรณ์ปริมาณน้ำล้นหน้า
3. เพื่องานวิจัยและค้นคว้าทดลอง

ความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่หนึ่ง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการศึกษา
2. ความคล้ายคลึงกัน และความแตกต่างกันของสภาพลมฟ้าอากาศ
3. สภาพธรรมชาติของพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพของดิน ในแง่ของการพัฒนาเพื่อการเกษตร หรือการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดจากฝน
4. ความหนาแน่นของประชากรซึ่งเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ และการจัดหาคนอ่านข้อมูลน้ำฝน

องค์การอุตุนิยมวิทยาระหว่างประเทศของโลกได้แนะนำความหนาแน่นน้อยที่สุดของโครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนที่ยอมรับให้ได้สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางอุทกวิทยาไว้ดังนี้

1. ในพื้นที่ที่ค่อนข้างราบเรียบแถบเมดิเตอร์เรเนียน หรือแถบโซนร้อน ความหนาแน่นของเครื่องวัดน้ำฝนประมาณ 600 ถึง 900 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี

2. ในพื้นที่ที่เป็นหุบเขาแถบเมดิเตอร์เรเนียน หรือแถบโซนร้อน ความหนาแน่นของเครื่องมือวัดน้ำฝนประมาณ 100 ถึง 250 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี

3. ในพื้นที่บริเวณเกาะเล็ก ๆ และเต็มไปด้วยภูเขา มีสภาพฝนตกไม่สม่ำเสมอ และไม่แน่นอน ความหนาแน่นจะประมาณ 25 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี

4. สำหรับบริเวณที่ค่อนข้างแห้งแล้ง และแถบขั้วโลก ความหนาแน่นประมาณ 1,500 ถึง 10,000 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี

ข้อดี

1. ต้นทุนต่ำ และง่ายต่อการบำรุงรักษาและการอ่านข้อมูล
2. มีข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนหลายปี ทำให้สามารถที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในช่วงเวลานานขึ้น
3. สามารถเปรียบเทียบข้อมูลจากพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันได้

ข้อเสีย

1. ข้อมูลที่ได้เป็นเพียงจุดเดียวในพื้นที่ ทำให้ยากที่จะได้ข้อมูลฝนที่ถูกต้องแน่นอน นอกจากนั้น การที่จะทำให้โครงข่ายเครื่องวัดน้ำฝนมีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อที่จะวัดการกระจายตัวของฝนในเขตโซนร้อน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่สูงนั้น ทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น และกระทำได้ยากในทางปฏิบัติ

2. ในกรณีที่ไม่ใช่เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ การอ่านข้อมูลจะกระทำเพียง วันละครั้ง ดังนั้นถ้าต้องการข้อมูลที่เกิดขึ้นในเวลาจริง (real time) ก็ควรกำหนดตำแหน่งที่ผู้ตรวจวัดสามารถเข้าถึงได้ง่าย แต่บางครั้งพื้นที่ที่สนใจ อยู่ห่างไกลออกไปมากทำให้การเข้าถึงจุดวัดน้ำฝนยากลำบาก ดังนั้นโครงข่ายเครื่องวัดน้ำฝนจึงไม่สามารถปกคลุมทุกพื้นที่ที่สนใจได้ ถ้าต้องการเก็บข้อมูลในเวลาจริง (real time)

3. ความคลาดเคลื่อนจากการวัดน้ำฝนนั้นเกิดจากสาเหตุหลายประการ แต่พอจะสรุปหาเหตุใหญ่ๆ ได้ 4 ประการคือ (1) เนื่องจากเครื่องวัด (2) เนื่องจากการอ่าน (3) เนื่องจากกระแสลม และ (4) เนื่องจากการติดตั้ง

4. บางครั้งเกิดความล่าช้าในการได้รับข้อมูลจากผู้ตรวจวัด เนื่องจากปัญหาการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ตรวจวัด กับศูนย์กลางการรวบรวมข้อมูล

4.2 เรดาร์ (Radar)

เรดาร์ที่ใช้ในการประมาณฝนเหนือพื้นที่ที่กำหนด โดยใช้หลักการตรวจวัดการหักเหของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหยดน้ำ เรดาร์ได้เปรียบเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน เนื่องจากสามารถสร้างภาพ (image) ที่ต่อเนื่องตามระยะทางได้ (Mohammedberhan, 1998)

ข้อดี

1. สามารถได้รับข้อมูลในเวลาจริง (real time) เพราะเรดาร์เก็บข้อมูลทุกๆ 2-3 ชั่วโมง
2. เรดาร์สามารถเก็บข้อมูลในพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนได้
3. ข้อมูลฝนที่ประมาณได้จากเรดาร์สามารถนำมาคำนวณ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ทันที
4. ความสามารถในการทำภาพ (image) ให้เคลื่อนไหวได้ ทำให้ง่ายต่อการติดตามพัฒนาการ, ความก้าวหน้า และการเคลื่อนตัว ของระบบการก่อเกิดของฝนได้

ข้อเสีย

1. มีต้นทุน และค่าใช้จ่ายสูง และต้องการเทคนิค และการสนับสนุนทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน
2. สัญญาณเรดาร์ที่ใช้ในการประมาณฝน อาจถูกรบกวนโดย สิ่งก่อสร้าง, สภาพอากาศในบริเวณข้างเคียง, ภูเขา ฯลฯ
3. ฝนที่มีปริมาณน้อย อาจไม่สามารถตรวจจับสัญญาณจากเรดาร์ได้
4. เนื่องจากเรดาร์ปกคลุมในขอบเขตพื้นที่ที่จำกัด ถ้าพื้นที่ที่สนใจมีขนาดใหญ่จะต้องใช้เรดาร์จำนวนมากเพื่อให้ปกคลุมพื้นที่ที่สนใจได้ทั้งหมด
5. ต้องนำข้อมูลที่ได้นำมาปรับแก้เปรียบเทียบกับข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน

4.3 ดาวเทียม (Satellite)

ดาวเทียมคือยานอวกาศที่โคจรรอบโลกและส่งภาพ (image) ของโลกและชั้นบรรยากาศกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน ดาวเทียมถูกใช้ในการประมาณฝนโดยใช้สัญญาณคลื่นที่สะท้อนหรือแผ่ออกมาจากพื้นดินและชั้นบรรยากาศ (Mohammedberhan, 1998)

ข้อดี

1. ต้นทุนต่ำ (สำหรับข้อมูลดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรแล้ว) และสามารถประมาณฝนในเวลาจริง (real time) ได้
2. ปกคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่
3. สามารถใช้ประมาณขนาดพื้นที่ที่สนใจได้
4. ความสามารถในการถ่ายภาพ (image) ให้เคลื่อนไหวได้ ทำให้ง่ายต่อการติดตามพัฒนาการ, ความก้าวหน้า และการเคลื่อนตัว ของระบบฝน ฟ้า อากาศได้

ข้อเสีย

1. ต้องนำข้อมูลที่ได้นำมาปรับแก้เปรียบเทียบกับข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน
2. เนื่องจากการประมาณค่าโดยทางอ้อม จึงมักเกิดการประมาณค่าที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป
3. เทคนิคการประมาณค่าน้ำฝนวิธีต่างๆ มีข้อจำกัดของแต่ละวิธีดังจะได้อธิบายต่อไป

4.4 ระบบโทรมาตร (Telemetry System)

ระบบโทรมาตรหมายถึง ระบบการตรวจวัด ข้อมูลจากระยะไกล (Remote Terminal Unit หรือ Remote Station) อัตโนมัติ ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ การทำงานของระบบจะทำงานทั้งตรวจวัดข้อมูล รับ-ส่งและจัดเก็บข้อมูล จากระยะไกลอัตโนมัติโดย ไม่ต้องใช้เจ้าหน้าที่ คือเมื่อเครื่องมือตรวจวัดข้อมูลแล้ว ส่วนการรับ-ส่งข้อมูลอัตโนมัติ (I/O module) จะทำการแปลงสัญญาณข้อมูล (sensor) เป็นระบบตัวเลข(digital) แล้วส่งผ่านระบบสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นการส่งผ่านระบบดาวเทียม ระบบใยแก้ว ระบบคลื่นวิทยุ หรือระบบ โทรศัพท์ไปยัง สถานีรับข้อมูล (Receiving Unit ที่ Master Station หรือ Center) โดยอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถดำเนินการ ประมวลผลข้อมูล ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ระบบโทรมาตร ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้ สถานีตรวจวัด ข้อมูลอัตโนมัติ (Remote Terminal Unit หรือ RTU) ระบบสื่อสารข้อมูล (Data Communication) และสถานีรับข้อมูล (Receiving Unit) ซึ่งทุกส่วน สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network) (อรุณ สันแก้ว, 2545)

ข้อดี

1. การรับ-ส่งข้อมูลทำได้อย่างรวดเร็ว โดยเทคโนโลยีสมัยใหม่
2. สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้เจ้าหน้าที่
3. สามารถดำเนินการประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ข้อเสีย

1. มีต้นทุนสูง และต้องการเทคนิค และการสนับสนุนทางด้านวิศวกรรมที่ซับซ้อน
2. เป็นการยากที่จะทำการติดตั้งโครงข่ายระบบโทรมาตรให้ปกคลุมทุกพื้นที่

5. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite)

5.1 ประวัติ (History)

เพื่อทำความเข้าใจถึงความสำคัญของการตรวจตรา ลม ฟ้า อากาศ บนท้องฟ้า เวอร์เนอร์ ซูโอมี และเพื่อน (Verner Suomi and colleagues) ที่มหาวิทยาลัยแห่งวิสคอนซิน ได้พัฒนา ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจนประสบความสำเร็จเป็นรายแรก ซึ่งถูกส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม ค.ศ.1959 ดาวเทียมดวงนี้ใช้เครื่องรับสัญญาณซูโอมี (Suomi radiometer) และส่งกลับแผนที่แบบหยาบของคลื่นรังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากผิวโลกและคลื่นรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากโลก (Kidder and Vonder Haar, 1995) จนกระทั่งวันที่ 1 เมษายน ค.ศ.1960 ดาวเทียมดวงแรกที่อุทิศเพื่อวัตถุประสงค์ทางอุตุนิยมวิทยาโดยสมบูรณ์ ได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร และ TIROS 1 (Television and Infrared Observational Satellite) เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งตามขึ้นไปเมื่อวันที่ 22 ในเดือนเดียวกัน TIROS 1 ซึ่งมีช่วงอายุใช้งาน 79 วัน เป็นดาวเทียมดวงแรกที่ส่งกลับภาพของโลกพร้อมกับระบบลม ฟ้า อากาศ ครอบคลุมทุกแง่มุม เนื่องจาก ในชุดดาวเทียม TIROS ได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีหลายอย่าง จนท้ายที่สุดในปัจจุบันจึงกลายมาเป็นชุดดาวเทียมมาตรฐาน TIROS N (standard TIROS N series) (Mohammedberhan, 1998)

การพัฒนาของดาวเทียมด้านเทคโนโลยีเพื่อการใช้ประโยชน์ (Application Technology Satellite, ATS 1) โดยเวอร์เนอร์ ซูโอมิ และโรเบิร์ต แพเรนท์ (Verner Suomi and Robert Parent) ที่มหาวิทยาลัยแห่งวิสคอนซิน เป็นการก้าวกระโดดไปข้างหน้าอีกอย่างหนึ่งทางด้านอุตุนิยมวิทยาโดยใช้ดาวเทียม (Kidder and Vonder Haar, 1995) ATS ทำให้สามารถทำให้การถ่ายภาพเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและทำการเฝ้าดูระบบลม ฟ้า อากาศ ขณะที่ระบบพัฒนา, เคลื่อนย้าย และเสื่อมสลายไป ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการทำนายสภาพอากาศ ดาวเทียมดวงนี้ถูกส่งเข้าสู่วงโคจรค้างฟ้า (geostationary orbit) และบรรทุกกล้องถ่ายภาพแบบกวาดภาพและหมุนควง (Spin Scan Cloud Camera) เพื่อการผลิตภาพชนิดมองเห็นได้ (visible image) ของโลก ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบความเร็วเท่ากัน 1 (Synchronous Meteorological Satellite 1, SMS 1) เป็นดาวเทียมค้างฟ้ากึ่งปฏิบัติการ (semi-operational geostationary satellite) รุ่นแรก ซึ่งถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี ค.ศ. 1974 ชุดที่สองของ SMS (SMS 2) มีอุปกรณ์ระบบเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection System, DCS) ที่ใช้สำหรับถ่ายทอดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลประเภทอื่น ซึ่งถูกส่งมาจากอุปกรณ์ภาคพื้นดิน DCS ทำให้สามารถที่จะถ่ายทอดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากพื้นที่ห่างไกลเข้าสู่สถานีรับสัญญาณศูนย์กลางได้ ดาวเทียม SMS และ GOES ซึ่งเกิดภายหลัง มีเครื่องรับสัญญาณชนิดมองเห็นได้และชนิดอินฟราเรด (visible and infrared radiometer) ซึ่งทำให้ดาวเทียมเหล่านี้ส่งกลับภาพของโลกและชั้นบรรยากาศ ได้ทั้งภาพชนิดมองเห็นได้ และชนิดอินฟราเรด ดาวเทียมสิ่งแวดล้อมเชิงปฏิบัติการค้างฟ้า 1 (Geostationary Operational Environmental Satellite 1, GOES 1) ซึ่งเป็นดาวเทียมค้างฟ้าเชิงปฏิบัติการดวงแรกที่ถูกส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อปี ค.ศ. 1975 ในช่วงปลายศตวรรษ 70 ดาวเทียมของญี่ปุ่นที่ชื่อ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite 1, GMS 1) และดาวเทียมของ องค์การด้านอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency) ชื่อว่า เมทีโอแซท 1 (Meteosat 1) ถูกส่งเข้าสู่วงโคจร ดาวเทียม เมทีโอแซท 1 ได้เพิ่มช่องสัญญาณที่สาม คือ ช่องสัญญาณของไอน้ำ (water vapour) นอกจากช่องสัญญาณสองชนิด คือ ช่องสัญญาณชนิดมองเห็นได้ (visible) และช่องสัญญาณชนิด อินฟราเรด (infrared) (Mohammedberhan, 1998)

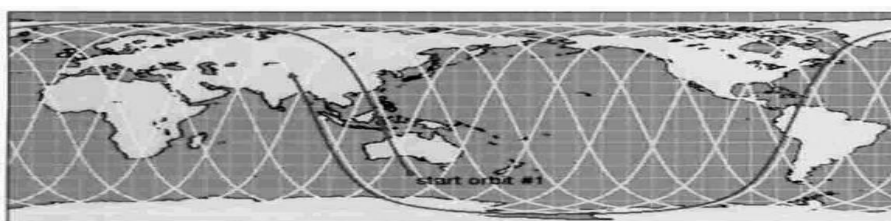
5.2 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลก (Polar Orbiting Satellites)

ดาวเทียมชนิดนี้ จะโคจรผ่านใกล้ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ มีความสูงจาก พื้นโลก ประมาณ 850 กิโลเมตร โดยจะโคจรรอบโลกประมาณ 102 นาที ต่อ 1 รอบ ในหนึ่งวันจะหมุนรอบ โลกประมาณ 14 รอบ และจะเคลื่อนที่ผ่านเส้นศูนย์สูตรในเวลาเดิม (ตามเวลาท้องถิ่น) ผ่านแนว เติม 2 ครั้ง โดยจะโคจรเคลื่อนที่จากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ 1 ครั้ง และโคจรเคลื่อนที่จากขั้ว โลกใต้ไปยังขั้วโลกเหนืออีก 1 ครั้ง การถ่ายภาพของดาวเทียมชนิดนี้จะถ่ายภาพ และ ส่งสัญญาณ ข้อมูลสู่ภาคพื้นดินในเวลาจริง (Real Time) ในขณะที่ดาวเทียมโคจรผ่านพื้นที่นั้น ๆ โดยมี Track ความกว้าง 2,700 กิโลเมตร ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลกถูกส่งเข้าสู่วงโคจรที่เสมือน กับดวงอาทิตย์ ในความหมายของคำว่าเสมือนดวงอาทิตย์คือดาวเทียมจะโคจรผ่านจุดเดิมในเวลา เดิมเสมอ ซึ่งลักษณะการโคจรของดาวเทียมชนิดนี้แสดงใน ภาพที่ 8 สำหรับชื่อของดาวเทียมชนิดนี้ และประเทศที่เป็นเจ้าของแสดงใน ตารางที่ 5 (Mohammedberhan, 1998)

ตารางที่ 5 แสดงชื่อดาวเทียมชนิดโคจรรอบโลก และชื่อประเทศเจ้าของ

ชื่อดาวเทียม	ความสูงจากพื้นดินและเวลาโคจร 1 รอบโลก	ประเทศเจ้าของ
NOAA – Series (11,15)	833 km. ใช้เวลา 101.6 min	อเมริกา
NOAA – Series (12,14)	870 km. ใช้เวลา 102.4 min	อเมริกา
METEOR – 2 Series	900 km. ใช้เวลา 102.0 min	รัสเซีย
FY - 1	800 km. ใช้เวลา 100.5 min	จีน

ที่มา: อรุณ สันกวาน (2545)



ภาพที่ 8 แสดงเส้นทางที่ดาวเทียม NOAA เคลื่อนที่ผ่านในระหว่างการโคจรรอบโลก

ที่มา: อรุณ สันกวาน (2545)

วงโคจรที่เสมือนกับดวงอาทิตย์ของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลกทำให้ดาวเทียมชนิดนี้สามารถที่จะสังเกตการณ์สัญญาณที่แต่ละตำแหน่งเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์จะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันเสมอในท้องฟ้า (Houghton and Taylor, 1973) ตัวอย่างเช่น ถ้าตัดผ่านตำแหน่งที่แน่นอนจุดหนึ่งตอนเที่ยงวันเมื่อดาวเทียมมีการโคจรขึ้นไปทางขั้วโลกเหนือ ดังนั้นขณะที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ลงไปทางขั้วโลกใต้มันจะตัดกับตำแหน่งเดียวกันในตอนเที่ยงคืน และจะกวาดภาพพื้นผิวโลกที่ประมาณ 24 ชั่วโมงต่อครั้งที่ตำแหน่งเดิม ดาวเทียมเมทีอร์ (METEOR) ของสหภาพโซเวียตในอดีต และดาวเทียม ไทโรส (TIROS) ของสหรัฐอเมริกา เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลก โดยที่ดาวเทียมไทโรส (NOAA Series) เป็นดาวเทียมที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางที่สุด ประเทศอินเดียได้ส่งดาวเทียมชนิดโคจรรอบโลกขึ้นสู่วงโคจรด้วยเช่นกัน ซึ่งได้ส่งเข้าสู่วงโคจร 2 ดวงคือ ภาสคารา 1 (Bhaskara 1) และ ภาสคารา 2 (Bhaskara 2) ในปี ค.ศ. 1979 และ 1981 ตามลำดับ (Mohammedberhan, 1998)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลกเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่จะจัดหาภาพของสภาพลม ฟ้า อากาศ ที่ปกคลุมทั้งโลกและครึ่งซีกโลกด้วยเช่นกัน (Houghton and Taylor, 1973) อย่างไรก็ตามภาพที่ได้รับจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลก จะได้รับเพียงครั้งเดียว หรือสองครั้งต่อวัน และดังนั้นสำหรับการตรวจตราสภาพลม ฟ้า อากาศอย่างต่อเนื่องจึงเชื่อถือได้ยากถ้าใช้เพียงข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลก ในทางกลับกันเนื่องจากความสูงจากพื้นผิวดินที่ระดับต่ำของวงโคจร ความละเอียดของภาพตามระยะทางที่ได้รับจากการโคจรรอบโลกจะสูงกว่าความละเอียดของภาพที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้า นั่นคือดาวเทียมชนิดโคจรรอบโลกจะมีข้อมูลรายละเอียดที่มากกว่าดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้า (Mohammedberhan, 1998)

ชุดของดาวเทียม TIROS มีจำนวนของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (sensors) ที่ถูกใช้เพื่อจุดประสงค์ทางด้านอุตุนิยมวิทยา และด้านอื่นๆ (Kidder and Vonder Harr, 1995) อุปกรณ์ดังกล่าวนั้นรวมไปถึง เครื่องรับสัญญาณคลื่นความละเอียดสูงมากขั้นสูง (Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR), เครื่องรับการแผ่คลื่นอินฟราเรดความละเอียดสูง (High Resolution Infrared Radiation Sounder, HIRS), หน่วยรับคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Sounding Unit, MSU), หน่วยรับการแผ่คลื่นจากชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratospheric Sounding Unit), เครื่องรับสัญญาณอัลตราไวโอเล็ตที่สะท้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer, SBUV), การทดลองบนชุดการแผ่รังสีจากโลก (Earth Radiation Budget Experiment, ERBE), เครื่องตรวจการณ์

สิ่งแวดล้อมในอวกาศ (Space Environment Monitor, SEM), ระบบเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection System, DCS), ค้นหาและช่วยเหลือ (Search And Rescue, SAR) ซึ่งทั้งหมดนี้มีเพียง AVHRR และ DCS ที่เกี่ยวข้องโดยตรงในจุดประสงค์ทางด้านอุตุนิยมวิทยา (Mohammedberhan, 1998)

ดาวเทียม NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลก (Polar orbiting) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีวงจรรอบโลก 833 กม. ใช้เวลาหมุนรอบโลก 101.58 นาที ในเวลาหนึ่งจะหมุนรอบโลก 14.18 รอบ ด้วยวงโคจรสูงจากพื้นโลก 870 กม. ใช้เวลาหมุนรอบโลกในเวลา 102.37 นาที ในหนึ่งวันจะหมุนรอบโลกได้ 14.07 รอบ สำหรับรายละเอียดของสัญญาณต่าง ๆ ของดาวเทียมชุดนี้แสดงไว้ในตารางที่ 6 (อรุณ สันกวาน, 2545)

ตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ของชุดดาวเทียม NOAA

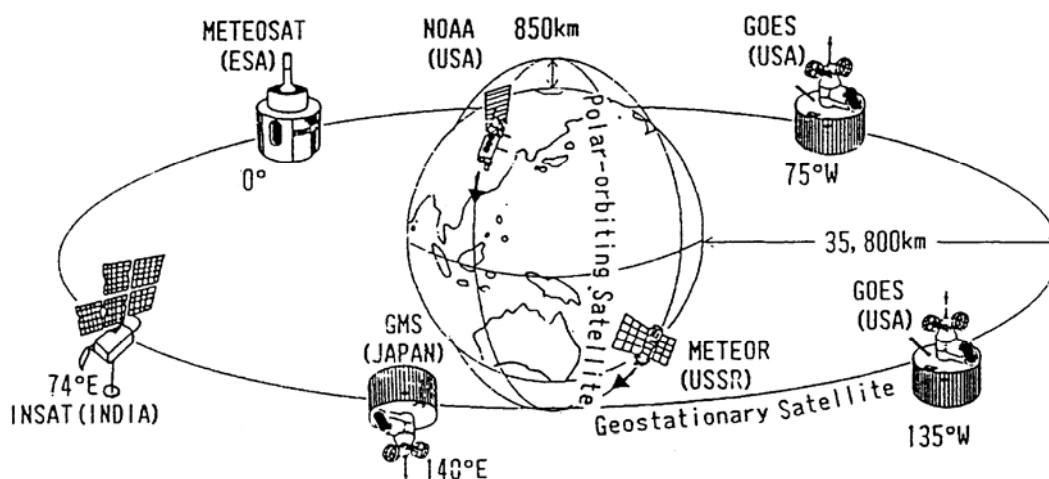
ช่วงคลื่นที่	Wave Lenge	ความยาวคลื่น	ใช้ในการศึกษาเมฆ	ในการศึกษาอื่นๆ
1	Visible	0.580- 0.680 ไมครอน	เฉพาะเวลากลางวัน	พืช, แหล่งน้ำผิวดินพืช และตะกอนน้ำทะเล
2	Visible	0.725 – 1.100 ไมครอน	เฉพาะเวลากลางวัน	พืช, แหล่งน้ำผิวดิน
3	Near Infrared	3.550 – 3.930 ไมครอน	ทั้งกลางวันและกลางคืน	อุณหภูมิผิวน้ำทะเลและไฟป่า
4	Infrared	10.30 – 11.30 ไมครอน	ทั้งกลางวันและกลางคืน	อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และไฟป่า
5	Infrared	11.50 – 12.50 ไมครอน	ทั้งกลางวันและกลางคืน	อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และไฟป่า

ที่มา: อรุณ สันกวาน (2545)

Sensors หรือเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดที่ติดตั้งไว้กับตัวดาวเทียมของ NOAA-Series คือ AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer/mode 3) ใช้สำหรับถ่ายภาพในระบบ Scanning Radiometer มี 5 ช่วงคลื่น รายละเอียดของข้อมูล (Resolution) 1.1 กม. และมีความกว้าง (Track) 2,700 กม. (อรุณ สันกวาน, 2545)

5.3 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellites)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้าโคจรรอบโลกที่ความสูงประมาณ 36,000 กม. และใช้เวลาในการโคจรครบรอบ 24 ชม. วงโคจรของดาวเทียมชนิดนี้จะอยู่ที่จุดเดิมตลอดเวลาเมื่อเทียบกับจุดบนพื้นดินและคอยเฝ้าดูในส่วนพื้นที่บริเวณเดิมบนโลก ดังนั้นจึงมีความละเอียดตามเวลาสูง ซึ่งทำให้สามารถทำการตรวจตราสภาพลม ฟ้า อากาศ ได้อย่างต่อเนื่อง ในทางกลับกันในการที่มีความสูงของวงโคจรเหนือพื้นดินสูง ทำให้ความละเอียดตามระยะทางต่ำ มีดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้าอยู่จำนวนหนึ่งที่อุทิศเพื่อการตรวจดูพื้นที่เฉพาะที่สนใจบนพื้นโลก ลักษณะการโคจรรอบโลกของดาวเทียมแต่ละชนิดนี้แสดงในภาพที่ 9 และตารางที่ 7 แสดงชื่อและตำแหน่งดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้าของประเทศต่างๆ (Mohammedberhan, 1998)



ภาพที่ 9 แสดงตำแหน่งของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาและแสดงวงโคจรรอบโลกทั้ง 2 ชนิด
ที่มา: MSC (1989)

ตารางที่ 7 แสดงชื่อและตำแหน่งดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้าของประเทศต่างๆ

ชื่อดาวเทียม	ตำแหน่ง	ถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่	ประเทศเจ้าของ
GOES – W	135 W	- แปซิฟิกตะวันออกและอเมริกาเหนือ	อเมริกา
GOES – E	75 W	- อเมริกาเหนือ, อเมริกาใต้และมหาสมุทร แอตแลนติก	อเมริกา
METEOSAT	0	- ยุโรป และแอฟริกา	ESA
GMS – 5	140 E	- แปซิฟิกตะวันตก, เอเชียและออสเตรเลีย	ญี่ปุ่น
INSAT	74 E	- เอเชียกลางและมหาสมุทรอินเดีย	อินเดีย
FY-2	105 E	- แปซิฟิกตะวันตก, เอเชีย, ออสเตรเลีย และมหาสมุทร อินเดีย	จีน

ที่มา : อรุณ สันกวาน (2545)

รายละเอียดของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้าบางส่วนสามารถแสดงได้ดังนี้

5.3.1 องค์การพัฒนาด้านอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (Japanese National Space Development Agency, NASDA) และองค์การด้านอุตุนิยมวิทยาแห่งญี่ปุ่น (Japanese Meteorological Agency) ได้ส่งดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite, GMS) ซึ่งโคจรอยู่ในตำแหน่ง 140 ° ตะวันออก GMS มีเครื่องรับสัญญาณคลื่นแบบกวาดภาพและหมุนควง (spin scan radiometer) ซึ่งใช้จัดหาภาพของโลกและชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่นชนิดมองเห็นได้ และชนิดอินฟราเรด ของระยะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Mohammedberhan, 1998)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GMS-5 (Geostationary Meteorological Satellite) เป็นดาวเทียมชนิด Geostationary orbit ซึ่งช่วงการโคจรอยู่ที่ตำแหน่ง 140 ° ตะวันออก มีความสูงจากพื้นโลก 35,800 กม. ปกคลุมพื้นที่จากขั้วโลกเหนือจรดขั้วโลกใต้ คือ ทวีปเอเชีย, ออสเตรเลีย และมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก รายละเอียดสำหรับข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณช่วงคลื่นแสดงไว้ในตารางที่ 8 (Mohammedberhan, 1998)

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดของข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณช่วงคลื่นของดาวเทียม GMS-5

ช่วงคลื่นที่	ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น	รายละเอียดข้อมูล
1	Visible	0.55 - 0.90 ไมครอน	1.25 กม.
2	Water Vapour	6.50 - 7.00 ไมครอน	5.00 กม.
3	Infrared	10.50 - 11.50 ไมครอน	5.00 กม.
4	Infrared	11.50 - 12.50 ไมครอน	5.00 กม.

ที่มา: อรุณ สันกวาน (2545)

5.3.2 INSAT เป็นดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้าที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรโดยประเทศอินเดีย มีตำแหน่งที่ 74° องศาตะวันออก ซึ่งเป็นดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้าดวงแรกที่ไม่ม่มีเครื่องรับสัญญาณคลื่นแบบหมุนควง (no-spinning radiometer) ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ชี้ไปในทิศตะวันออกเสมอเหมือนกับที่มีบนดาวเทียมชนิดที่มีความสูงของวงโคจรจากผิวโลกต่ำ ซึ่งดาวเทียมชนิดที่มีวงโคจรต่ำนี้จะสำรวจจากหลายมุมมอง อย่างไรก็ตาม ดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้าแบบอื่นๆ จะสำรวจแต่ละจุดจากเพียงมุมมองเดียว INSAT จัดหาภาพชนิดมองเห็นได้และแบบอินฟราเรดของโลกและชั้นบรรยากาศ (Mohammedberhan, 1998)

5.3.3 GOES เป็นดาวเทียมที่ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) ได้ส่งหูดของดาวเทียมสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการค้างฟ้า (Geostationary Operational Environmental Satellite, GOES) ซึ่งมีอยู่สองดวงคือ GOES-ตะวันออก และ GOES-ตะวันตก ซึ่งโคจร ณ ตำแหน่ง 75° ตะวันตก และ 135° ตะวันออก ตามลำดับ (Mohammedberhan, 1998)

5.3.4 METEOSAT เป็นดาวเทียมที่องค์การด้านอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency) ได้ส่งขึ้นสู่วงโคจร ซึ่งมีตำแหน่งของวงโคจรอยู่ ณ เส้นรุ้ง 0° และเส้นแวง 0° เหนือพื้นผิวโลก ซึ่งตำแหน่งของมันเหมาะสมสำหรับการคอยเฝ้าดูพื้นที่ของทวีปอาฟริกา เครื่องรับสัญญาณคลื่นแบบกวาดภาพและหมุนควง เป็นอุปกรณ์ทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอยู่ในดาวเทียม เมทีโอแซท ซึ่งสามารถส่งกลับภาพของโลกและชั้นบรรยากาศในช่องสัญญาณแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 9 การกวาดภาพที่มองเห็นได้จากตะวันออกไปตะวันตก ทำได้โดยการหมุนของดาวเทียมที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ขณะที่การกวาดภาพที่มองเห็นได้ด้านทิศเหนือไปทิศใต้ทำได้โดยการ

ใช้กระจกกวาดภาพที่เคลื่อนที่ขึ้นละ 192 μ rad ดังนั้นภาพของครึ่งซีกโลกแบบเต็มแผ่นก็ได้มาจากการกวาดภาพทั้งสองแบบที่ได้กล่าวไปนั่นเอง (Mohammedberhan, 1998)

ภาพของโลกและชั้นบรรยากาศจะถ่ายไว้ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง และส่งข้อมูลไปยังศูนย์การปฏิบัติการด้านอวกาศแห่งยุโรป (European Space Operations Centre (Darmstadt, Germany) ที่ศูนย์กลางหลังจากที่ได้ทำการบันทึกภาพแล้วจะทำการส่งภาพกลับไปยังดาวเทียมอีกครั้ง หลังจากนั้นดาวเทียมจะส่งภาพไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเมทีโอแซททั่วโลก

ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดของข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณของดาวเทียม METEOSAT

ช่วงคลื่นที่	ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น	รายละเอียดข้อมูล
1	Visible	0.40 - 1.10 ไมครอน	2.50 กม.
2	Water Vapour	5.50 - 7.10 ไมครอน	5.00 กม.
3	Infrared	10.50 - 12.50 ไมครอน	5.00 กม.

