บทที่ 4

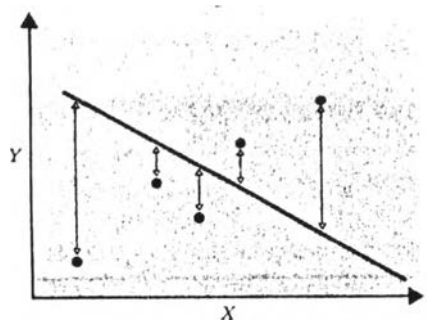
การวิจัยหาค่าระดับความสูงของฝนในประเทศไทย

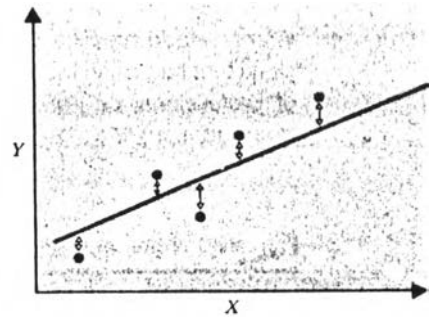
4.1 ที่มาและข้อมูลวิจัย

การวิเคราะห์หาค่าเรนไฮต์ในประเทศไทยโดยใช้วิธีการทางสถิติทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม (O°C Isotherm Height) อัตราฝนตกซึ่งกรมอุตุนิยมวิทยาได้ทำการวัดและเก็บข้อมูลไว้มาเป็นเวลาหลายปี ลักษณะการวัดจะทำการวัดรายวันทุกวันโดยวิธีเรดิโอซอนด์ด้วยการปล่อยบอลลูนเพื่อทำการวัดที่เวลา 7.00 น. (0 GMT) และ 19.00 น. (12 GMT) ของแต่ละวัน โดยมีสถานีวัดที่ อุบลราชธานี เชียงใหม่ สงขลา และ กรุงเทพมหานคร ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ใช้ข้อมูลที่เก็บมาเป็นเวลา 7 ปี ตั้งแต่พ.ศ. 2531 ถึง พ.ศ. 2537 ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม ส่วนอัตราฝนตกมีการวัดเฉพาะที่กรุงเทพมหานครและอุบลราชธานี ซึ่งทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 4 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2534 ถึง พ.ศ. 2537 โดยทำการวัดเป็นช่วงคาบ 2 ช.ม.ในระหว่างการปล่อยบอลลูนเพื่อวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา ซึ่งก็คือวัดในช่วง 6.00 - 8.00 น. และ 18.00 - 20.00 น. ค่าที่ได้จึงเป็นค่าอัตราฝนตกต่อสองชั่วโมง ฉะนั้นข้อมูลของระดับความสูงที่O°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตก (h_{FR}) จึงมีปริมาณข้อมูลน้อย เพราะโอกาสที่จะปล่อยบอลลูนขณะที่มีฝนตกเป็นไปได้น้อยมาก ซึ่งในหนึ่งวันมีการปล่อยบอลลูนเพียงสองครั้งเท่านั้น การวิเคราะห์เกี่ยวกับ h_{FR}จึงมีเฉพาะที่กรุงเทพมหานครและอุบลราชธานีเท่านั้น ในการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) โดยมีตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอีกตัวหนึ่งเป็นตัวแปรอิสระ

4.2 การวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์ความถดถอยเป็นวิธีการที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวขึ้นไป โดยมีตัวแปรตามหนึ่งตัว ที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้สองตัวแปร คือ ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระอย่างละหนึ่งตัว วิธีการที่ใช้คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มาก และง่ายในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ เพื่อให้ง่ายในการเข้าใจวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด จะขออธิบายหลักการพื้นฐานเสียก่อน ในการลากเส้นตรงผ่านกลุ่มของข้อมูลโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ควรจะมีความแตกต่างระหว่างจุดของข้อมูลกับค่าที่อยู่บนเส้นตรงมีค่าน้อยที่สุด ค่าความแตกต่างของแต่ละจุด เมื่อนำมายกกำลังสองแล้วเอามารวมกันจะเรียกว่าค่าผลรวมกำลังสอง (sum of squares) ฉะนั้นเส้นตรงที่ถูกต้องที่สุด ก็คือ เส้นตรงที่ลากผ่านกลุ่มของข้อมูลแล้ว ได้ค่าผลรวมกำลังสองน้อยที่สุด จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นตัวอย่างของการลากเส้นตรงผ่านกลุ่มข้อมูล 2 แบบ จะเห็นว่ารูปที่ 4.2 เป็นเส้นตรงที่ให้ความถูกต้องมากกว่า เพราะค่าผลรวมกำลังสองน้อยกว่า [15]





รูปที่ 4.1 ค่าผลรวมกำลังสองมีค่ามาก

รูปที่ 4.2 ค่าผลรวมกำลังสองมีค่าน้อย

4.2.1 วิธีการคำนวณเส้นกำลังสองน้อยที่สุด (Computing the least squares line)

ในการเลือกเส้นตรงที่ถูกต้องที่สุด เราไม่จำเป็นต้องพิจารณาเส้นตรงแต่ละเส้น แล้วเลือกเอาเส้นที่ให้ค่าผลรวมกำลังสองน้อยที่สุด เพราะมีสูตรที่สามารถใช้ในการคำนวณโดยตรง

ความชัน = (ค่าสหสัมพันธ์)(ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Y)/(ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ X) (4.1)

จุดตัดบนแกน Y สามารถหาได้จากการแทนค่าเฉลี่ยของ X และค่าเฉลี่ยของ Y ลงไปในสมการ

จุดตัดบนแกน Y = (ค่าเฉลี่ยของ Y) - (ความชัน)(ค่าเฉลี่ยของ X) (4.2)

รูปแบบของสมการเส้นตรงที่ได้จะอยู่ในรูป

$y = mx + b$

เมื่อ m คือ ความชัน

b คือ จุดตัดบนแกน Y

4.2.2 วิธีการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (Computing Correlation Coefficient)

$$r = \frac{\sum[(X_i - \overline{X}) * (Y_i - \overline{Y})]}{\sqrt{\left[\sum(X_i - \overline{X})^2\right]\left[\sum(Y_i - \overline{Y})^2\right]}} \quad (4.3)$$

4.2.3 วิธีการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \overline{X})^2}{N-1}} \quad (4.4)$$

4.2.4 วิธีการคำนวณค่าเฉลี่ย

$$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (4.5)$$

4.2.5 การวิเคราะห์ค่าความถดถอยของข้อมูลที่อุบลราชธานี

การวิเคราะห์ที่จะนำเสนอต่อไปนี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งในหลายๆกลุ่มข้อมูล ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงวิธีการดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมา ในตัวอย่างนี้ได้นำเอาข้อมูลที่อุบลราชธานี โดยที่แกน Y เป็นค่าระดับความสูง ที่0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตก (h_{FR}) และแกน X เป็นอัตราฝนตกต่อสองชั่วโมง (R) โดยมีจำนวนข้อมูล N = 134 ชุดสำหรับค่า X และ N = 128 สำหรับค่า Y จากผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากภาคผนวก เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.4 เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ X และ Y จะได้

$$r = \frac{\sum[(X_i - \overline{X}) * (Y_i - \overline{Y})]}{\sqrt{\left[\sum(X_i - \overline{X})^2\right]\left[\sum(Y_i - \overline{Y})^2\right]}}$$

$$r = \frac{37478.31}{\sqrt{9671.482 * 12982593}} = 0.105768$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \overline{X})^2}{N-1}}$$

$$Sx = \sqrt{\frac{9671.428}{134-1}} = 8.52748$$

$$Sy = \sqrt{\frac{12982593}{128-1}} = 322.2743$$

แทนค่าลงในสมการที่ 4.1 เพื่อหาความชัน

m = 0.105768 * 322.2743 / 8.52748 = 3.9583

หาจุดตัดบนแกน Y โดยแทนค่าลงในสมการที่ 4.2

b = 4934.683 - 3.9583 * 5.834328 = 4911.3

จะได้สมการเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.7

y = 3.9583 x + 4911.3

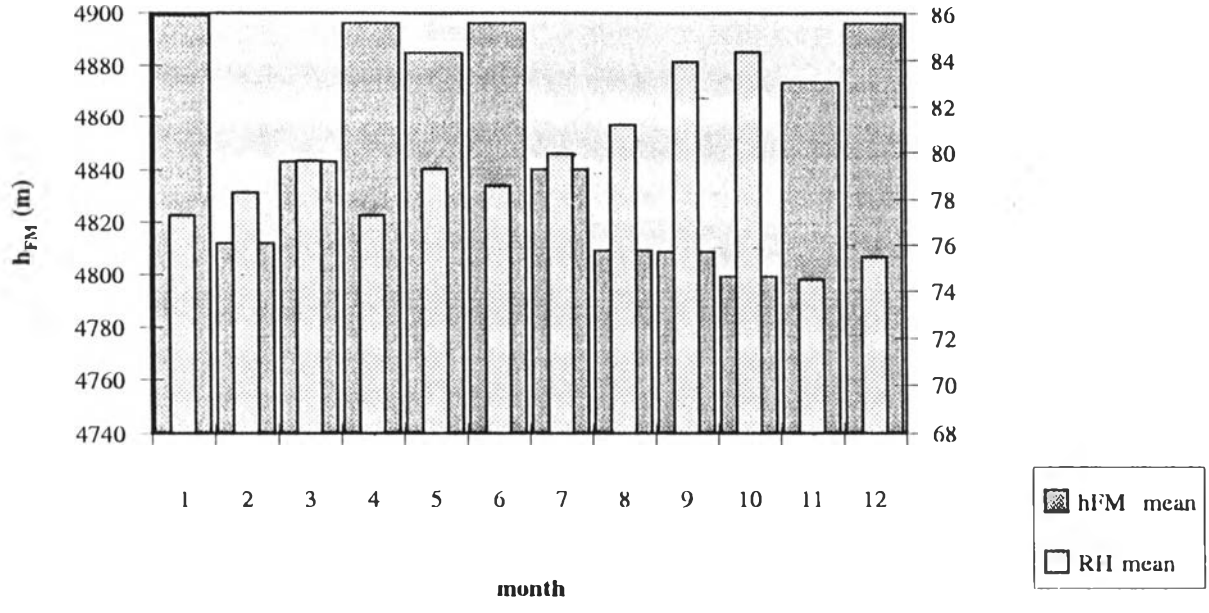
หรือ h_{FR} = 3.9583 R + 4911.3

ส่วนข้อมูลชุดอื่น ในการวิเคราะห์ความถดถอยก็ใช้วิธีการคำนวณในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะไม่แสดงในที่นี้

4.3 ผลการวิจัย

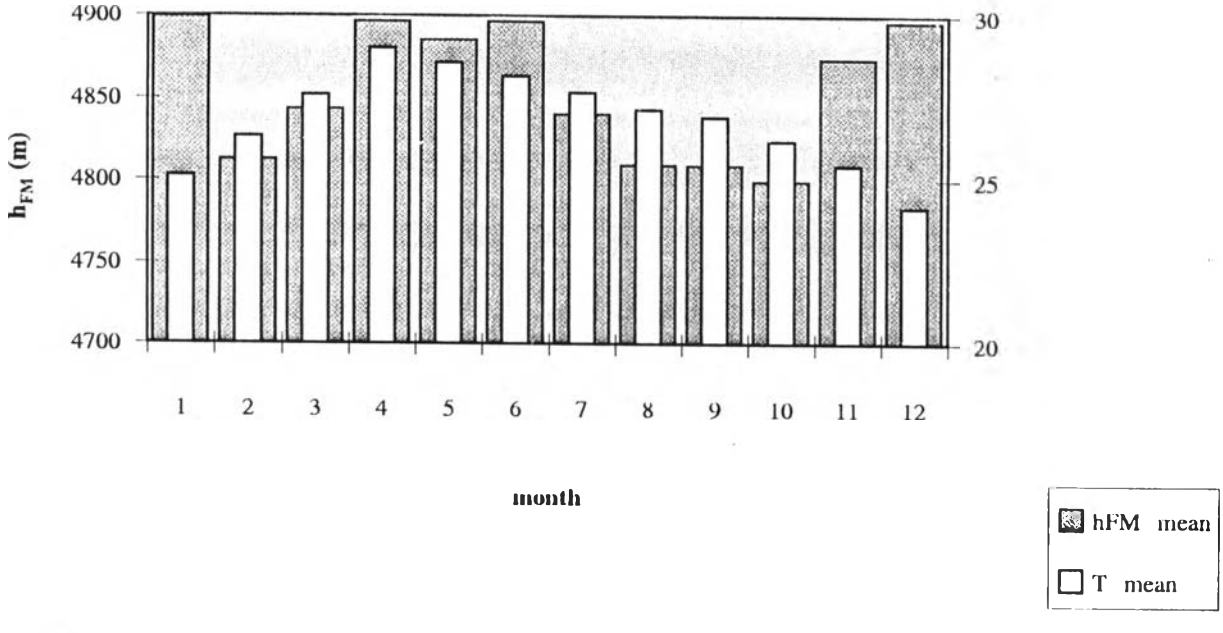
ในการวิเคราะห์ เราจะหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม กับปัจจัยอื่นที่เกี่ยวกับภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราฝนตก ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน (h_{FM}) และความชื้นสัมพัทธ์ แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะผกผัน กล่าวคือ h_{FM} มีค่ามากขณะที่ ความชื้นสัมพัทธ์มีน้อย และ h_{FM} มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล คือ ฤดูฝน h_{FM}จะมีค่าต่ำกว่าในฤดูอื่นๆ



