

การแจกแจงความน่าจะเป็นของฝนรายวันสูงสุดในประเทศไทย Probability Distribution of Extreme Daily Rainfalls in Thailand

ชวลิต ชาลิร์กษัตริกุล พิทักษ์ชน ทันมั่ง และ ศิรเลิศ จุฬพันธ์ทอง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: cchava@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความถี่ของฝนรายวันสูงสุดของประเทศไทย โดยใช้แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นของข้อมูลฝนจำนวน 121 สถานีทั่วประเทศ แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นสะดวกกว่าการทดสอบความพอดีทางสถิติเพราะสามารถเปรียบเทียบความถี่ระหว่างทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นต่างๆด้วยกราฟเพียง 3 รูป เท่านั้น นอกจากนี้ค่าประมาณการของโมเมนต์เชิงเส้นเป็นค่าที่มีอคติน้อยมาก ผลการเปรียบเทียบความพอดีของทฤษฎีความถี่แจกแจงแบบ 2 พารามิเตอร์ (lognormal: LN2, Gamma, and Gumbel) และของ 3 พารามิเตอร์ (LN3, Generalized Extreme Value: GEV, Generalized Logistic: GLOG, Pearson type 3: P3, and Log P3: LP3) กับข้อมูลฝนสูงสุดพบว่าแบบจำลอง LN2 และ GEV เป็นทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นจริงแบบ 2 และ 3 พารามิเตอร์ของฝนสูงสุดรายวันตามลำดับ เพื่อให้เป็นไปตามหลักการประหยัดจำนวนพารามิเตอร์ ทฤษฎี LN2 ควรจะถูกประยุกต์ใช้เมื่อข้อมูลฝนสูงสุดมีจำกัด (< 20 ปี) หรือมิฉะนั้นทฤษฎี GEV ควรจะถูกนำมาจำลอง

Abstract

The objective of this paper is to perform the frequency analysis of extreme daily rainfalls in Thailand. The frequency analysis applies the linear moment diagrams of corresponding precipitation data for 121 stations in Thailand. The moment diagram method is more convenient than the widely used goodness-of-fit test because it is able to compare the frequency analysis results by only 3 graphs. Further, the linear moments are almost unbiased

statistics. Results of comparing the fit of 2-parameter distributions (lognormal: LN2, Gamma, and Gumbel) and 3-parameter ones (LN3, Generalized Extreme Value: GEV, Generalized Logistic: GLOG, Pearson type 3: P3, and Log P3: LP3) with the maximum precipitation data have shown that the LN2 and GEV models are the true 2- and 3-parameter distributions of the rainfalls respectively. To conform to the principle of parsimony, the LN2 model is recommended when the available rainfall data of a considered site are limited (< 20 years). Otherwise, the GEV model is suggested.

1. บทนำ

ทฤษฎีความน่าจะเป็นของฝนสูงสุดรายวันเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาวิเคราะห์ความเสี่ยงของอุทกภัยในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่างๆ [1] – [4] ได้วิเคราะห์ความถี่เพื่อหาทฤษฎีความน่าจะเป็นของข้อมูลฝนสูงสุดนั้นโดยใช้การทดสอบความเหมาะสมทางสถิติ (Chi-Square and Kolmogorov-Sminov) ของทฤษฎีความถี่แจกแจงต่างๆแบบจำลองที่มักถูกนำมาพิจารณาคัดเลือกได้แก่ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบ 2-parameter lognormal: LN2, 3-parameter LN: LN3, Pearson type 3: P3, log P3: LP3, and Gumbel อย่างไรก็ตามการทดสอบความเหมาะสมทางสถิติข้างต้น จะให้ข้อสรุปได้แค่ปฏิเสธ หรือยอมรับทฤษฎีที่นำมาทดสอบ เฉพาะข้อมูลของสถานีที่พิจารณาเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นการยอมรับนี้ก็ไม่ได้หมายความว่า ทฤษฎีนั้นคือทฤษฎีจริงของฝนสูงสุดที่สนใจด้วย [5]

แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น(linear moment, L-moment diagram) เป็นเครื่องมือสำหรับหาแบบจำลองความน่าจะเป็น