ที่มา: อรุณ สันกวาน (2545)

6. เทคนิคการประมาณฝน

6.1 พื้นฐาน

วิธีการต่างๆ ที่ใช้สำหรับการประมาณฝนในพื้นที่โดยการใช้ภาพ (image) ของช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ (ความยาวคลื่นระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 ไมครอน) และช่องสัญญาณอินฟราเรด (ความยาวคลื่น ระหว่าง 10.5 ถึง 12.5 ไมครอน) ซึ่งเป็นการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้รับจากดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้า ช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ใช้วัดการแผ่ของคลื่นชนิดสั้นที่เกิดการหักเหเนื่องจากชั้นบรรยากาศและผิวโลก ช่องสัญญาณนี้จะให้รังสีสะท้อนจากผิวของวัตถุสะท้อนแสงและการที่มีความสว่างมาก แสดงว่า เมฆสะท้อนแสงได้มาก ความสว่างจากเมฆที่เกิดขึ้นมากนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของเมฆที่มองเห็นได้ และส่วนประกอบของน้ำในสถานะของเหลว อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้ใช้ได้สำหรับเมฆที่มีความหนาน้อยกว่า 700 เมตร นอกจากกลุ่มเมฆที่มีความสัมพันธ์ที่ไอน้ำอิ่มตัว และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของรังสีที่สะท้อนจาก

เมฆ (Twomey และคณะ, 1967) ช่องสัญญาณอินฟราเรดใช้วัดการแผ่ของคลื่นความร้อนที่แผ่ออกมาจากเมฆ โดยมีสมมุติฐานว่า การแผ่คลื่นความร้อนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และยังเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของเมฆที่แผ่รังสีออกมาด้วย โดยใช้กฎการแผ่รังสีของ แพลงค์ (Planck's radiation law) วิธีการนี้ความสูงของเมฆจะถูกแสดงออกมาโดยอุณหภูมิของยอดเมฆที่ได้รับมาจากการเก็บข้อมูลของช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม ดังนั้นเมฆที่เย็นจะถูกสมมุติให้เป็นเมฆที่อยู่สูงและมีโอกาสทำให้เกิดฝนตกได้ ด้วยเหตุนี้ ความสว่างที่เกิดขึ้นมากในช่องสัญญาณชนิดมองเห็นได้ และอุณหภูมิที่ต่ำในช่องสัญญาณอินฟราเรด แสดงถึง ความหนาของเมฆมีขนาดใหญ่มาก และระดับยอดเมฆที่สูง ตามลำดับ ซึ่งลักษณะเช่นนี้แสดงถึงความเป็นไปได้มากที่จะเกิดฝนตก ดังนั้น ความสว่าง และ/หรือ อุณหภูมิของกลุ่มเมฆที่เกิดฝนเป็นการวัดโดยทางอ้อมของความเข้มของฝนที่ตก ที่เกิดจากการยกตัวของความร้อนขึ้นทางแนวตั้ง (Mohammedberhan, 1998)

แม้ว่ายังไม่ได้พัฒนาจนสามารถใช้งานในทางปฏิบัติแบบรายวันในเวลาจริง (real time) ยังมีวิธีการคลื่นไมโครเวฟ (microwave methods) ที่ใช้ในการประมาณฝนที่ตกโดยใช้เครื่องตรวจจับคลื่นไมโครเวฟ (microwave sensors) วิธีการนี้เป็นวิธีการโดยตรงในการประมาณฝนที่ตกซึ่งไม่เหมือนกับเทคนิคคลื่นที่มองเห็นได้ และคลื่นอินฟราเรด

การประมาณฝนจากดาวเทียมมีประโยชน์เพื่อเพิ่มพูนข้อมูลฝนที่ได้รับจากโครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินซึ่งกระจายตัวห่างกันมากในพื้นที่ ยิ่งไปกว่านั้นการประมาณฝนโดยดาวเทียมแบบเวลาจริงสามารถแก้ปัญหาความล่าช้าของข้อมูลฝนที่ตกซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการส่งข้อมูลจากสถานีรอบนอกเข้าสู่สถานีศูนย์กลางโดยวิธีการที่ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้แสดงตัวอย่างของเทคนิคการประมาณฝนไว้บางส่วน เช่น ไมโครเวฟ (Microwave), ซีพีซี (CPC), ออสโตรม (OSTROM) และ แทมแซท (TAMSAT) เป็นต้น

6.2 เทคนิคการประมาณฝนโดยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Rainfall Estimation Technique)

การแผ่คลื่นรังสีไมโครเวฟ (3 – 300 GHz หรือ 10 – 0.1 cm) อาจถูกดูดซับ, สะท้อนหรือกระจาย โดยน้ำหรือน้ำแข็งที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในชั้นบรรยากาศ การเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงของหยดน้ำและเกล็ดน้ำแข็งที่มีต่อการแผ่รังสีของคลื่นไมโครเวฟ ทำให้การประมาณฝนโดยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีโดยตรง และใช้พื้นฐานทางกายภาพมากกว่าเทคนิคของ

คลื่นที่มองเห็นได้และคลื่นอินฟราเรด โดยเฉพาะบริเวณเหนือพื้นผิวมหาสมุทร วิธีการนี้อยู่บนพื้นฐานความจริงที่ว่า การแผ่ของคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำกว่า 30 GHz จะถูกดูดซับ และแผ่ออกมาโดยหยดน้ำฝนในสถานะของเหลว และเมื่อความถี่สูงขึ้นจะถูกทำให้กระจายออกโดยเกล็ดน้ำแข็งและหยดน้ำฝน (Spencer และคณะ, 1997)

การแผ่ของคลื่นไมโครเวฟจากพื้นผิวขึ้นอยู่กับมุมของการตรวจวัดคลื่น ความสามารถในการแผ่คลื่นจากพื้นผิว และความถี่ของการแผ่คลื่นจึงสามารถที่จะถูกตรวจพบได้ มหาสมุทรมีความสามารถในการสะท้อนคลื่น (reflectivity) มากกว่าพื้นผิวดิน แต่จะมีความสามารถในการแผ่คลื่น (emissivity) น้อยกว่า ยิ่งไปกว่านั้นความสามารถในการแผ่คลื่นของพื้นผิวมหาสมุทรเกือบที่จะเป็นค่าคงที่ ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวดินและปริมาณความชื้นในดินทำให้ความสามารถในการแผ่คลื่นของพื้นผิวดินเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ด้วยเหตุดังกล่าวการประมาณฝนโดยคลื่นไมโครเวฟสามารถทำได้เป็นอย่างดีเหนือพื้นผิวของมหาสมุทร โดยไม่มีปัญหา อย่างไรก็ตามการประมาณฝนมีผลกระทบเป็นอย่างมากเหนือพื้นผิวดิน (Morland และคณะ, 1997) ดังนั้นความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างการแผ่คลื่นไมโครเวฟและฝนที่ตกใช้ไม่ได้เหนือพื้นผิวดิน เทคนิคการประมาณฝนโดยคลื่นไมโครเวฟเหนือพื้นผิวดินจึงขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองและความสัมพันธ์ทางสถิติ เช่นเดียวกันกับเทคนิคคลื่นที่มองเห็นได้และคลื่นอินฟราเรด เทคนิคการประมาณฝนโดยคลื่นไมโครเวฟมีอุปสรรคดังต่อไปนี้ที่ทำให้ยากลำบากในการตรวจตราฝนที่มีความแปรปรวนอย่างต่อเนื่อง อุปสรรคดังกล่าวคือ ความละเอียดตามเวลาต่ำ นั่นคือ 1 – 2 ภาพต่อวัน และความละเอียดตามระยะทางต่ำ คือความละเอียดสูงที่สุดได้เพียง 10 กม. (Barret and Beaumont, 1994) ดังนั้นจึงเป็นเทคนิคที่ไม่มีประโยชน์สำหรับฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมากในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

6.3 เทคนิคการประมาณฝน ซีพีซี (CPC Rainfall Estimation Technique)

เทคนิคซีพีซี เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการประมาณฝนที่ตกสะสม (accumulated rainfall) โดยใช้ข้อมูลของดาวเทียมเมทีโอแซท (Meteosat satellite data), ข้อมูลเครื่องวัดน้ำฝนที่ได้รับจากระบบโทรคมนาคมทั่วโลก (Global Telecommunication System, GTS), การวิเคราะห์แบบจำลองของลม, ความชื้นสัมพัทธ์ และความสูงต่ำของพื้นที่ (model analysis of wind and relative humidity and orographic feature) (Herman และคณะ, 1997) เทคนิคนี้ถูกพัฒนาเพื่อจุดประสงค์ด้านการตรวจตราสภาพความแห้งแล้ง (drought) โดยองค์การเพื่อการพัฒนา

ระหว่างชาติของสหรัฐอเมริกา (United States Agency for International Development, USAID) ระบบเตือนภัยล่วงหน้าด้านความอดอยาก (Famine Early Warning System, FEWS) เทคนิคนี้สามารถทำการประมาณฝนได้ทั้งที่เกิดจาก เมฆเย็น ที่เกิดจากการยกตัวของมวลอากาศร้อนขึ้นในแนวตั้ง และฝนที่เกิดจาก เมฆอุ่น ที่แบ่งเป็นชั้นๆ (stratified clouds)

ดัชนีการตกของฝนโกส (GOES Precipitation Index, GPI) เป็นขั้นตอนที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประมาณฝนที่ตกแบบสะสม (accumulated rainfall) สำหรับช่วงระยะเวลา 10 วันจากเมฆที่เกิดจากการยกตัวขึ้นในแนวตั้งของมวลอากาศร้อน โดยใช้ช่วงเวลาที่ยอดเมฆเย็น (cold cloud tops duration) เหนือพื้นดินนั้น (Herman และคณะ, 1997) ในขั้นตอนของ GPI ฝนที่ตก 3 มม. ทุกๆ ชั่วโมงจะสามารถวัดอุณหภูมิยอดเมฆได้ต่ำกว่า 235 เคลวิน (K) และได้รับข้อมูลเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดินทุกๆ 6 ชม. จาก ระบบโทรคมนาคมทั่วโลก (GTS) แล้วจะถูกนำมาบวกรวมกันทุก ๆ 24 ชั่วโมง และทุก ๆ 10 วันแล้วนำมาเปรียบเทียบกับฝนที่ประมาณได้โดยวิธี GPI (GOES Precipitation technique) การปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณค่าการตกของฝนโดยวิธี GPI เป็นวิธีที่ได้จากการทดลอง (Empirical) ซึ่งใช้การประมาณค่าทางสถิติ โดยทำการปรับแก้ค่าที่ประมาณได้จากวิธี GPI ให้พอดีกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ดังนั้นขั้นตอนของวิธี GPI ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนี้เรียกว่า เทคนิค ซีพีซี (Climate Prediction Center, CPC) และถูกใช้เพื่อทำการประมาณค่าฝนที่ตก เนื่องจากการยกตัวขึ้นทางแนวตั้งของมวลอากาศร้อน (convective rainfall) (Mohammedberhan, 1998)

อย่างไรก็ตาม เทคนิคซีพีซี ก็ยังคงมีความผิดพลาดทั้งการประมาณค่าฝนมากเกินไป (overestimate) และการประมาณค่าฝนน้อยเกินไป (underestimate) ในบางกรณี การประมาณค่าฝนมากเกินไปจะเกิดขึ้นโดยเฉพาะเมื่อเหนือพื้นดินที่มีการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องของ เมฆเซอร์รัส (cirrus cloud) ซึ่งเป็นเมฆที่เย็นแต่ไม่หนาพอที่จะเกิดฝนตกได้ ในทางกลับกัน การประมาณค่าฝนน้อยเกินไป จะเกิดขึ้นเป็นปกติโดยเฉพาะเหนือพื้นที่ที่มีฝนที่เกิดเนื่องจากลักษณะพื้นที่เป็นภูเขา (orographic precipitation) และการตกของฝนที่เกิดจากเมฆอุ่น (warm clouds) ซึ่งฝนชนิดนี้จะเกิดในบริเวณพื้นที่แถบชายฝั่งทะเลและพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นภูเขา ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างสำหรับเทคนิค ซีพีซี เพื่อให้การประมาณค่าการตกของฝนที่เกิดจากเมฆอุ่น (warm cloud) และเมฆเป็นชั้นๆ (stratiform cloud) (Mohammedberhan, 1998)

เมื่อมีความชื้นและอากาศชื้นที่มีลมพัดในระดับต่ำอย่างเหมาะสมทำให้สามารถที่จะยกตัวขึ้นและความชื้นเป็นฝนที่เกิดจากเมฆอุ่นได้ นั่นคือช่วงอุณหภูมิยอดเมฆอย่างคร่าวๆอยู่ระหว่าง 235-275 เคลวิน (K) สำหรับการประมาณฝนจากเมฆอุ่นจะต้องใช้ข้อมูลของ ทิศทางของลมที่พัดในระดับต่ำ, ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความลาดชันของพื้นที่ โดยที่ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์หาได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองสำหรับ ที่เวลาสากล 00, 06, 12 และ 18 UTC (Universal time coordinated) และนำมารวมกับความลาดชันของพื้นที่ แล้วคำนวณโดยใช้วิธี ความแตกต่างแบบจำกัด (finite difference method) ตามแนวทางที่จะแสดงดังต่อไปนี้

ทุก ๆ ช่วงเวลาครึ่งชั่วโมง จะมีการคำนวณ ผลคูณเวกเตอร์ (dot product) ของความลาดชันพื้นที่ กับทิศทางลม ผลคูณทางสเกลาร์ (scalar product) ของพิกัดของทิศทางลม $[u(x,y), v(x,y)]$ และความลาดชันในแนวราบของลาดภูเขา $[h(x,y)]$ นั่นคือ

$$u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

ซึ่งเป็นการประมาณค่าโดยใช้วิธีความแตกต่างแบบจำกัดที่จุดกึ่งกลางที่จุดกริด (finite differences centered at grid points) ดังนั้นค่าผลคูณทางเวกเตอร์คำนวณปรับค่า (interpolated) เข้าสู่จุด กริด (grid point) ด้วยความละเอียดเดียวกันกับข้อมูลของดาวเทียมเมทีโอแซท (METEOSAT) ขึ้นตอนสุดท้ายค่าที่ได้จะนำไปคูณกับพิกัดของทิศทางลมที่วิเคราะห์ไว้แล้ว เพื่อที่จะนำมารวมกับการยกตัวเนื่องจากสภาพภูเขาของความชื้นระดับต่ำ ทุกๆ ครึ่งชั่วโมงจะมีการเก็บข้อมูลที่ได้นี้ไว้ที่แต่ละจุดกริดที่มีช่วงอุณหภูมิยอดเมฆอยู่ระหว่าง 235-275 เคลวิน (K) ค่าที่ได้จะถูกนำมารวมยอด ทุกๆ สิบวัน แล้วนำผลรวมที่ได้มาทำการปรับแก้กับค่าปริมาณฝนภาคพื้นดิน เพื่อนำไปใช้ในการประมาณฝนจากเมฆอุ่น

การปรับแก้ (calibration) เพื่อการประมาณฝนโดยเทคนิคผลคูณเวกเตอร์ (dot product technique) จะประสบผลสำเร็จก็ต่อเมื่อ พื้นที่ที่เลือกใช้สำหรับการปรับแก้ จะต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีเมฆเย็นในช่วงระยะเวลาที่ทำการปรับแก้ และฝนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะต้องเป็นฝนที่เกิดจากการยกตัวขึ้นของมวลอากาศร้อนเนื่องจากสภาพพื้นที่ที่เป็นภูเขา (orographic rainfall)

ด้วยเหตุนี้ ศูนย์พยากรณ์ภูมิอากาศ (Climate Prediction Center, CPC) ซึ่งเป็นหน่วยงานของ ศูนย์กลางพยากรณ์ด้านสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (National Centers for Environmental Prediction,

NCEP) ได้ทำการรวมขั้นตอน GPI ที่ได้รับการปรับแก้ข้อผิดพลาดแล้วเข้ากับผลรวมเวกเตอร์ (dot product) ของทิศทางลมและสภาพภูเขา แล้วนำไปคูณกับความชื้นสัมพัทธ์เพื่อที่จะนำไปประมาณค่าปริมาณฝนรวมสะสม (total accumulated precipitation) จากทั้งเมฆที่เกิดจากการยกตัวขึ้นทางแนวโค้งของมวลอากาศร้อน หรือเมฆเย็น และเมฆที่แบ่งเป็นชั้นๆ หรือเมฆอุ่น (convective and stratiform clouds) ซึ่งเมื่อทำการรวมกันของวิธีทั้งสองแล้ว ทำให้ได้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากขึ้น และเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากเนื่องจากสามารถประมาณค่าฝนได้ทั้งเมฆเย็นและเมฆอุ่น (cold and warm clouds)

การประมาณฝนโดยใช้เทคนิคซีพีซี (CPC technique) สำหรับเมฆเย็น (cold cloud) นำมาใช้ปรับแก้ค่ากับข้อมูลภาคพื้นดินที่เกิดในเวลาเดียวกัน มากกว่าที่จะนำไปปรับแก้กับค่าในอดีต ดังนั้นจึงต้องการข้อมูลฝนภาคพื้นดินในเวลาจริง (real time) ฐานสิบวัน ที่เพียงพอเพื่อใช้ในการปรับแก้ ถ้าพื้นที่ที่สนใจมีข้อมูลฝนภาคพื้นดินไม่เพียงพอก็จะทำให้ยากที่จะทำการปรับแก้ให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

6.4 เทคนิคการประมาณฝน ออสดอม (ORSTOM Rainfall Estimation Technique)

เทคนิคออสดอม (ORSTOM technique) ใช้อุณหภูมิพื้นผิวดิน (ground surface temperature, Ts) ที่ได้รับจากภาพของดาวเทียมเมทีโอแซท (METEOSAT) เพื่อทำการประมาณฝน (Guillot, 1995) เป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาโดย Lannion Centre De Meteorology Spatiale (CMS) เป็นวิธีการที่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Ts) กับเครื่องวัดน้ำฝน (pluviometry) และมีพื้นฐานอยู่บนความสัมพันธ์สองชนิดต่อไปนี้ (Guillot, 1995) สมดุลที่หนึ่งคือ สมดุลพลังงาน (energy balance) ซึ่งเชื่อมระหว่างการไหลของความร้อนที่เห็นได้ชัด (sensible heat flow) กับ การระเหยและการคายน้ำของพืช (evapotranspiration) และ สมดุลที่สอง คือ สมดุลน้ำ (water balance) ซึ่งเชื่อมระหว่าง การระเหย (evaporation) กับฝนที่ตก (rainfall) โดยที่ความร้อนที่เห็นได้ชัด (sensible heat, ϕ_s) มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Ts) ด้วยเช่นกัน โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$\phi_s = \rho C_p h (T_s - T_a) \quad (2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ
 C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ
 h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
 T_s = อุณหภูมิพื้นผิวดิน
 T_a = อุณหภูมิของอากาศ

เทคนิคนี้มีพื้นฐานจากผลกระทบของฝนที่ตกไปแล้ว ที่มีต่ออุณหภูมิพื้นผิวดิน ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผัน (inverse relation) ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดิน (T_s) กับปริมาณฝนรวม (rainfall totals, ΣP) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามอาจมีปัจจัยทางสภาพอากาศท้องถิ่นที่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวดินตัดผ่านพื้นที่ที่สนใจ ปัจจัยนี้อาจมีผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินเกิดขึ้นในแนวเหนือ-ใต้ และ ตะวันตก-ตะวันออก ตัดผ่านพื้นที่ที่พิจารณา ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบฝนครั้งแรกกับอุณหภูมิพื้นผิวดินเพื่อแสดงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยทางสภาพอากาศท้องถิ่น ในกรณีนี้เพื่อที่จะหาปัจจัยทางสภาพอากาศท้องถิ่นที่ตัดผ่านพื้นที่ที่พิจารณา จึงต้องทำการลดค่า T_s ลงโดยที่ $\Delta T_a = T_a - T_o$, เมื่อ T_o คืออุณหภูมิของอากาศที่สถานีอ้างอิง ดังนั้นความสัมพันธ์ด้านบนถูกเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณฝนรวม (rainfall totals, ΣP) กับผลรวมของ อุณหภูมิพื้นผิวดิน (T_s) ลบด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ (ΔT_a) นั่นก็คือ $\Sigma (T_s - \Delta T_a)$

ในประเทศเซเนกัล (Senegal) ประสบผลสำเร็จในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณฝนรวม (rainfall totals) กับ ผลรวมของอุณหภูมิพื้นผิวดินลบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ (Guillot, 1995) การตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวดินแสดงว่าก่อนการเกิดฝนครั้งแรกจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงประมาณ 3 ถึง 8 องศาเซลเซียส (°C) จากทิศใต้ไปทิศเหนือ หรือ จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่เป็นค่าลบระหว่างปริมาณฝนรวมและอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_s - \Delta T_a$) ตั้งแต่เดือนมิถุนายนเป็นต้นไป แสดงว่า $\Sigma (T_s - \Delta T_a)$ ที่เปลี่ยนแปลงไปอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฝนรวมตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคม สำหรับช่วงสามปีติดต่อกันของปี ค.ศ.1984 ถึง ค.ศ. 1986 (Guillot, 1995) ผลที่ได้รับจากการศึกษาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่คำนวณจากข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน แสดงว่า

ก. ความสัมพันธ์นี้จะมีความถูกต้องมากขึ้น ถ้ายกเว้นตอนต้นฤดูในพื้นที่ที่มีปริมาณ สถานีวัดน้ำฝนน้อย

ข. มีความถูกต้องแน่นอนเท่าๆ กัน สำหรับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนปริมาณปานกลาง

การนำมารวมกันของเทคนิคอุณหภูมิพื้นผิวดิน (ground surface temperature technique) และเทคนิคความถี่ยอดเมฆเย็น (cold top cloud frequency technique) ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากขึ้นในการประมาณฝน (Guillot, 1995) เทคนิคที่นำมารวมกันนี้ได้นำไปใช้เหนือพื้นที่ของประเทศไนจีเรีย และได้ความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง พารามิเตอร์ที่รวมกัน และการประมาณปริมาณฝน การเกิดขึ้นของยอดเมฆเย็นได้มาจากการนับจำนวนของเมฆที่เย็นกว่า -40°C แล้วนำไปคำนวณหาความถี่ยอดเมฆเย็นโดยใช้ความสัมพันธ์ของ จำนวนของกรณีที่เหมาะสม (number of favorable cases) กับ จำนวนของกรณีที่เป็นไปได้ (number of possible cases) อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำมารวมกันนี้ จะประมาณค่าฝนตกน้อยเกินไปในพื้นที่ที่เปียกชื้น และจะประมาณค่าฝนที่มากเกินไปในพื้นที่ที่แห้งแล้ง ของประเทศไนจีเรีย และวิธีการนี้ได้รับการปรับแก้ให้ถูกต้องโดยใช้ข้อมูลของพื้นผิวอากาศที่ได้รับจากทั้งข้อมูลจากโครงข่าย (network) และข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์ในพื้นที่ ซึ่งได้จาก ศูนย์กลางของยุโรปเพื่อการพยากรณ์ลม ฟ้า อากาศในระยะกลาง (European Center for Medium Range Weather Forecasting (ECMRWF) ที่มหาวิทยาลัยบริดจ์ ดังนั้นความสัมพันธ์จะได้เป็น

$$Pe = aOc + b(Ts - Ta) + cte \quad (3)$$

เมื่อ	Pe	= ฝนที่ได้จากการประมาณ (estimated rainfall)
	Oc	= อุณหภูมิยอดเมฆเย็น (cold top cloud frequency)
	Ts	= อุณหภูมิพื้นผิวดิน (ground surface temperature)
	Ta	= อุณหภูมิอากาศ (air temperature)
	a, b, cte	= ค่าคงที่

เพื่อความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบของแต่ละวิธีการประมาณฝนในประเทศไนจีเรีย ดังแสดงใน ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การประมาณค่าของฝนในประเทศไทยในจีเรีย (พ.ศ. – ต.ค. ปี ค.ศ. 1986) การเปรียบเทียบของวิธีการ (Comparison Methods)

ช่วงเวลา(Periods)	$T^{\circ}_{\max}$	Oc	$(T^{\circ}_{\max} + Oc)/2$
พ.ศ.	$r = -0.62$	$r = 0.57$	$r = 0.64$
พ.ศ. และ มิ.ย.	$r = -0.67$	$r = 0.69$	$r = 0.74$
พ.ศ. ถึง ก.ค.	$r = -0.65$	$r = 0.72$	$r = 0.88$
พ.ศ. ถึง ส.ค.	$r = -0.77$	$r = 0.76$	$r = 0.91$
พ.ศ. ถึง ก.ย.	$r = -0.86$	$r = 0.68$	$r = 0.923$
พ.ศ. ถึง ต.ค.	$r = -0.8$	$r = 0.70$	$r = 0.925$

หมายเหตุ r = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient)

$T^{\circ}_{\max}$: วิธีการที่ใช้อุณหภูมิพื้นผิวดิน (method using surface temperature)

Oc : วิธีการที่ใช้อุณหภูมียอดเมฆ (method using cold clouds)

$(T^{\circ}_{\max} + Oc)/2$: วิธีการรวมกันของสองพารามิเตอร์ (method combining both parameters)

ที่มา: Guillot (1995)

ดังเช่นค่าที่แสดงโดยสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เทคนิคออกสตอม มีความถูกต้องมากกว่า อย่างไรก็ตามก็มีอุปสรรคดังต่อไปนี้ที่ทำให้การปรับแก้ค่าในพื้นที่ทำได้ไม่ง่ายนัก

ก. ต้องการข้อมูลพื้นผิวดิน เช่น อุณหภูมิพื้นผิวดิน

ข. ต้องทำการปรับแก้ค่ากับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินในเวลาที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน

6.5 เทคนิคการประมาณฝน แทมแซท (TAMSAT Rainfall Estimation Technique)

กลุ่มแทมแซท (TAMSAT group) ในมหาวิทยาลัยรีดดิ้ง ได้พัฒนาเทคนิคขึ้นมาจาก ดรรชนีฝนของโกส (GOES Precipitation Index, GPI) เพื่อทำการประมาณค่าฝนที่ตกเหนือทวีปแอฟริกา ซึ่งไม่เหมือนกับเทคนิคซีพีซี และ เทคนิคออสตอม โดยเทคนิคแทมแซท จะทำการปรับแก้ค่าไว้ก่อนทั้งหมด นั่นก็คือจะทำการปรับแก้กับข้อมูลฝนในอดีตมากกว่าข้อมูลฝนภาคพื้นดินที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน

เทคนิคการประมาณค่าฝนที่ตก แทมแซท (Tropical Application of Meteorological SATellite, TAMSAT) ใช้ภาพของช่องสัญญาณอินฟราเรดจากดาวเทียมเมทีโอแซท (METEOSAT) ทุกๆ ชั่วโมง หรือครึ่งชั่วโมง การใช้เครื่องตรวจจับสัญญาณอินฟราเรดเพียงช่องสัญญาณเดียวทำให้เทคนิคแทมแซทง่ายต่อการดำเนินการแบบอัตโนมัติ มิเช่นนั้นเทคนิคนี้จะยากต่อกรรมวิธีที่ดำเนินการโดยอัตโนมัติได้

6.5.1 ข้อสมมุติฐานของเทคนิค

ก. เมฆเย็นหรือเมฆที่เกิดขึ้นเนื่องจากการยกตัวของมวลอากาศร้อนขึ้นทางแนวโค้ง (convective cloud) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดฝน

ข. เมฆเย็นจะทำให้เกิดฝนก็ต่อเมื่อเมฆมีการเคลื่อนตัวไปจนถึงความสูงที่เกิดจุดเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน (threshold height) นั่นก็คือมีความสูงพอที่จะทำให้เกิดฝน

ค. ความสูงจุดเปลี่ยนแปลงซึ่งก็คือถ้าจุดใดที่อยู่เหนือจุดนี้ขึ้นไปก็จะเป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝนได้ แต่ถ้าเป็นจุดที่อยู่ต่ำกว่าจุดนี้จะเป็นเมฆที่ไม่ทำให้เกิดฝน โดยที่ถ้าจุดเปลี่ยนแปลงนี้ตรงกันกับอุณหภูมิยอดเมฆที่แน่นอนแล้ว ดังนั้นความสูงจุดเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกแสดงอยู่ในเทอมของอุณหภูมิยอดเมฆ

ง. ปริมาณของฝนที่ตกเหนือตำแหน่งใดๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิเมฆเย็นมีอุณหภูมิสูงที่สุดต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาดังกล่าวจะเรียกว่าช่วงเวลาเมฆเย็น (Cold Cloud Duration, CCD)

ในวิธีการแทมแซท (TAMSAT) ค่าที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมีความสัมพันธ์กับค่าช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$R = a_1 \text{CCD} + a_0 \quad (4)$$

โดยที่ $R = 0$ เมื่อ $\text{CCD} = 0$

เมื่อ R = ปริมาณฝนที่ตก (rainfall)

CCD = ค่าช่วงเวลาเมฆเย็น (Cold Cloud Duration)

a_1, a_0 = ค่าคงที่ที่ต้องหาค่าโดยการเปรียบเทียบภาพของช่วงอุณหภูมิเมฆเย็น (CCD) กับข้อมูลการเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน

6.5.2 เทคนิควิธีการ (Procedures of the Techniques)

ก. สร้างภาพของช่วงเวลาอุณหภูมิยอดเมฆเย็น (CCD) ที่จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆ

ข. หาอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม (optimum threshold temperature) สำหรับแต่ละขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการปรับแก้

ค. หาพารามิเตอร์การปรับแก้ (calibration parameters) a_0 และ a_1 สำหรับแต่ละขอบเขตพื้นที่ทำการปรับแก้

ง. ทำการใช้สูตรความสัมพันธ์ของช่วงเวลาอุณหภูมิยอดเมฆเย็น (CCD) กับฝนที่ตกเพื่อทำการประมาณการตกของฝน

การหาค่าจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแต่ละขอบเขตพื้นที่สามารถทำได้โดยการใช้ตารางของแต่ละกรณี (contingency table)

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างฝนที่ตกกับช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) เป็นสถิติแบบสโตเคสติก (stochastic) จึงจำเป็นต้องใช้จำนวนที่มีความสำคัญสำหรับการหาค่าเฉลี่ยเพื่อที่จะให้ค่าการปรับแก้มีความหมาย (Grimes และคณะ, 1993)

6.5.3 วิธีการหาค่าปรับแก้ (Determining the calibration parameters)

วิธีการสองวิธีที่แตกต่างกันที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ (calibration parameters) a_0 , a_1 ดังที่จะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

ก. ความถดถอยของค่าการวัดน้ำฝนมัธยฐานกับจุดกึ่งกลางชั้นของช่วงเวลาเมฆเย็น (Regression of median gauge against mid-class CCD) วิธีการนี้แต่ละวันจะถูกแบ่งช่วงเวลาเป็นชั้น ๆ ตามค่าของช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) ความถดถอยของค่าการวัดน้ำฝนมัธยฐานกับจุดกึ่งกลางชั้นของช่วงเวลาเมฆเย็นถูกใช้เพื่อการปรับแก้ วิธีการซึ่งนำการใช้ค่ามัธยฐานมาเป็นค่าฝนตัวแทน (representative rainfall value) ก็เพื่อที่จะกำจัดอิทธิพลของค่าใกล้เคียงในการปรับแก้ ในที่นี้จะใช้เฉพาะค่าช่วงเวลาเมฆเย็นที่ไม่เท่ากับศูนย์มาใช้ในการคำนวณเท่านั้นสำหรับการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ a_0 และ a_1 วิธีการนี้มีประโยชน์สำหรับการตรวจหาความแห้งแล้ง (drought monitoring)

ข. ความถดถอยของค่าการวัดน้ำฝนเฉลี่ยรายวันกับค่าช่วงเมฆเย็นเฉลี่ยรายวันสำหรับหน่วยเล็กที่สุดในการแสดงผล (Regression of daily mean gauge values against daily mean CCD for pixel) วิธีการนี้มีสมมุติฐานที่ว่าหน่วยเล็กที่สุดในการแสดงผลของการวัดค่าจะเป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างฝนที่ตกกับ ช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งวิธีการนี้มีประโยชน์สำหรับวัตถุประสงค์ทางอุทกวิทยา (hydrological purposes)

วิธีการปรับแก้ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น วิธีการที่สอง นั่นคือ ความถดถอยของค่าการวัดน้ำฝนเฉลี่ยรายวันกับค่าช่วงเมฆเย็นเฉลี่ยรายวันสำหรับหน่วยเล็กที่สุดในการแสดงผล (Regression of daily mean gauge values against daily mean CCD for pixel) จะถูกใช้ในการปรับแก้ สำหรับการศึกษานี้ ซึ่งวิธีการนี้มีประโยชน์สำหรับวัตถุประสงค์ทางอุทกวิทยา (hydrological purposes) ซึ่งตรงกับประเด็นปัญหาของบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

6.5.4 ข้อจำกัดของเทคนิค (Limitations of the Techniques)

ก. การเปลี่ยนแปลงตามระยะทางของฝนที่ตก (Spatial variation of rainfall) อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้เป็นการประมาณฝนโดยการใช้อุณหภูมิยอดเมฆ (cloud top temperature) โดยปราศจากการดูลักษณะภายใต้เมฆ ซึ่งความเข้มของฝนที่ตก (intensity of rainfall) อาจจะแสดง

การเปลี่ยนแปลงตามระยะทางของฝนตกภายใต้เมฆ ซึ่งเทคนิคแทมแซทไม่ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่แท้จริงของความเข้มของฝนที่ตก (rainfall intensity) ภายใต้เมฆ ดังนั้นเทคนิคแทมแซทจะมีประโยชน์ในการหาค่าฝนเฉลี่ยเหนือพื้นที่ที่กว้างขวางและช่วงเวลาที่ยาวนาน มากกว่าที่จะใช้หาข้อมูลรายละเอียดเหนือพื้นที่ที่มีขนาดเล็กและช่วงเวลาสั้น ๆ