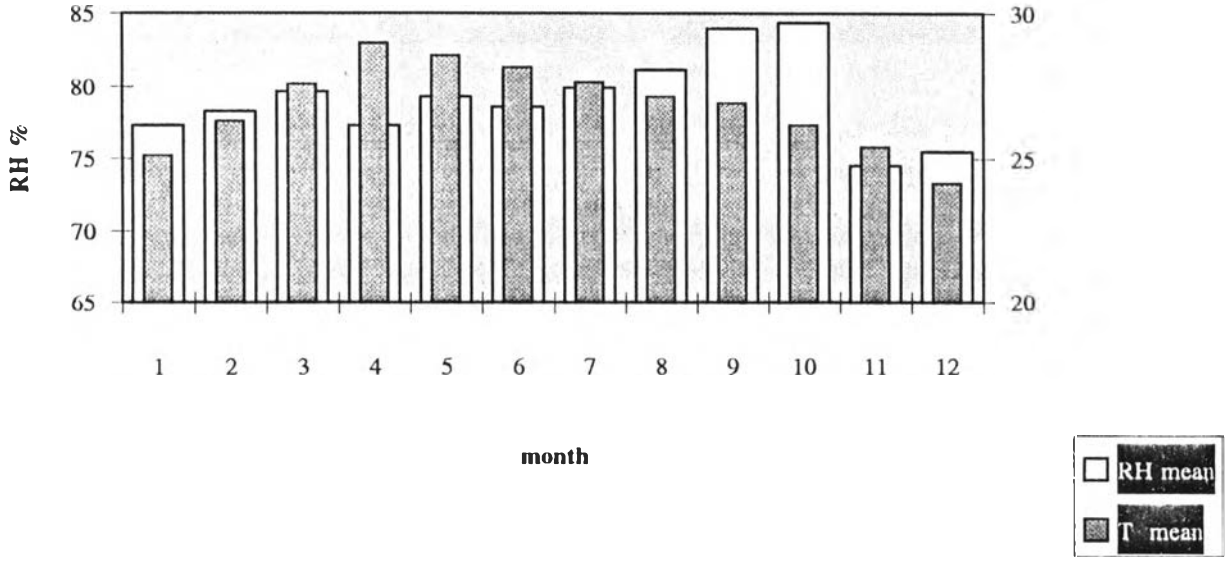
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน กับความชื้นสัมพัทธ์

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน (h_{FM}) และอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกัน กล่าวคือ h_{FM} มีค่ามากขณะเดียวกับที่อุณหภูมิมีค่ามากด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน กับอุณหภูมิ

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกัน เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กันฉะนั้นในการหาความสัมพันธ์กับระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม จึงจะใช้อุณหภูมิเป็นตัวแปรในวิเคราะห์เพียงตัวเดียวเท่านั้น



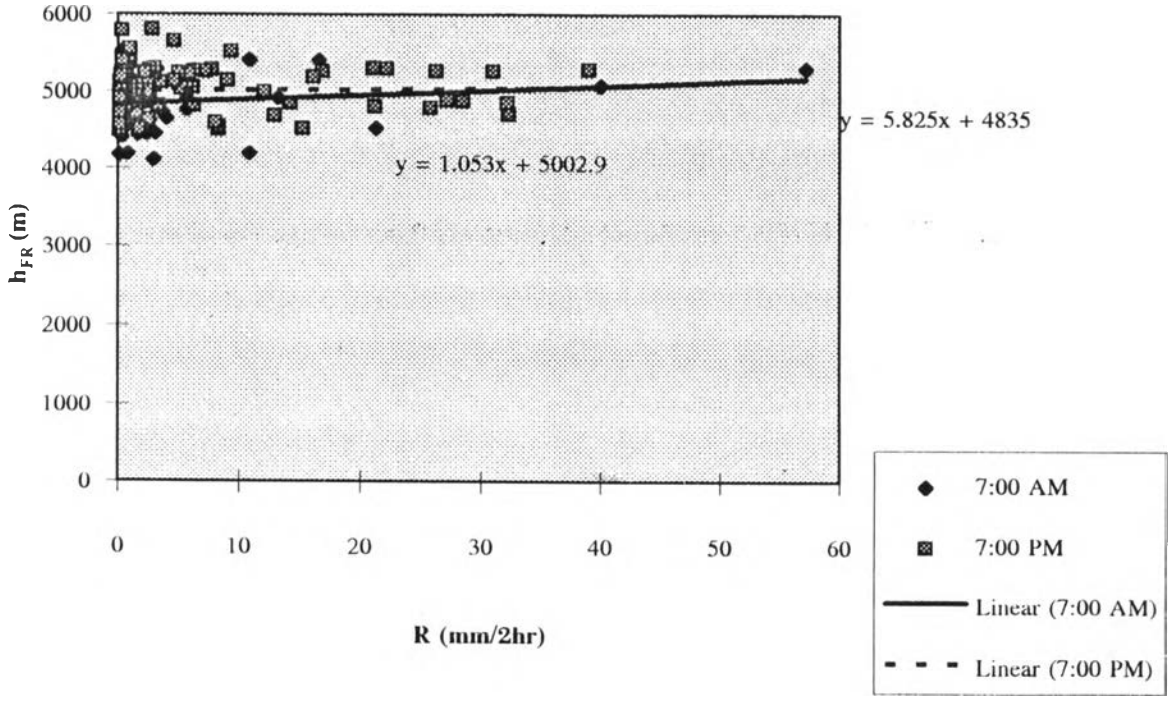
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิ

4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตก (h_{FR}) และอัตราฝนตกต่อสองชั่วโมง(R) แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 เป็นของอุบลราชธานี ซึ่งรูปที่ 4.6 แสดงในแบบแยกตามเวลา คือ 7.00 น. และ 19.00 น. และเมื่อนำข้อมูลจากทั้งสองเวลามาวิเคราะห์ร่วมกัน จะได้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งพบว่าอัตราฝนตกมีผลต่อ h_{FR} น้อยมาก และสมการความสัมพันธ์หาได้จากใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ได้สมการเป็น

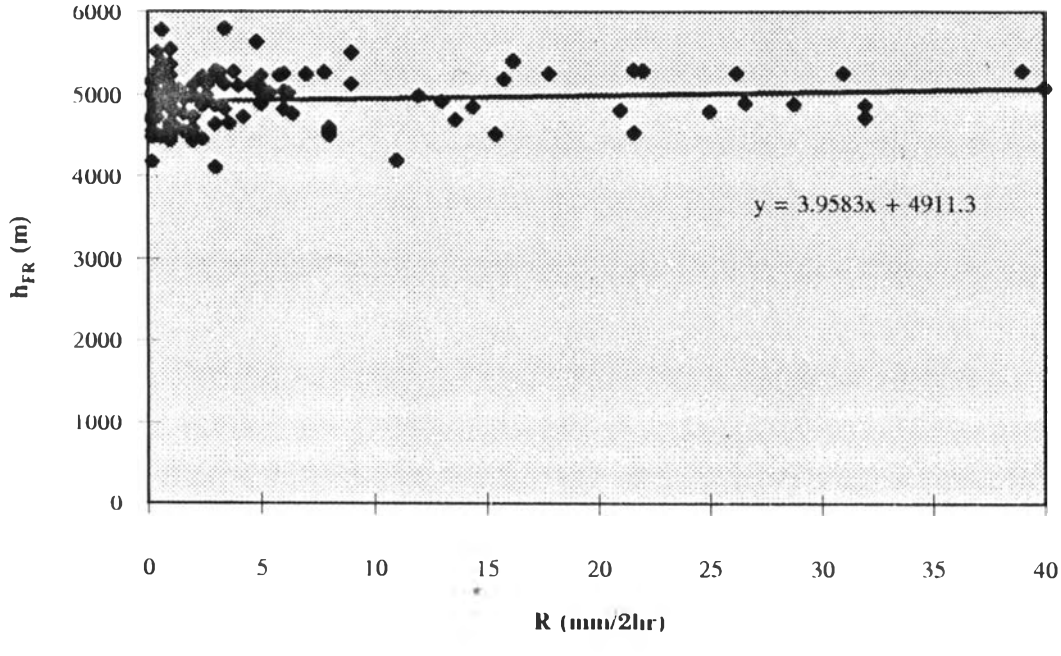
$h_{FR} = 5.825\ R + 4835$ ที่อุบลราชธานี เวลา 7.00 น. (4.6ก)

$h_{FR} = 1.053\ R + 5002.9$ ที่อุบลราชธานี เวลา 19.00 น. (4.6ข)

$h_{FR} = 3.9583\ R + 4911.3$ ที่อุบลราชธานี รวมทั้งสองเวลา (4.6ค)



รูปที่ 4 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับอัตราฝนตก แยกตามเวลา ที่อุบลราชธานี



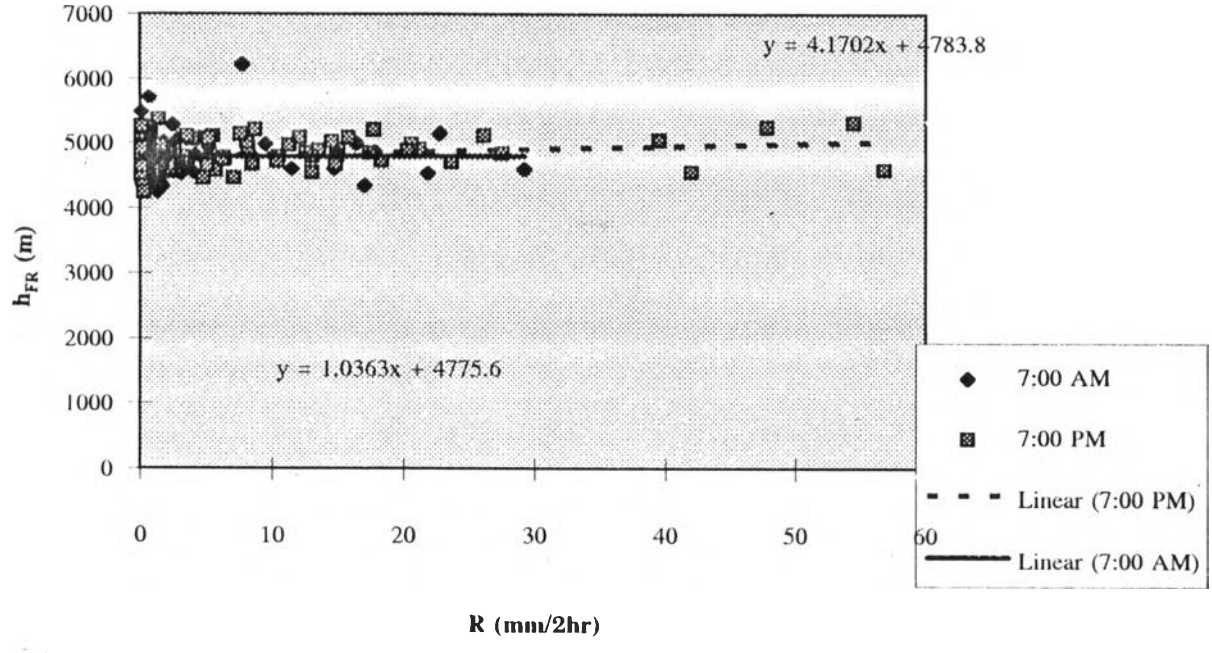
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับอัตราฝนตก ที่อุบลราชธานี