ข. การแทรกซึมของรังสีโดยเมฆต่ำ (Contamination by Low clouds) ในบางตำแหน่งและบางเวลา เมฆต่ำสามารถทำให้เกิดฝนได้ และในกรณีนั้นวิธีการที่มีสมมุติฐานว่าฝนที่เกิดขึ้นเกิดจากเมฆที่มาจากการยกตัวขึ้นในแนวตั้งของมวลอากาศร้อน (convective) เท่านั้น จะใช้การไม่ได้ เนื่องจากว่าเมื่อมีฝนที่เกิดขึ้นจากเมฆต่ำ เทคนิคแทมแซทจะแสดงผลคือไม่มีฝนตก

ค. การแทรกซึมของรังสีโดยเมฆเซอร์รัส (Contamination by cirrus clouds) ในเมฆเซอร์รัส (cirrus cloud) จะปรากฏในสัญญาณดาวเทียมว่าเป็นเมฆที่เย็นมากและเทคนิคแทมแซทจะคาดว่ามีการเกิดฝนเนื่องจากเมฆชนิดนี้ อย่างไรก็ตามเมฆเซอร์รัส (cirrus cloud) นี้ยังไม่สูงพอที่จะเกิดฝนตกได้ ดังนั้นเทคนิคแทมแซทจะแสดงผลคือ มีฝนตก ในขณะที่ไม่มีการตกของฝนเกิดขึ้นเลย

ง. การปรับแก้ที่แตกต่างกันสำหรับพื้นที่ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน (Different calibration for different regions and months) วิธีการนี้จะต้องมีการปรับแก้ในแต่ละพื้นที่ รวมไปถึงต้องมีการปรับแก้ที่แตกต่างกันสำหรับเดือนแต่ละเดือนด้วยเช่นกัน

เนื่องจากเทคนิคแทมแซท (TAMSAT) นี้เป็นการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ล่วงหน้า (pre-calibrated) ดังนั้นความถูกต้องจึงน้อยกว่าค่าที่ได้จากเทคนิคออสตอม (ORSTOM technique) ถ้าเทคนิคแทมแซทได้รับการปรับแก้เทียบกับข้อมูลฝนภาคพื้นดินที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ก็จะมีค่าความถูกต้องมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเทคนิคแทมแซท ไม่เหมือนกับเทคนิคซีพีซี (CPC) และเทคนิค ออสตอม (ORSTOM) เนื่องจากการปรับแก้สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลของฝนภาคพื้นดินในอดีต (historical gauge data) ที่มากขึ้น เพราะว่าข้อมูลในอดีตหาได้ง่ายกว่าข้อมูลในเวลาจริง (real time)

ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา การประมาณฝนที่ตกจากเมฆเย็น โดยเทคนิคแทมแซทนี้นับว่าค่อนข้างเหมาะสม เพราะว่าการที่สามารถปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ได้ล่วงหน้า การใช้งานเชิงปฏิบัติการ เป็นไปโดยง่ายและอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามถ้าต้องการประมาณฝนจากเมฆอุ่นและเมฆแบ่งชั้น (warm and stratified) ควรจะใช้เทคนิคซีพีซีมากกว่าที่จะใช้เทคนิคแทมแซทในการประมาณค่าฝนที่ตก

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดาวเทียมกับการประมาณฝนในอดีต

ธีระพงษ์ (2539) ได้แสดงผลการศึกษาเพื่อประเมินปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอุทกภัยอย่างฉับพลัน ในบริเวณที่ราบของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ของประเทศไทย โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (P , mm) และอุณหภูมิยอดเมฆ (T , K) ในรูปสมการถดถอยไม่เชิงเส้นคือ $P = 1.1102 \times 10^{13} T^{-4.8288}$, $P = 4.4905 \times 10^{10} T^{-3.8012}$, $P = 5.2384 \times 10^{12} T^{-4.6683}$ และ $P = 2.4916 \times 10^{11} T^{-4.0840}$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) เท่ากับ 0.71 0.73 0.70 และ 0.71 ตามลำดับ จากผลการศึกษาดังกล่าวเมื่อทราบอุณหภูมิยอดเมฆจากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา จะสามารถคาดคะเนปริมาณน้ำฝนที่เป็นสาเหตุของอุทกภัยอย่างฉับพลันได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ , โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ และ เครื่องพิมพ์
2. ข้อมูลจากดาวเทียม GMS-5 ของช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ 2543 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2544 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2545
3. ข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีตรวจฝนภาคพื้นดิน ของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา จังหวัด สงขลา ในช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2543 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2544 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2545

วิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษา

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้ ประกอบด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นั่นคือช่วงเดือน มิถุนายน ถึงเดือน มกราคมของปีถัดไป ดังนั้นจึงทำการรวบรวมข้อมูลฝน และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ 2543 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2544 และช่วงเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2544 ถึงเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2545 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การรวบรวมข้อมูลฝน

แหล่งข้อมูลฝนของสถานีวัดน้ำฝนสามารถหาได้จากสองหน่วยงานคือ กรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ขั้นตอนและวิธีการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลฝนที่ต้องการจะต้องทำการติดต่อประสานงานอย่างเป็นทางการ ตามขั้นตอนทางราชการ ในที่นี้ได้ทำเรื่องขอข้อมูลในนามของภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แล้วประสานกับกรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งจะต้องระบุชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่ต้องการ หรือขอบเขตที่ต้องการข้อมูลเป็นอย่างน้อย และต้องระบุจำนวนปีของข้อมูลที่ต้องการ เนื่องจากสถานีวัดน้ำฝน และจำนวนปีที่ทำการเก็บข้อมูลฝนมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งในช่วงก่อนปี พ.ศ.2545 ข้อมูลโดยมากเป็น

ข้อมูลฝนรายวัน โดยข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานดังกล่าว เป็นข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดเท่าที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลภายในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา และเป็นข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่ปีที่เริ่มเก็บข้อมูลฝนของแต่ละสถานี เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝนที่ได้มา โดยวิธีวิเคราะห์สะสมเชิงซ้อน (double mass analysis) ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์จำนวนหลายปี เพื่อให้ได้มาซึ่งความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อการประมาณปริมาณฝนด้วยดาวเทียมได้อย่างถูกต้องต่อไป

1.2 การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในการประมาณปริมาณฝนนี้ เป็นข้อมูลของดาวเทียม GMS-5 ของญี่ปุ่น เนื่องจากมีขอบเขตของภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาที่ต้องการศึกษา ซึ่งลักษณะของข้อมูลเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายชั่วโมง และมีรูปแบบของไฟล์เป็นชนิด PGM (Portable Gray Map) ซึ่งในแต่ละพิกเซลมีค่าเป็นความเข้มของแสงหรือค่าความสว่าง โดยค่าความสว่างมี 256 ระดับ คือ ระดับความสว่างที่ 0 จะเป็นสีดำ และระดับความสว่างที่ 255 จะเป็นสีขาว และมีขนาด 1800x1800 พิกเซล แต่ละพิกเซลมีขนาดเท่ากับ 3 กิโลเมตร โดยมีการเรียงลำดับของพิกเซลจากบนลงล่าง และจากซ้ายไปขวา ข้อมูลที่ทำการดาวน์โหลด (download) มาทั้งหมด ประกอบด้วย ส่วนที่หนึ่งคือ ช่องสัญญาณอินฟราเรด IR1, IR2 และ IR3 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่สามารถถ่ายภาพจากดาวเทียมได้ตลอด 24 ชั่วโมง, ส่วนที่สองคือ ช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ (Visible Channel, VIS) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่สามารถถ่ายภาพได้เฉพาะในเวลากลางวัน และส่วนที่สามคือ ไฟล์ข้อมูลตารางปรับแก้ (Calibration, CAL) หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเป็นไฟล์ข้อมูลตารางการแปลงค่าความสว่างในภาพถ่ายดาวเทียมให้เป็นข้อมูลอุณหภูมิ ณ พิกัดตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งหมายความว่าเมื่อได้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาแล้วจะต้องหาค่าความสว่าง ณ พิกัดตำแหน่งที่ระบุแน่ชัดในภาพถ่ายดาวเทียม นั่นก็คือตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนที่กำหนด จากนั้นต้องนำค่าความสว่างที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางในไฟล์ข้อมูลตารางการปรับแก้ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (Kelvin) จึงสามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนภาคพื้นดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลต่อไปได้ โดยที่ข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นสามารถจะทำการดาวน์โหลดได้จาก website <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/GAME/>

2. การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล (consistency checking) และการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝน ตัวแทน

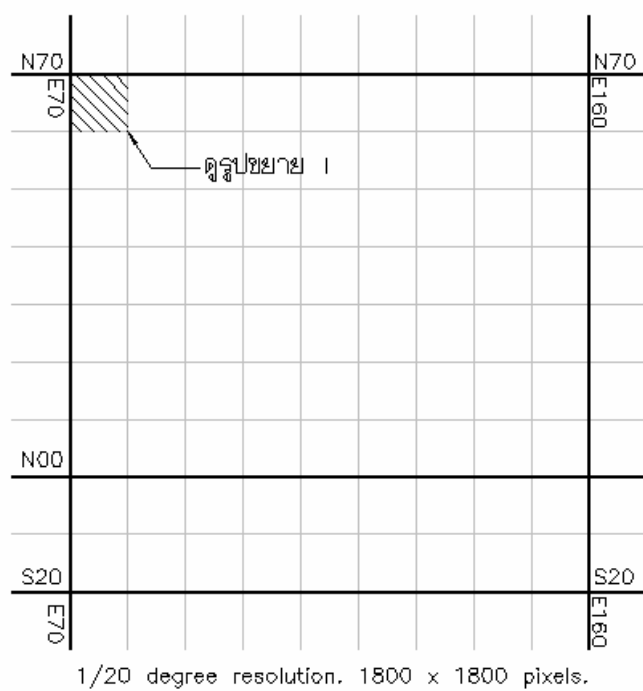
การตรวจสอบความน่าเชื่อถือได้ (consistency) ของข้อมูลฝน นิยมใช้วิธีวิเคราะห์สะสม
เชิงซ้อน (double mass analysis) วิธีการตรวจสอบกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำฝนรายปี
สะสมของสถานีที่จะตรวจสอบกับค่าปริมาณฝนรายปีสะสมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเฉลี่ยจากสถานีต่าง ๆ
ที่ตั้งอยู่รอบ ๆ การเปรียบเทียบกระทำโดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำฝน
รายปีสะสมของสถานีที่ต้องการจะตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีสะสมจากสถานีต่าง ๆ
หากข้อมูลเชื่อถือได้ กราฟที่พล็อตได้จะเป็นเส้นตรงและมีความลาดชันคงที่ แต่หากว่ากราฟที่
พล็อตได้มีความลาดชันได้หลายค่า แสดงว่าข้อมูลปริมาณฝนของสถานีที่ตรวจสอบยังเชื่อถือไม่ได้
เพราะอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นในปีที่เป็นจุดเปลี่ยนความลาดชันของกราฟที่
พล็อต ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็คืออาจจะมีการย้ายที่ตั้งเครื่องวัดน้ำฝน, อาจจะมีการ
เปลี่ยนเครื่องวัดใหม่ หรือเปลี่ยนเวลาทำการวัด เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้จะต้องทำ
การปรับแก้ข้อมูลเสียก่อน (วีระพล, 2531)

3. การแปลงค่าพิกัดตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนเพื่อใช้ในภาพถ่ายดาวเทียม

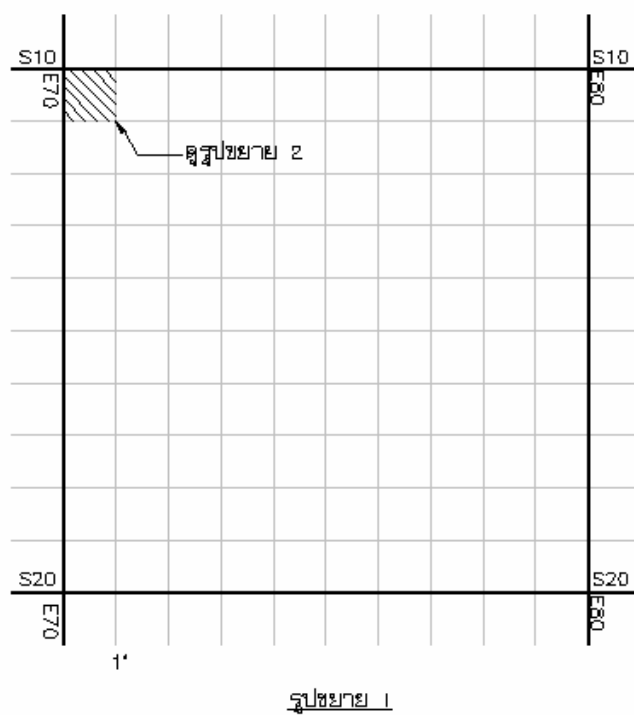
ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geo-coordinate) ของแต่ละสถานี จะต้องทำการแปลงเป็นค่า
ตำแหน่งจุดพิกเซล (pixel) ตามตำแหน่งในภาพถ่ายดาวเทียมที่มีช่วงพิกัดทางภูมิศาสตร์ทางด้าน
เหนือ-ใต้ N70 – S20 และทางด้านตะวันออก-ตะวันตก E70 – E160 โดยที่ความละเอียดของแต่ละ
พิกเซลในภาพถ่ายดาวเทียม เท่ากับ 1/20 องศา และภาพถ่ายดาวเทียมมีขนาด 1800x1800 พิกเซล
ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 10, ภาพที่ 11 และภาพที่ 12 ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการแปลงค่าพิกัด
ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนเพียงสถานีเดียว ได้แก่ สถานีโครงการคลองวาด อำเภอหาดใหญ่ ซึ่งมี
พิกัดทางภูมิศาสตร์ LAT 07-00-34 , LON 100-26-14 โดยจะมีวิธีการแปลงค่าดังนี้

1/20 องศา = 1 พิกเซล หมายความว่า 1 องศา = 20 พิกเซล

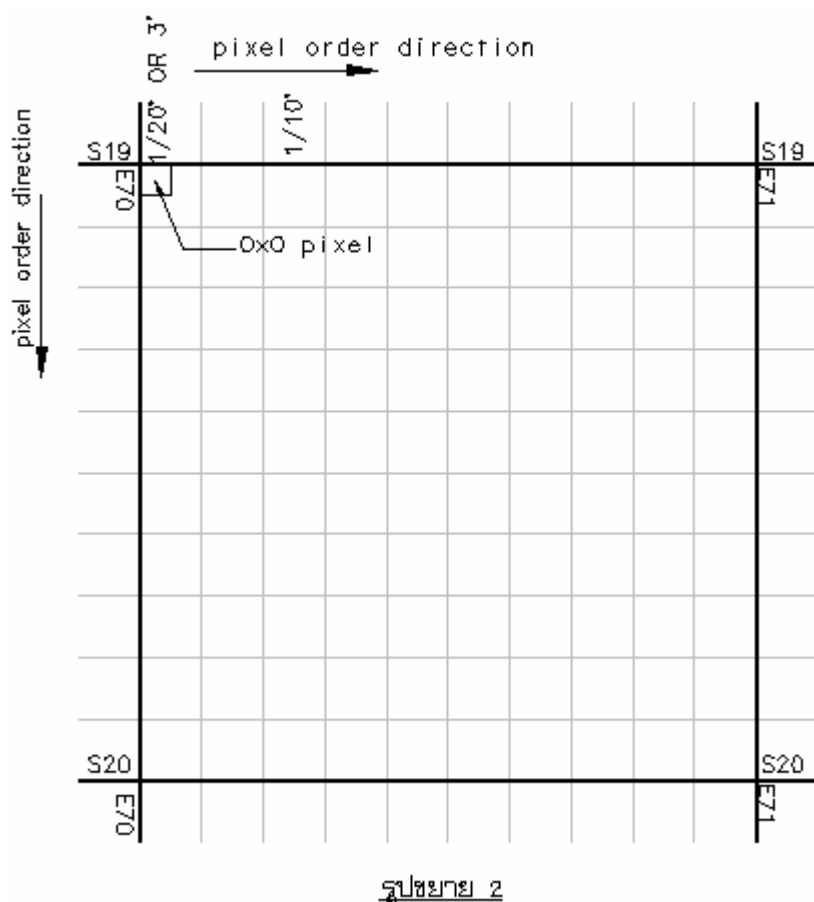
1/20 องศา = 3 ลิปดา หมายความว่า 1 พิกเซล = 3 ลิปดา



ภาพที่ 10 แสดงขอบเขต และความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากดาวเทียม GPS-5



ภาพที่ 11 แสดงรูปขยาย 1 เพื่อแสดงช่องกริดทุก ๆ 1 องศา



รูปขยาย 2

ภาพที่ 12 แสดงรูปขยาย 2 เพื่อแสดงช่องกริดทุก ๆ 1/20 องศา

ทำการแปลงค่าส่วนเหนือ-ใต้ (N หรือ แกน Y) LAT 07-00-34 จะได้

จาก S20 ถึง N0 มีความแตกต่างกัน 20 องศา ดังนั้น ต้องนำค่า 7 องศาไปรวมกับส่วนต่างนี้ก่อนที่จะนำมาหาค่าตำแหน่งพิกเซล ก็คือ

$$\begin{aligned} \text{LAT } 07-00-34 &= (20+7) \times 20 + (0+34/60)/3 \\ &= 540 + 0.1889 \\ &= 540.1669 \end{aligned}$$

เนื่องจากลำดับของพิกเซลเริ่มจากด้านบนลงล่าง และในที่นี้ได้พัฒนาโปรแกรมโดยเริ่มจากพิกเซลที่ 0x0 ดังนั้นจะต้องนำไปหักออกจาก 1800 แล้วปัดเศษลง

$$\begin{aligned} \text{LAT } 07-00-34 &= 1800 - 540.1669 \\ &= 1259.833 \end{aligned}$$

ก็จะได้ตำแหน่งพิกเซลที่ 1259

ทำการแปลงค่าส่วนตะวันออก-ตะวันตก (E หรือ แกน X) LON 100-26-14 จะได้
จาก E70 ถึง E100 มีความแตกต่างกัน 30 องศา ดังนั้น ต้องนำค่า ส่วนต่างที่ได้นี้ไปใช้
ในการคำนวณหาตำแหน่งของพิกเซล ก็คือ

$$\begin{aligned} \text{LON } 100-26-14 &= (100-70) \times 20 + (26+14/60)/3 \\ &= 600 + 8.7444 \\ &= 608.7444 \end{aligned}$$

ก็จะได้ตำแหน่งพิกเซลที่ 608

จากค่าที่คำนวณได้นำมารวมกันเป็นตำแหน่งพิกเซลภายในภาพถ่ายดาวเทียม ตาม
แนวแกน x และ แกน y ก็จะได้เป็นตำแหน่งพิกเซลที่ (608,1259) สำหรับตำแหน่งสถานีภายใน
ภาพถ่ายดาวเทียมของสถานีโครงการคลองวาด อำเภอลำลูกเกด เป็นดังนี้

4. การแปลค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตามตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทน

เมื่อได้ตำแหน่งของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนในภาพถ่ายดาวเทียมแล้ว แต่ละตำแหน่งที่
ได้จะต้องนำมาแปลค่าความสว่างในตำแหน่งพิกเซลนั้นให้เป็นค่าอุณหภูมิยอดเมฆ โดยที่
ช่องสัญญาณของดาวเทียม GMS-5 มีช่องสัญญาณอินฟราเรดทั้งหมด 3 ช่อง ได้แก่ IR1, IR2 และ
IR3 ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณจะทำการถ่ายภาพทุก ๆ 1 ชั่วโมง ดังนั้นจะต้องทำการแปลสัญญาณ
ภาพถ่ายดาวเทียมของแต่ละช่องสัญญาณทุกชั่วโมง ก็คือ เมื่อได้ค่าความสว่างในตำแหน่งพิกเซล
ของแต่ละสถานีมาแล้วก็ต้องนำไปเปรียบเทียบกับค่าความสว่างในไฟล์ข้อมูลการเปรียบเทียบซึ่งได้
ทำการดาวน์โหลด มาในคราวเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อที่จะแปลงข้อมูลความสว่างที่
ได้เป็นอุณหภูมิยอดเมฆ แล้วนำมาจัดเรียงในตารางอุณหภูมิของแต่ละชั่วโมงในแต่ละวันของทุก
สถานี หลังจากนั้นจึงจะสามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนรายวันของแต่ละสถานีได้
โดยที่ข้อมูลฝนรายวันที่รวบรวมมาจากสถานีวัดน้ำฝนนั้น โดยปกติจะทำการเก็บค่าฝนประจำวัน
เวลาประมาณ 7.00 น. เมื่อเทียบกับเวลาในประเทศไทย ซึ่งถ้าเทียบกับเวลามาตรฐานเมืองกรีนิช
(GMT) จะตรงกันที่เวลา 0.00 น. ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าฝนรายวันกับช่วงเวลาเมฆเย็นรายวัน
จะทำการเปรียบเทียบตามเวลามาตรฐานกรีนิชได้ในช่วงเวลา 0.00 น ถึง 23.00 น.

5. การวิเคราะห์เปรียบเทียบ และการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

หลังจากที่ได้ค่าอุณหภูมิทั้งสามช่องสัญญาณแต่ละชั่วโมง ณ ตำแหน่งที่ตั้งของทุกสถานีแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียง และทำการนับจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 220 – 250 เคลวิน ซึ่งคาดว่าจะเกิดฝน ณ อุณหภูมิค่าใดค่าหนึ่งในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดขึ้นนี้ โดยมีสมมุติฐานในการนับจำนวนชั่วโมงที่มีอุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด คือ ถ้ามีจำนวนค่าที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดต่อเนื่องกันมากกว่าสองชั่วโมงจึงจะนำมาใช้ในการนับชั่วโมง ดังนั้นค่าเริ่มต้นน้อยที่สุดจึงเป็นค่า สามชั่วโมง สาเหตุที่ใช้ค่าเริ่มต้นในการนับจำนวนชั่วโมงสะสมรายวันเป็นสามชั่วโมงเนื่องมาจากภาพถ่ายดาวเทียมทำการถ่ายภาพ 1 ภาพต่อชั่วโมง ช่วงเวลาระหว่างแต่ละภาพถ่ายนั้นระดับความสูงของเมฆอาจจะต่ำลงจากระดับที่ทำให้เกิดอุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลได้ ดังนั้นเมื่อใช้ค่าเริ่มต้นในการนับจำนวนชั่วโมงเป็นสามชั่วโมง ทำให้มั่นใจได้มากขึ้นว่าช่วงเวลาระหว่างแต่ละภาพถ่ายนั้น ความสูงของเมฆนั้นอยู่ในระดับสูงมากพอที่จะทำให้เกิดอุณหภูมียอดเมฆที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบนั้น

ในกระบวนการนี้ก็ได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ในการนับจำนวนชั่วโมง และ source code ก็จะแสดงไว้ในภาคผนวก ข เมื่อได้ผลลัพธ์การนับจำนวนชั่วโมงทั้งหมดแล้วก็จะทำการคัดข้อมูลที่สามารนำมาใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์กับฝนที่เกิดขึ้น ในที่นี้ไม่ได้นำช่องสัญญาณชนิดมองเห็นได้ (visible channel) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากมีข้อจำกัดในความต่อเนื่องของข้อมูลในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนเป็นข้อมูลฝนรายวัน ดังจะได้แสดงข้อสมมุติฐานและเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบดังต่อไปนี้

5.1 ข้อสมมุติฐาน

ก. เมฆเย็นจะทำให้เกิดฝนก็ต่อเมื่อเมฆมีการเคลื่อนตัวไปจนถึงความสูงที่เกิดจุดเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน (threshold height) นั่นก็คือมีความสูงพอที่จะทำให้เกิดฝน

ข. ความสูงจุดเปลี่ยนแปลงซึ่งก็คือถ้าจุดใดที่อยู่เหนือจุดนี้ขึ้นไปก็จะเป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝนได้ แต่ถ้าเป็นจุดที่อยู่ต่ำกว่าจุดนี้จะเป็นเมฆที่ไม่ทำให้เกิดฝน โดยที่ถ้าจุดเปลี่ยนแปลงนี้

ตรงกันกับอุณหภูมิยอดเมฆที่แน่นอนแล้ว ดังนั้นความสูงจุดเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกแสดงอยู่ในเทอมของอุณหภูมิยอดเมฆ

ค. ปริมาณของฝนที่ตกเหนือตำแหน่งใดๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิเมฆเย็นมีอุณหภูมิสูงที่สุดต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาดังกล่าวจะเรียกว่าช่วงเวลาเมฆเย็น (Cold Cloud Duration, CCD)

ง. ค่าช่วงเวลาเมฆเย็นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จะใช้ข้อมูลช่วงเวลาเมฆเย็นที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันมากกว่า 2 ชั่วโมงเป็นต้นไป นั่นก็จะต้องเกิดช่วงเวลาเมฆเย็นต่อเนื่องกันอย่างน้อย 3 ชั่วโมงจึงจะนำมาคิดเป็นช่วงเวลาเมฆเย็น

จ. ค่าช่วงเวลาเมฆเย็นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จะนำผลรวมของช่วงเวลาเมฆเย็นรายวันมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ หมายความว่า จะใช้ผลรวมของช่วงเวลาเมฆเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ หลังจากที่ได้หาผลรวมของช่วงเวลาเมฆเย็นภายในหนึ่งวันเสร็จสิ้นก็จะทำการเริ่มต้นหาผลรวมของวันใหม่เช่นนี้ไปจนครบทุกวัน เหตุที่ต้องใช้ค่าช่วงเวลาเมฆเย็นรายวันเนื่องมาจากข้อมูลฝนภาคพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเป็นข้อมูลฝนรายวัน

โดยที่ค่าการประมาณปริมาณฝนมีความสัมพันธ์กับค่าช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) ใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$\text{Rain}_{\text{est}} = b_1 \text{CCD} + b_0 \quad (5)$$

เมื่อ Rain_{est} = ค่าการประมาณปริมาณฝน (Estimated Rainfall)

CCD = ค่าช่วงเวลาเมฆเย็น (Cold Cloud Duration)

b_1, b_0 = ค่าสัมประสิทธิ์ และค่าคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาอุณหภูมิเมฆเย็น (CCD) กับข้อมูลปริมาณฝนภาคพื้นดิน ตามลำดับ

การที่เลือกใช้สมการความถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (Simple Linear Regression) นั้นอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าเมื่อมีค่าช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม (Optimum Threshold Temperature) ที่นานขึ้น ก็มีโอกาที่จะเกิดฝนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฝน และตัวแปรค่าช่วงเวลาเมฆเย็นจึงน่าจะมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น

5.2 เทคนิควิธีการ (Procedures of the Techniques)

- ก. หาค่าของช่วงเวลาอุณหภูมิเมฆเย็น (CCD) ที่จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆ
- ข. หาอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม (optimum threshold temperature) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา
- ค. ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแต่ละเงื่อนไขของปริมาณฝนที่กำหนด
- ง. ปรับแก้ข้อมูลเพื่อให้ได้กลุ่มข้อมูลตัวแทนของความสัมพันธ์ที่ดีขึ้น โดยการคัดเลือกข้อมูลส่วนที่กระจายออกจากกลุ่มข้อมูลออกไป
- จ. หาค่าคงที่ b_0 , ค่าสัมประสิทธิ์ b_1 , สมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ สำหรับแต่ละช่องสัญญาณของภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละเงื่อนไขของปริมาณฝนที่กำหนด

ผล และวิจารณ์

ผล

1. การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษา

1.1 การรวบรวมข้อมูลฝน

ผลการรวบรวมข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนทั้งในส่วนของกรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่มีข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาซึ่งแสดงเป็นข้อมูลฝนรายปีเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝนในขั้นต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 14 ประกอบด้วยสถานีวัดน้ำฝนของกรมชลประทาน 3 สถานี และสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 5 สถานี ดังต่อไปนี้

สถานีวัดน้ำฝนของกรมชลประทาน

1. รหัส 58210 โครงการชลประทานคลองวาด
2. รหัส 58320 โครงการชลประทานคลองจำไหร-หอยโข่ง
3. รหัส 58341 คลองอุ้มตะเกา (X.173) บ้านคลองแงะ อำเภอหาดใหญ่

สถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา

1. รหัส 58022 ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่
2. รหัส 58102 ที่ว่าการอำเภอสะเดา
3. รหัส 58112 สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์
4. รหัส 58232 ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม
5. รหัส 58332 สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่

รหัสที่ใช้นำหน้าชื่อสถานีสามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้ กล่าวคือ รหัสทั้งหมด 5 ตัว มี 2 ตัวแรกเป็นรหัสจังหวัด ตัวที่ 3 และ 4 เป็นรหัสสถานี ส่วนตัวสุดท้ายเป็นรหัสหน่วยงาน ยกตัวอย่างเช่น 58210 สามารถแยกออกได้ดังนี้

58-21-0	58	หมายถึง	รหัสจังหวัดสงขลา
	21	หมายถึง	รหัสสถานี
	0	หมายถึง	รหัสหน่วยงาน

โดยที่รหัสหน่วยงานยังสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้อีกดังนี้

0, 1	หมายถึง	กรมชลประทาน
2, 3	หมายถึง	กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลแผนรายปีที่รวบรวมได้ทั้งหมดจากสถานีวิจัยน้ำฝน

รหัส	สถานี	หน่วยงาน	ข้อมูลแผนรายปี ค.ศ. (มม.)														
			2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529
58022	ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่	กรมอุตุนิยมวิทยา	-	-	-	2011.6	-	1452.9	1567.6	1604.7	1192.7	1805.1	1837.1	2383.0	1936.8	856.4	1645.8
58102	ที่ว่าการอำเภอสะเตดา	กรมอุตุนิยมวิทยา	-	-	-	1488.4	1162.8	1079.5	-	168.6	-	1322.9	1554.8	1155.3	1149.8	818.7	
58112	สถานีตรวจอากาศเกษตรหลวง	กรมอุตุนิยมวิทยา	1807.5	2294.9	2063.7	2802.7	2260.8	1552.6	1413.1	1692.3	1995.2	1938.5	1658.6	1942.7	2153.6	1517.8	2000.9
58210	โครงการชลประทานคลองวาด	กรมชลประทาน	-	-	-	-	1955.4	1063.1	1108.6	1563.6	1647.5	1657.8	1382.1	2315.7	1567.5	1296.7	1383.1
58232	ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม	กรมอุตุนิยมวิทยา	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2118.9	1143.6	1480.2	1933.2	
58320	โครงการชลประทานคลองจำไทร-หอยโข่ง	กรมชลประทาน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58332	สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่	กรมอุตุนิยมวิทยา	-	1822.4	1565.2	1645.6	2032.7	1231.7	1262.6	1535.3	1691.8	1582.2	1684.4	1970.0	1652.5	1737.7	1555.6
58341	คลองอุตะเกา (X.173) บ้านคลองแงะ	กรมชลประทาน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	อำเภอหาดใหญ่																

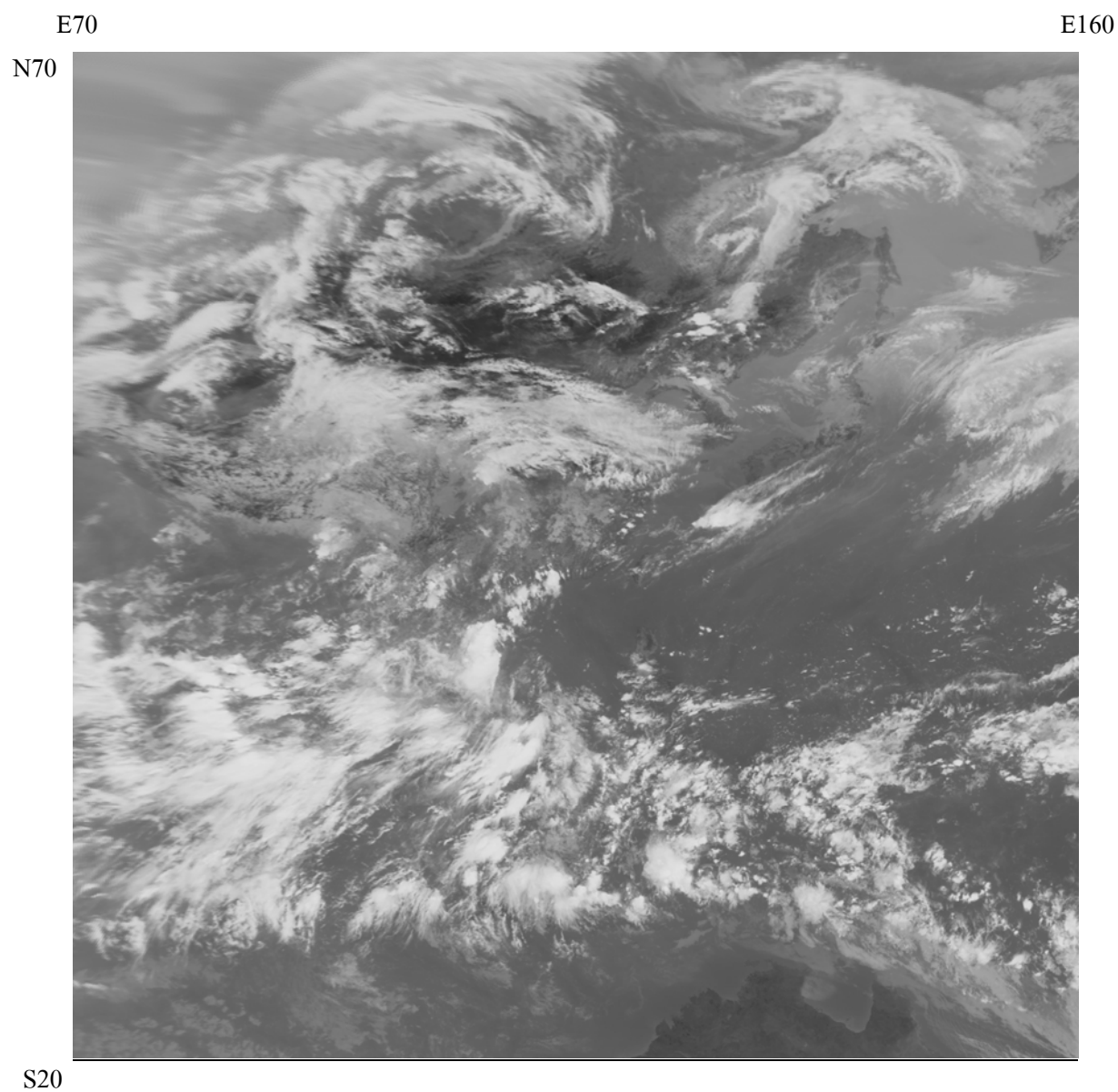
ตารางที่ 11 (ต่อ)

รหัส	สถานี	หน่วยงาน	ข้อมูลแผนรายปี ค.ศ. (มม.)															
			2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545
58022	ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่	กรมอุตุนิยมวิทยา	1525.9	1657.8	1137.8	1181.5	1446.3	1089.0	1884.4	1515.8	1612.1	1735.1	1313.5	1904.2	2420.7	1516.1	1788.3	360.8
58102	ที่ว่าการอำเภอสะเตงา	กรมอุตุนิยมวิทยา	852.7	1136.2	1101.6	976.6	1448.9	1238.0	1506.3	1495.7	455.9	-	1100.2	43.1	1436.7	2253.6	1848.1	1133.6
58112	สถานีตรวจอากาศเกษตรหองส์	กรมอุตุนิยมวิทยา	1910.3	2117.5	1294.1	1466.2	1478.3	1334.4	2355.8	1939.4	2126.6	1974.2	1925.2	2080.8	2792.8	2859.7	1985.9	580.0
58210	โครงการชลประทานคลองวาด	กรมชลประทาน	1675.9	1844.8	1236.2	1261.4	1969.6	1511.1	1874.5	1827.1	1855.8	2121.5	-	2006.8	1955.4	2742.5	1409.9	-
58232	ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม	กรมอุตุนิยมวิทยา	2021.6	2063.4	1627.3	1256.3	1443.5	1222.1	2214.0	2028.9	2184.2	1761.3	1769.8	1953.2	2584.0	2836.2	1838.0	936.0
58320	โครงการชลประทานคลอง จำไทร-หอยโข่ง	กรมชลประทาน	-	-	-	-	-	-	-	-	1375.5	1176.4	1604.8	1432.0	1962.4	2581.0	1296.8	-
58332	สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่	กรมอุตุนิยมวิทยา	1699.5	1902.3	1282.8	1167.9	1681.8	1186.9	1667.4	1828.9	1734.7	1864.3	1740.9	1419.0	2268.5	2754.1	1719.8	519.2
58341	คลองอู่ตะเภา (X.173) บ้านคลองแงะ	กรมชลประทาน	-	-	-	1295.6	1605.4	1507.1	1738.9	1461.7	1662.0	2218.3	1642.1	2245.3	2403.6	2584.0	1581.0	-
	อำเภอหาดใหญ่																	

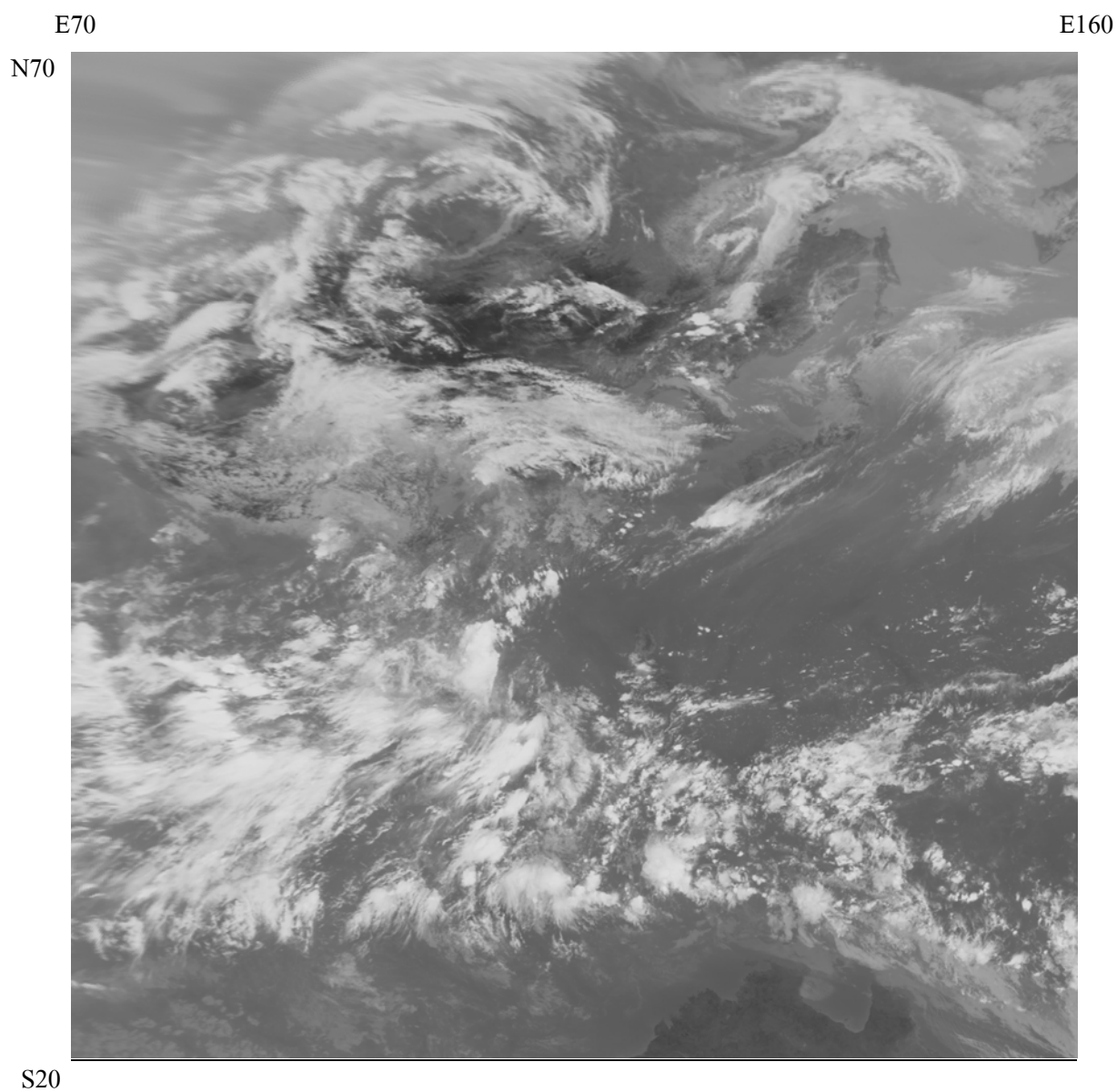
หมายเหตุ ตัวเลขที่มีเส้นตัดผ่านหมายถึง ข้อมูลฝนไม่สมบูรณ์

1.2 การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

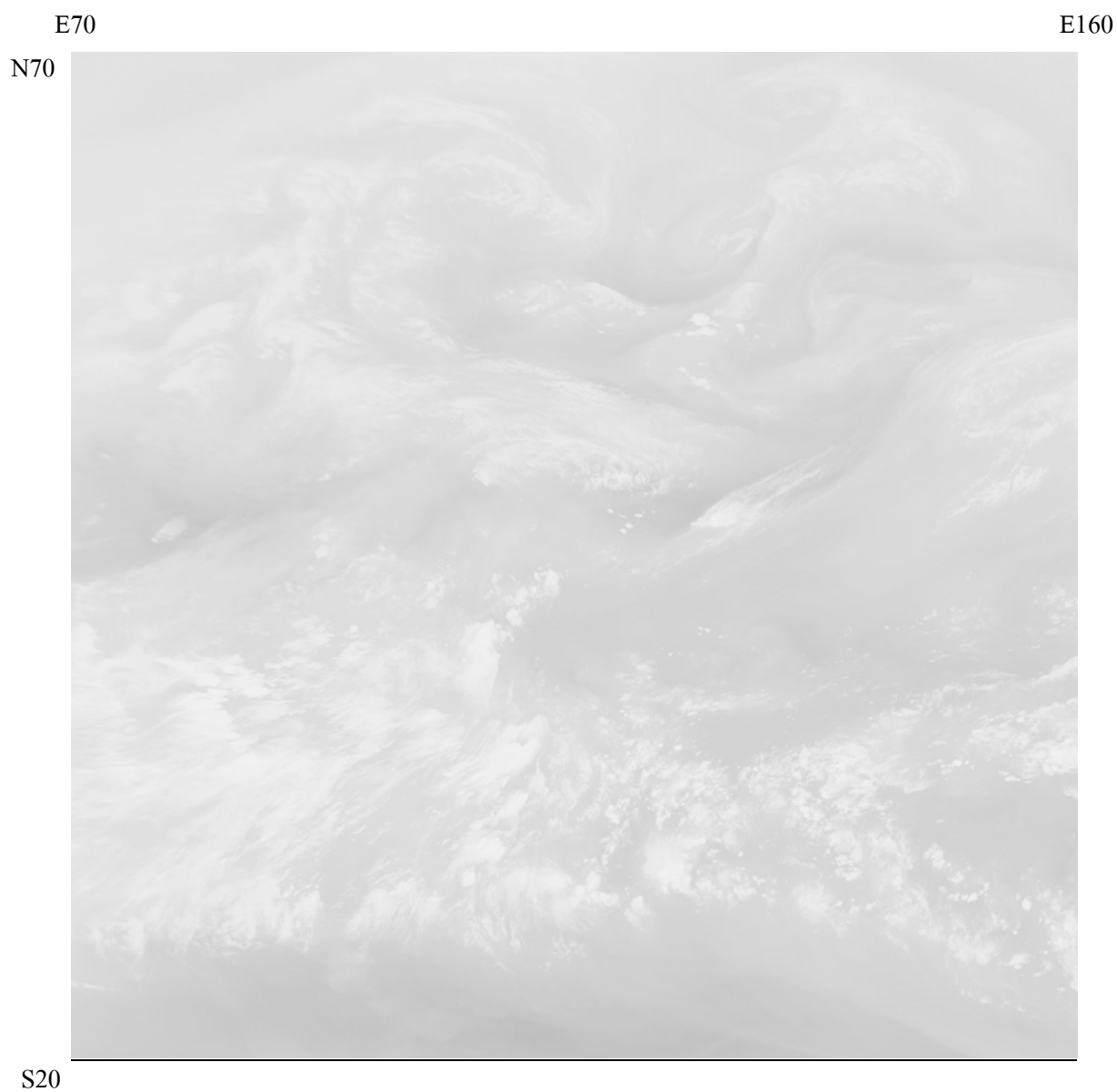
ผลการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมดจะประกอบด้วย ภาพถ่ายดาวเทียมจากช่องสัญญาณอินฟราเรด IR1, IR2, IR3 และช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ (VIS) ทุกชั่วโมง ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2543 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 และเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2544 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2545 แต่ละภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีช่วงพิกัดทางภูมิศาสตร์ทางด้านเหนือใต้ N70 - S20 และทางด้านตะวันออก-ตะวันตก E70 - E160 โดยที่ความละเอียดแต่ละพิกเซลในภาพถ่ายดาวเทียมเท่ากับ 1/20 องศา หรือ 3 ลิปดา ตัวอย่างของภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละช่องสัญญาณจะใช้ข้อมูลวันที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2543 เวลา 5.00 น. (GMT, Greenwich Mean Time) ซึ่งเวลาของประเทศไทยเร็วกว่าเวลามาตรฐานสากล 7 ชั่วโมง ดังนั้น ณ เวลาดังกล่าวเท่ากับเวลา 12.00 น.ของประเทศไทย เนื่องจากเป็นเวลาที่ช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ ปรากฏอย่างชัดเจน ภาพที่ 13 ถึงภาพที่ 16 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมของช่องสัญญาณ IR1, IR2, IR3 และช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ ตามลำดับ ภาพที่ 17 แสดงขอบเขตทั้งหมดที่สามารถเก็บภาพได้ และขอบเขตพื้นที่ศึกษาของดาวเทียม GMS-5 และภาพที่ 18 แสดงขอบเขตทั้งหมดที่สามารถเก็บภาพได้ของดาวเทียม GMS-5 มีช่วงพิกัดทางภูมิศาสตร์ทางด้านเหนือใต้ N70 - S70 และทางด้านตะวันออก-ตะวันตก E70 - W150 เพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้นในขอบเขตพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ภาพที่ 19 แสดงพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแผนที่โลก เพื่อแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของโลกทั้งหมด



ภาพที่ 13 แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณ IR1 วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ในประเทศไทย
ที่มา: มหาวิทยาลัยโคชิ (2545)



ภาพที่ 14 แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณ IR2 วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ในประเทศไทย
ที่มา: มหาวิทยาลัยโคชิ (2545)



ภาพที่ 15 แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณ IR3 (Water Vapour) วันที่ 1 มิถุนายน
พ.ศ.2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ประเทศไทย
ที่มา: มหาวิทยาลัยโคชิ (2545)

E70

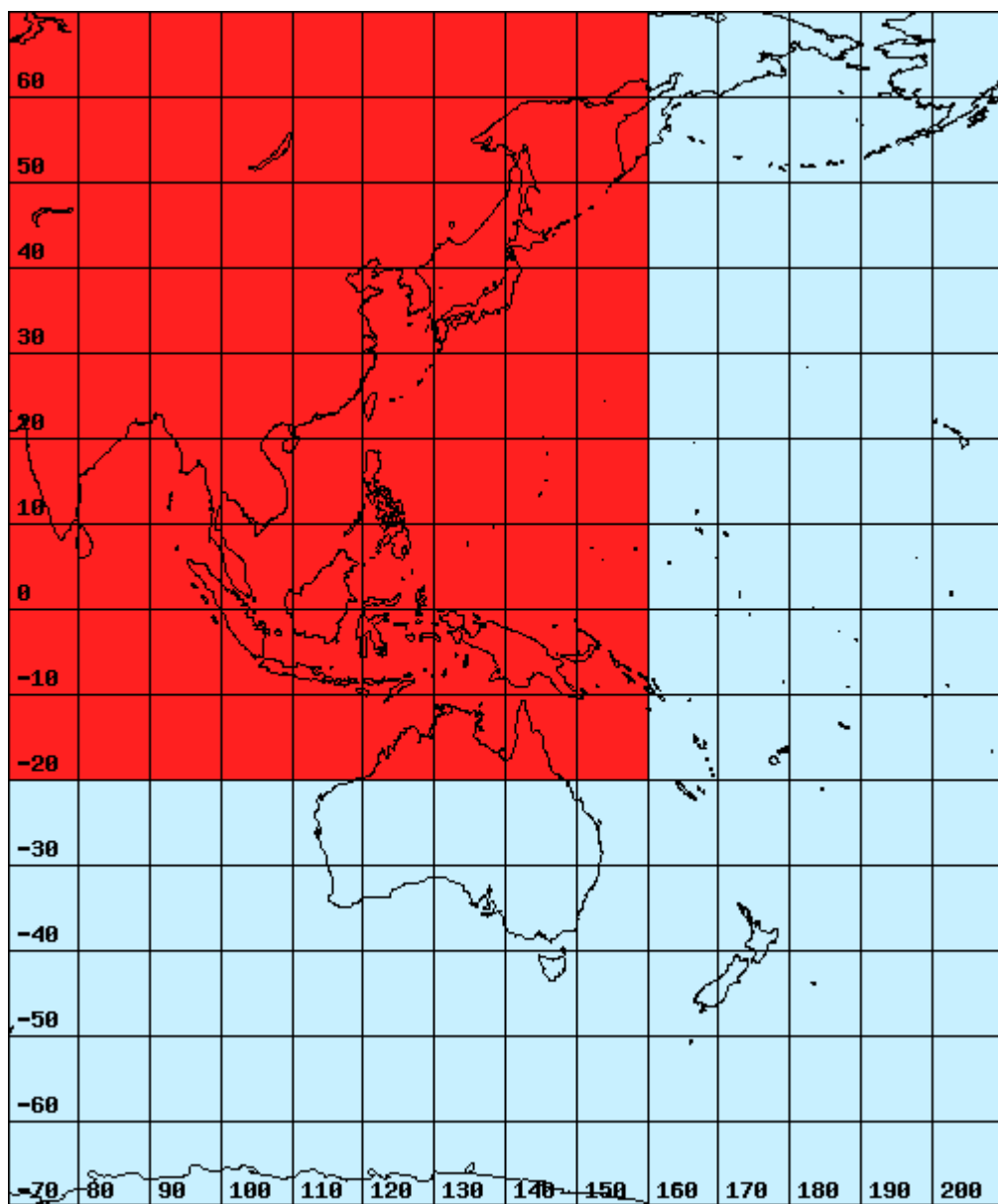
E160

N70



S20

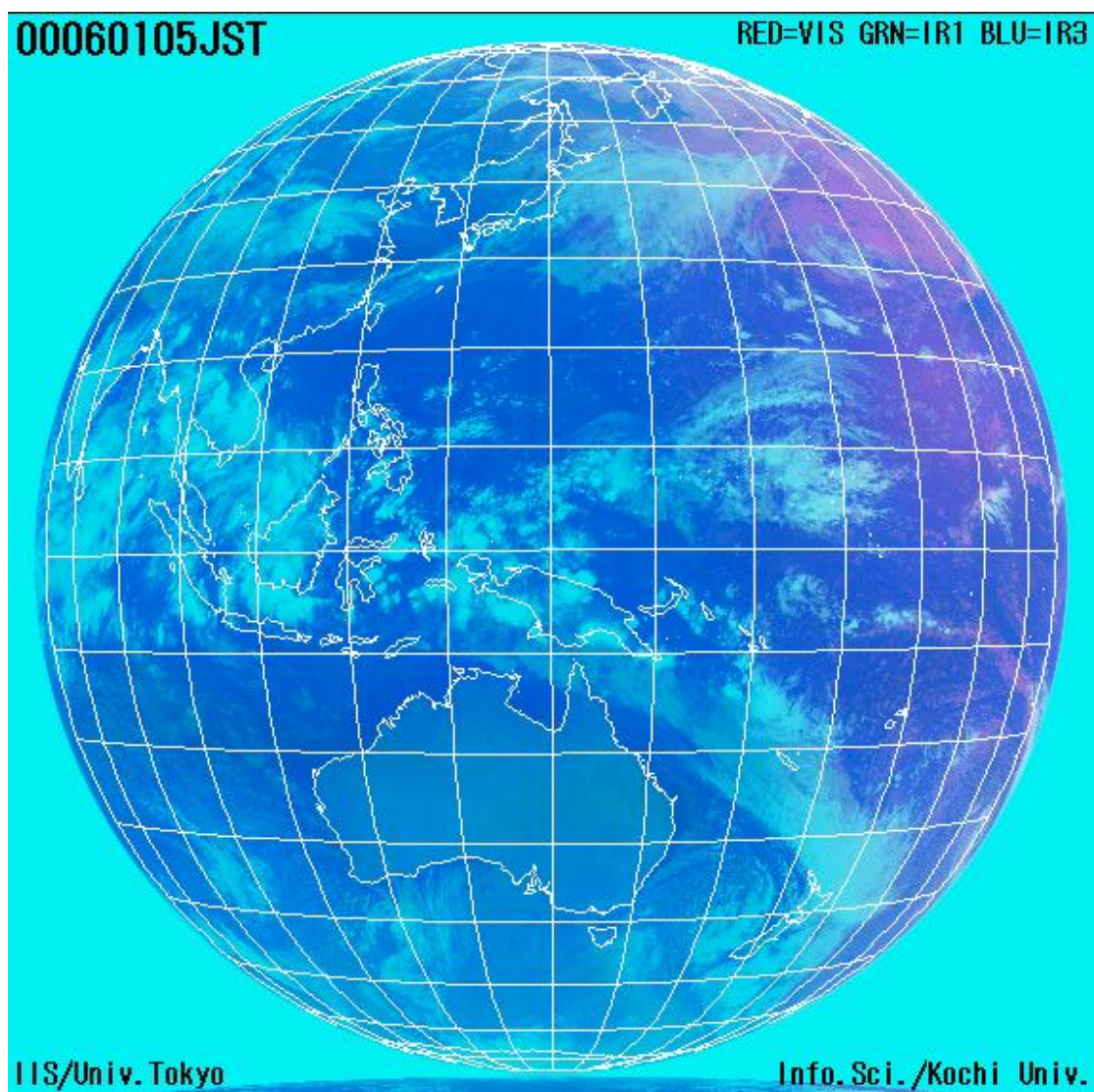
ภาพที่ 16 แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 ช่องสัญญาณที่มองเห็นได้ (VIS) วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.
2543 เวลา 5.00 น. (GMT) หรือ 12.00 น.ประเทศไทย
ที่มา: มหาวิทยาลัยโคชิ (2545)



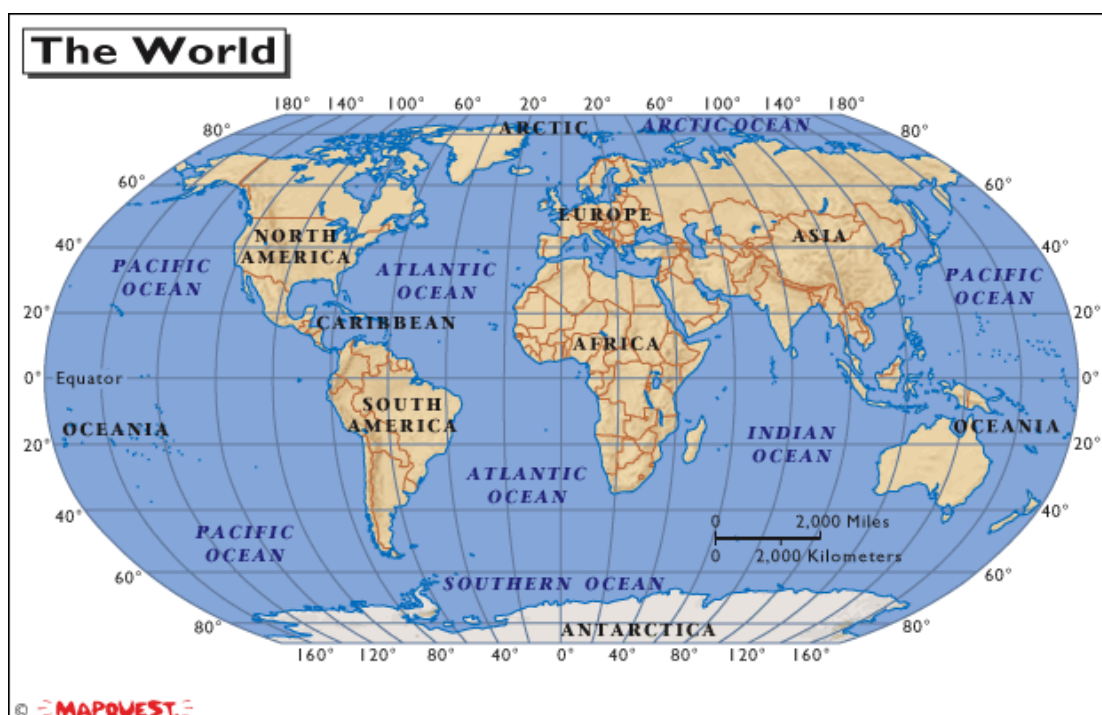
E180 or W180
W170
W160
W150

ภาพที่ 17 แสดงขอบเขตทั้งหมดที่สามารถเก็บภาพได้ และขอบเขตพื้นที่ศึกษาของดาวเทียม
GMS-5

ที่มา: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย (2545)



ภาพที่ 18 แสดงขอบเขตทั้งหมดที่สามารถเก็บภาพได้ ของดาวเทียม GMS-5
ที่มา: มหาวิทยาลัยโคชิ (2545)



ภาพที่ 19 แสดงพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแผนที่โลก

ที่มา: มหาวิทยาลัยโคชิ (2545)

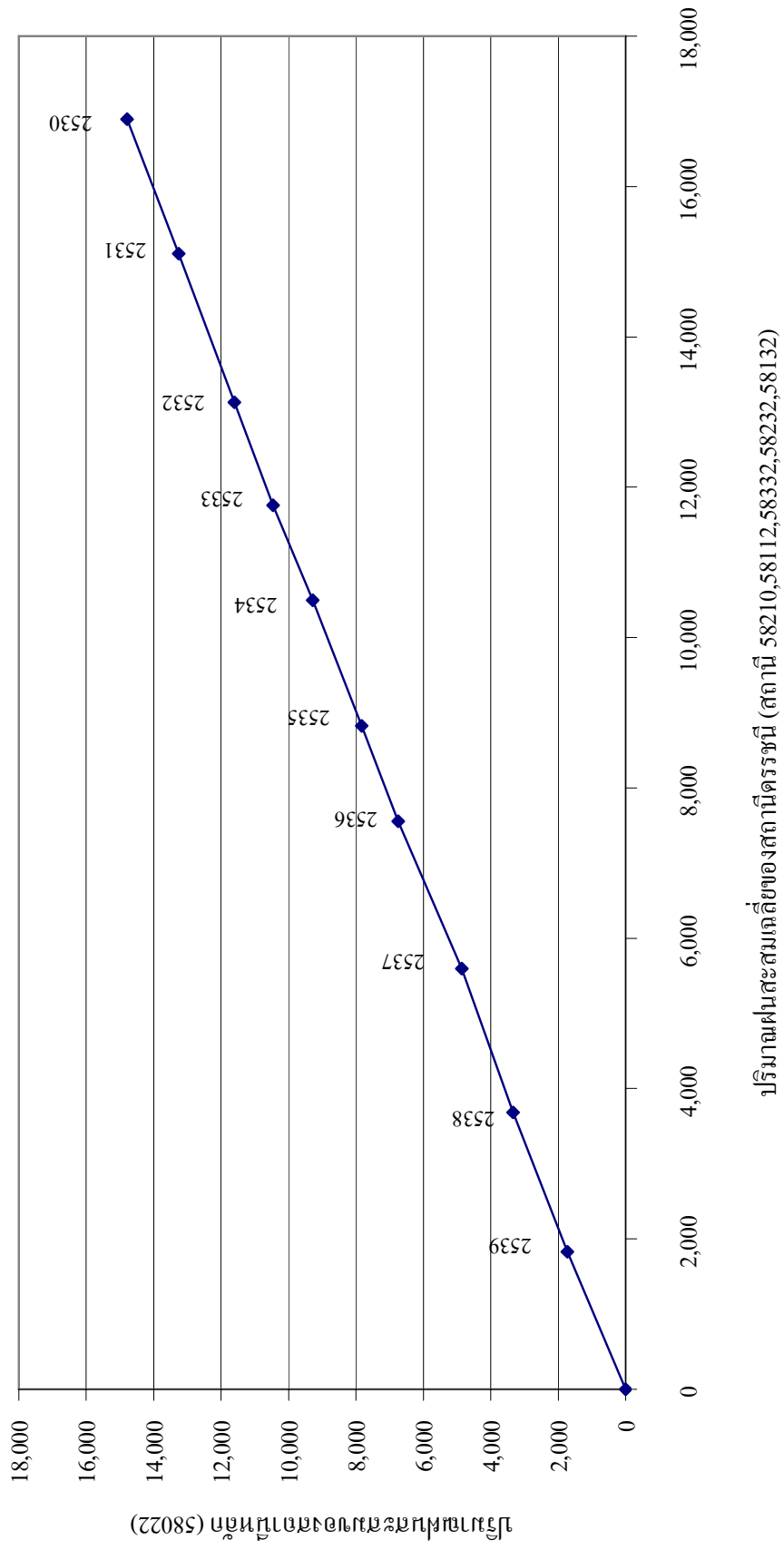
2. การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล (consistency checking) และการคัดเลือกสถานีวิัดน้ำฝน ตัวแทน

จากตารางที่ 11 พบว่าช่วงข้อมูลที่สามารถนำมาทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือได้ (consistency) อยู่ระหว่างปี พ.ศ. 2533 ถึงปี พ.ศ. 2539 เป็นอย่างน้อย สถานี 58102 อำเภอสะเตา ของกรมอุตุนิยมวิทยา และสถานี 58320 คลองจำเริญ-หอยโข่ง ของกรมชลประทาน จึงถูกคัดออกจากการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอในช่วงดังกล่าว ดังนั้นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้เพียง 6 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวิัดน้ำฝนของกรมชลประทาน 2 สถานี และสถานีวิัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 12

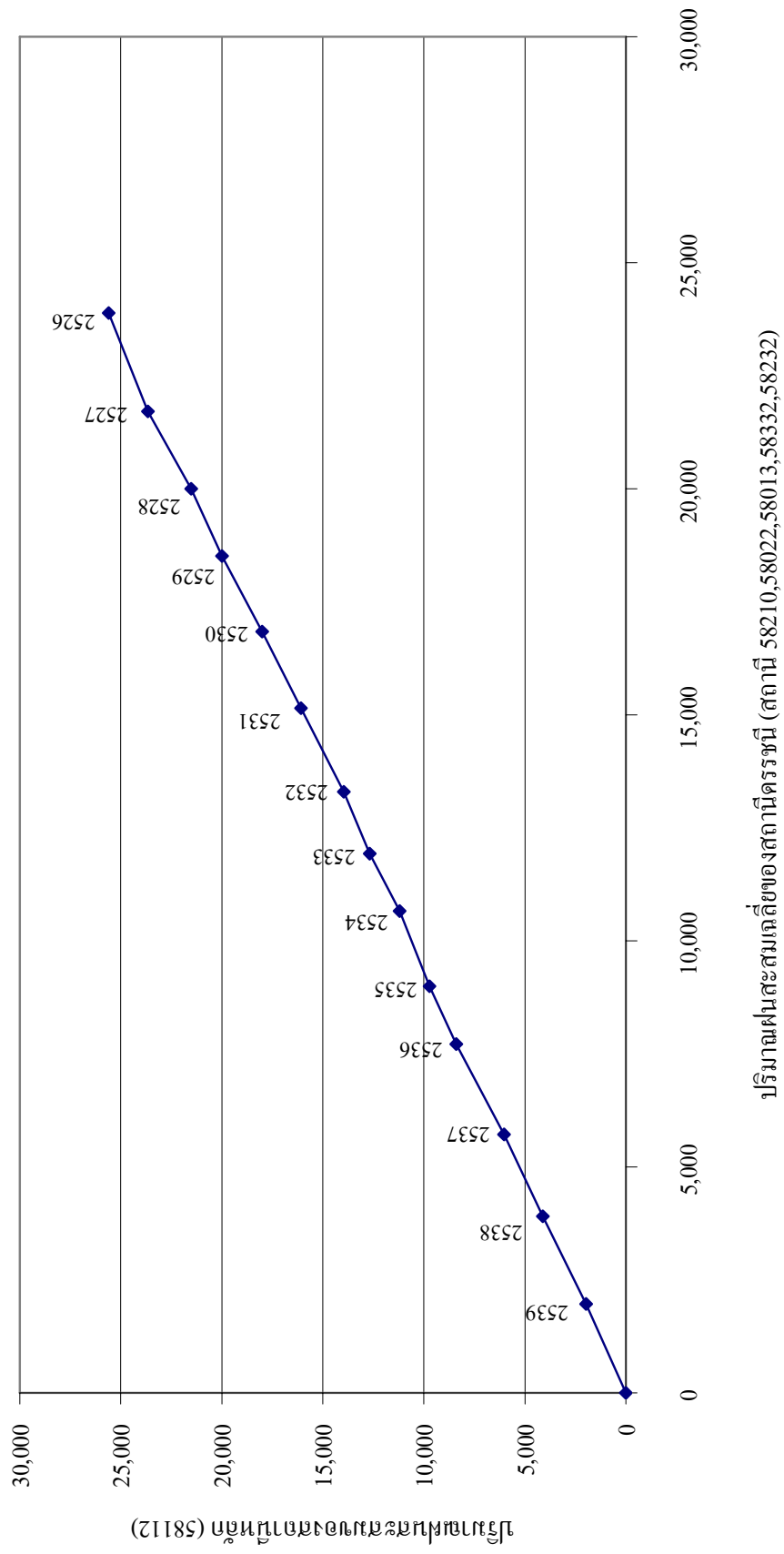
ตารางที่ 12 แสดงสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ

รหัส	ชื่อสถานี	เส้นรุ้ง(น.) Latitude	เส้นแวง(อ.) Longitude	หน่วยงาน
58022	ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่	07-00-03	100-27-40	กรมอุตุนิยมวิทยา
58112	สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์	07-00-50	100-30-00	กรมอุตุนิยมวิทยา
58210	โครงการชลประทานคลองวาด	07-00-34	100-26-14	กรมชลประทาน
58232	ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม	06-58-30	100-33-27	กรมอุตุนิยมวิทยา
58332	สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่	06-55-00	100-24-25	กรมอุตุนิยมวิทยา
58341	คลองอุตะเถา (X.173) บ้านคลองแงะ อำเภอหาดใหญ่	06-47-44	100-26-46	กรมชลประทาน