4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตก (h_{FR}) และอัตราฝนตกต่อสองชั่วโมง(R) ของกรุงเทพมหานคร ซึ่งรูปที่ 4.8 แสดงในแบบแยกตามเวลา คือ 7.00 น. และ 19.00 น. และเมื่อนำข้อมูลจากทั้งสองเวลามาวิเคราะห์ร่วมกัน จะได้ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งพบว่าอัตราฝนตกมีผลต่อ h_{FR} น้อยมากเช่นกันกับอุบลราชธานี และสมการความสัมพันธ์หาได้จากใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ได้สมการเป็น

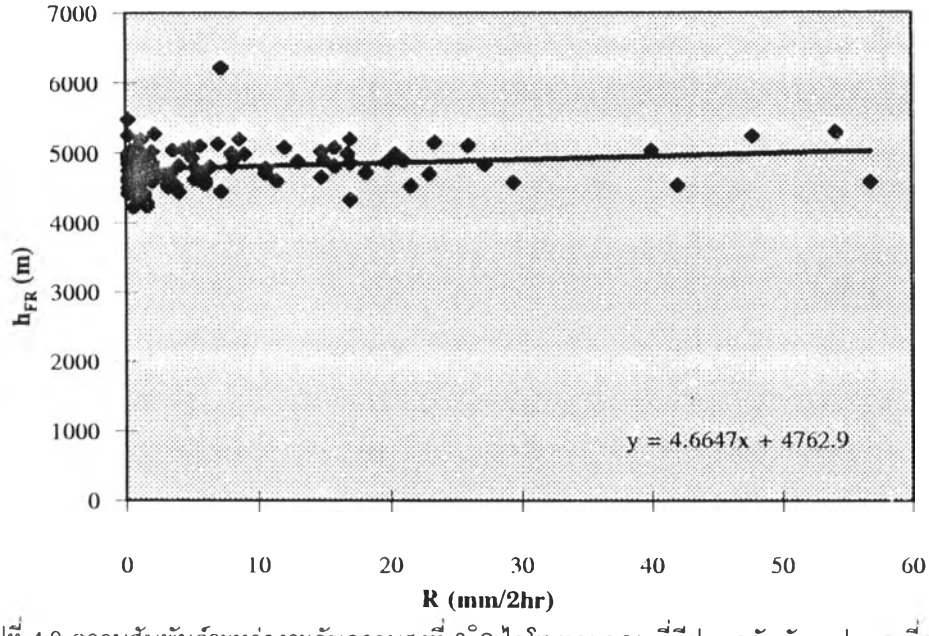
h_{FR} = 1.0363 R + 4775.6 ที่กรุงเทพมหานคร เวลา 7.00 น. (4.7ก)

h_{FR} = 4.1702 R + 4783.8 ที่กรุงเทพมหานคร เวลา 19.00 น. (4.7ข)

h_{FR} = 4.6647 R + 4762.9 ที่กรุงเทพมหานคร (4.7ค)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับอัตราฝนตก แยกตามเวลาที่กรุงเทพมหานคร

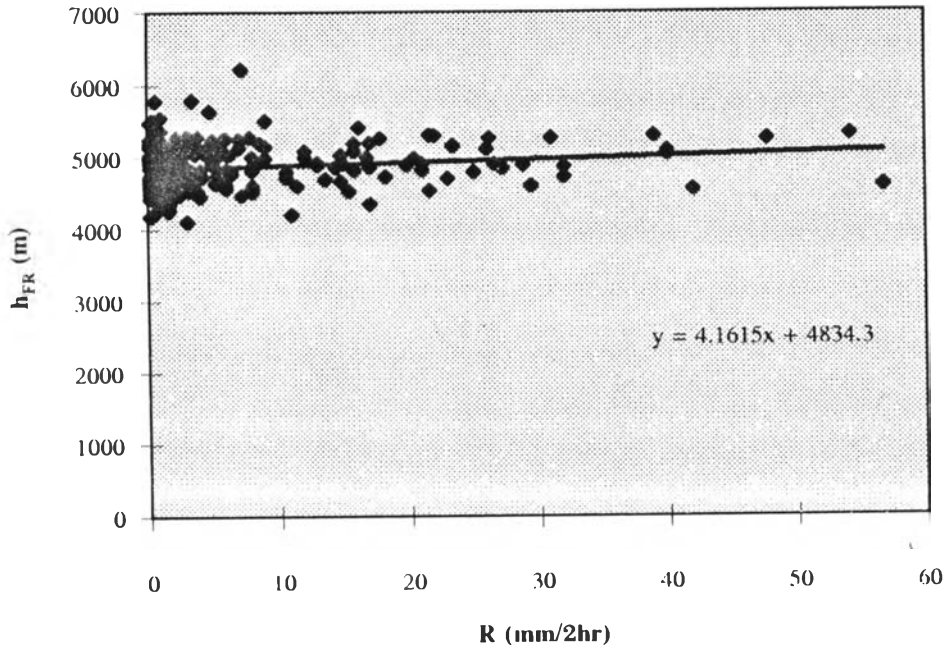


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับอัตราฝนตก ที่กรุงเทพมหานคร

4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตก (h_{FR}) และอัตราฝนตกต่อสองชั่วโมง(R) ของประเทศไทยโดยรวมเอาข้อมูลที่อุบลราชธานีและกรุงเทพมหานครมาวิเคราะห์ร่วมกันแสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งพบว่าอัตราฝนตกมีผลต่อ h_{FR} น้อยมาก และสมการความสัมพันธ์หาได้จากใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย ได้สมการเป็น

$$h_{FR} = 4.1615\ R + 4834.3 \quad \text{ที่ประเทศไทย} \tag{4.8}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยในอิตาลีและไนจีเรียแล้วจะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราฝนตกค่อนข้างน้อยเหมือนกัน จะมีความแตกต่างกันตรงที่ระดับความสูงh_{FR} ของประเทศไทยจะสูงกว่าอิตาลีเนื่องจากอิตาลีอยู่ในเขตอบอุ่น แต่มีค่าใกล้เคียงกับไนจีเรีย ทั้งนี้เพราะประเทศไทยอยู่ในย่านภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเช่นเดียวกับไนจีเรีย



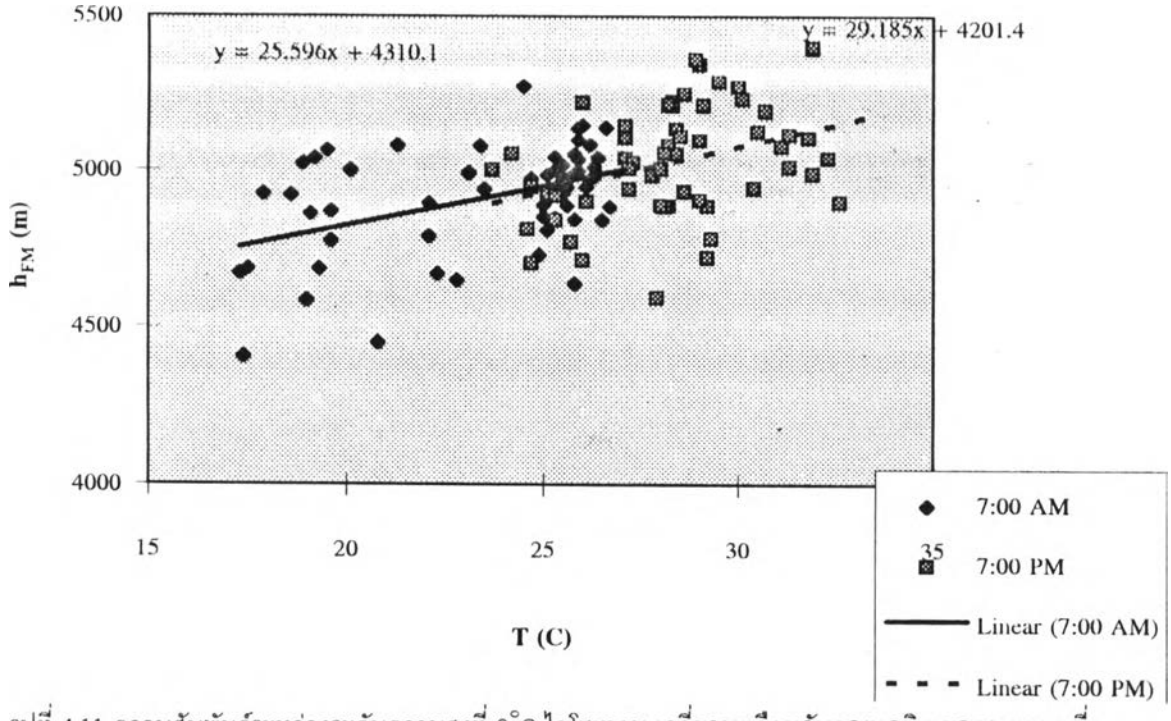
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับอัตราฝนตก ที่ประเทศไทย

4.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน (h_{FM}) และอุณหภูมิ ที่อุบลราชธานีแสดงดังรูปที่ 4.11, 4.12 โดยในรูปที่ 4.11 แสดงผลแบบแยกเวลาเช้าและเย็น จะเห็นว่าในตอนเย็นระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม จะมีค่าสูงกว่าในตอนเช้าเล็กน้อยเนื่องจากตอนเย็นพื้นดินมีการคายความร้อนออกมา และจากการวิเคราะห์ความถดถอยของแต่ละกลุ่มข้อมูล ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง h_{FM} และ T ดังสมการที่ 4.9 ก และ 4.9 ข และเมื่อรวมข้อมูลจากทั้งสองเวลามาวิเคราะห์ร่วมกันจะได้ผลดังสมการที่ 4.9 ค ซึ่งจะเห็นว่า h_{FM} มีค่าแปรผันตามอุณหภูมิค่อนข้างมาก

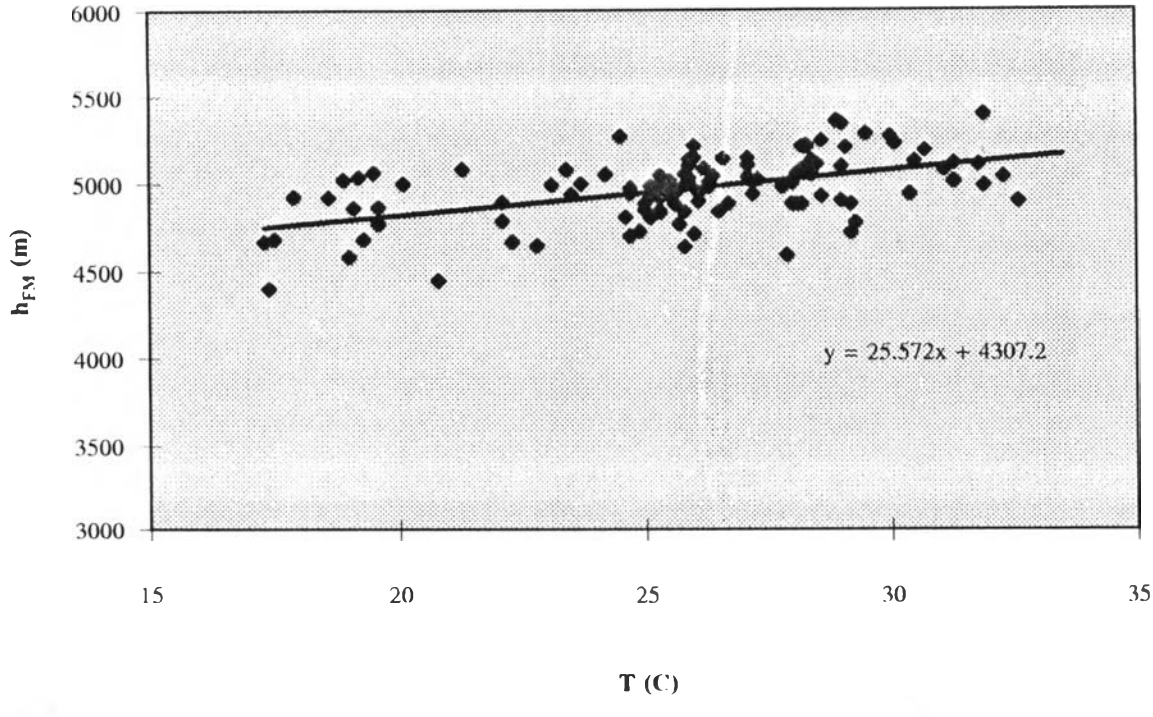
h_{FM} = 25.596 T + 4310.1 เวลา 7.00 น. ที่อุบลราชธานี (4.9ก)

h_{FM} = 29.185 T + 4201.4 เวลา 19.00 น. ที่อุบลราชธานี (4.9ข)

h_{FM} = 25.572 T + 4307.2 รวมทั้งสองเวลา. ที่อุบลราชธานี (4.9ค)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ แยกตามเวลา ที่อุบลราชธานี