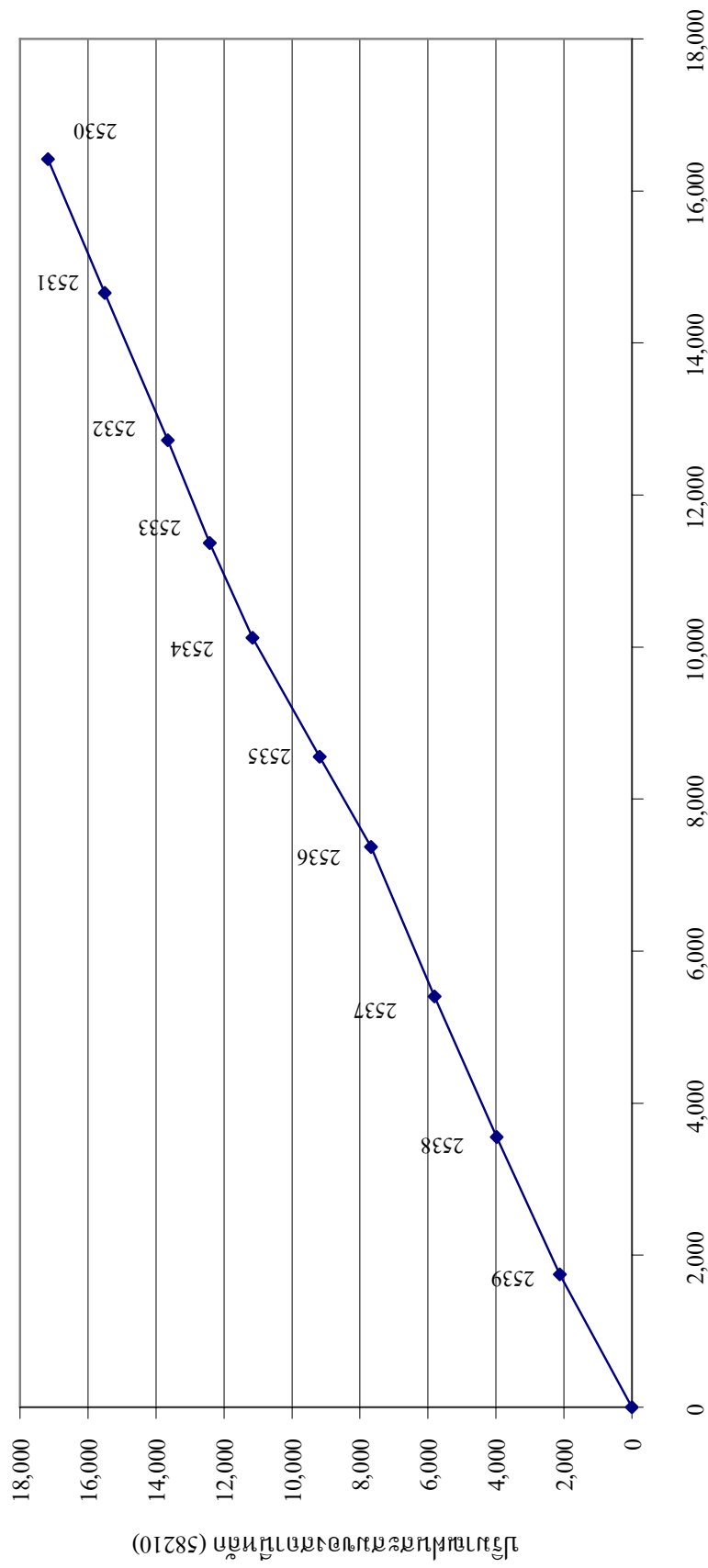
สรุปได้ว่า สถานีที่ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้เป็นสถานีวัดน้ำฝนตัวแทน มีทั้งหมด 6 สถานี ซึ่งจะได้นำไปใช้ในการเปรียบเทียบ, วิเคราะห์ และหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต่อไป ส่วนกราฟที่ใช้ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแต่ละสถานีได้แสดงไว้ในภาพที่ 20 ถึงภาพที่ 25



ภาพที่ 20 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58022 (ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่)

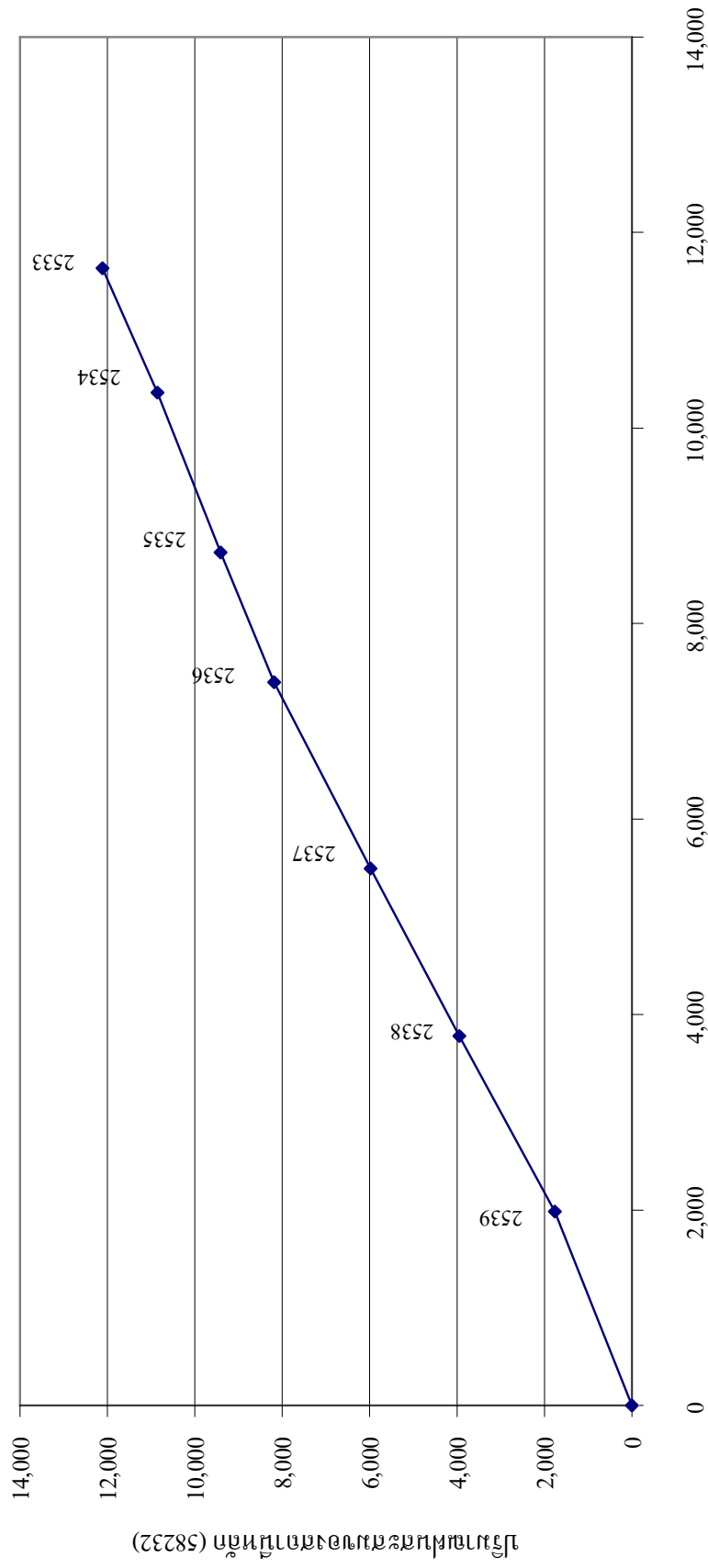


ภาพที่ 21 DOUBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58112 (สถานีตรวจอากาศเกษตร-คองหงส์)



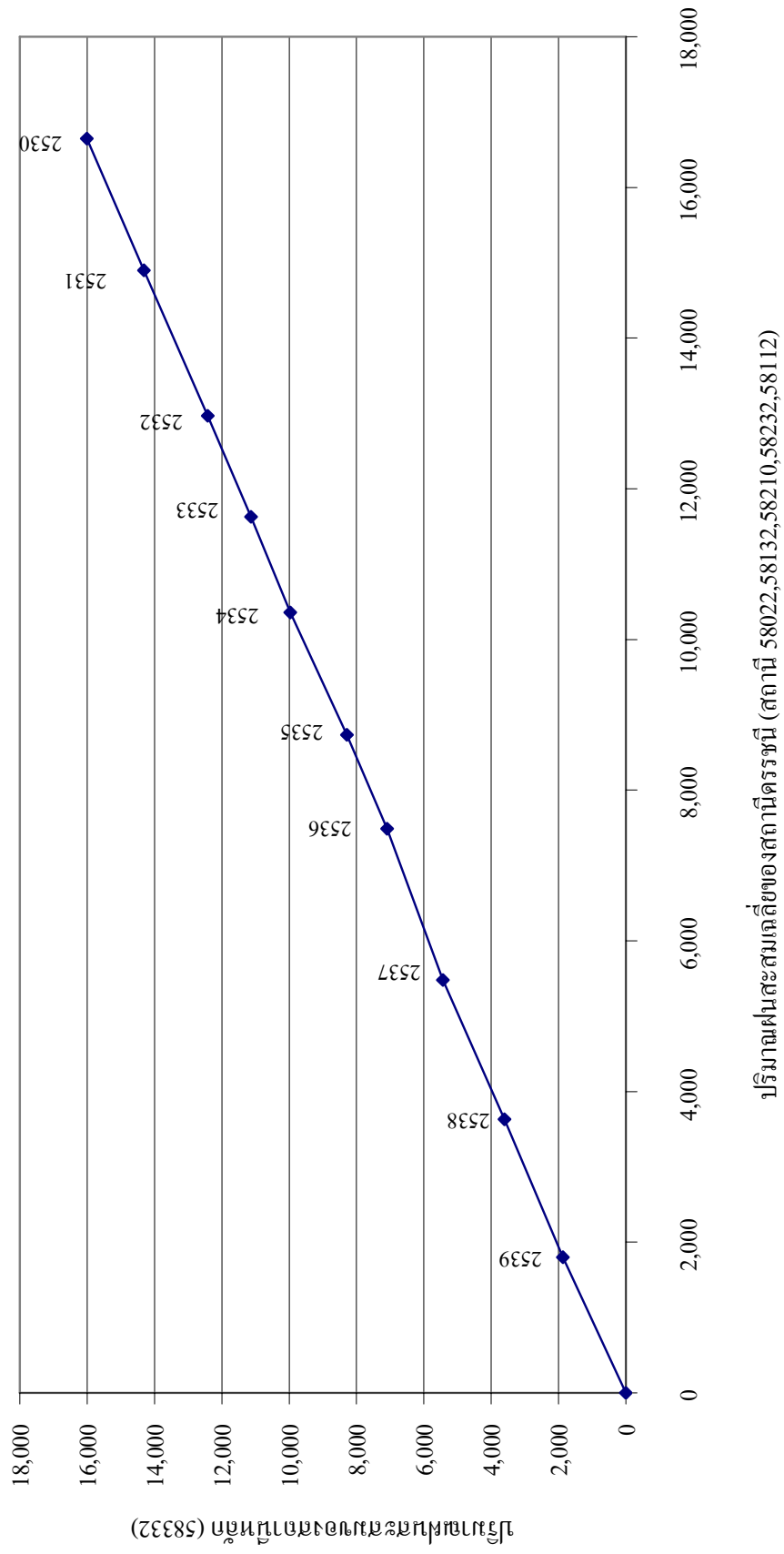
ปริมาณสะสมเฉลี่ยของสถานีตรรชนี (สถานี 58022,58112,58232,58132,58332)

ภาพที่ 22 DOUBBLE MASS CURVE ของแผนที่สถานี 58210 (โครงการชลประทานคลองวาด)

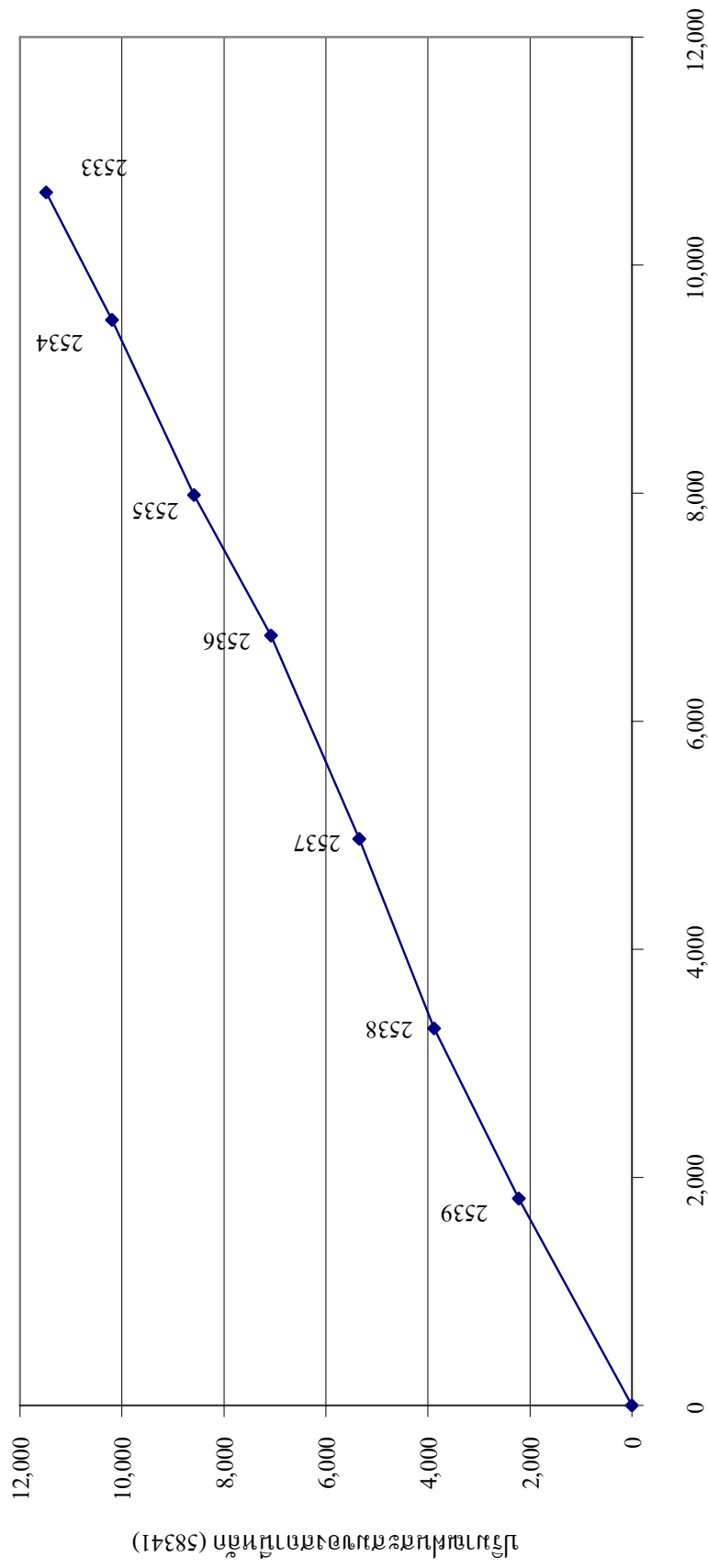


ปริมาณสะสมเฉลี่ยของสถานีตรวจนี้ (สถานี 58332, 58341, 58022, 58210, 58112)

ภาพที่ 23 DOUBBLE MASS CURVE ของพื้นที่สถานี 58232 (ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม)



ภาพที่ 24 DOUBLE MASS CURVE ของแผนที่สถานี 58332 (สถานีวัดน้ำฝนสามบินหาดใหญ่)



ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยของสถานีตรวจน้ำ (สถานี 58022, 58102, 58221, 58332, 58232)

ภาพที่ 25 DOUBBLE MASS CURVE ของฝนที่สถานี 58341 (คลองอุตะเกา (X.173) บ้านคลองแวง อำเภอนาดใหญ่)

3. การแปลงค่าพิกัดตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนเพื่อใช้ในภาพถ่ายดาวเทียม

ตารางที่ 13 แสดงผลลัพธ์การแปลงค่าพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geo-coordinate) ของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนตัวแทน

ตารางที่ 13 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งพิกเซลของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนบนภาพถ่ายดาวเทียม

รหัส	ชื่อสถานี	X	Y	เส้นรุ้ง(น.)	เส้นแวง(อ.)	หน่วยงาน
				Latitude	Longitude	
58022	ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่	609	1259	07-00-03	100-27-40	กรมอุตุนิยมวิทยา
58112	สถานีตรวจอากาศเกษตรคอหงส์	609	1259	07-00-50	100-30-00	กรมอุตุนิยมวิทยา
58210	โครงการชลประทานคลองวาด	608	1259	07-00-34	100-26-14	กรมชลประทาน
58232	ที่ว่าการอำเภอนาหม่อม	611	1260	06-58-30	100-33-27	กรมอุตุนิยมวิทยา
58332	สถานีวัดน้ำฝนสนามบินหาดใหญ่	608	1261	06-55-00	100-24-25	กรมอุตุนิยมวิทยา
58341	คลองอู่ตะเภา (X.173) บ้านคลองแงะ อำเภอหาดใหญ่	608	1264	06-47-44	100-26-46	กรมชลประทาน

4. การแปลงค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตามตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทน

ตารางที่ 14 ได้แสดงตัวอย่างตารางค่าอุณหภูมิที่ได้จากการแปลงค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในที่นี้ได้แสดงข้อมูลในตารางเพียง 1 วัน เนื่องจากข้อมูลมีเป็นจำนวนมาก และสามารถดูข้อมูลทั้งหมดได้ในไฟล์ชื่อ t2000-n-pix.xls และ t2001-n-pix.xls ซึ่งภายในไฟล์เข้าไปในชื่อ 2000n-IR1, 2000n-IR2 และ 2000n-IR3 ตามลำดับของช่องสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยที่ขั้นตอน กระบวนการแปลงค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมนี้นี้มีความซับซ้อนยุ่งยาก และใช้เวลาเป็นอันมาก ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อปฏิบัติการในขั้นตอนนี้โดยเฉพาะ ซึ่ง source code ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 14 แสดงตัวอย่างตารางค่าอุณหภูมิที่ได้จากการแปลค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

เวลามาตรฐาน GMT	เวลาในประเทศไทย		ชื่อไฟล์ภาพถ่ายดาวเทียม	58022	58112	58210	58232	58332	58341
1/06/2543 0:00 น.	1/06/2543 7:00 น.	0	GMS500060100IR1.pgm	248.358	248.358	248.358	258.529	253.273	251.206
1/06/2543 1:00 น.	1/06/2543 8:00 น.	1	GMS500060101IR1.pgm	274.825	274.825	274.825	264.782	275.875	267.686
1/06/2543 2:00 น.	1/06/2543 9:00 น.	2	GMS500060102IR1.pgm	270.378	270.378	270.930	287.545	291.194	286.612
1/06/2543 3:00 น.	1/06/2543 10:00 น.	3	GMS500060103IR1.pgm	265.244	265.244	268.127	269.813	269.255	283.753
1/06/2543 4:00 น.	1/06/2543 11:00 น.	4	GMS500060104IR1.pgm	278.301	278.301	278.301	266.972	264.645	261.025
1/06/2543 5:00 น.	1/06/2543 12:00 น.	5	GMS500060105IR1.pgm	304.669	304.669	304.269	300.612	300.612	289.349
1/06/2543 6:00 น.	1/06/2543 13:00 น.	6	GMS500060106IR1.pgm	286.072	286.072	289.766	283.212	295.945	275.684
1/06/2543 7:00 น.	1/06/2543 14:00 น.	7	GMS500060107IR1.pgm	295.933	295.933	295.933	276.711	282.717	277.226
1/06/2543 8:00 น.	1/06/2543 15:00 น.	8	GMS500060108IR1.pgm	283.198	283.198	286.526	271.945	282.227	280.752
1/06/2543 9:00 น.	1/06/2543 16:00 น.	9	GMS500060109IR1.pgm	269.743	269.743	267.489	262.801	251.845	254.562
1/06/2543 10:00 น.	1/06/2543 17:00 น.	10	GMS500060110IR1.pgm	265.810	265.810	265.810	264.639	254.607	263.450
1/06/2543 11:00 น.	1/06/2543 18:00 น.	11	GMS500060111IR1.pgm	273.683	273.683	268.179	273.147	270.421	269.866
1/06/2543 12:00 น.	1/06/2543 19:00 น.	12	GMS500060112IR1.pgm	261.657	261.657	259.801	265.835	264.071	263.475
1/06/2543 13:00 น.	1/06/2543 20:00 น.	13	GMS500060113IR1.pgm	242.354	242.354	242.354	246.946	244.688	256.657
1/06/2543 14:00 น.	1/06/2543 21:00 น.	14	GMS500060114IR1.pgm	236.475	236.475	236.475	238.177	237.332	243.038
1/06/2543 15:00 น.	1/06/2543 22:00 น.	15	GMS500060115IR1.pgm	235.633	235.633	233.859	236.502	233.859	238.205
1/06/2543 16:00 น.	1/06/2543 23:00 น.	16	GMS500060116IR1.pgm	230.150	230.150	234.749	231.098	236.498	236.498
1/06/2543 17:00 น.	2/06/2543 0:00 น.	17	GMS500060117IR1.pgm	229.207	229.207	231.117	232.051	236.518	240.696
1/06/2543 18:00 น.	2/06/2543 1:00 น.	18	GMS500060118IR1.pgm	224.156	224.156	224.156	239.070	235.663	233.890
1/06/2543 19:00 น.	2/06/2543 2:00 น.	19	GMS500060119IR1.pgm	233.896	233.896	232.071	238.240	242.315	245.409
1/06/2543 20:00 น.	2/06/2543 3:00 น.	20	GMS500060120IR1.pgm	237.397	237.397	242.319	236.540	248.376	255.304
1/06/2543 21:00 น.	2/06/2543 4:00 น.	21	GMS500060121IR1.pgm	241.517	241.517	238.237	239.072	251.914	250.517
1/06/2543 22:00 น.	2/06/2543 5:00 น.	22	GMS500060122IR1.pgm	228.233	228.233	230.175	235.655	234.774	239.887
1/06/2543 23:00 น.	2/06/2543 6:00 น.	23	GMS500060123IR1.pgm	223.087	223.087	223.087	229.223	225.206	229.223

5. การวิเคราะห์เปรียบเทียบ และการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

5.1 การหาค่าของช่วงเวลาอุณหภูมิเมฆเย็น (CCD) ที่จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆ

การหาค่าช่วงอุณหภูมิเมฆเย็นที่จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่าง ๆ สามารถทำได้โดยการสร้างตารางค่าช่วงอุณหภูมิเมฆเย็นของแต่ละวัน ณ จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้ได้ทำการตรวจสอบในช่วงจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระหว่าง 220 – 250 เคลวิน ซึ่งก็ได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาสนับสนุนในกระบวนการนี้ดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งขั้นตอนปฏิบัติของโปรแกรมนั้นจะเริ่มด้วย

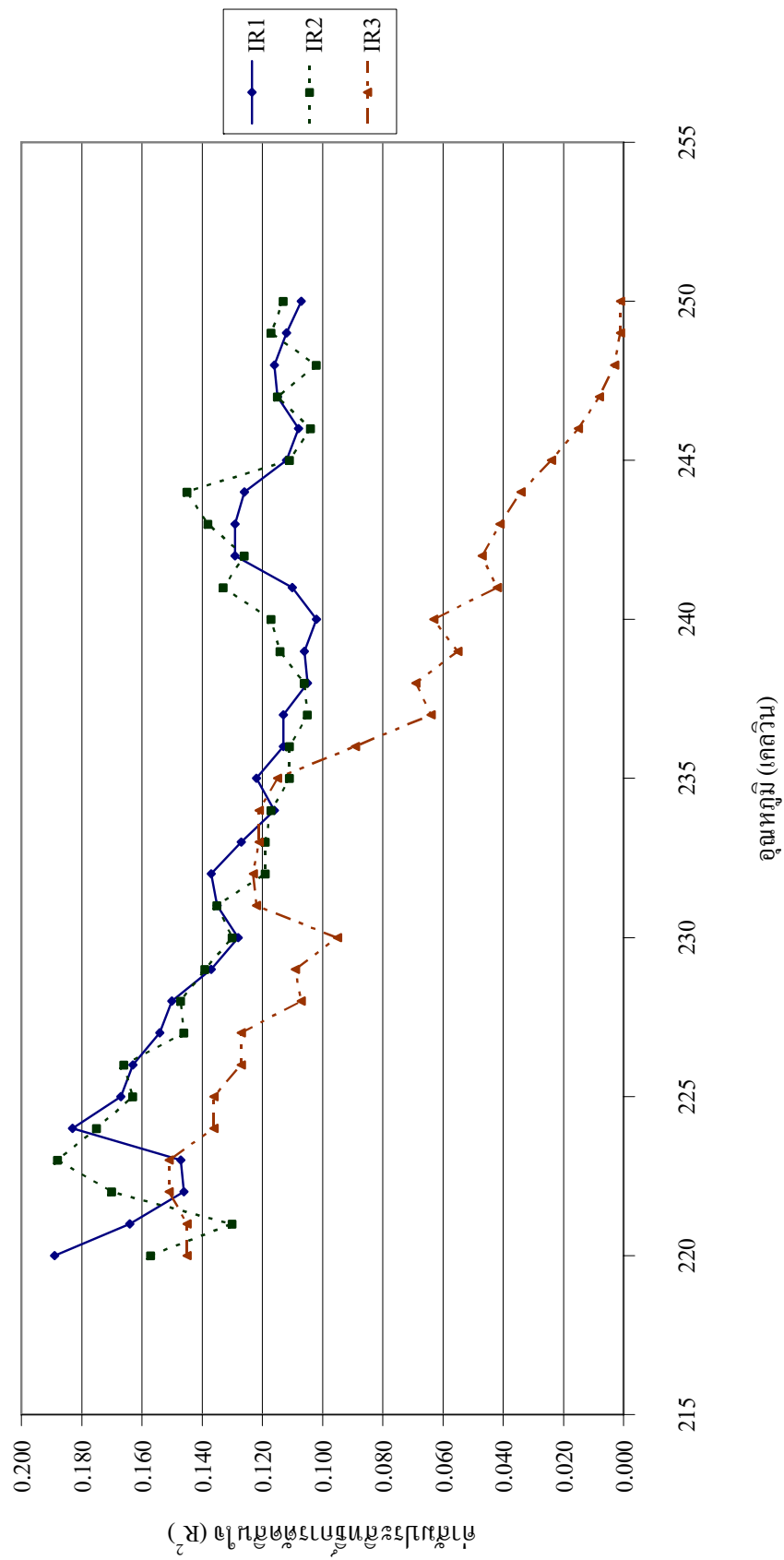
5.2 การหาค่าจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

การหาค่าจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา สามารถทำได้โดยการใช้ตารางค่าช่วงอุณหภูมิเมฆเย็น ณ จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่าง ๆ มาทำการตรวจสอบโดยมีเงื่อนไข $CCD > 0$ และ $Rain \geq 35$ มม. เป็นเกณฑ์พื้นฐานในการตรวจสอบ เหตุที่ใช้ค่าฝนมากกว่า 35 มม.เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบก็เนื่องมาจากปริมาณฝนที่นำมาใช้นี้ถือว่าเป็นฝนหนักซึ่งสามารถทำให้เกิดอุทกภัยได้ โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบคือ นำค่าช่วงอุณหภูมิเมฆเย็นที่ได้จากการประมวลผลที่แต่ละอุณหภูมิ มาเปรียบเทียบกับค่าฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน แล้วทำการคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่ถูกต้องตรงตามเงื่อนไข แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลโดยใช้หลักสถิติโดยการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ในรูปแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression Model) เพื่อหาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ซึ่งก็คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอุณหภูมิเมฆเย็น (CCD) กับค่าฝน (Rain) ที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งก็จะได้ความสัมพันธ์ในแต่ละค่าจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 26

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ที่แต่ละจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตารางที่ 16 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 223 และ 234 เคลวิน มีความสัมพันธ์ของข้อมูลสูงกว่าในช่วงอุณหภูมิอื่นๆ แต่ยังไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม ซึ่งยากต่อการตัดสินใจเลือกค่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม

ตารางที่ 16 การหาจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

อุณหภูมิ	ช่องสัญญาณอินฟราเรด								
	IR1			IR2			IR3		
	N	R ²	Sig.	N	R ²	Sig.	N	R ²	Sig.
220	63	0.189	0.000	65	0.157	0.001	68	0.145	0.001
221	64	0.164	0.001	65	0.130	0.003	68	0.145	0.001
222	65	0.146	0.002	69	0.170	0.000	74	0.151	0.001
223	68	0.147	0.001	72	0.188	0.000	74	0.151	0.001
224	72	0.183	0.000	74	0.175	0.000	87	0.136	0.000
225	72	0.167	0.000	78	0.163	0.000	87	0.136	0.000
226	75	0.163	0.000	80	0.166	0.000	92	0.127	0.000
227	78	0.154	0.000	83	0.146	0.000	92	0.127	0.000
228	82	0.150	0.000	84	0.147	0.000	95	0.107	0.001
229	82	0.137	0.001	85	0.139	0.000	96	0.109	0.001
230	83	0.128	0.001	85	0.130	0.001	101	0.095	0.002
231	85	0.135	0.001	88	0.135	0.000	107	0.122	0.000
232	87	0.137	0.000	90	0.119	0.001	108	0.123	0.000
233	88	0.127	0.001	91	0.119	0.001	113	0.121	0.000
234	89	0.116	0.001	92	0.117	0.001	115	0.121	0.000
235	90	0.122	0.001	94	0.111	0.001	115	0.115	0.000
236	91	0.113	0.001	94	0.111	0.001	118	0.089	0.001
237	94	0.113	0.001	98	0.105	0.001	120	0.064	0.005
238	96	0.105	0.001	100	0.106	0.001	123	0.069	0.003
239	97	0.106	0.001	103	0.114	0.000	126	0.055	0.008
240	97	0.102	0.001	104	0.117	0.000	127	0.063	0.005
241	101	0.110	0.001	106	0.133	0.000	130	0.042	0.019
242	103	0.129	0.000	106	0.126	0.000	131	0.047	0.013
243	105	0.129	0.000	106	0.138	0.000	131	0.041	0.020
244	106	0.126	0.000	106	0.145	0.000	131	0.034	0.036
245	108	0.112	0.000	109	0.111	0.000	131	0.024	0.075
246	108	0.108	0.001	112	0.104	0.001	131	0.015	0.165
247	109	0.115	0.000	114	0.115	0.000	131	0.008	0.321
248	110	0.116	0.000	115	0.102	0.001	131	0.003	0.541
249	114	0.112	0.000	117	0.117	0.000	131	0.001	0.729
250	114	0.107	0.000	118	0.113	0.000	131	0.001	0.764



ภาพที่ 26 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของการทดสอบหาจุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมแต่ละอุณหภูมิ

ดังนั้นจึงได้ทำการนำข้อมูลที่ประมาณได้จากสมการความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของแต่ละอุณหภูมิมาเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนที่เกิดขึ้นจริง เพื่อตรวจสอบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation of Residuals, S_y) เพิ่มเติมเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกค่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุดในการประมาณปริมาณฝน ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงในตารางที่ 17 โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2}{N}} \quad (6)$$

เมื่อ $(\Delta y_i)^2 = (y_i - y)^2$
 S_y = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation of Residuals)
 y_i = ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล (Observed Value)
 y = ข้อมูลที่ได้จากการใช้สมการคำนวณ
 N = จำนวนข้อมูลในชุดข้อมูลที่นำมาใช้ตรวจสอบ

ตารางที่ 17 แสดงการตรวจสอบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน

เงื่อนไข: CCD > 0 และ Rain >= 35

ช่องสัญญาณอินฟราเรด	ตัวแปร	อุณหภูมิ (เคลวิน)	
		223	224
IR1	N	68	72
	R^2	0.147	0.183
	Sig.	0.001	0.000
	S_y (mm.)	82.150	81.410
IR2	N	72	74
	R^2	0.188	0.175
	Sig.	0.000	0.000
	S_y (mm.)	81.530	80.83
IR3	N	74	87
	R^2	0.151	0.136
	Sig.	0.001	0.000
	S_y (mm.)	81.240	73.960

สำหรับการตรวจสอบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation of Residuals, S_y) เป็นการตรวจสอบว่าค่าการประมาณฝนที่ได้มาจากการคำนวณโดยสมการนั้นเบี่ยงเบนไปจากค่าฝนที่เกิดขึ้นจริงมากน้อยเพียงใด นั่นก็หมายความว่าถ้าค่า S_y ที่ได้จากการตรวจสอบมีค่าน้อยหมายถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณนั้นเมื่อทำการแทนค่าแล้วได้ค่าใกล้เคียงกับค่าของข้อมูลที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ ดังนั้นจากตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่า ณ อุณหภูมิ 224 เคลวิน เป็นจุดที่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 223 เคลวิน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum threshold temperature) ที่หาได้คือ ณ อุณหภูมิ 224 เคลวิน หรือเท่ากับอุณหภูมิ -49 องศาเซลเซียส

5.3 การตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแต่ละเงื่อนไขของปริมาณฝนที่กำหนด

ณ จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสม 224 เคลวิน จะใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) โดยใช้เงื่อนไขของปริมาณฝนที่กำหนดต่าง ๆ กัน เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขของปริมาณฝน ดังจะได้แสดงในตารางที่ 18 ซึ่งพบว่าในแต่ละเงื่อนไขค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าน้อย อยู่ในช่วงประมาณ 0-0.18 แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ทำกรตรวจสอบยังไม่ดีเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการประมาณปริมาณฝน ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือกข้อมูลบางส่วนที่กระจัดกระจายออกจากกลุ่มข้อมูลออกไป เพื่อให้ได้มาซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ดียิ่งขึ้น เพื่อที่จะสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปสร้างสมการที่ใช้ในการประมาณปริมาณฝนได้ถูกต้องมากขึ้นต่อไป

สำหรับแต่ละเงื่อนไขที่ใช้ในการตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น สาเหตุของการแบ่งช่วงของปริมาณฝนสามารถอธิบายได้ดังนี้ เงื่อนไข $0 < \text{Rain} < 20$, $20 < \text{Rain} < 35$; ใช้สำหรับหาความสัมพันธ์ของฝนที่ปริมาณน้อย หรือศึกษาเกี่ยวกับภัยแล้ง (drought) ซึ่งยังได้ความสัมพันธ์ที่ยังไม่ดีเท่าที่ควร สอดคล้องกับการศึกษาในอดีต, เงื่อนไข $\text{Rain} \geq 35$, $\text{Rain} \geq 40$; ใช้ศึกษาฝนตกหนักที่มีโอกาสเกิดน้ำท่วมขึ้นได้, เงื่อนไข $\text{Rain} \geq 50$ ถึง $\text{Rain} \geq 70$; ใช้ศึกษาในส่วน of ฝนตกหนัก และการเกิดธรณีพิบัติ ส่วนช่วงระหว่างปริมาณฝนที่ใช้ทดสอบต่าง ๆ นั้น เช่น ช่วง $40 < \text{Rain} < 50$ นั้น ไม่ได้นำมาสร้างเงื่อนไขในการศึกษาเพราะ เงื่อนไขลักษณะดังกล่าวไม่ได้ใช้สนับสนุนวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาใด ๆ

ตารางที่ 18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ณ จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสม 224 เคลวิน ภายใต้เงื่อนไขปริมาณฝนต่าง ๆ กัน

ช่องสัญญาณ				
เงื่อนไข	อินฟราเรด	N	R^2	Sig.
0<Rain<20	IR1	252	0.013	0.069
	IR2	277	0.006	0.198
	IR3	378	0.008	0.092
20<=Rain<35	IR1	59	0.037	0.142
	IR2	61	0.027	0.206
	IR3	77	0.000	0.973
Rain>=35	IR1	72	0.183	0.282
	IR2	74	0.175	0.000
	IR3	87	0.136	0.000
Rain>=40	IR1	60	0.174	0.001
	IR2	61	0.162	0.001
	IR3	74	0.150	0.001
Rain>=50	IR1	48	0.128	0.012
	IR2	49	0.130	0.011
	IR3	56	0.114	0.011
Rain>=60	IR1	37	0.108	0.047
	IR2	37	0.106	0.049
	IR3	43	0.106	0.033
Rain>=70	IR1	30	0.055	0.214
	IR2	30	0.055	0.055
	IR3	33	0.063	0.160

5.4 การปรับแก้ข้อมูลเพื่อให้ได้กลุ่มข้อมูลตัวแทนของความสัมพันธ์ที่ดีขึ้น

เนื่องจากกลุ่มของข้อมูลแต่ละเงื่อนไขที่นำมาใช้ในการตรวจสอบอาจจะมีบางส่วนที่กระจัดกระจายออกไปจากตำแหน่งของกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ไม่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการประมาณปริมาณฝน ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือกข้อมูลส่วนที่กระจัดกระจายออกไปจากกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ เพื่อให้เหลือเฉพาะกลุ่มข้อมูลที่สามารถใช้เป็นกลุ่มข้อมูลตัวแทนที่มีความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับที่สามารถนำไปใช้ในการประมาณปริมาณฝนได้อย่างถูกต้องพอสมควร ซึ่งมีขั้นตอนในการคัดเลือกข้อมูลดังต่อไปนี้

5.4.1 คำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลฝนจริงกับข้อมูลฝนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ เมื่อได้กลุ่มข้อมูลที่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว ข้อมูลบางส่วนยังคงกระจัดกระจายออกจากกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องคัดเลือกข้อมูลให้เหลือเพียงกลุ่มข้อมูลที่สามารถนำมาใช้เป็นกลุ่มข้อมูลตัวแทนได้ ขั้นตอนแรกของการคัดเลือกข้อมูลก็คือ ต้องหาค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลฝนจริงกับข้อมูลการประมาณฝนที่ได้จากสมการ จากนั้นนำค่าความแตกต่างข้อมูลมาจัดเรียง และทำการคัดเลือกข้อมูลที่มีค่าความแตกต่างมากกว่าข้อมูลส่วนใหญ่ออกไป ในที่นี้จะยกตัวอย่างกรณีที่ $Rain \geq 70$ และ $CCD_IR1 > 0$ มีค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลฝนจริงกับข้อมูลฝนที่ได้จากสมการ ($Rain_{diff}$) แสดงไว้ในตารางที่ 19

5.4.2 จัดเรียงข้อมูลค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลฝนจริงกับข้อมูลฝนที่ได้จากสมการ ($Rain_{diff}$) จากมากไปหาน้อยดังแสดงไว้ในตารางที่ 19

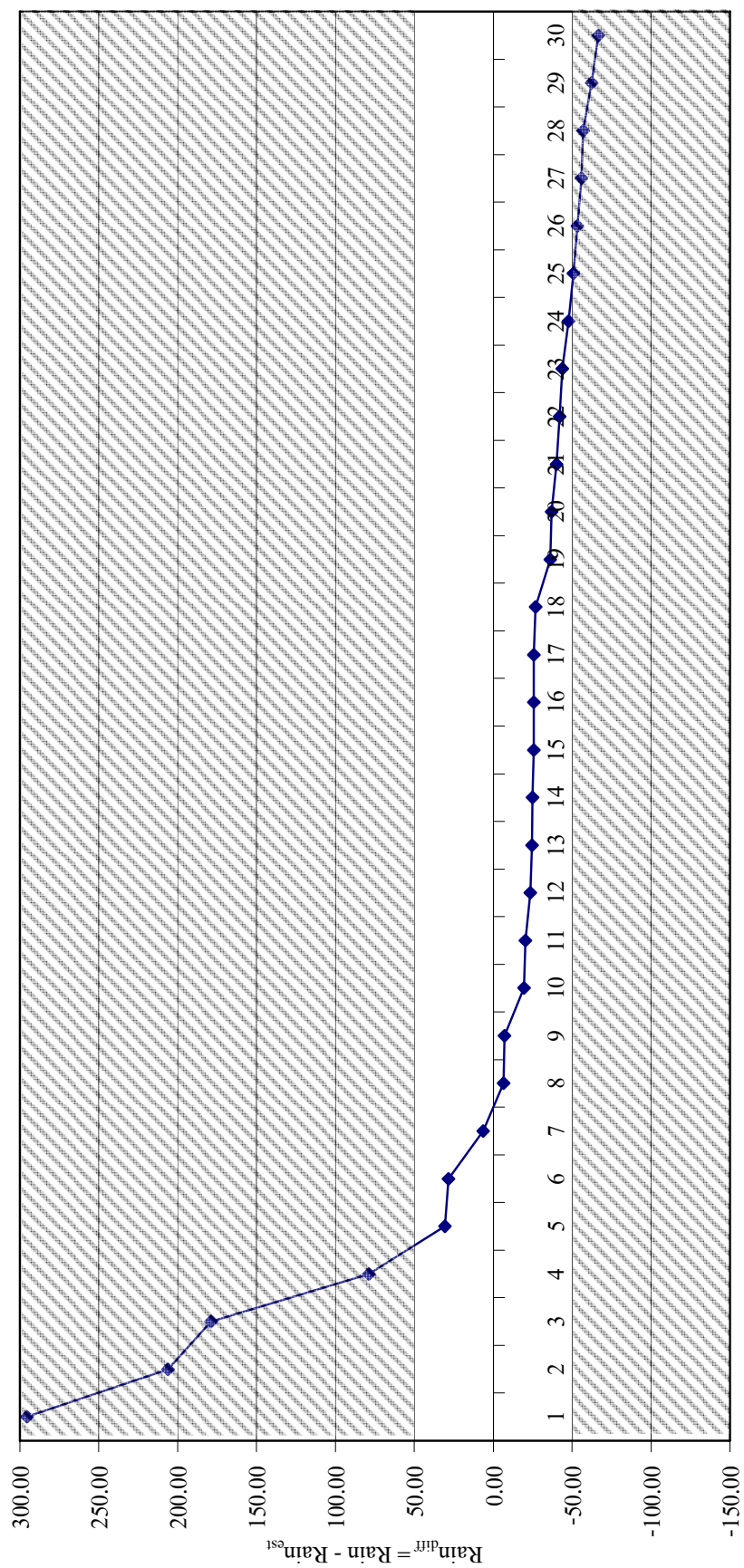
5.4.3 คัดเลือกข้อมูลส่วนที่กระจัดกระจายออกจากกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ ในที่นี้เลือกใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกข้อมูลจากค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลฝนจริงกับข้อมูลฝนที่ได้จากสมการ ($Rain_{diff}$) มากกว่า 50 และ น้อยกว่า -50 จะทำการคัดเลือกออกไปคงเหลือไว้เฉพาะข้อมูลในช่วง $-50 < Rain_{diff} < 50$ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 19 และภาพที่ 27 ส่วนของข้อมูลที่ถูกคัดเลือกออกไปก็คือ ส่วนที่อยู่ด้านบน และด้านล่างของเส้นประ ส่วนข้อมูลที่อยู่ระหว่างเส้นประนั้นใช้ในการตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลต่อไป

5.4.4 การตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในแต่ละกรณีอีกครั้ง พบว่ามีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลดีขึ้นเป็นอย่างมาก ดังแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ก่อนการคัดเลือกข้อมูล และภายหลังการคัดเลือกข้อมูลไว้ใน ตารางที่ 20

ตารางที่ 19 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าฝนจริงกับค่าการประมาณฝนจากสมการ

$$\text{Rain}_{\text{est}} = 97.337 + 3.722\text{CCD_IR1}$$

ลำดับ	CCD_IR1	Rain	Rain _{est}	Rain _{diff} = Rain - Rain _{est}
1	14	440.00	144.45	295.56
2	13	346.80	140.72	206.08
3	12	315.70	137.00	178.70
4	13	219.40	140.72	78.68
5	17	186.20	155.61	30.59
6	10	158.00	129.56	28.44
7	4	113.50	107.23	6.28
8	12	130.50	137.00	-6.50
9	3	96.30	103.50	-7.20
10	21	151.00	170.50	-19.50
11	20	146.30	166.78	-20.48
12	21	147.10	170.50	-23.40
13	18	134.70	159.33	-24.63
14	6	89.70	114.67	-24.97
15	12	111.30	137.00	-25.70
16	13	115.00	140.72	-25.72
17	4	81.50	107.23	-25.73
18	4	80.30	107.23	-26.93
19	11	97.10	133.28	-36.18
20	11	96.30	133.28	-36.98
21	10	89.40	129.56	-40.16
22	17	113.50	155.61	-42.11
23	6	70.80	114.67	-43.87
24	21	122.70	170.50	-47.80
25	9	74.90	125.84	-50.94
26	20	113.50	166.78	-53.28
27	13	84.70	140.72	-56.02
28	18	102.20	159.33	-57.13
29	11	70.80	133.28	-62.48
30	12	70.50	137.00	-66.50



ถ้าดับ

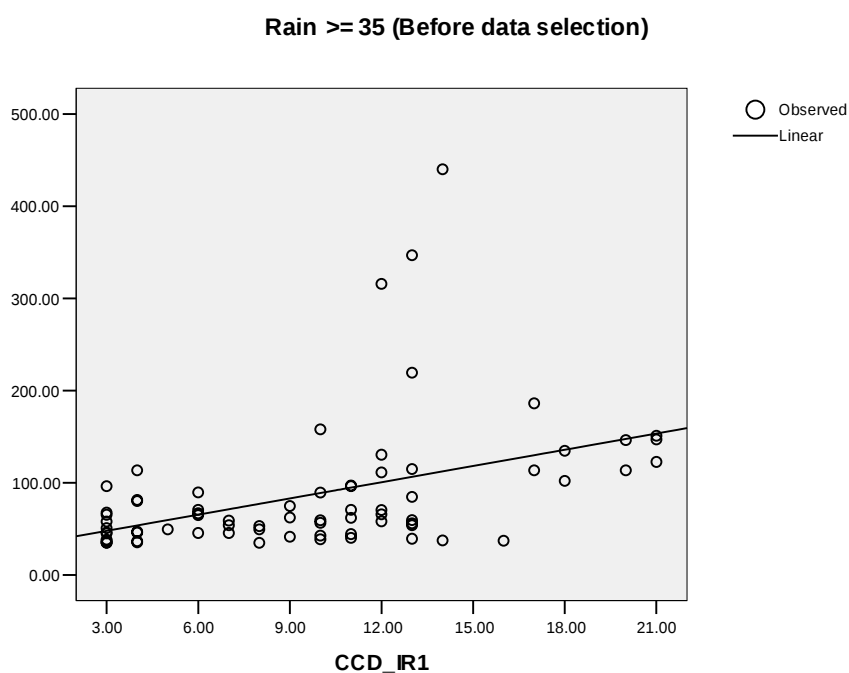
ภาพที่ 27 กราฟแสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าฝนจริงกับค่าการประมาณฝนจากสมการ $\text{Rain}_{\text{est}} = 97.337 + 3.722\text{CCD_IR1}$

ตารางที่ 20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ก่อนและหลังการคัดเลือกข้อมูล

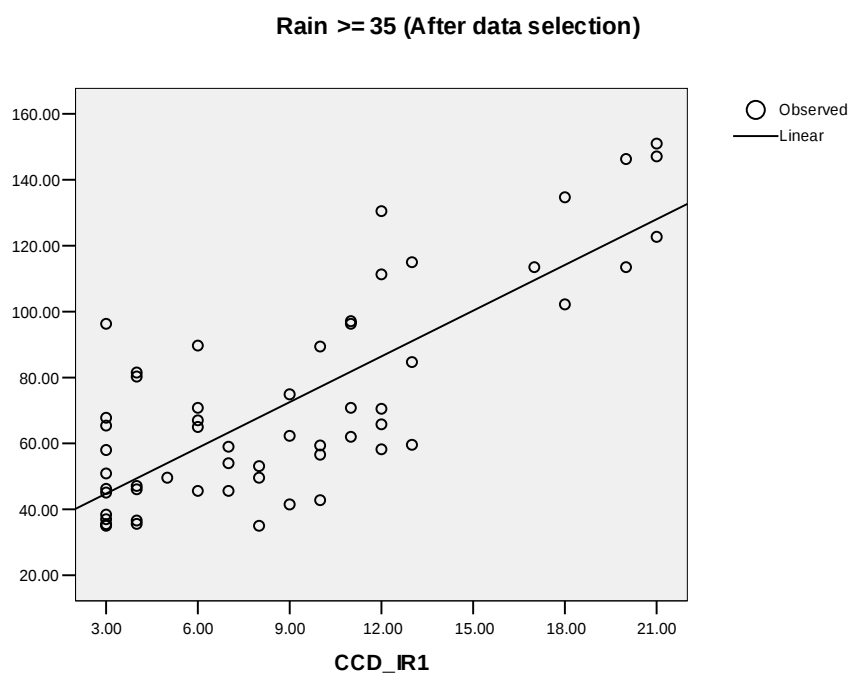
เงื่อนไข	ช่องสัญญาณ อินฟราเรด	ค่าความสัมพันธ์ก่อนการคัดเลือกข้อมูล					ค่าความสัมพันธ์หลังการคัดเลือกข้อมูล				
		N	R^2	Sig.	b_0	b_1	N	R^2	Sig.	b_0	b_1
0 < Rain < 20	IR1	252	0.013	0.069	4.692	0.189	-	-	-	-	-
	IR2	277	0.006	0.198	5.231	0.114	-	-	-	-	-
	IR3	378	0.008	0.092	5.225	0.1	-	-	-	-	-
20 <= Rain < 35	IR1	59	0.037	0.142	27.814	-0.239	-	-	-	-	-
	IR2	61	0.027	0.206	27.516	-0.192	-	-	-	-	-
	IR3	77	0	0.973	25.893	0.004	-	-	-	-	-
Rain >= 35	IR1	72	0.183	0.000	30.319	5.864	57	0.620	0.000	30.880	4.628
	IR2	74	0.175	0.000	29.003	5.630	60	0.641	0.000	23.960	5.042
	IR3	87	0.136	0.000	36.029	4.227	72	0.530	0.000	33.360	3.756
Rain >= 40	IR1	60	0.174	0.001	35.455	6.041	47	0.609	0.000	36.951	4.368
	IR2	61	0.162	0.001	33.962	5.814	56	0.680	0.000	27.544	5.098
	IR3	74	0.150	0.001	37.074	4.730	65	0.494	0.000	35.352	3.825
Rain >= 50	IR1	48	0.128	0.012	50.728	5.351	39	0.509	0.000	47.476	4.089
	IR2	49	0.130	0.011	45.666	5.480	39	0.545	0.000	43.208	4.292
	IR3	56	0.114	0.011	47.020	4.636	46	0.498	0.000	41.976	3.813
Rain >= 60	IR1	37	0.108	0.047	68.272	4.927	26	0.555	0.000	62.882	3.990
	IR2	37	0.106	0.049	65.308	4.974	26	0.581	0.000	58.821	4.130
	IR3	43	0.106	0.033	63.156	4.356	35	0.518	0.000	53.057	3.748
Rain >= 70	IR1	30	0.055	0.214	92.337	3.722	20	0.494	0.001	75.654	3.395
	IR2	30	0.055	0.214	90.669	3.727	20	0.564	0.000	71.791	3.582
	IR3	33	0.063	0.160	86.545	3.466	24	0.559	0.000	64.989	3.513

หมายเหตุ รูปแบบมาตรฐานของสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล คือ $Rain_{est} = b_0 + b_1 \cdot CCD$

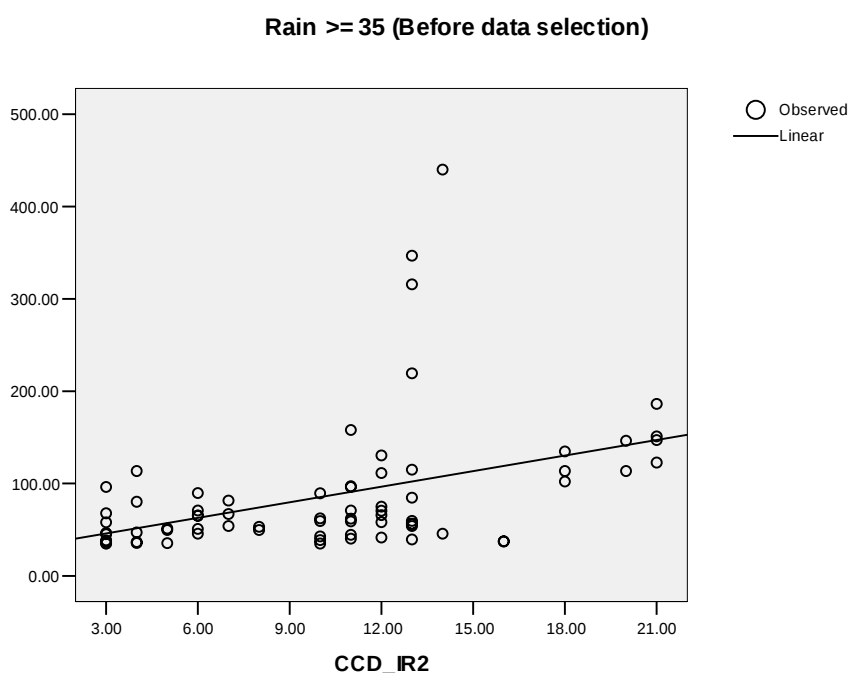
จากตารางที่ 20 พบว่าในกรณีที่ปริมาณฝนมีค่าน้อยกว่า 35 มม. มีความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ไม่ดีเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการประมาณปริมาณฝน ดังนั้นจึงเหลือเพียงเงื่อนไขที่ฝนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 35 มม. ที่ความสัมพันธ์ของข้อมูลพอใช้ได้ ภาพที่ 28 ถึง ภาพที่ 57 แสดงการเปรียบเทียบของข้อมูลก่อนการคัดเลือกข้อมูลและภาพหลังการคัดเลือกข้อมูลของแต่ละเงื่อนไข



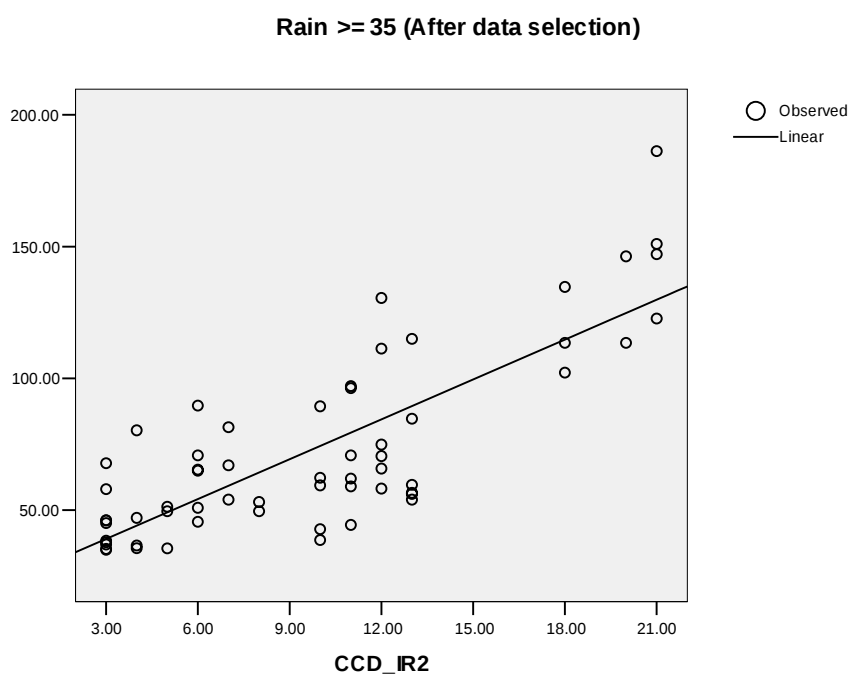
ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 35 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



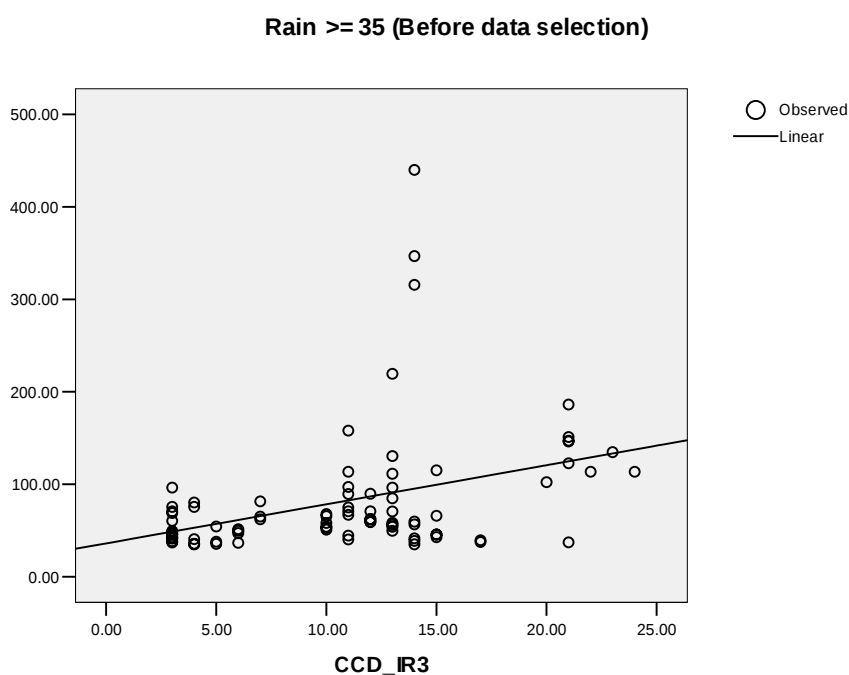
ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 35 หลังการคัดเลือกข้อมูล



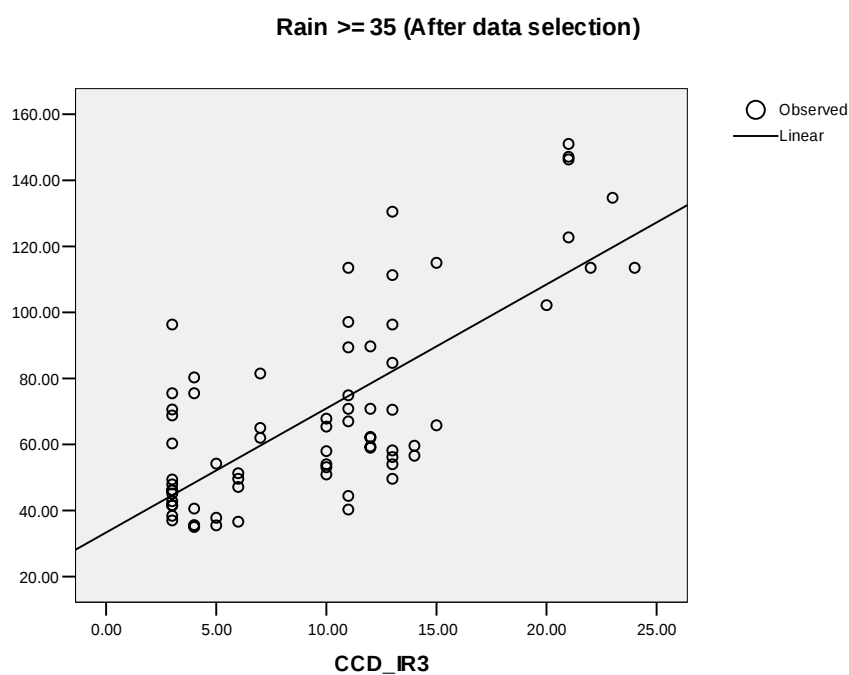
ภาพที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 35 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



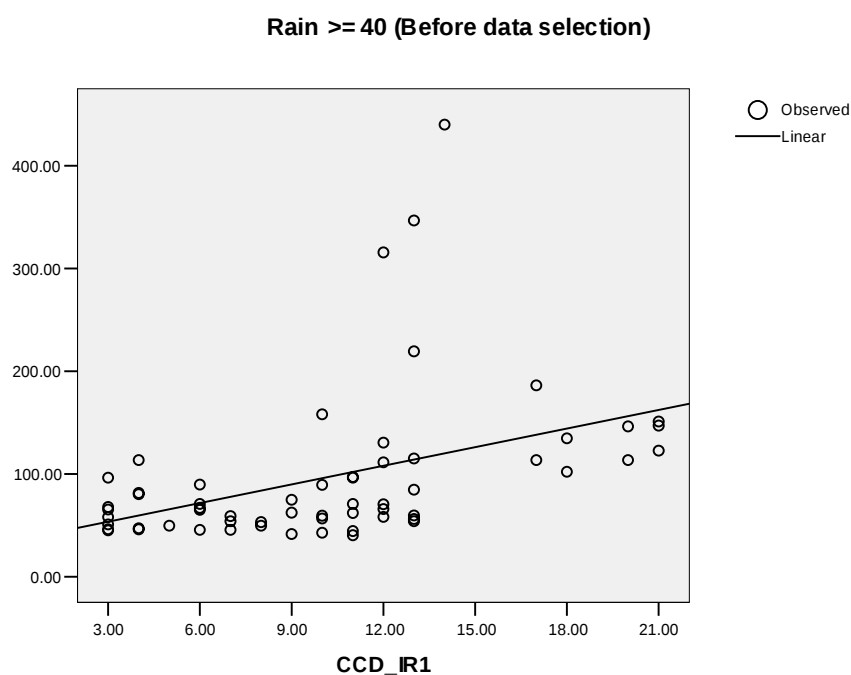
ภาพที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 35 หลังการคัดเลือกข้อมูล



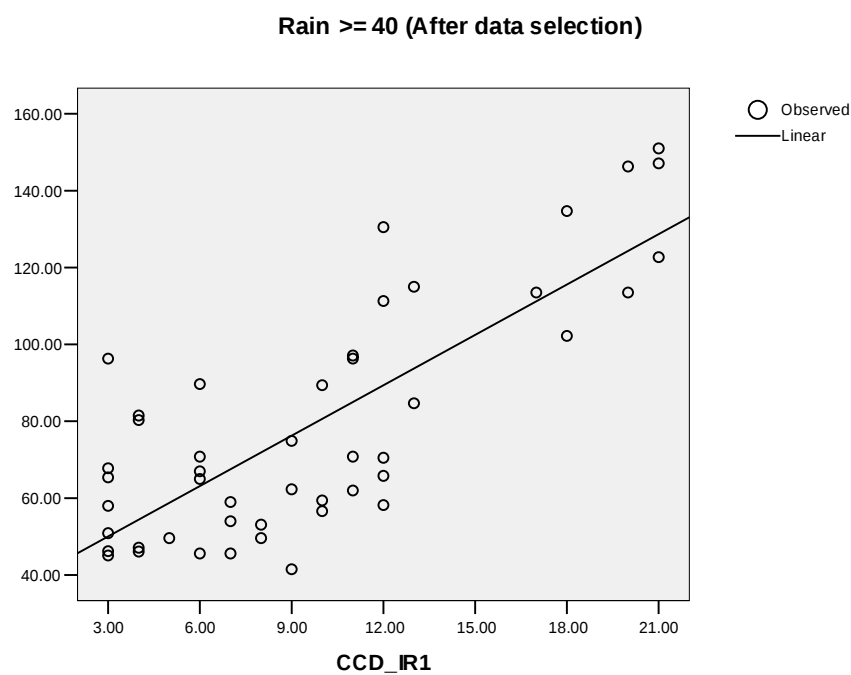
ภาพที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 35 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



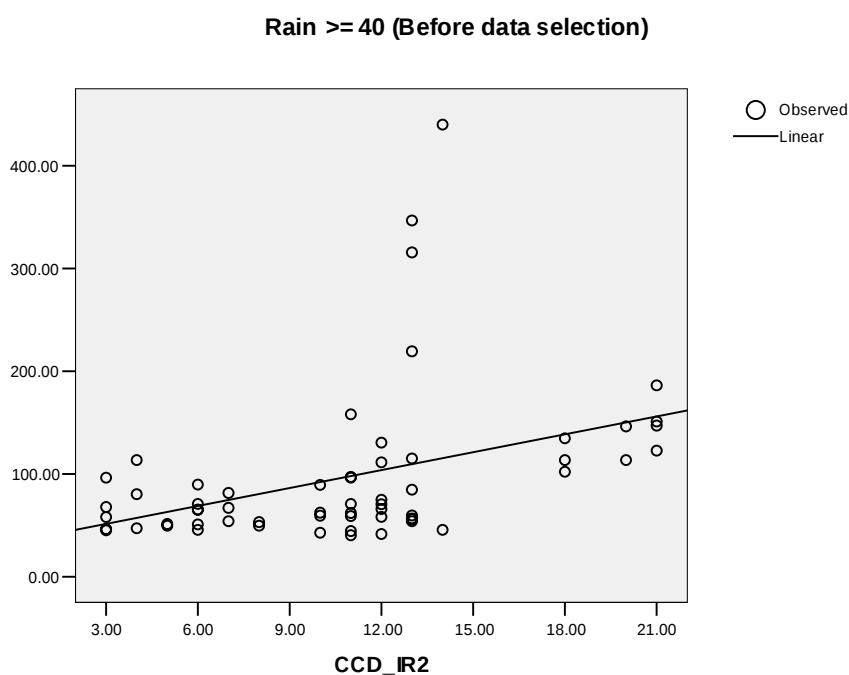
ภาพที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 35 หลังการคัดเลือกข้อมูล