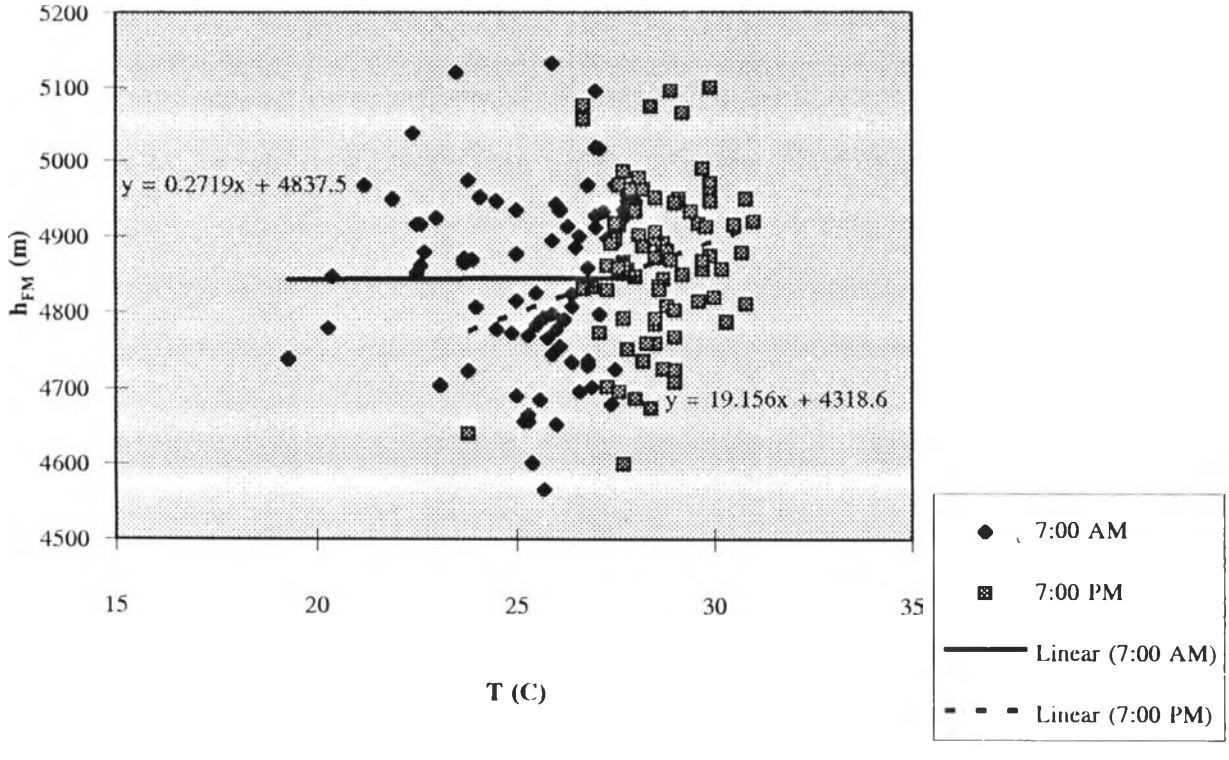
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ ที่อุบลราชธานี

4.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน (h_{FM}) และอุณหภูมิ ที่กรุงเทพมหานคร แสดงดังรูปที่ 4.13และ รูปที่ 4.14 การแปรปรวนของข้อมูลมีมากเพราะในกรุงเทพมหานคร นอกจากฤดูกาลที่มีผลต่ออุณหภูมิแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นอีก เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การจราจรที่ติดขัด และสภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษอื่นอีกมากมายที่มีผลทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ฉะนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง h_{FM} และ T จึงมีค่อนข้างน้อย จากการวิเคราะห์ความถดถอยได้สมการดังสมการที่ 4.10 ก ,4.10 ข และ 4.10 ค

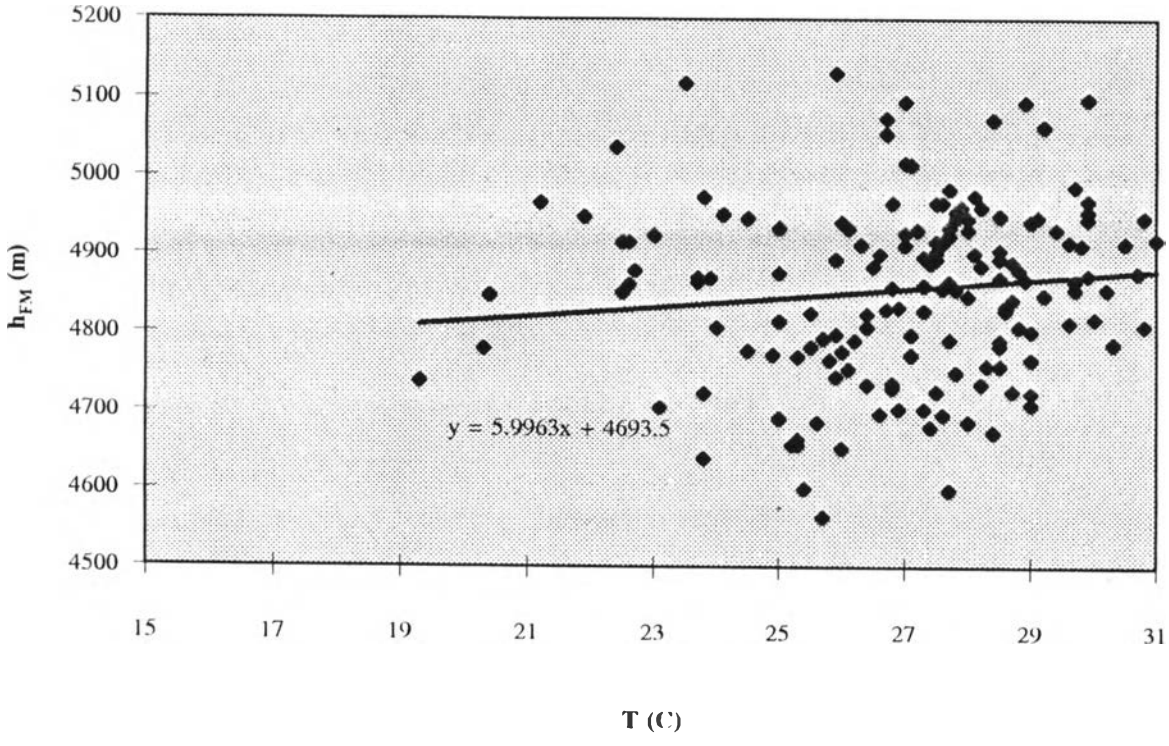
h_{FM} = 0.272 T + 4837.5 เวลา 7.00 น. ที่กรุงเทพมหานคร (4.10ก)

h_{FM} = 19.156 T + 4318.6 เวลา 19.00 น. ที่กรุงเทพมหานคร (4.10ข)

h_{FM} = 5.996 T + 4693.5 รวมทั้งสองเวลา ที่กรุงเทพมหานคร (4.10ค)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ แยกตามเวลาที่กรุงเทพมหานคร



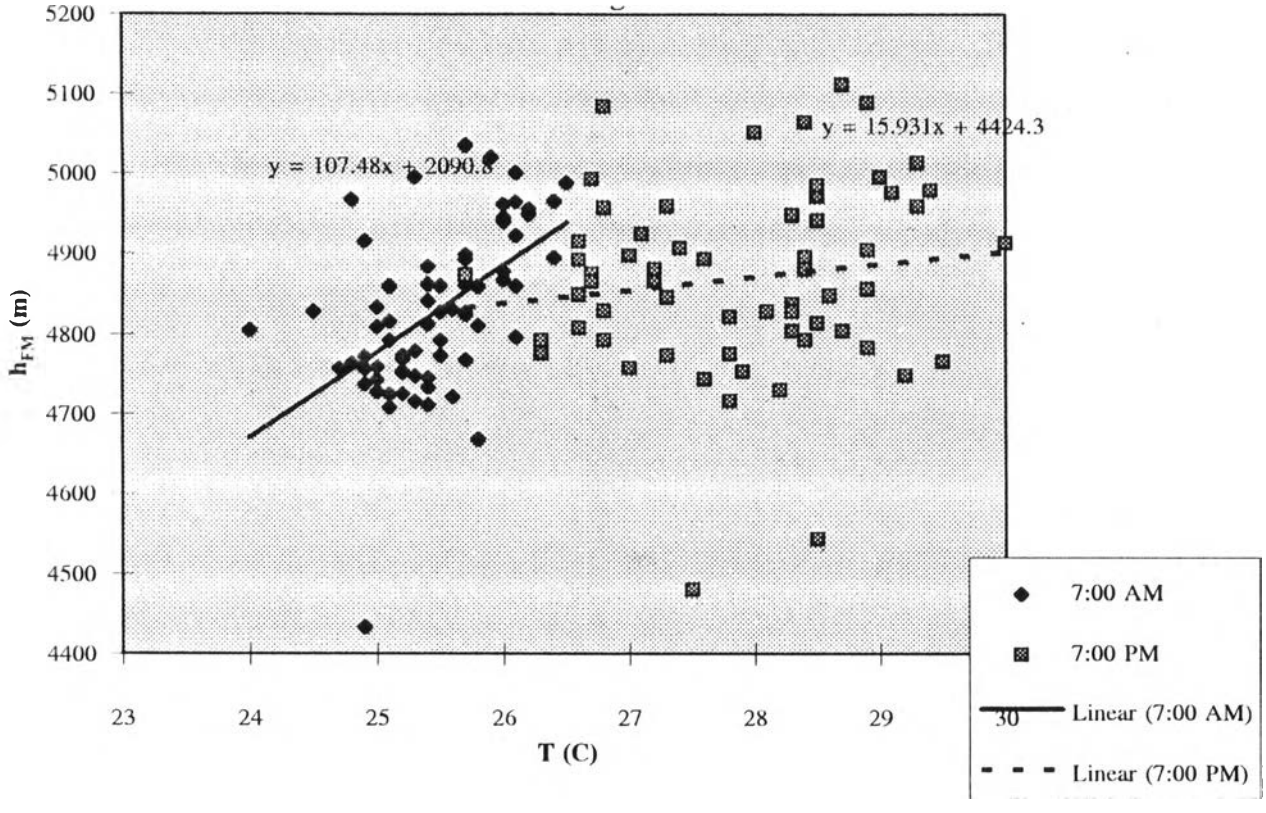
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ ที่กรุงเทพมหานคร

4.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน (h_{FM}) และอุณหภูมิ ที่สงขลา แสดงดังรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 ในรูปที่ 4.16 แสดงผลแบบแยกเวลาเช้าและเย็น จะเห็นว่าในตอนเช้าระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมาก (ความชันของสมการมาก) เพราะที่สงขลาอยู่ติดทะเล อุณหภูมิในตอนเช้าในแต่ละเดือนมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นเมื่อระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จึงทำให้ความชันของสมการที่ได้มีค่ามาก สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยแสดงดังสมการที่ 4.11 ก ,4.11 ข และ 4.11ค