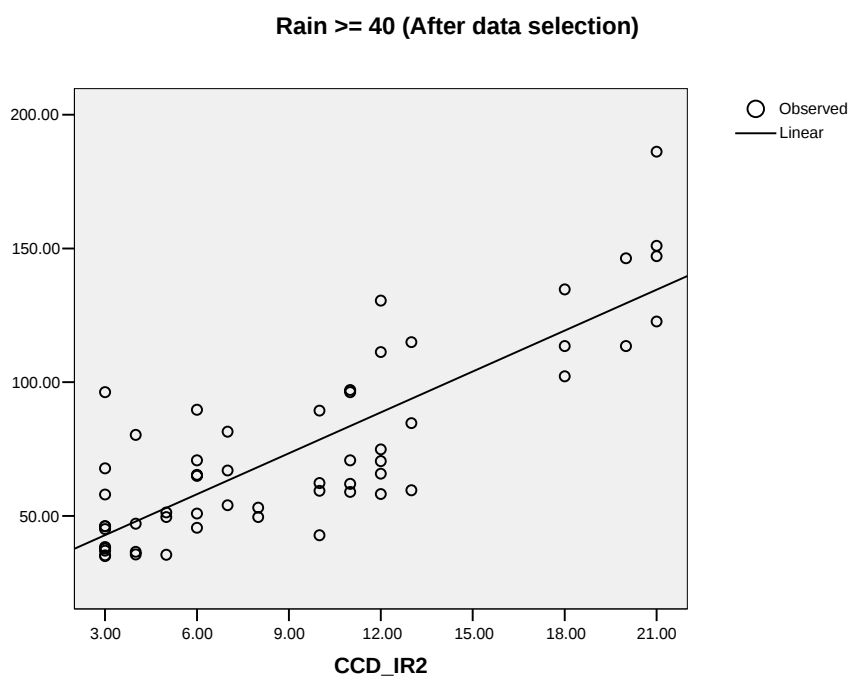
ภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 40 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



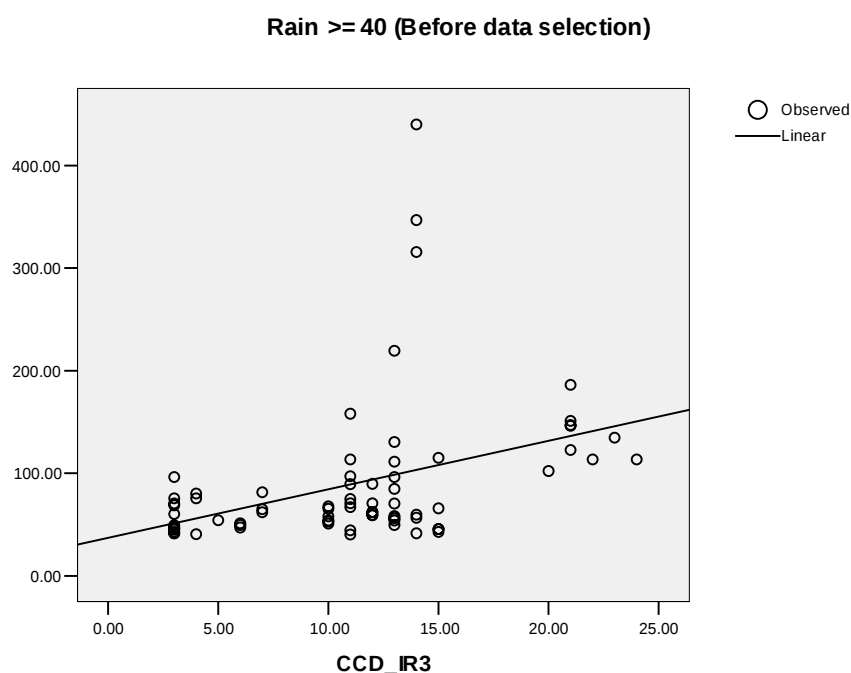
ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 40 หลังการคัดเลือกข้อมูล



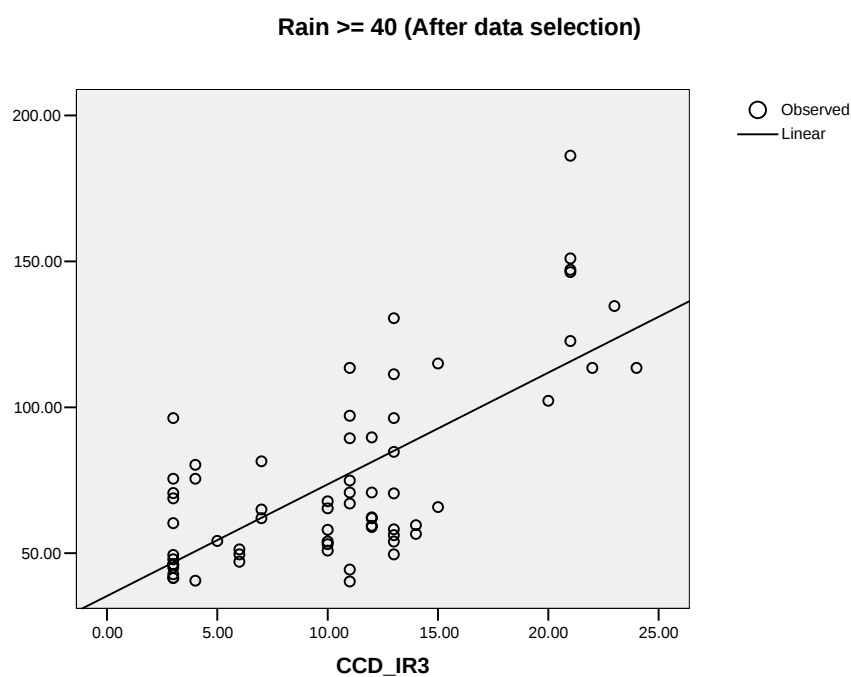
ภาพที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 40 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



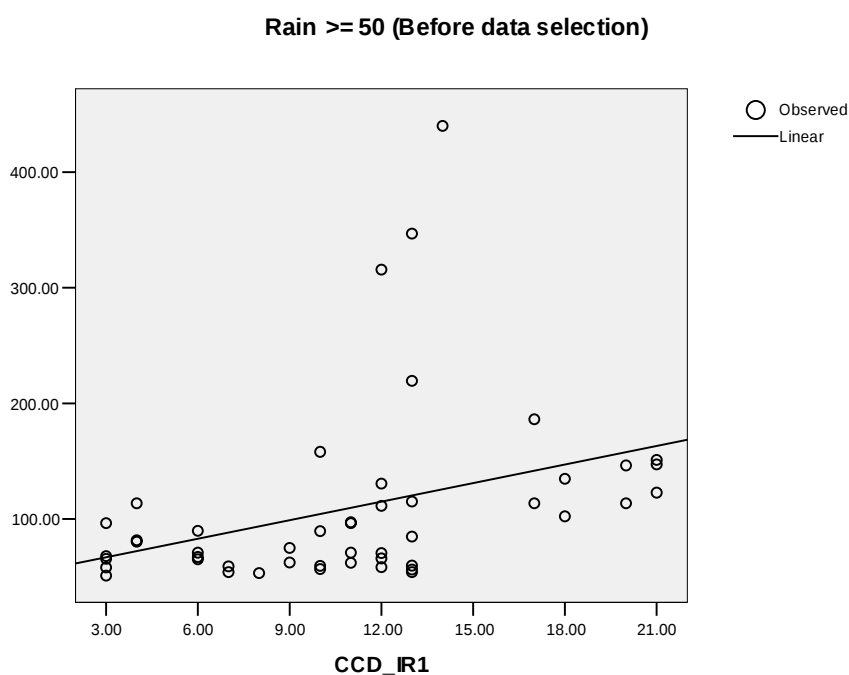
ภาพที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 40 หลังการคัดเลือกข้อมูล



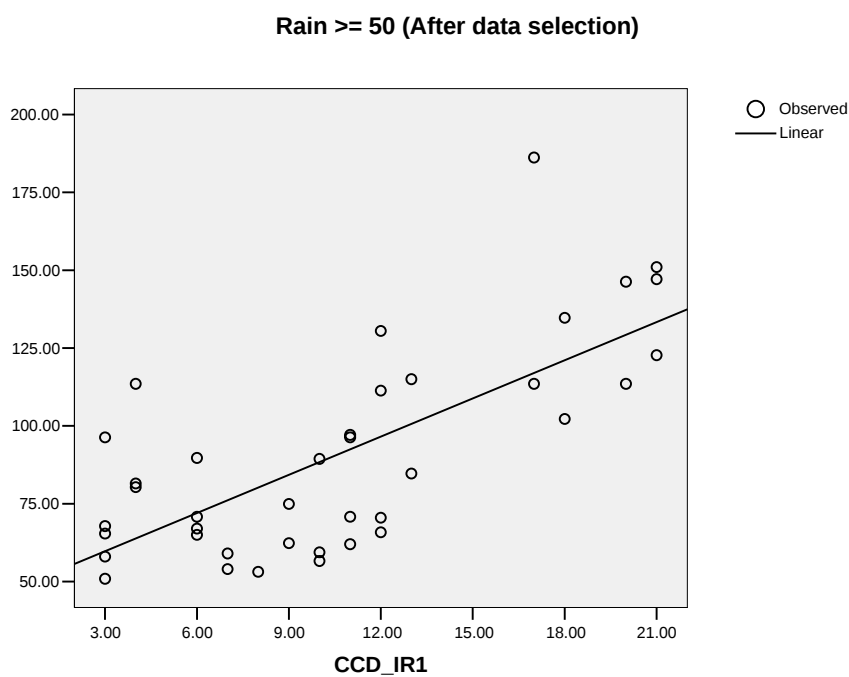
ภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 40 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



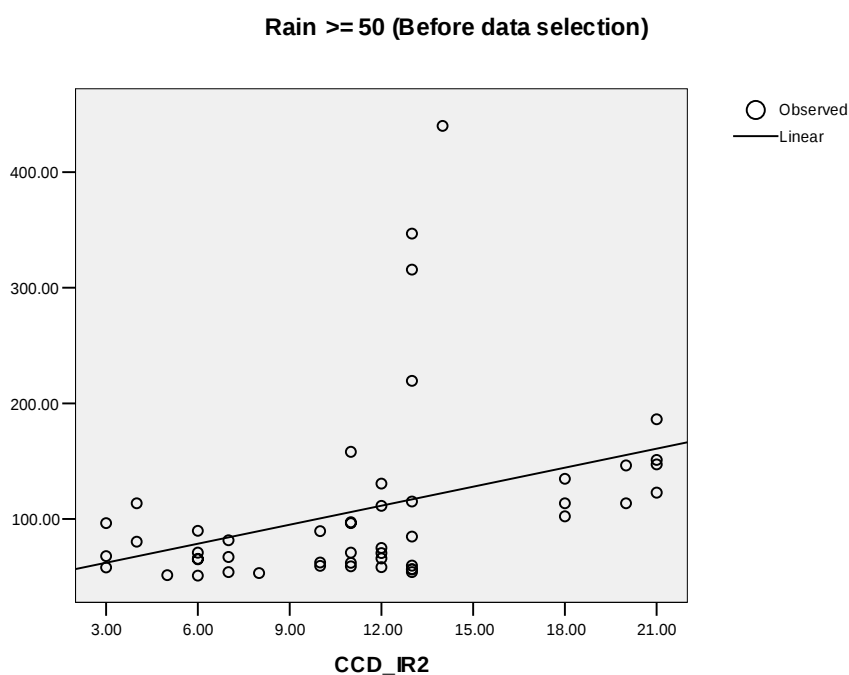
ภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain ≥ 40 หลังการคัดเลือกข้อมูล



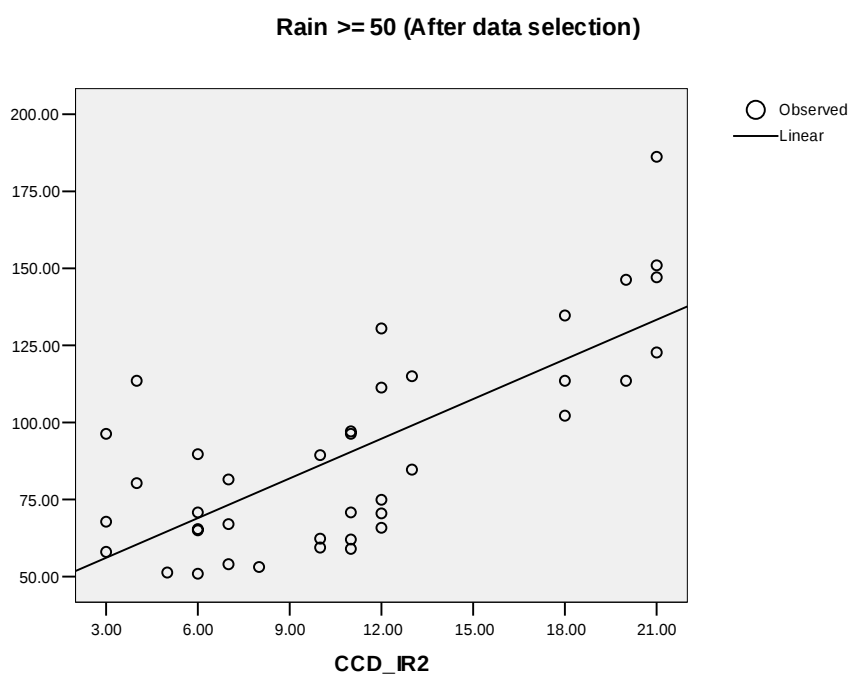
ภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 50 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



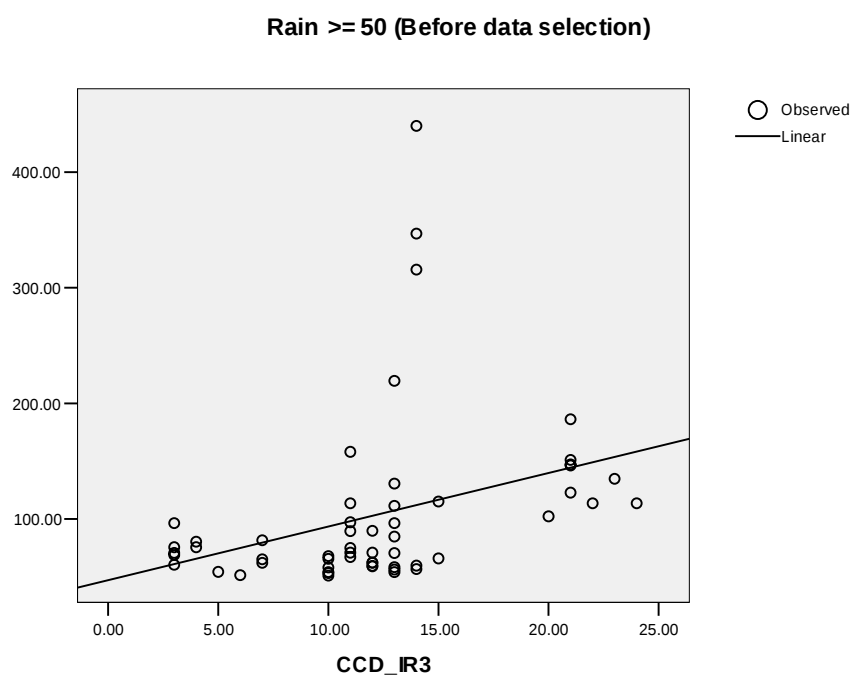
ภาพที่ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 50 หลังการคัดเลือกข้อมูล



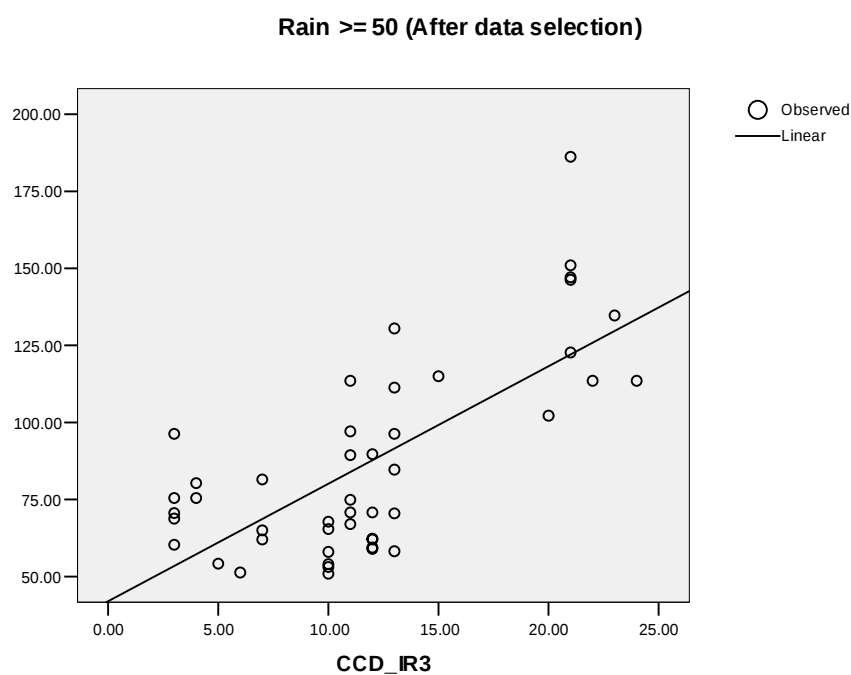
ภาพที่ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 50 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



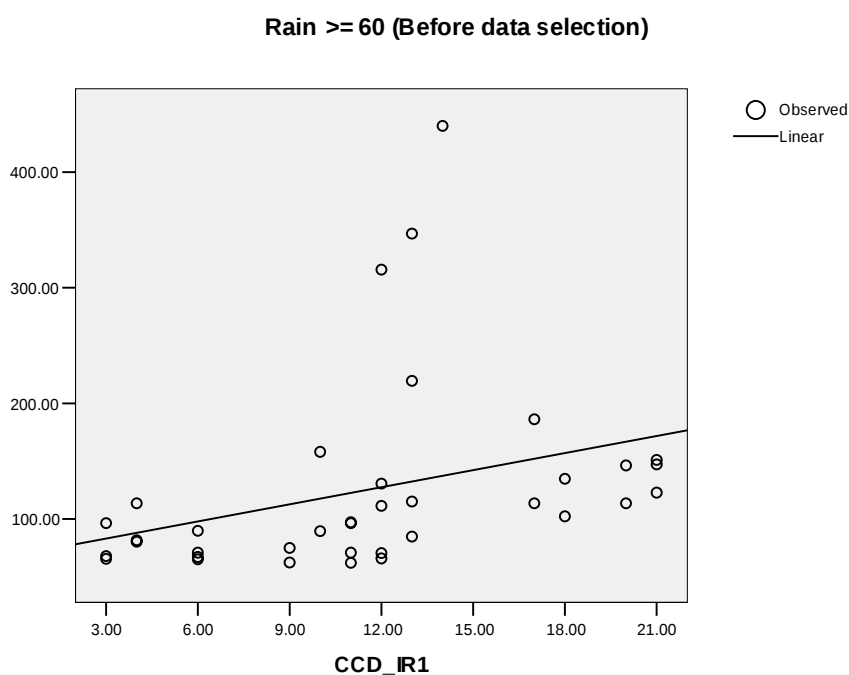
ภาพที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 50 หลังการคัดเลือกข้อมูล



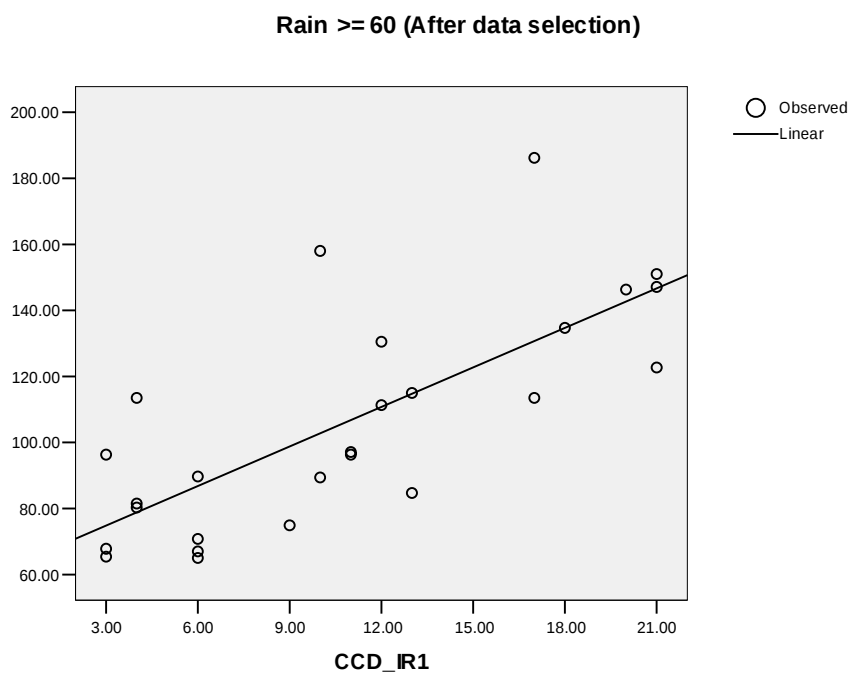
ภาพที่ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 50 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



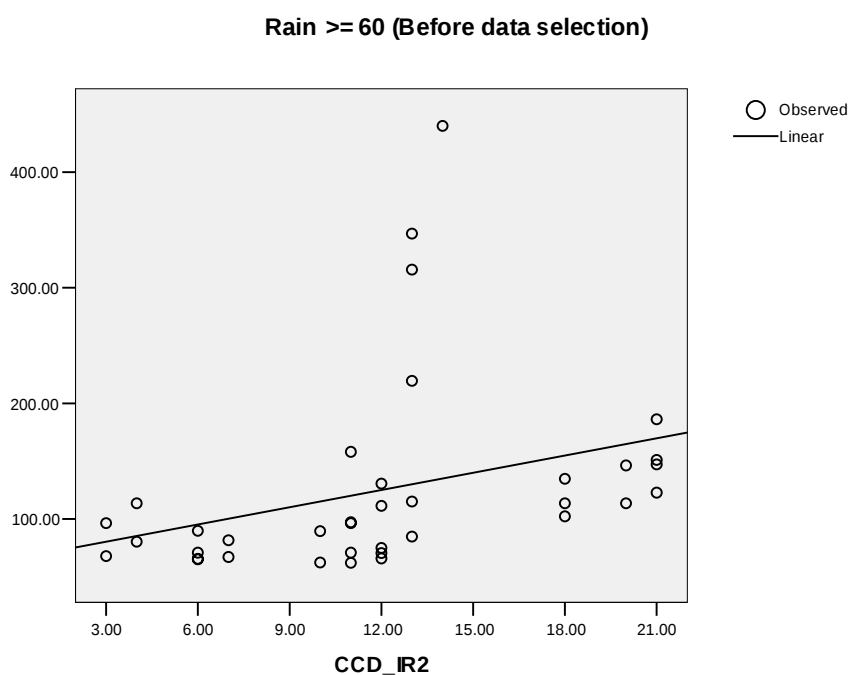
ภาพที่ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 50 หลังการคัดเลือกข้อมูล



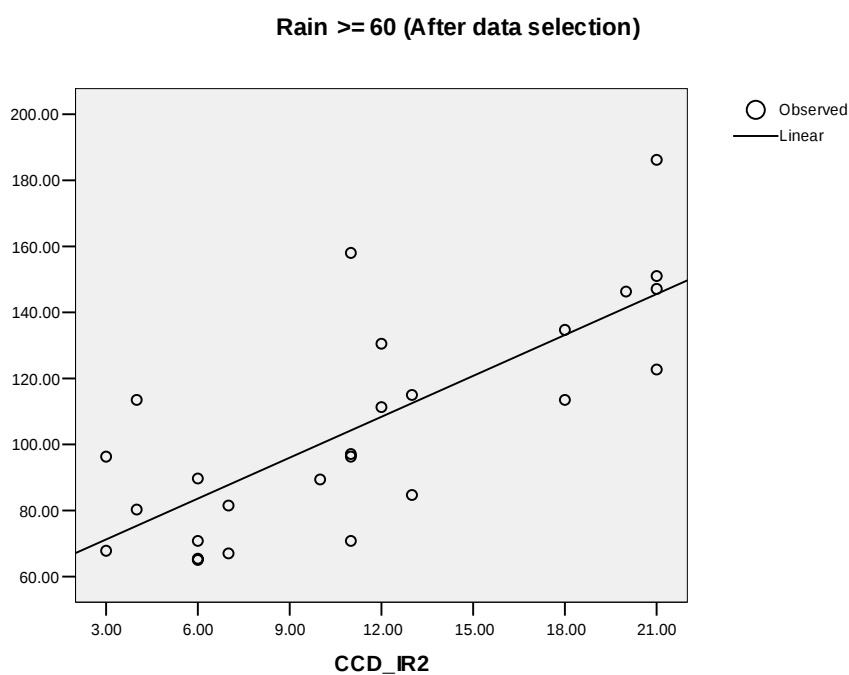
ภาพที่ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 60 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



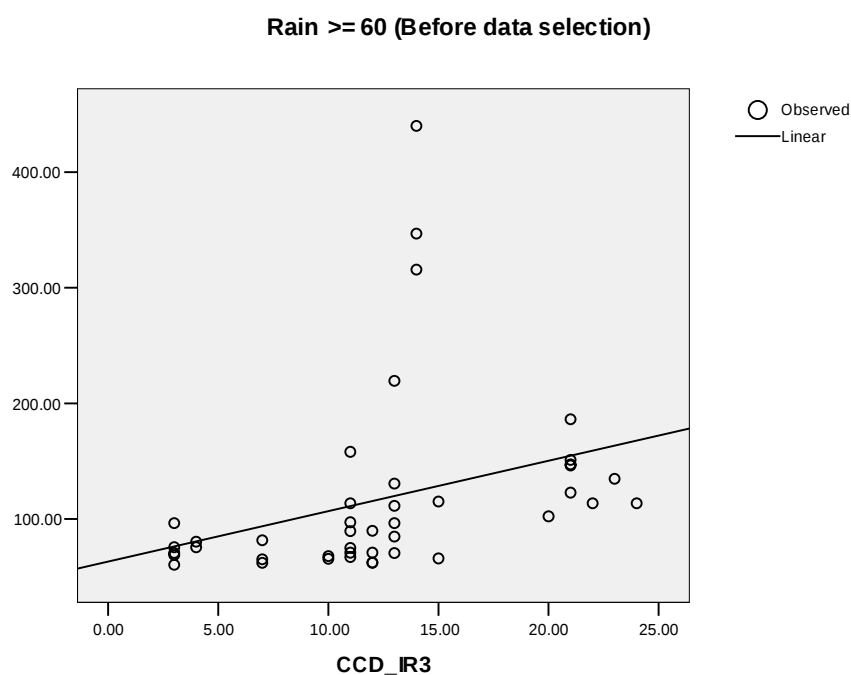
ภาพที่ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 60 หลังการคัดเลือกข้อมูล



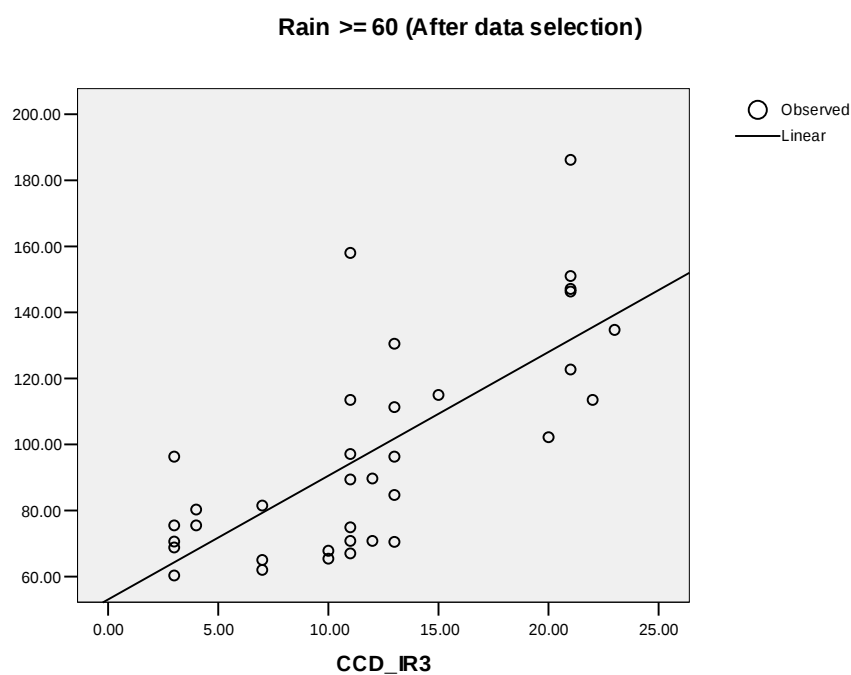
ภาพที่ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 60 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



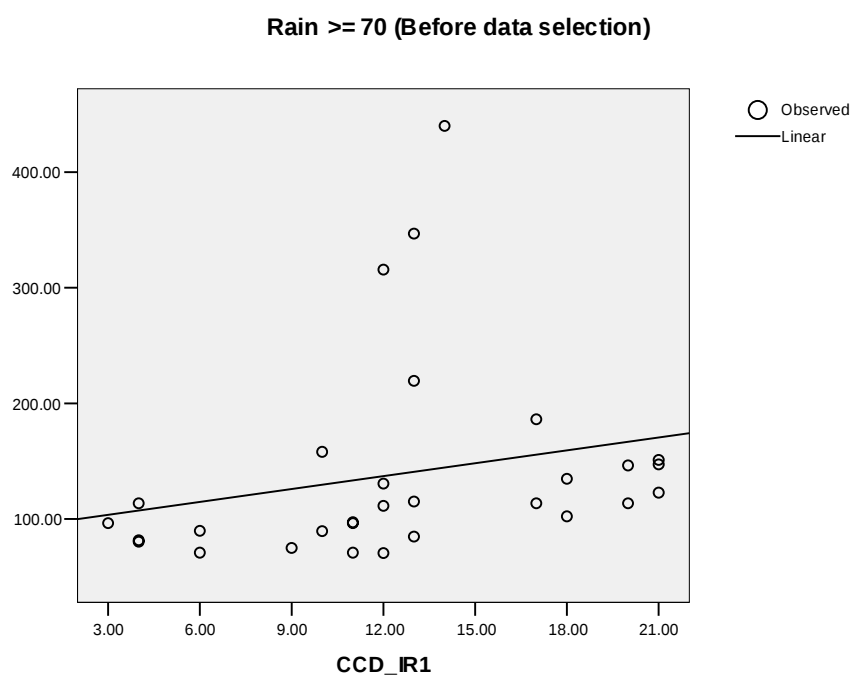
ภาพที่ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 60 หลังการคัดเลือกข้อมูล



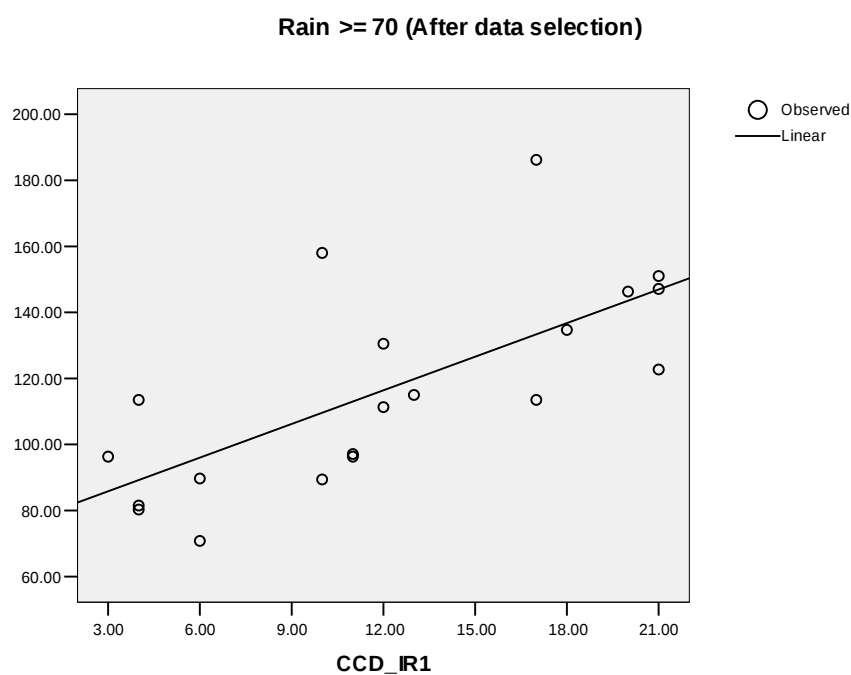
ภาพที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 60 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



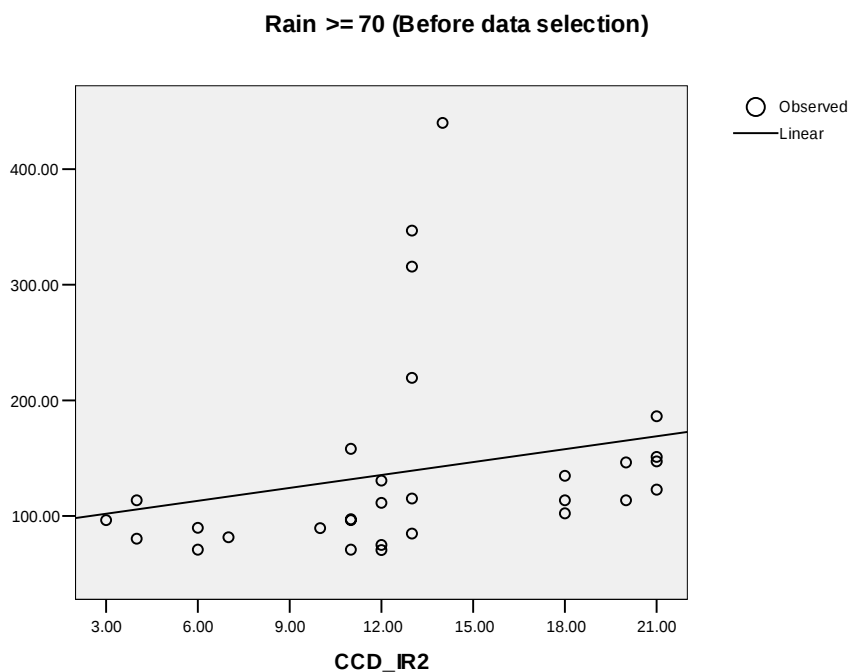
ภาพที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 60 หลังการคัดเลือกข้อมูล