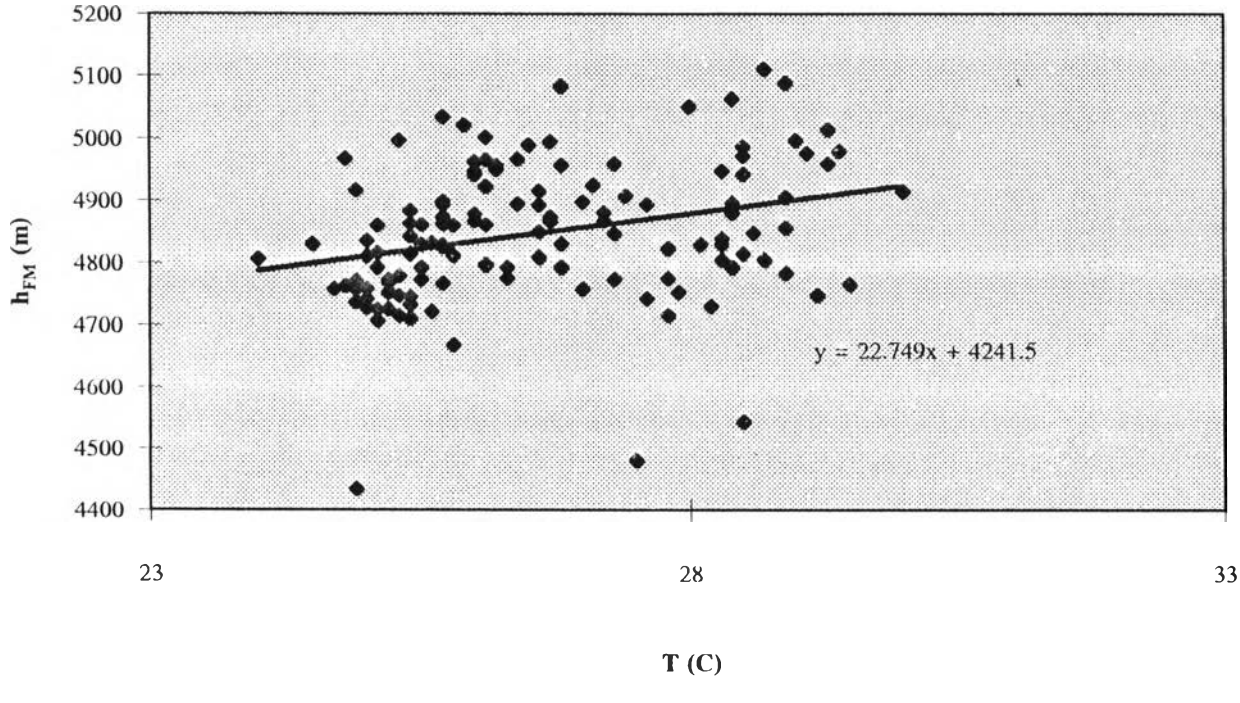
h_{FM} = 107.48 T + 2090.8 เวลา 7.00 น. ที่สงขลา (4.11ก)

h_{FM} = 15.931 T + 4424.3 เวลา 19.00 น. ที่สงขลา (4.11ข)

h_{FM} = 22.749 T + 4241.5 รวมทั้งสองเวลา ที่สงขลา (4.11ค)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ แยกตามเวลา ที่สงขลา



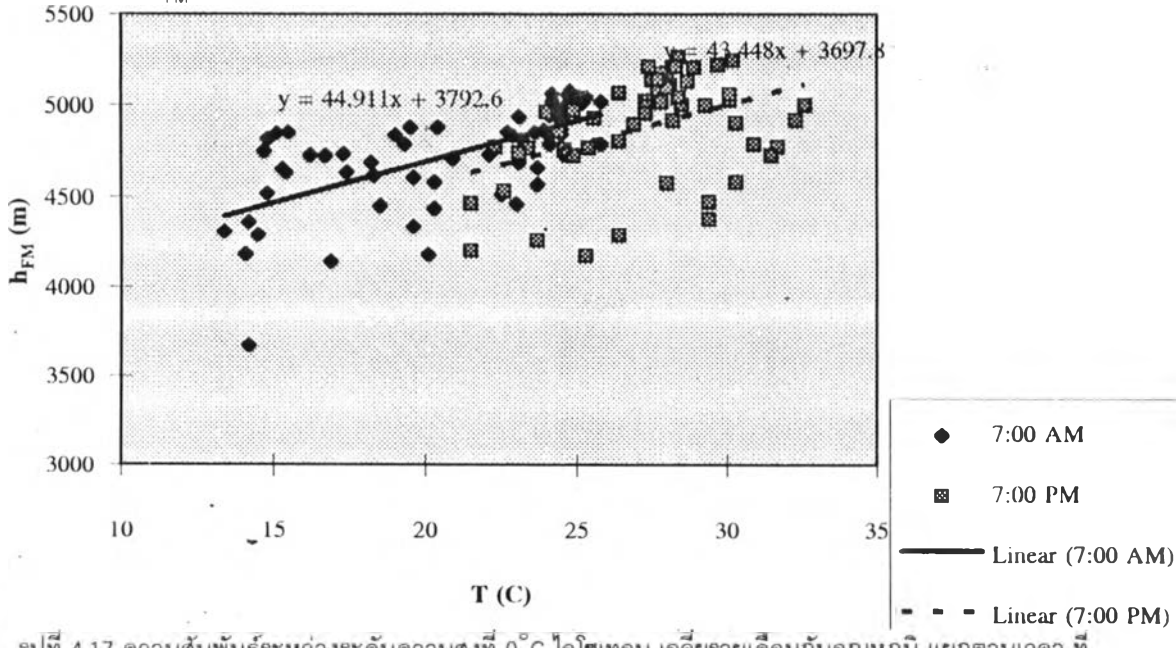
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ ที่สงขลา

4.3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือน (h_{FM}) และอุณหภูมิ ที่เชียงใหม่ แสดงดังรูปที่ 4.17และ รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับจังหวัดอื่นๆที่กล่าวมาแล้ว คือ h_{FM} มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แสดงดังสมการที่ 4.12 ก, 4.12 ข และ 4.12 ค

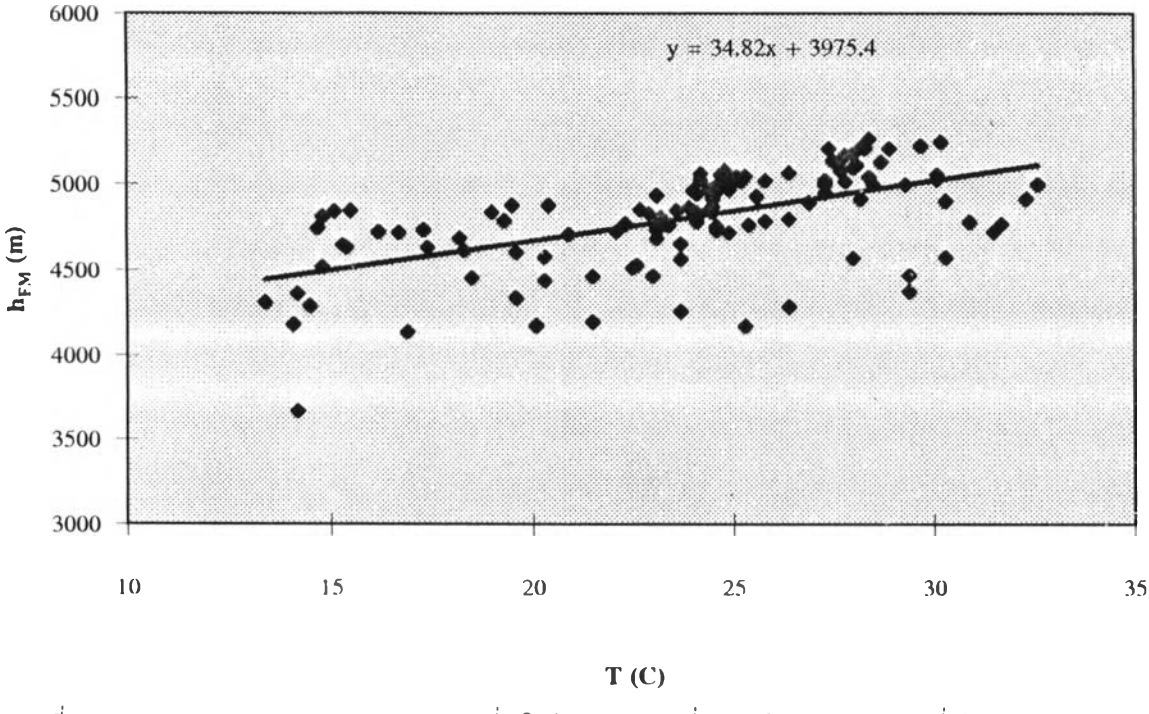
h_{FM} = 44.911 T + 3792.6 เวลา 7.00 น. ที่เชียงใหม่ (4.12ก)

h_{FM} = 43.448 T + 3697.8 เวลา 19.00 น. ที่เชียงใหม่ (4.12ข)

h_{FM} = 34.820 T + 3975.4 รวมทั้งสองเวลา ที่เชียงใหม่ (4.12ค)



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ แยกตามเวลา ที่เชียงใหม่

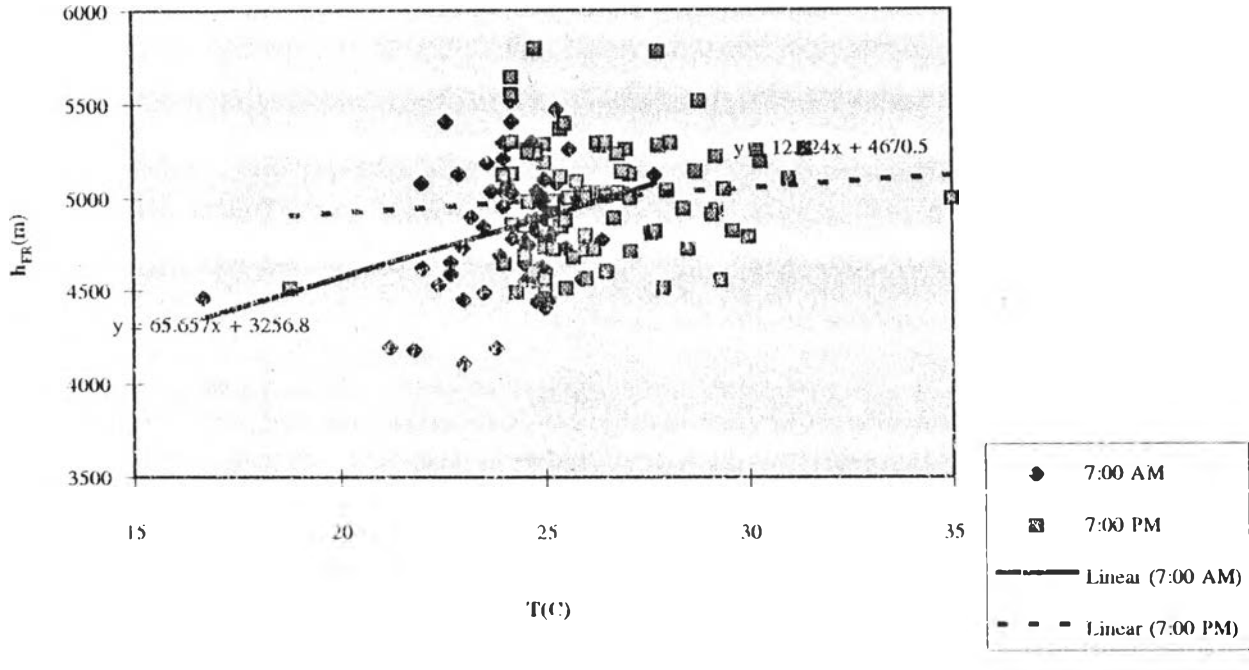


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับอุณหภูมิ ที่เชียงใหม่

4.3.11 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนกับ อุณหภูมิในจังหวัดต่างๆทั่วทุกภาคของประเทศไทยที่ผ่านมาในข้อ 4.3.5 ถึง 4.3.8 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระดับความสูงที่ 0° C ไอโซเทอม มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้นในอันดับต่อไปจะทำการวิเคราะห์ระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตก (h_{FR}) และ อุณหภูมิ ซึ่ง h_{FR} มีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของฝน แต่เป็นที่น่าเสียดายมากที่การวัดอัตราฝนตกมีเพียงแค่ 2 จังหวัดคือ กรุงเทพมหานคร และ อุบลราชธานีเท่านั้น ฉะนั้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง h_{FR} กับอุณหภูมิ จึงทำที่ 2 จังหวัดนี้เท่านั้น โดยทำการคัดเลือกข้อมูลระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอมเฉพาะในเวลาที่มีฝนตก มาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่พื้นดินในขณะนั้น จากการวิเคราะห์ที่จังหวัดอุบลราชธานี แสดงดังรูปที่ 4.19 จะเห็นว่ากลุ่มของข้อมูลในตอนเช้าและตอนเย็นปะปนกันอยู่ ซึ่งแตกต่างกับการวิเคราะห์ระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม เฉลี่ยรายเดือนซึ่งกลุ่มของข้อมูลจะแยกกัน ทั้งนี้เพราะฝนที่ตกลงมาทำให้อุณหภูมิในตอนเย็นลดต่ำลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิในตอนเช้า และ พบว่า h_{FR} ค่อนข้างที่จะแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่อใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอย เขียนสมการได้เป็น

h_{FR} = 65.657 T + 3256.8 เวลา 7.00 น. ที่อุบลราชธานี (4.13ก)

h_{FR} = 12.824 T + 4670.5 เวลา 19.00 น. ที่อุบลราชธานี (4.13ข)

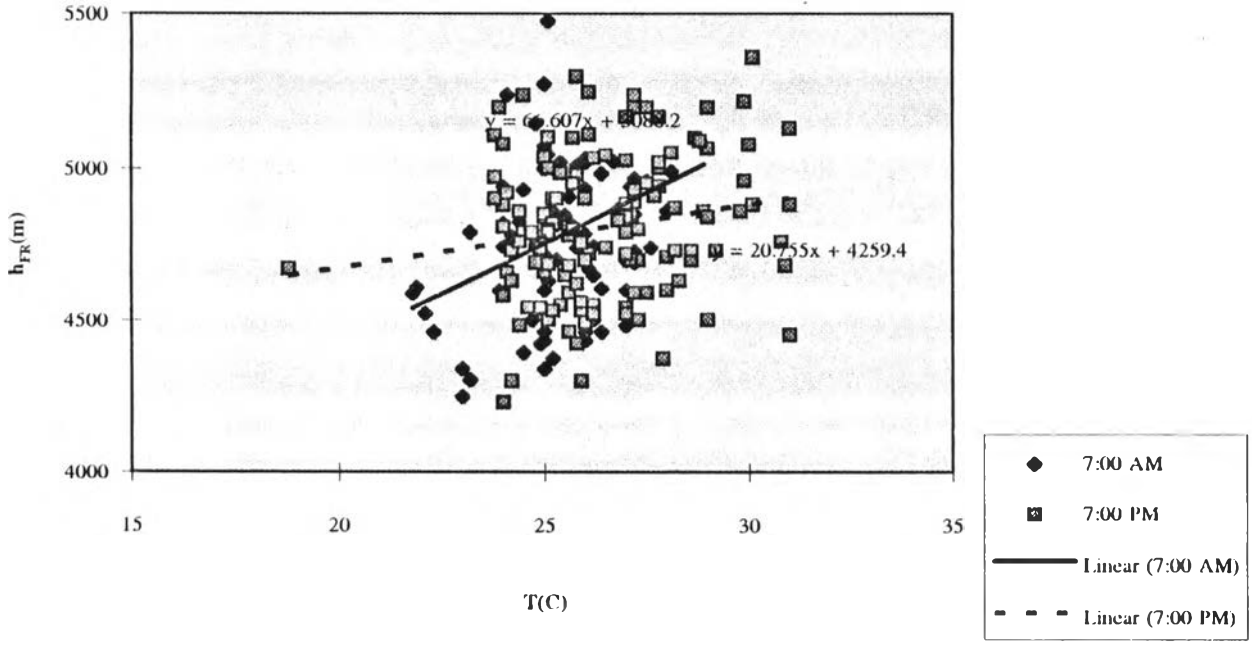


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับอุณหภูมิ แยกตามเวลา ที่อุบลราชธานี

4.3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตก(h_{FR}) และอุณหภูมิ ที่กรุงเทพมหานคร แสดงดังรูปที่ 4.20 แนวทางการวิเคราะห์ทำเช่นเดียวกับที่อุบลราชธานี ผลจากการวิเคราะห์ความถดถอย ทำให้ได้สมการดังสมการที่ 4.14 ก และ 4.14 ข

h_{FR} = 66.607 T + 3088.2 เวลา 7.00 น. ที่กรุงเทพมหานคร (4.14ก)

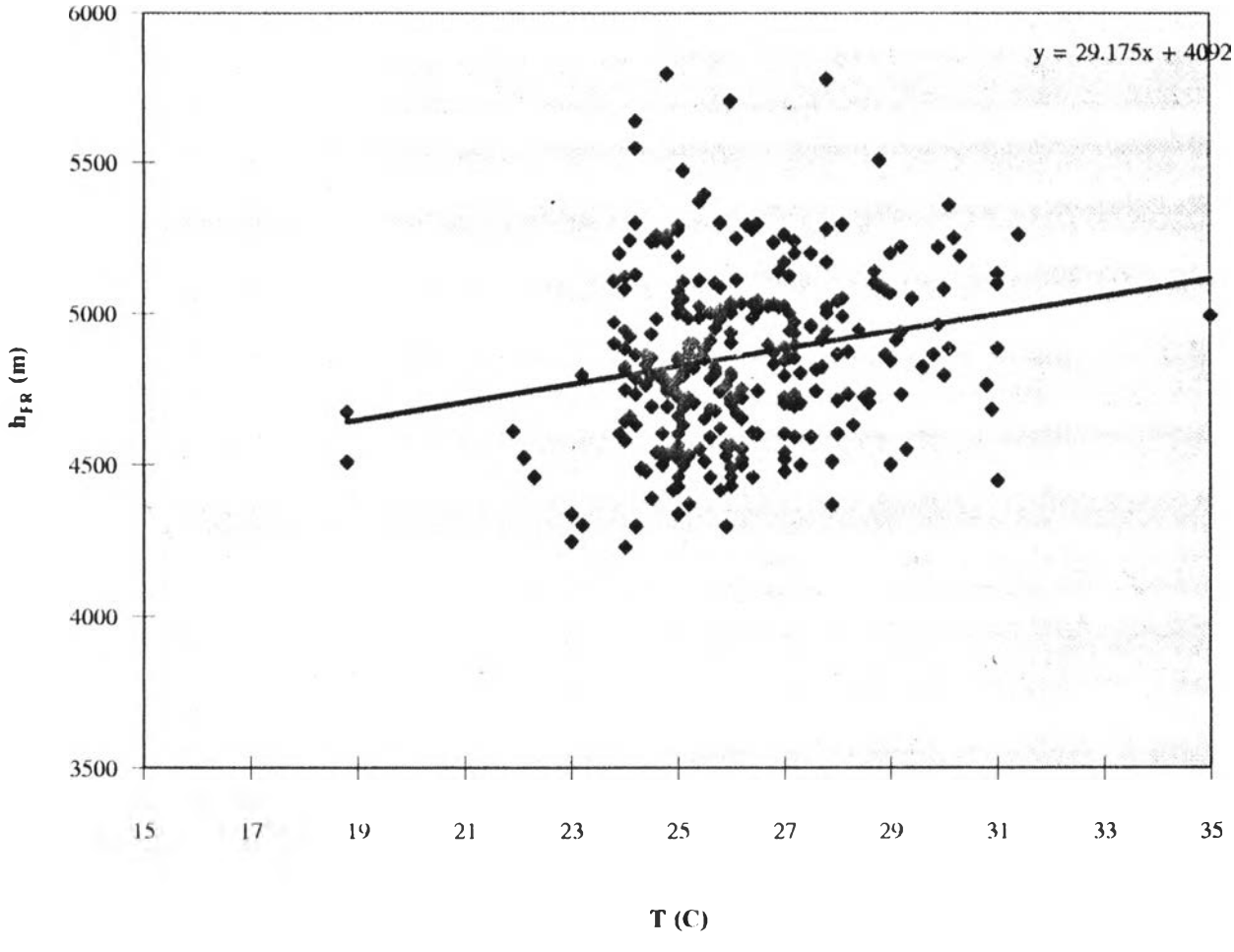
h_{FR} = 20.755 T + 4259.4 เวลา 19.00 น. ที่กรุงเทพมหานคร (4.14ข)



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับอุณหภูมิ แยกตามเวลาที่กรุงเทพมหานคร

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยรวมของประเทศไทย โดยนำเอาข้อมูลจากอุบลราชธานีมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากกรุงเทพมหานคร แสดงดังรูปที่ 4.21 และหาความสัมพันธ์ระหว่าง h_{FR} กับ T โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย จะได้ดังสมการที่ 4.15

$$h_{FR} = 29.175\ T + 4092.0 \qquad \text{ที่ประเทศไทย} \tag{4.15}$$

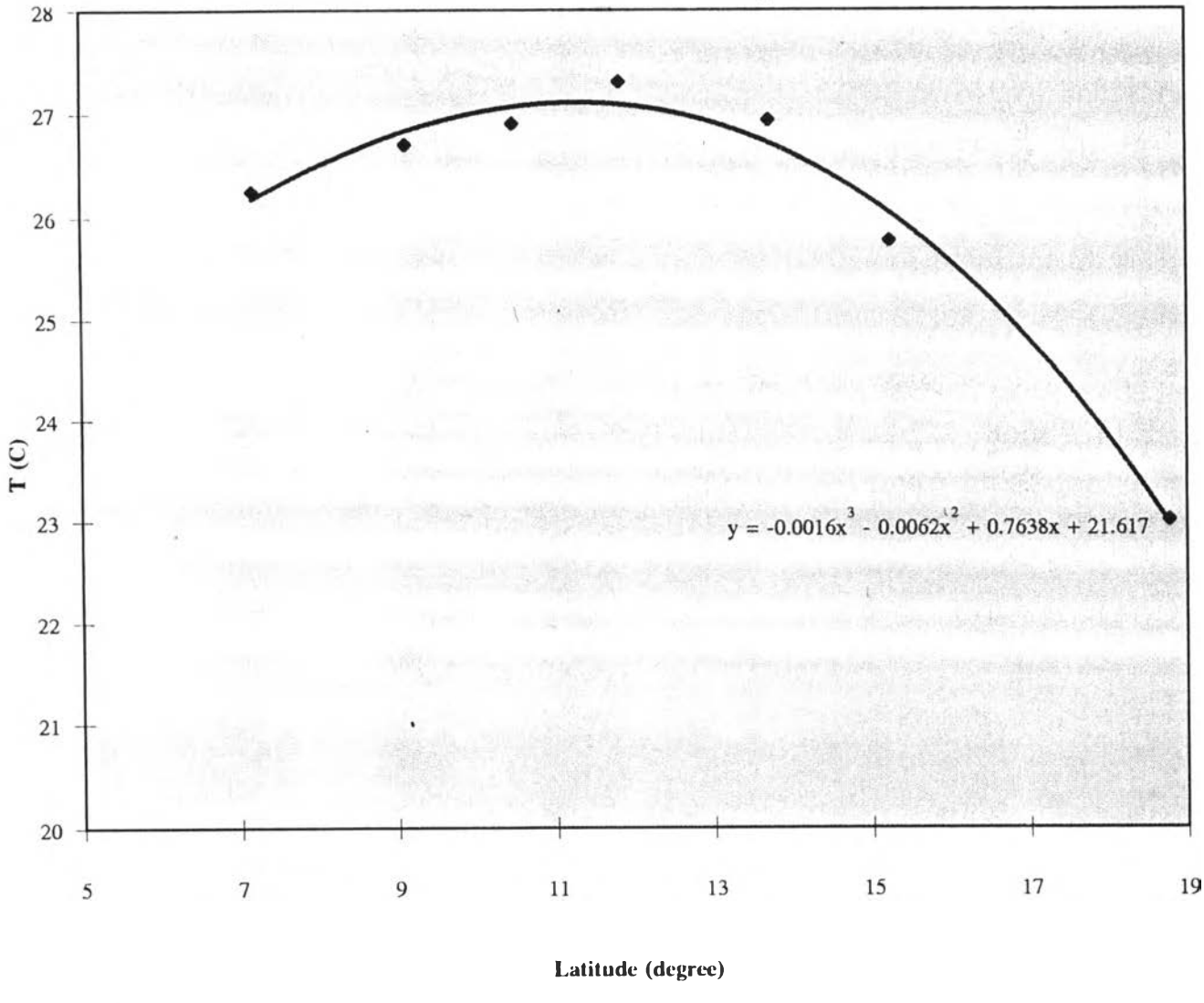


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับอุณหภูมิ ที่ประเทศไทย

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยในอิตาลีและไนจีเรียแล้วจะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิเหมือนกัน จะมีความแตกต่างกันตรงที่ระดับความสูง h_{FR} ของประเทศไทยจะสูงกว่าอิตาลีเพราะอิตาลีอยู่ในเขตอากาศอบอุ่น แต่มีค่าใกล้เคียงกับไนจีเรียเพราะอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นเหมือนกัน