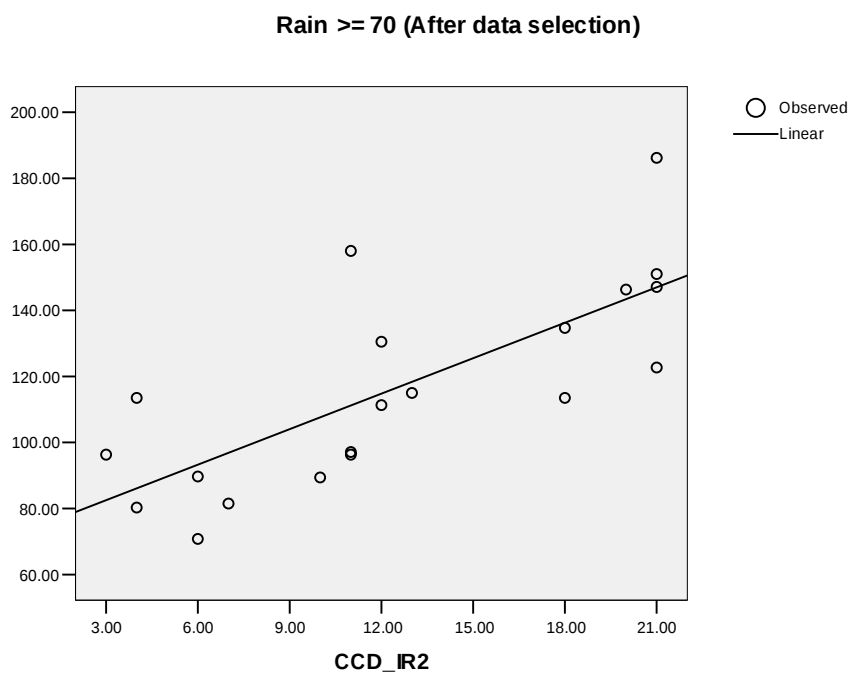
ภาพที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 70 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



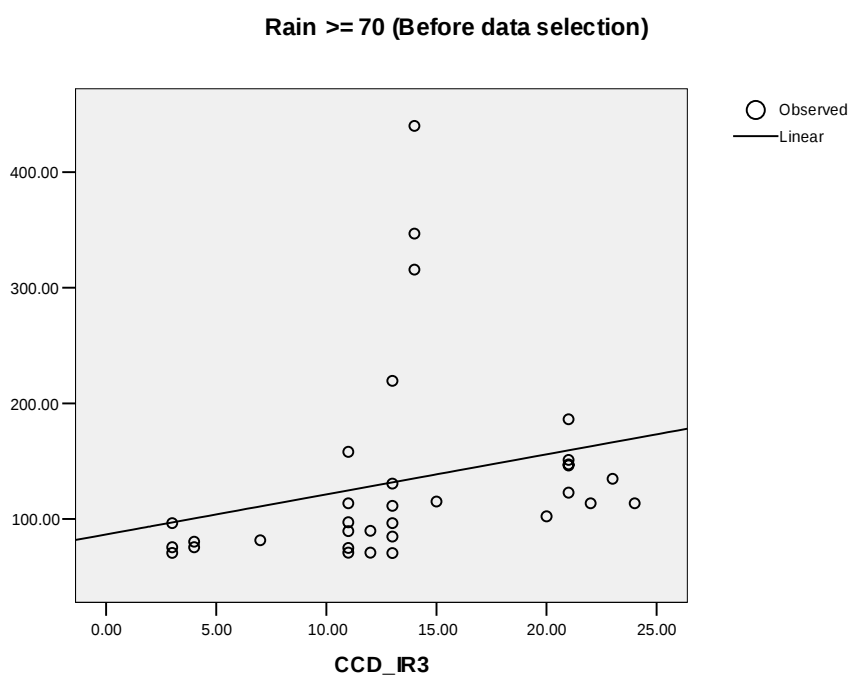
ภาพที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR1 (CCD_IR1) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 70 หลังการคัดเลือกข้อมูล



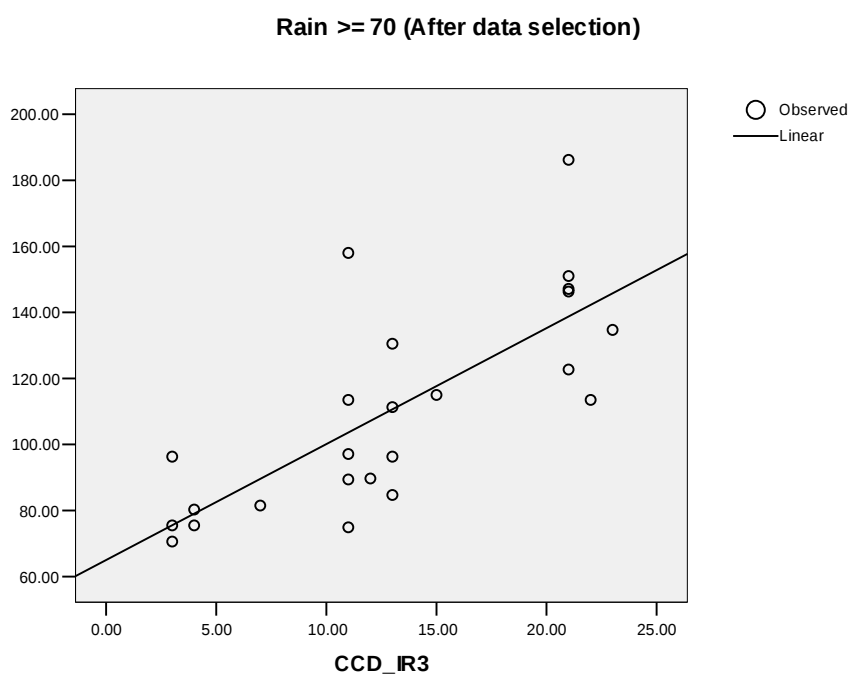
ภาพที่ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 70 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



ภาพที่ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR2 (CCD_IR2) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 70 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



ภาพที่ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 70 ก่อนการคัดเลือกข้อมูล



ภาพที่ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าช่วงเวลาเมฆเย็นของ IR3 (CCD_IR3) ภายใต้เงื่อนไข Rain >= 70 หลังการคัดเลือกข้อมูล

วิจารณ์

หลังจากที่ได้ทำการตรวจสอบวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) พบว่า ณ อุณหภูมิจุดเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ กันจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ภายหลังจากทำการคัดเลือกข้อมูลแล้วใช้ได้ดีพอควรภายใต้เงื่อนไขของฝนที่มากกว่า 35 มม. ขึ้นไป ส่วนที่มีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อการศึกษานี้ได้แก่

1. ข้อมูลฝน

1.1 ลักษณะของข้อมูลฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนเป็นข้อมูลฝนแบบรายวัน แต่ข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมเป็นข้อมูลรายชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบโดยละเอียด หรือวิธีการเปรียบเทียบโดยตรงได้

1.2 ความต่อเนื่องของข้อมูลฝน ข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนขาดความต่อเนื่องของข้อมูลฝน ทำให้การวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลไม่สมบูรณ์ ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลฝนรายวันที่ใช้ในการทดสอบในเดือนกันยายนทั้งหมดเท่ากับ 30 วัน แต่ข้อมูลฝนที่มีอยู่จริงมีเพียงแค่ 15 วัน ดังนั้นภายในเวลา 15 วันที่ขาดหายไป อาจเกิดฝนขึ้นมากกว่า 35 มม.ต่อวันเป็นจำนวน 10 วัน ซึ่งค่าช่วงเวลาเมฆเย็นก็อาจจะมีค่ามากกว่า 2 ชั่วโมงต่อเนื่องกันภายใน 10 วันนี้ ก็ทำให้ขาดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นเทียบมากถึง 10 ชุดข้อมูล ซึ่งมีผลกระทบเป็นอย่างมาก

1.3 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝน เมื่อข้อมูลฝนขาดความต่อเนื่องแล้วทำให้การตรวจสอบความน่าเชื่อถือเกิดความผิดพลาดซึ่งมีผลต่อการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลเหลือจำนวนน้อย ยกตัวอย่างเช่น ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีสถานีวัดน้ำฝนในช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้งหมด 17 สถานี ประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝนของกรมชลประทาน 9 สถานี ข้อมูลผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ 2 สถานี และสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 8 สถานี ข้อมูลผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ 4 สถานี ดังนั้นจึงเหลือสถานีที่ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ และนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบได้เพียง 6 สถานี เป็นต้น

2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

2.1 ความต่อเนื่องของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ถ้าหากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมขาดความต่อเนื่อง ทำให้ลดจำนวนเหตุการณ์ที่สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนที่เกิดขึ้น ส่งผลถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ลดน้อยลงไป

2.2 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม อาจเกิดความผิดพลาดบางประการที่ทำให้มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลน้อย หรืออาจจะเนื่องมาจากดาวเทียมอยู่ในช่วงใกล้หมดอายุการออกแบบ เพราะดาวเทียม GMS-5 ได้ถูกปล่อยเข้าสู่วงโคจรตั้งแต่ปี 2538 และมีอายุการออกแบบ 5 ปี นั่นก็คือปี พ.ศ. 2543 เป็นปีสุดท้ายที่อยู่ในช่วงอายุการใช้งานออกแบบ ซึ่งเป็นช่วงที่นำข้อมูลมาใช้งาน จึงอาจมีข้อผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุนี้ด้วยก็เป็นได้

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในพื้นที่อื่น ๆ จะเห็นได้ว่ามีความถูกต้องใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น และเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นในกรณีที่มีปริมาณน้อยยังได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ไม่ดีพอ

แนวทางที่ใช้ในการประมาณปริมาณฝนโดยวิธี เทมแซทประยุกต์นี้ มีแนวโน้มที่ดีในการประมาณปริมาณฝนต่อไป ซึ่งภายหลังจากที่ได้ทำการคัดเลือกกลุ่มข้อมูลตัวแทน โดยการขจัดค่าข้อมูลบางส่วนที่กระจายออกจากกลุ่มข้อมูลออกไปทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ที่ดีขึ้นเป็นอย่างมาก

ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการศึกษาทำให้พอจะเห็นแนวทางที่สามารถจะนำไปใช้ในการประมาณปริมาณฝนให้ดียิ่งขึ้นทั้งในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา และในบริเวณพื้นที่อื่น ๆ รวมถึงในพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนไม่เพียงพอ เมื่อได้สมการการประมาณปริมาณฝนในลุ่มน้ำเดียวกันแล้วก็สามารถจะนำไปประมาณปริมาณฝนในพื้นที่ดังกล่าวเพื่องานด้านการเกษตร, ด้านการวิเคราะห์ปริมาณน้ำผิวดิน และด้านการวางแผนการเก็บกักน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังคงมีข้อจำกัดในการประมาณฝนที่มีปริมาณน้อยกว่า 35 มม. ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำไปคาดการณ์สำหรับสถานการณ์ภัยแล้ง แต่ก็สามารถนำไปทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านนี้ได้ เมื่อมีข้อมูลที่ใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์มากกว่าที่เป็นอยู่ นอกจากนี้แล้วแนวทางในการศึกษานี้ยังอาจจะนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้ในการพยากรณ์ฝนที่อาจจะเกิดขึ้นภายในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษาด้วยเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

หลังจากได้ทำการตรวจสอบลักษณะข้อมูลฝน และข้อมูลดาวเทียมแล้ว พบว่าวิธีการประมาณปริมาณฝนเทียมแซท (TAMSAT) นั้นมีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการประมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จึงได้ตรวจสอบสมมติฐาน และวิธีการของวิธีเทียมแซท แล้วได้นำมาประยุกต์ให้สามารถใช้ได้กับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา โดยมีการปรับแต่งสมมติฐาน และเทคนิควิธีการในหลาย ๆ ส่วนเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลที่มีอยู่ดังที่ได้แสดงไปแล้วนั้น พบว่า

1. จุดเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum threshold temperature) ที่ทำให้เกิดฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา คือ 224 เคลวิน หรือเท่ากับ -49 องศาเซลเซียส นั้นหมายความว่าเมื่อเมฆมีความสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดช่วงเวลาเมฆเย็น (Cold Cloud Duration) มากกว่า 2 ชั่วโมงต่อเนื่องกันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 224 เคลวิน จะก่อให้เกิดฝน ณ ตำแหน่งที่ใช้ในการตรวจสอบนั้นในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา

2. สมการความถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบ สามารถนำมาประมาณปริมาณฝนภายในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาได้ดีพอใช้ ซึ่งในแต่ละสมการสามารถตรวจสอบความถูกต้องใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจริงได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ของความน่าจะเป็น ตารางที่ 21 แสดงสมการความสัมพันธ์ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแต่ละกรณีทั้งหมด

ตารางที่ 21 แสดงสมการสำหรับการประมาณปริมาณฝน สำหรับบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

เงื่อนไข	ช่องสัญญาณ อินฟราเรด	สมการ	R^2	Eq. No.
Rain $\geq$ 35	IR1	$Rain_{est} = 4.628CCD - 30.880$	0.620	(7)
	IR2	$Rain_{est} = 5.042CCD + 23.960$	0.641	(8)
	IR3	$Rain_{est} = 3.756CCD + 33.360$	0.530	(9)
Rain $\geq$ 40	IR1	$Rain_{est} = 4.368CCD - 36.951$	0.609	(10)
	IR2	$Rain_{est} = 5.098CCD + 27.544$	0.680	(11)
	IR3	$Rain_{est} = 3.825CCD + 35.352$	0.494	(12)
Rain $\geq$ 50	IR1	$Rain_{est} = 4.089CCD - 47.476$	0.509	(13)
	IR2	$Rain_{est} = 4.292CCD + 43.208$	0.545	(14)
	IR3	$Rain_{est} = 3.813CCD + 41.976$	0.498	(15)
Rain $\geq$ 60	IR1	$Rain_{est} = 3.990CCD - 62.882$	0.555	(16)
	IR2	$Rain_{est} = 4.130CCD + 58.821$	0.581	(17)
	IR3	$Rain_{est} = 3.748CCD + 53.057$	0.518	(18)
Rain $\geq$ 70	IR1	$Rain_{est} = 3.395CCD - 75.654$	0.494	(19)
	IR2	$Rain_{est} = 3.582CCD + 71.791$	0.564	(20)
	IR3	$Rain_{est} = 3.513CCD + 64.989$	0.559	(21)

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดหลายด้านที่ทำให้ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบที่ทำให้การประมาณปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีมากนัก เมื่อนำมาประมวลโดยภาพรวมแล้วพบว่าข้อจำกัดหลักที่ทำให้ไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีพอก็คือ ข้อจำกัดของข้อมูลที่ได้รวบรวมมาเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โดยที่ข้อมูลหลักที่ใช้ ประกอบด้วย ข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของดาวเทียม GMS-5 โดยจะได้กล่าวถึงข้อมูลแต่ละส่วน ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลฝน

1.1 ลักษณะของข้อมูลฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์ อย่างน้อยควรจะมีข้อมูลฝนที่มีความถี่การเก็บข้อมูลเท่ากับความถี่การเก็บข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม จึงจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อการประมาณฝนที่หลากหลายมากขึ้น

1.2 ความต่อเนื่องของข้อมูลฝน ควรจะมีการปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงวิธีการเก็บข้อมูลฝนให้มีความต่อเนื่องกันมากขึ้น ซึ่งอาจจะใช้เทคโนโลยีการเก็บข้อมูลฝนทันสมัย และสะดวกสบายยิ่งขึ้น เช่น การใช้ระบบโทรมาตร (Telemetry System) เข้ามาช่วย ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ละเอียด, ต่อเนื่อง, รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝน ถ้าการเก็บข้อมูลฝนมีความต่อเนื่อง, ละเอียด, รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ก็จะทำให้การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝน มีความน่าเชื่อถือโดยปริยาย

2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

2.1 ความต่อเนื่องของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ถ้าหากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีความต่อเนื่อง ทำให้เพิ่มจำนวนเหตุการณ์ที่สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนที่เกิดขึ้นมีมากขึ้น และทำให้การประมาณปริมาณฝนใกล้เคียงกับเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น

2.2 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องด้วยดาวเทียม GMS-5 นั้นได้หมดอายุการใช้งานในปี พ.ศ.2543 ดังนั้นภายหลังการหมดอายุการใช้งาน หากต้องการข้อมูลที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ จะต้องใช้ข้อมูลดาวเทียมที่อยู่ภายในช่วงอายุการออกแบบ ก็จะทำได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. แนวทางในการศึกษาต่อจากการศึกษานี้

3.1 เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ กำหนดไว้เพียงแค่ 2 ปี คือปี พ.ศ. 2543 และปี พ.ศ. 2544 เมื่อนำมาตรวจสอบแล้วพบว่าฝนที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2543 มีเป็นจำนวนมาก จนทำให้เกิดน้ำท่วมขึ้น ส่วนฝนในปี พ.ศ. 2544 นั้นฝนที่เกิดขึ้นมีจำนวนน้อย เมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อนำไปประมาณปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเป็นปกติ ดังนั้น การศึกษาต่อจากการศึกษานี้จึงควรใช้ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ให้มากขึ้น

3.2 เมื่อมีแนวทางในการศึกษาดังนี้แล้ว การศึกษาต่อจากนี้อาจจะนำวิธีการที่คล้ายกันนี้มาพยากรณ์ฝนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ศึกษาได้ก่อนที่จะเกิดฝนหนักขึ้นในพื้นที่ เพื่อเป็นการเตือนภัยผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

3.3 การเจาะจงตำแหน่งพิกเซลเพียงตำแหน่งเดียวอาจจะไม่เหมาะสำหรับการประมาณฝน ควรพิจารณาพิกเซลข้างเคียงด้วย เพราะอาจจะมีเคลื่อนที่ของเมฆ และเมื่อพิจารณาพิกเซลข้างเคียงแล้วก็จะทำให้รู้ทิศทางการเคลื่อนที่ของเมฆเย็นที่ก่อให้เกิดฝน ลักษณะดังกล่าวจึงเป็นแนวทางของการพยากรณ์ฝนต่อไปในอนาคต

3.4 ในปี พ.ศ. 2550 ดาวเทียมที่นำมาใช้แทนที่ดาวเทียม GMS-5 ได้แก่ ดาวเทียม MTSAT-1R ที่มีช่องสัญญาณ IR4 เพิ่มขึ้นมาเพื่อตรวจตรา เมฆหมอกที่อยู่ระดับต่ำในเวลากลางคืนได้เป็นอย่างดี ดังนั้นต่อไปในอนาคตจึงควรจะใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณนี้ในการคัดเลือกข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ดียิ่งขึ้น

3.5 ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิดฝน เช่น ลม เป็นต้น ควรจะนำมาประกอบใช้ในการประมาณปริมาณฝนให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ธีระพงษ์ เสาวภาคย์. 2539. การประเมินปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดอุทกภัยจากข้อมูลดาวเทียม
อุตุนิยมวิทยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545.
การศึกษาความเหมาะสมระบบคาดการณ์น้ำหลาก. รายงานฉบับกลาง, โครงการบริหารจัดการ
จัดการน้ำในลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา จังหวัดสงขลา. กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ. 203 น.

มหาวิทยาลัยฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น. 2545. แหล่งที่มา:
http://gmssrv.agr.hokudai.ac.jp/fa_en/coast.php, 7 มีนาคม 2550.

มหาวิทยาลัยโคชิ ประเทศญี่ปุ่น. 2545. แหล่งที่มา:
<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/GAME/>, 20 พฤษภาคม 2545.

วีระพล เต็มสมบัติ. 2531. อุทกวิทยาประยุกต์. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ. 317 น.

_____. 2533. หลักอุทกวิทยา. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ. 256 น.

ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. 2544. การบรรเทาอุทกภัยเทศบาลนครหาดใหญ่
พ.ศ.2543. เอกสารทางวิชาการ Hydrology NO.1309/01. กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ. 115 น.

อรุณ สันแก้ว. 2545. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา. อุตุนิยมวิทยานำรู้. แหล่งที่มา:
<http://www.tmd.go.th>, 20 พฤษภาคม 2545.

Barret, E.C and M.J. Beaumont. 1994. Satellite rainfall monitoring, pp. 303-373. In Goel, N.S
and E.C. Barrett, eds. **An Overview, in Remote Sensing Reviews**. Harwood Academic
Publications, USA.

- Grimes, D.I.F., J.R. Milford and G. Dugdale. 1993. The use of satellite rainfall estimates in hydrological modeling. **Presented at the first international conference.** African Met. Soc. Nairobi, Kenya.
- Guillot, B. 1995. Satellite et precipitations. **Contraintes techniques et physiques, analyse de quelques methodes, problemes de recherche et de validation. Veille Climatique Satellitaire. No. 55.**
- Herman, A., V.B. Kumar, P.A. Arkin and J.V. Kousky. 1997. **Objectively determined 10-day African rainfall estimates created for famine early warning systems. Int. J. Rem. Sens. No. 18.**
- Houghton J.T and F.W. Taylor. 1973. **Remote sounding from artificial satellites and space probes of the atmospheres of the earth and the planets.** n.p.
- Kidder, S.Q. and T.H. Vonder haar. 1995. **Satellite Meteorology, an introduction.** London. Academic Press.
- Mohammedberhan, N. 1998. **Satellite based rainfall estimation over Eritrea.** M.S. thesis, The University of Reading, England.
- Morland, J., D. Grimes, G. Dugdale and T. Hewison. 1997. The effect of the land surface on microwave rainfall estimates, pp. 493-498. **Proceedings of the 23rd Annual Conference and Exhibition.** Remote Sensing Society, Reading, England.
- Spencer, R.W., H.M. Goodman and R.E. Hood. 1989. **Precipitation retrieval over land and ocean with SSMI. Identification and characteristics of the scattering signal. J.Atmos. And Oceanic Tech. No. 6.**
- Twomey, S., H. Jacobowitz and H.B. Howell. 1967. **Light Scattering by cloud layers. J.Atmos. Sc. No. 24.**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Source Code สำหรับการแปลค่าภาพถ่ายดาวเทียม

โปรแกรมย่อยเพื่อการแปลค่าสีในภาพถ่ายดาวเทียม เป็นค่าอุณหภูมิ (เคลวิน)

```
import java.io.*;
import java.util.*;

class Image
{
    public int [][] pixels;
    public int depth,width,height;
    public Image()
    {
        pixels = new int[2000][2000];
        depth = width = height = 0;
    }
    public Image(int inDepth, int inWidth, int inHeight)
    {
        pixels = new int[inWidth][inHeight];
        width = inWidth;
        height = inHeight;
        depth = inDepth;
    }
    public void ReadPGM(String fileName,String textFile,String FromFile,String IR,String Month)
    {
        String line;
        StringTokenizer st;
        try {
            BufferedReader in =
                new BufferedReader(new InputStreamReader(
                    new BufferedInputStream(
                        new FileInputStream(fileName))));
            DataInputStream in2 =
                new DataInputStream(
```

```

        new BufferedInputStream(
            new FileInputStream(fileName)));
    // read PGM image header
    // skip comments
    line = in.readLine();
    in2.skip((line+"\n").getBytes().length);
    do {
        line = in.readLine();
        in2.skip((line+"\n").getBytes().length);
    } while (line.charAt(0) == '#');
    // the current line has dimensions
    st = new StringTokenizer(line);
    width = Integer.parseInt(st.nextToken());
    height = Integer.parseInt(st.nextToken());
    // next line has pixel depth
    line = in.readLine();
    in2.skip((line+"\n").getBytes().length);
    st = new StringTokenizer(line);
    depth = Integer.parseInt(st.nextToken());
    // read pixels now
    try{
        BufferedWriter out = new BufferedWriter(new
File(textFile+"_Temp_2000jul.txt"),true));
        for (int y = 0; y < height; y++){
            for (int x = 0; x < width; x++) {
                pixels[x][y] = in2.readUnsignedByte();
                //System.out.println("pixels["+ x +"]["+ y +"] = "+ pixels[x][y]);
                //writer.write("pixels["+ x +"]["+ y +"] = "+ pixels[x][y]);
            }
        }
    }

```

```

String temp1,temp2,temp3,temp4,temp5,temp6;
temp1 = calTemp(pixels[610][541],textFile,FromFile,IR,Month);
temp2 = calTemp(pixels[610][541],textFile,FromFile,IR,Month);
temp3 = calTemp(pixels[609][541],textFile,FromFile,IR,Month);
temp4 = calTemp(pixels[612][540],textFile,FromFile,IR,Month);
temp5 = calTemp(pixels[609][539],textFile,FromFile,IR,Month);
temp6 = calTemp(pixels[609][536],textFile,FromFile,IR,Month);
out.write(FromFile+",");
out.write(temp1+" , "+temp2+" , "+temp3+" , "+temp4+" , "+temp5+" , "+temp6);
out.newLine();
out.close();
} catch(IOException e){
    System.out.println("Error write to file.");
}
in.close();
in2.close();
} catch(ArrayIndexOutOfBoundsException e) {
    System.out.println("Error: image too big");
} catch(IOException e) {
    System.out.println("End of stream encountered");
}
}
public void WritePGM(String fileName)
{
    String line;
    StringTokenizer st;
    int i;
    try {
        DataOutputStream out =

```

```

        new DataOutputStream(
            new BufferedOutputStream(
                new FileOutputStream(fileName)));
        out.writeBytes("P5\n");
        out.writeBytes("#created by Paul Rosin\n");
        out.writeBytes(width+" "+height+"\n255\n");

        for (int y = 0; y < height; y++)
            for (int x = 0; x < width; x++)
                out.writeByte((byte)pixels[x][y]);
        out.close();
    } catch(IOException e) {
        System.out.println("ERROR: cannot write output file");
    }
}

public String calTemp(int pixVal,String textFile,String FromFile,String IR,String Month){
    String temp="";
    String readline="";
    long count=0;
    try{
        String pathRoot = "C:\\testTemp";
        String subStr = FromFile.substring(0,12);
        System.out.println(pathRoot+"\\ "+subStr+"CAL.dat");
        BufferedReader in1 = new BufferedReader(new
            FileReader(new
File(pathRoot+"\\ "+subStr+"CAL.dat")));
        while ((readline = in1.readLine()) != null) {
            count++;
            if(IR.equalsIgnoreCase("IR1") && (count == (262+pixVal))){
                String r[] = readline.split("pixval: ");
                temp = r[1];
            }
        }
    }
}

```

```

    }else if(IR.equalsIgnoreCase("IR2") && (count == (519+pixVal))){
        String r[] = readline.split("pixval: ");
        temp = r[1];
    }else if(IR.equalsIgnoreCase("IR3")&& (count == (776+pixVal))){
        String r[] = readline.split("pixval: ");
        temp = r[1];
    }
    // case VIS not implement yet
}
}catch(IOException e){
    System.out.println("ERROR: calculate temperature");
}
return temp;
}

public String[] openFromDirectory(String str)
{
    String [] str1;
    File direc = new File(str);
    str1 = direc.list();
    return str1;
}
}

```

โปรแกรมหลักเพื่อการแปลค่าสีในภาพถ่ายดาวเทียม เป็นค่าอุณหภูมิ (เคลวิน)

```
import java.io.File;

class test1 {

    public static void main(String args[]){
        Image m = new Image();
        String textFile = "C:\\projectimage";
        String pathRoot = "C:\\testGrads";
        String Month[] = openFromDirectory(pathRoot);
        for(int i=0;i<Month.length;i++){
            System.out.println(pathRoot+"\\ "+Month[i]);
            String IR[] = openFromDirectory(pathRoot+"\\ "+Month[i]);
            for(int j=0;j<IR.length;j++){
                System.out.println(pathRoot+"\\ "+Month[i]+"\\ "+IR[j]);
                String Hour[] = openFromDirectory(pathRoot+"\\ "+Month[i]+"\\ "+IR[j]);
                for(int n=0;n<Hour.length;n++){
                    System.out.println(pathRoot+"\\ "+Month[i]+"\\ "+IR[j]+"\\ "+Hour[n]);
                    m.ReadPGM(pathRoot+"\\ "+Month[i]+"\\ "+IR[j]+"\\ "+Hour[n],textFile+"\\ "+Month[i],Hour[n],I
R[j],Month[i]);

                        //Hour[n] = filename
                    }
                }
            }
        }

        public static String[] openFromDirectory(String str)
        {
            String [] str1;
            File direc = new File(str);
            str1 = direc.list();
            return str1;
        }
    }
}
```

ภาคผนวก ข

Source Code การหาผลรวมของช่วงเวลาเมฆเย็น (CCD) รายวัน

โปรแกรมเพื่อหาผลรวมของช่วงเวลาเมมเย็น (CCD) รายวัน

```
Sub temp_ccd_IR123()
```

```
    Dim c, cl, m, n, mmm, tm, ct, tc, a, b, e, mth, dd, ccd, p, r, cdn, cr, ccdc As Integer
```

```
    Dim cl1, td As Integer
```

```
    c = 0: m = 1: n = 0: a = 1: tc = 0: tm = 0
```

```
    cd = 24: e = 0: yon = 30: kom = 31:
```

```
    r = 14: m = 17: mmm = 2: td = 1
```

```
    c = 1: b = 1: ct = 225: cl = 0: ccd = 225
```

```
'Number of Temperature
```

```
For p = 1 To 21
```

```
    Cells(b, m).Value = ct
```

```
    If r = 14 Then
```

```
        Cells(b, 13) = "Mth"
```

```
        Cells(b, 14) = "Day"
```

```
        Cells(b, 15) = "Sta"
```

```
        Cells(b, 16) = "Tdays"
```

```
    End If
```

```
'Number of Station
```

```
For n = 1 To 6
```

```
    cdn = 0
```

```
    ccdc = 0
```

```
For mth = 6 To 13
```

```
    If mth = 6 Then dd = yon
```

```
    If mth = 7 Then dd = kom
```

```
    If mth = 8 Then dd = kom
```

```
    If mth = 9 Then dd = yon
```

```
    If mth = 10 Then dd = kom
```

```
    If mth = 11 Then dd = yon
```

```
    If mth = 12 Then dd = kom
```

```

If mth = 13 Then dd = kom
    If r = 14 Then Cells(mmm, 13).Value = mth
For d = 1 To dd
    a = a + 1
    If r = 14 Then
        Cells(a, r).Value = d
        Cells(a, r + 1).Value = n
        Cells(a, r + 2).Value = td
    End If
    For e = 1 To 24
        ccd = ct
        tm = ccd
        tc = Cells(c, n + 5).Value
        If tc = 0 Then tc = tm + 999
        If tc <= tm Then cdn = cdn + 1
        If tc > tm Then
            If cdn > 2 Then
                ccde = ccde + cdn
            End If
            cdn = 0
        End If
        c = c + 1
        If e = 24 And cdn > 2 Then
            ccde = ccde + cdn
            cdn = 0
        End If
    Next e
    If r = 14 Then cl = 1
    If cl = 1 Then Cells(a, r + 3).Font.ColorIndex = 3 Else Cells(a, r + 3).Font.ColorIndex = 0
    Cells(a, r + 3).Value = ccde

```

```
ccdc = 0
cdn = 0
td = td + 1
Next d
If r = 14 Then mmm = mmm + dd
Next mth
c = 1
td = 1
Next n
a = 1
r = r + 1
m = m + 1
ct = ct + 1
cl1 = ct Mod 2
If cl1 <> 0 Then cl = 1 Else cl = 0
Next p
End Sub
```

ภาคผนวก ค

สมการที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น

สมการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation of Residuals)

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2}{N}}$$

เมื่อ $(\Delta y_i)^2 = (y_i - y)^2$
 S_y = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation of Residuals)
 y_i = ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล (Observed Value)
 y = ข้อมูลที่ได้จากการใช้สมการคำนวณ
 N = จำนวนข้อมูลในชุดข้อมูลที่น่ามาใช้ตรวจสอบ

สมการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

$$r = \frac{\sum (\Delta x_i \Delta y_i)}{\sqrt{\sum (\Delta x_i)^2 \sum (\Delta y_i)^2}} = \frac{\sum x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{s_x s_y}$$

เมื่อ r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)
 $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$, x_i คือค่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 $\Delta y_i = y_i - \bar{y}$, y_i คือค่าตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 s_x, s_y = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ x_i และ y_i ตามลำดับ
 N = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

สัมประสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) คือการนำเอาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มายกกำลังสอง ดังนั้นจะได้

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ} = r^2$$

สมการหาค่าคงที่ (b_0) และค่าสัมประสิทธิ์ (b_1) ของสมการความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

$$b_1 = \frac{\sum x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - N \bar{x}^2} = \frac{\sum \Delta x_i \Delta y_i}{\sum (\Delta x_i)^2}$$

$$b_0 = \bar{y} - B_y \bar{x} = \bar{y} - \bar{x} \frac{\sum \Delta x_i \Delta y_i}{\sum (\Delta x_i)^2}$$

เมื่อ $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$, x_i คือค่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

$\Delta y_i = y_i - \bar{y}$, y_i คือค่าตัวแปรตาม (Dependent Variable)

N = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายเจน อรุณสิทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 23 กันยายน 2514
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	2539 วศ.บ.(ชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2543 บธ.บ.(การจัดการงานก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เจนการช่าง จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	