4.3.13 เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับอุณหภูมิแล้ว ในอันดับต่อไปเพื่อจะหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับองศาละติจูด ในการหาความสัมพันธ์กันตรงๆทำได้ยาก เพราะการวัดข้อมูลระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกไม่ได้วัดทุกสถานี ทำให้มีข้อมูลไม่เพียงพอ ฉะนั้นจึงต้องหาความสัมพันธ์โดยทางอ้อม คือหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับอุณหภูมิก่อน จากนั้นหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่พื้นผิวโลกกับตำแหน่งองศาละติจูด แล้วเชื่อมความสัมพันธ์ระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกเข้ากับตำแหน่งองศาละติจูด ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่พื้นผิวโลกกับตำแหน่งองศาละติจูด ได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบ 10 ปี ของสถานี สงขลา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ กรุงเทพมหานคร อุบลราชธานี และ เชียงใหม่ มาพล็อตกับค่าละติจูด ดังรูปที่ 4.22ซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$T = -0.0016\varphi^3 - 0.0062\varphi^2 + 0.7638\varphi + 21.617 \qquad (4.16)$$



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับองศาละติจูดของประเทศไทย

เมื่อแทนค่า T จากสมการที่ 4.16 ลงในสมการที่ 4.15 ในข้อ 4.3.12 ซึ่งเป็นสมการ h_{FR} สำหรับประเทศไทยจะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ขณะที่มีฝนตกกับองศาละติจูด เป็น

$$h_{FR} = 4722 + 22.2838\varphi - 0.1809\varphi^2 - 0.0467\varphi^3 \qquad \text{ที่ประเทศไทย} \qquad (4.17)$$

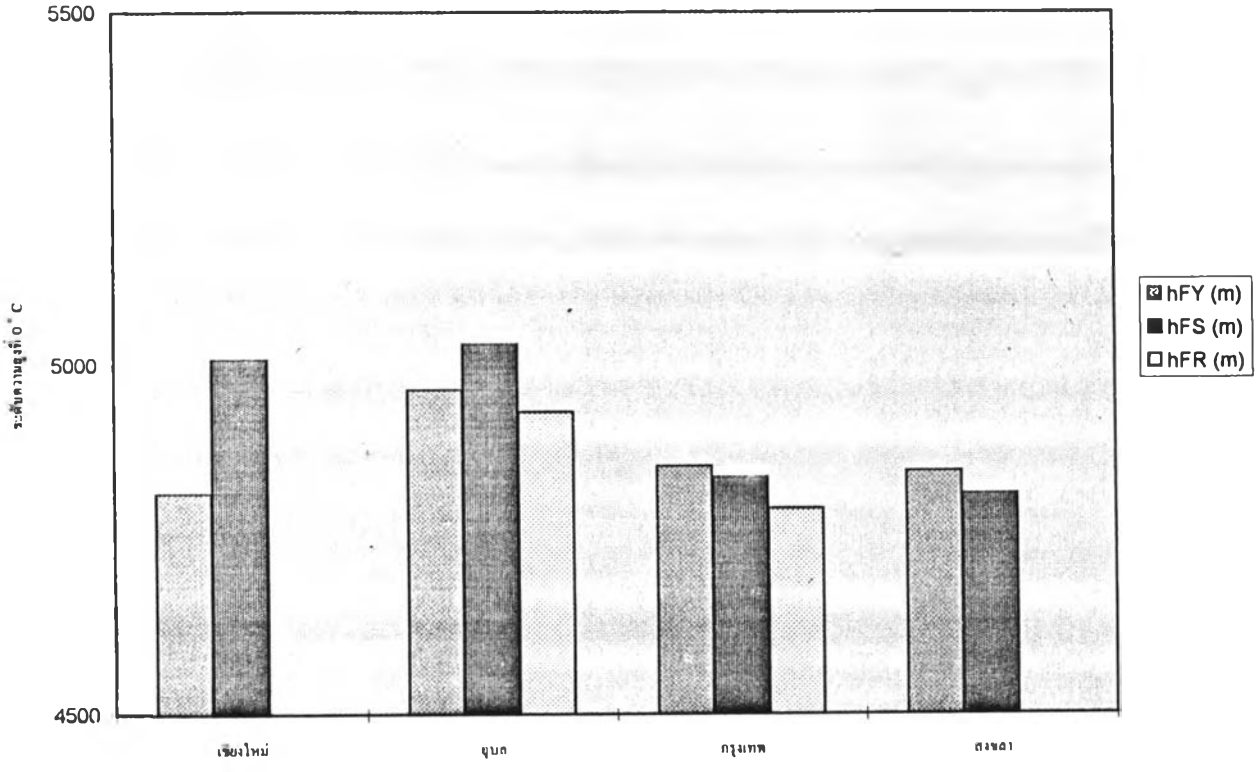
4.3.14 ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระดับความสูงที่ 0°C ไอโซเทอม ที่จังหวัดในภาคต่างๆในประเทศไทย ซึ่งได้จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละจังหวัด ระดับความสูงจะอยู่ที่ประมาณ 4700 - 5000 เมตร และในตอนกลางคืนจะมีค่ามากกว่าตอนเช้า เมื่อแสดงในรูปของกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงที่ 0 °C ตามจังหวัดต่างๆในประเทศไทย

(h_{FY} : ค่าเฉลี่ยต่อปี, h_{FS} : ค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน, h_{FR} : ค่าเฉลี่ยในระหว่างที่มีฝนตก)

จังหวัด	ลองกิจูด	ละติจูด	h_{FY} (m)			h_{FS} (m)			h_{FR} (m)		
	(°E)	(°N)	7:00 น.	19:00 น.	เฉลี่ย	7:00 น.	19:00 น.	เฉลี่ย	7:00 น.	19:00 น.	เฉลี่ย
เชียงใหม่	98.59	18.47	4746	4887	4817	4916	5100	5008	–	–	–
ขอนแก่น	104.53	15.15	4900	5025	4963	4944	5115	5029	4854	5010	4932
กรุงเทพ	100.3	13.44	4844	4864	4854	4815	4863	4839	4778	4809	4794
สงขลา	100.37	7.11	4826	4868	4847	4808	4821	4815	–	–	–

หมายเหตุ จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดสงขลาไม่มีข้อมูลฝน



รูปที่ 4.23 แสดงระดับความสูงที่O°C ไอโซเทอม ที่จังหวัดต่างๆในประเทศไทย

4.3.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง h_{FR} และ h_R

h_{FR} คือ ค่าระดับความสูงที่ O°C ไอโซเทอม ซึ่งทำการวัดในขณะที่มีฝนตก และเป็นค่าที่ใช้ในการประมาณความสูงของระดับฝน (Rain Height) ส่วนค่า h_R เป็นค่าระดับความสูงของฝนจริงๆ ซึ่งได้จากการคำนวณจากค่าการลดทอนเนื่องจากฝนที่ทำการวัดโดยเรดิโอมิเตอร์ โดยใช้สมการของ ITU-R PN 618-2 [9]

$A = \gamma_R L_S r$ dB

$$L_S = \frac{h_R - h_S}{\sin\theta}$$

$L_G = L_S \cos\theta$

เมื่อ $L_0 = 35 \exp(-0.015 R)$

จากสมการทั้ง 4 สมการ สามารถหาค่า h_R ได้เป็น

$$h_R = \frac{ALo}{\frac{kR^{\alpha} Lo}{\sin\theta} - \frac{A}{\tan\theta}} * 1000 + h_s \quad \text{เมตร} \qquad (4.18)$$

เมื่อ A คือ ค่าการลดทอนเนื่องจากฝน

Lo คือ 35 exp(-0.015 R)

θ คือ มุมเอียงของจานรับสัญญาณ = 8 องศา

α คือ ค่าคงที่ ในกรณีนี้ที่ความถี่ 12 GHz = 1.2089 [21]

k คือ ค่าคงที่ ในกรณีนี้ที่ความถี่ 12 GHz = 0.0178 [21]

R คือ อัตราฝนตกต่อชั่วโมง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าระดับความสูงของฝน โดยใช้ข้อมูลในวันที่ 10 มิถุนายน 2536 ที่กรุงเทพฯ การอ่านค่าจะอ่านในช่วงเวลา 11.00 - 13.00 เวลามาตรฐานกรีนิช ซึ่งตรงกับเวลาในไทยที่ 18.00 - 20.00 น. ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟ ส่วนค่าอัตราฝนตกต่อชั่วโมงได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาวัดในเวลา 18.00 - 20.00 น.เช่นกัน จากกราฟอ่านค่าการลดทอนได้ 4.6 dB ส่วนอัตราฝนตกมีค่าเท่ากับ 10.15 mm/h แทนค่าในสูตรจะได้

$$h_R = \frac{4.6\left(35\exp(-0.015*10.15)\right)}{0.0178(10.15)^{1.2089}\left(35\exp(-0.015*10.15)\right)\sin 8 - \frac{4.6}{\tan 8}} * 1000 + 30$$

= 4550 เมตร

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง ได้ทำการคัดเลือกข้อมูลที่วัดในเวลาตรงกัน และเลือกเฉพาะข้อมูลที่วัดในเวลาที่มีฝนตกเท่านั้น โดยที่ h_{FR} ทำการวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพ ส่วนค่าการลดทอนเนื่องจากฝนทำการวัดที่การสื่อสารแห่งประเทศไทย บางรัก กรุงเทพ โดยยิงสัญญาณความถี่ 12 GHz ทำมุม 8 องศากับแนวระนาบ ผ่านกลุ่มเมฆที่อยู่เหนือกรมอุตุนิยมวิทยา เพราะฉะนั้นการคาดหมายในขั้นต้นคือ ความสูงของระดับน้ำฝนที่ได้จากทั้งสองกรณีจึงควรมีค่าเท่ากัน ในการวิเคราะห์ได้ทำการแบ่งข้อมูลเป็น 2 แบบ คือ วิเคราะห์เฉพาะในช่วงฤดูฝน และวิเคราะห์ตลอดทั้งปี ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.22 และ 4.23 มีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$h_R = 0.8421\ h_{FR} + 630.75$ เมตร เฉพาะในช่วงฤดูฝน (4.19ก)

$h_R = 0.7505\ h_{FR} + 1085.5$ เมตร ตลอดทั้งปี (4.19ข)

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นที่แปรผันตามกัน แต่ความชันที่ได้ไม่เท่ากับหนึ่ง เพราะกลุ่มฝนอาจมีการเคลื่อนตัวออกจากแนวยิงของสัญญาณขณะที่ทำการวัด ทำให้การยิงสัญญาณไม่ผ่านกลุ่มเมฆฝนกลุ่มเดียวกัน และจะเห็นว่าค่า h_R ที่วัดในช่วงฤดูฝนจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับ h_{FR} มากกว่า เพราะในฤดูฝนถ้ามีฝนตกเกิดขึ้นจะตกกระจายไปทั่ว ฉะนั้นกลุ่มเมฆฝนที่ทำการวิเคราะห์จากทั้งสองวิธีจึงเป็นกลุ่มเดียวกันค่าที่ได้จึงใกล้เคียงกัน ฉะนั้นสมการที่จะเลือกมาใช้งานคือสมการที่ 4.19ก ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน มีฝนตกเป็นประจำ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ เมื่อแทนค่า จากสมการที่ 4.10 ลงในสมการที่ 4.19ก จะได้สมการของระดับความสูงของฝนในรูปของสมการเชิงประสบการณ์

$$h_R = 4607 + 18.765(\rho) - 0.152(\rho^2) - 0.039(\rho^3) \text{ เมตร} \quad (4.20)$$

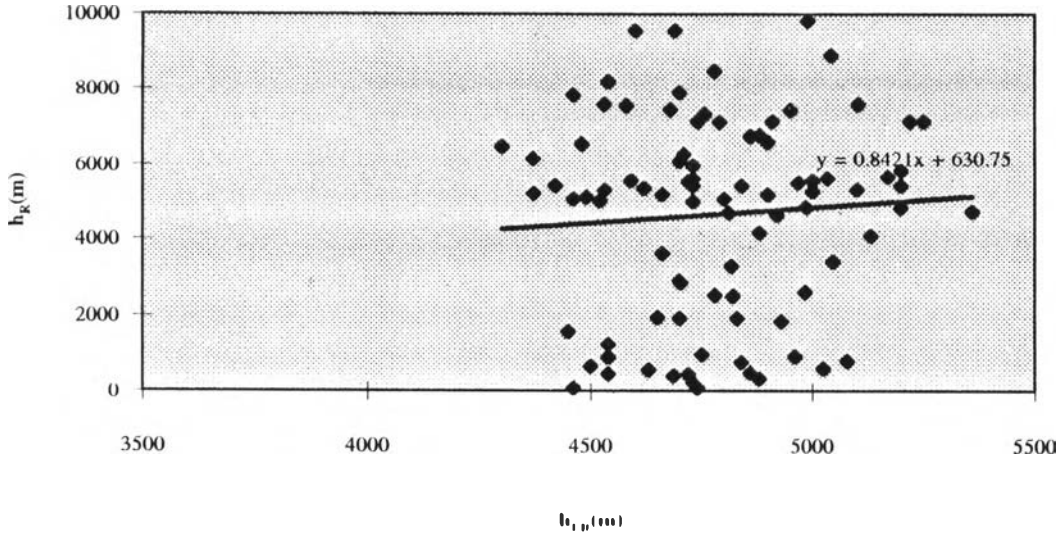
เมื่อทดลองแทนค่าองศาละติจูดที่กรุงเทพมหานครและที่อุบลราชธานีจะได้ระดับความสูงของฝนเป็น

h_R = 4735 เมตร ที่กรุงเทพมหานคร

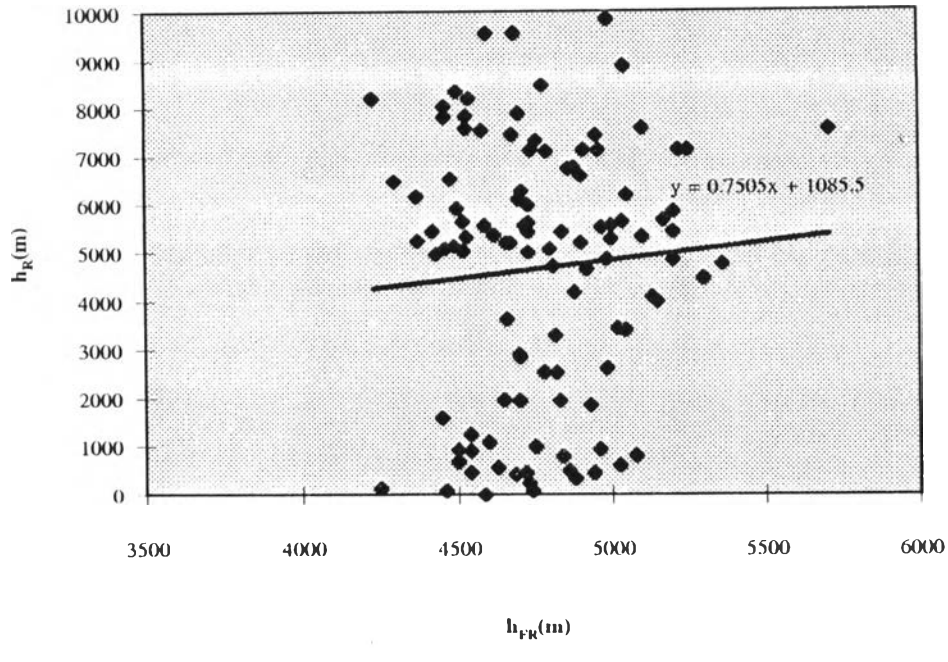
h_R = 4719 เมตร ที่อุบลราชธานี

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับ h_{FR} ในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

I16757865



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0 °C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับระดับความสูงของฝนในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงที่ 0 °C ไอโซเทอมขณะที่มีฝนตกกับระดับความสูงของฝนในระยะตลอดปี

4.4 การคำนวณหาค่าการลดทอน

การหาค่าการลดทอนโดยใช้สูตรจาก ITU - R Recommendation 618-2 [16]

$$A = \gamma_R \left(\frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \right) r \qquad \text{dB}$$

การทดสอบสมการระดับความสูงของฝนที่หาได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับสูตรของ ITU-R และจากการวัดโดยใช้ข้อมูลของวันที่มีฝนตก โดยสุ่มตัวอย่างข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ.2537 มาเป็นบางวัน ระดับความสูงของฝนของกรุงเทพมหานคร หาได้จากการแทนค่าองศาละติจูดคือ 13 องศา 44 ลิปดาลงในสมการ

จาก ITU-R ได้ $h_R = (3.0 + 0.028\varphi) * 1000$ = 3384 เมตร

จากการวิจัย ได้ $h_R = 4607 + 18.765\varphi - 0.152\varphi^2 - 0.039\varphi^3$ = 4735 เมตร

จากตารางที่ 4.2 หาค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดโดยตรง

จาก ITU-R ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ย = 13.69%

จากการวิจัย ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ย = 8.46%

จะเห็นว่าสมการที่ได้จากการวิจัยให้ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดน้อยกว่าสมการของ ITU-R อยู่ประมาณ 5.23 % และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.26 ฉะนั้นสมการที่หามาได้จากการวิจัยจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในประเทศไทยมากกว่าสมการของ ITU

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการลดทอนที่กรุงเทพมหานคร

วันที่	อัตราฝนตก (mm/h)	ค่าการลดทอน (dB)						
		จากการวัด	ใช้h_Rของ ITU=3.384	ใช้h_Rจากการวิจัย=4.735	ความผิดพลาดของ ITU		ความผิดพลาดของการวิจัย	
					(dB)	(%)	(dB)	(%)
1 สค.2535	13.75	7	5.54657651	6.571408809	1.45342349	20.76319271	0.428591191	6.122731307
2 สค.2535	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
13 สค.2535	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
23 สค.2535	7.25	3	2.671729243	3.191466085	0.328270757	10.94235858	0.191466085	6.382202826
25 สค.2535	3.8	1.5	1.250822997	1.500649271	0.249177003	16.61180021	0.000649271	0.043284733
26 สค.2535	6.05	2.5	2.163482268	2.588258677	0.336517732	13.46070926	0.088258677	3.530347069
27 สค.2535	10.3	5	4.003636023	4.764102775	0.996363977	19.92727954	0.235897225	4.717944506
28สค.2535	2.6	1	0.796558048	0.957094834	0.203441952	20.3441952	0.042905166	4.290516609
29 สค.2535	2.75	1	0.85164721	1.023094027	0.14835279	14.835279	0.023094027	2.309402664
18 กย. 2535	3.15	1	1.001090973	1.202019095	0.001090973	0.109097272	0.202019095	20.2019095
19 กย. 2535	23.9	10	10.06632087	11.77449104	0.066320872	0.663208717	1.77449104	17.7449104
25 กย. 2535	1.3	0.5	0.347373056	0.41806252	0.152626944	30.52538875	0.08193748	16.387496
29 กย. 2535	0.75	0.2	0.179257654	0.215884656	0.020742346	10.37117283	0.015884656	7.942327893
3 สค. 2536	0.9	0.25	0.223254782	0.268821083	0.026745218	10.69808706	0.018821083	7.528433105
4 สค. 2536	8.85	4	3.36477922	4.011234253	0.63522078	15.88051949	0.011234253	0.280856315
13 สค. 2536	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการลดทอนที่กรุงเทพมหานคร

วันที่	อัตราฝนตก (mm/h)	ค่าการลดทอน (dB)						
		จากการวัด	ใช้h_Rของ ITU=3.384	ใช้h_Rจากการวิจัย=4.735	ความผิดพลาดของ ITU		ความผิดพลาดของการวิจัย	
					(dB)	(%)	(dB)	(%)
14 สค. 2536	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
15 สค. 2536	1.45	0.5	0.39602873	0.476529971	0.10397127	20.79425406	0.023470029	4.694005781
19 สค. 2536	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
21 สค. 2536	7.4	3.5	2.73603531	3.26766385	0.76396469	21.82756257	0.23233615	6.638175716
22 สค. 2536	3.1	1	0.982220153	1.179434747	0.017779847	1.777984653	0.179434747	17.94347474
29สค. 2536	9.15	4	3.4962464	4.166381835	0.5037536	12.59384	0.166381835	4.159545875
9 กย. 2536	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
10 กย. 2536	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
11 กย. 2536	4.1	1.5	1.368577362	1.641303893	0.131422638	8.761509231	0.141303893	9.420259531
12 กย. 2536	4.35	1.5	1.467774055	1.759715252	0.032225945	2.148396335	0.259715252	17.31435012
13 กย. 2536	0.65	0.2	0.15087348	0.181723589	0.04912652	24.56326003	0.018276411	9.13820573
20 กย. 2536	1.35	0.5	0.363476941	0.437416114	0.136523059	27.30461184	0.062583886	12.51677713
1 มิย. 2537	8.7	4	3.299204659	3.933805699	0.700795341	17.51988353	0.066194301	1.654857519
18 มิย. 2537	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
19 มิย. 2537	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
20 มิย. 2537	3	1	0.944636975	1.134447821	0.055363025	5.536302468	0.134447821	13.44478206

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการลดทอนที่กรุงเทพมหานคร

วันที่	อัตราฝนตก (mm/h)	ค่าการลดทอน (dB)						
		จากการวัด	ใช้h_Rของ ITU=3.384	ใช้h_Rจากการวิจัย=4.735	ความผิดพลาดของ ITU		ความผิดพลาดของการวิจัย	
					(dB)	(%)	(dB)	(%)
24 มิย. 2537	1	0.3	0.253425673	0.305111665	0.046574327	15.52477578	0.005111665	1.703888482
27 มิย. 2537	5.65	2.5	1.996883793	2.390153677	0.503116207	20.12464829	0.109846323	4.393852903
29 มิย. 2537	4	1.5	1.329165364	1.594238288	0.170834636	11.38897576	0.094238288	6.282552532
3 กค. 2537	7.35	3.5	2.714582727	3.242247242	0.785417273	22.44049351	0.257752758	7.364364528
19 กค. 2537	0.85	0.5	0.208412925	0.250965704	0.291587075	58.31741505	0.249034296	49.80685926
5 สค. 2537	1.8	0.5	0.51322746	0.617281129	0.01322746	2.645492065	0.117281129	23.45622576
6 สค. 2537	4.25	1.5	1.427983737	1.712225813	0.072016263	4.801084179	0.212225813	14.14838754
8 สค. 2537	6.3	3	2.268375864	2.712892788	0.731624136	24.38747121	0.287107212	9.570240409
18 สค. 2537	6.5	3	2.352688747	2.813019137	0.647311253	21.57704178	0.186980863	6.232695448
20 สค. 2537	1.15	0.5	0.299797629	0.360873389	0.200202371	40.0404741	0.139126611	27.82532223
21 สค. 2537	0.7	0.2	0.16496359	0.19868237	0.03503641	17.51820499	0.00131763	0.658814981
24 สค. 2537	0.05	0	0.006816425	0.008216386	0.006816425	0	0.008216386	0
25 สค. 2537	6.5	3	2.352688747	2.813019137	0.647311253	21.57704178	0.186980863	6.232695448
1 กย. 2537	7.3	2.5	2.693147303	3.216847904	0.193147303	7.725892124	0.716847904	28.67391615
4 กย. 2537	8	3	2.994733189	3.573923591	0.005256811	0.175560351	0.573923591	19.13078635
10 กย. 2537	15	6.5	6.109072976	7.226411341	0.390927024	6.014261908	0.726411341	11.17555909

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าการลดทอนที่กรุงเทพมหานคร

วันที่	อัตราฝนตก (mm/h)	ค่าการลดทอน (dB)						
		จากการวัด	ใช้h_Rของ ITU=3.384	ใช้h_Rจากการวิจัย=4.735	ความผิดพลาดของ ITU		ความผิดพลาดของการวิจัย	
					(dB)	(%)	(dB)	(%)
11 กย. 2537	1	0.5	0.253425673	0.305111665	0.246574327	49.31486547	0.194888335	38.97766691
12 กย. 2537	2.5	1	0.760144235	0.913456815	0.239855765	23.98557649	0.086543185	8.654318494
14 กย. 2537	1.5	0.5	0.412469482	0.496281576	0.087530518	17.50610366	0.003718424	0.743684815
16 กย. 2537	7.5	3.5	2.778991144	3.3185479	0.721008856	20.60025302	0.1814521	5.184345724
17 กย. 2537	14.2	7	5.74900914	6.807371869	1.25099086	17.871298	0.192628131	2.751830449
18 กย. 2537	4.5	2	1.527728551	1.831249397	0.472271449	23.61357244	0.168750603	8.437530147
19 กย. 2537	0.1	0	0.015752143	0.018986142	0.015752143	0	0.018986142	0
2 ตค. 2537	12.5	5.8	4.985168049	5.91560741	0.814831951	14.04882674	0.11560741	1.99323121
13 ตค. 2537	17.2	8	7.098522112	8.373518749	0.901477888	11.2684736	0.373518749	4.668984358
				STD =	0.39599215		0.257810431	
				AVERAGE =		13.69171396		8.464465796