RECEIVED 15 June, 2011

ACCEPTED 15 March, 2012

เป็นจริงของฝนสูงสุด แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นนี้ดีกว่าการทดสอบความพอดีทางสถิติ อยู่ 2 ประการ คือ (1) แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นสามารถแสดงความพิเคราะห์ระหว่างฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของทฤษฎีความน่าจะเป็นหลายชนิดกับข้อมูลตัวอย่างจำนวนมากได้ด้วยเพียงกราฟ 2-3 รูป เท่านั้น โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าประมาณการของอัตราส่วนโมเมนต์เชิงเส้น τ_m ($m = 2, 3$ และ 4) กับค่าอัตราส่วนทางทฤษฎีประมาณการตัวอย่าง [6] และ (2) ค่าประมาณการของอัตราส่วนโมเมนต์เชิงเส้นเป็นค่าทางสถิติที่เกือบไม่อคติเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนโมเมนต์ผลคูณ ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่มีอคติสูง [5] ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมาก เช่น [7]-[9] เป็นต้น ได้ประยุกต์แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น เพื่อค้นหาแบบจำลองความน่าจะเป็นจริงของฝนสูงสุดในประเทศต่างๆทั่วโลก

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น สำหรับค้นหาทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นจริงของฝนสูงสุดในประเทศไทย โดยพิจารณาทฤษฎีทั้งประเภท 2 พารามิเตอร์ (LN2 Gamma และ Gumbel) และประเภท 3 พารามิเตอร์ [LN3, LP3, GEV, และ Generalized Logistic (GLOG)] ข้อมูลฝนรายวันสูงสุดระหว่างปี ค.ศ.1951-2010 จำนวน 121 สถานีทั่วประเทศไทยได้ถูกพิจารณาในการวิเคราะห์นี้ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าทฤษฎีจริงของฝนรายวันสูงสุดแบบ 2 พารามิเตอร์ได้แก่ ทฤษฎี LN2 ส่วนแบบ 3 พารามิเตอร์คือทฤษฎี GEV

2. โมเมนต์เชิงเส้น

[5] และ [10] ได้นิยามโมเมนต์เชิงเส้นให้อยู่ในเทอมของผลรวมเชิงเส้นของโมเมนต์ถ่วงน้ำหนักด้วยความน่าจะเป็น (probability weighted moment, PWM) ในที่นี้จึงจำเป็นต้องนำเสนอการประมาณค่าของ PWM เสียก่อน หลังจากนั้นจึงจะอธิบายการคำนวณค่าโมเมนต์เชิงเส้นประมาณการ

[11] ได้ริเริ่มพัฒนา PWM และได้แสดงให้เห็นว่า PWM เป็นค่าทางสถิติที่มีประสิทธิภาพในการอธิบายลักษณะทางสถิติของข้อมูลของตัวแปรสุ่ม x ถ้ากำหนดให้ β_m คือ PWM

ลำดับที่ m ($m = 0, 1, \dots, n-1$) PWM β_m จะถูกนิยามโดย {[10]}

$$\beta_m = E\{X[F_X(x)]^m\} \quad (1)$$

เมื่อ $F_X(x)$ = ความน่าจะเป็นสะสมเมื่อ $X \leq x$ และ $E\{\cdot\}$ = ค่าคาดคะเน ให้สังเกตด้วยว่าถ้า $m = 0$ β_0 จะคือค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ของ X เพื่อที่จะนำค่า PWM ประมาณการ b_m ($m = 0, 1, 2, 3$) ของ β_m ไปใช้คำนวณค่าโมเมนต์เชิงเส้นประมาณการ L_k ของ λ_k (λ_k = โมเมนต์เชิงเส้นลำดับที่ k ; $k = 1, 2, 3, \dots$) สำหรับสร้างแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น การประมาณการ PWM b_m ซึ่งเหมาะที่จะใช้ได้แก่ วิธีแบบไม่อคติ ดังสมการ

$$b_0 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (2)$$

$$b_1 = \sum_{j=1}^{n-1} \left[\frac{(n-j)}{n(n-1)} \right] x_j \quad (3)$$

$$b_2 = \sum_{j=1}^{n-2} \left[\frac{(n-j)(n-j-1)}{n(n-1)(n-2)} \right] x_j \quad (4)$$

$$b_3 = \sum_{j=1}^{n-3} \left[\frac{(n-j)(n-j-1)(n-j-2)}{n(n-1)(n-2)(n-3)} \right] x_j \quad (5)$$

โดยที่ x_j คือ ข้อมูลสูงสุดลำดับที่ j ของ X

ค่า PWM ประมาณการ b_m ที่ได้จะถูกนำไปคำนวณหาค่าโมเมนต์เชิงเส้น L_k โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประชากร λ_k และ β_m ดังต่อไปนี้

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (6)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (7)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (8)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (9)$$

ค่าประชากร λ_k ในสมการที่ (6) - (9) จะกลายเป็นค่าประมาณการ L_k โดยการแทนที่ค่าประชากร β_m ด้วยค่าประมาณการ b_m จากโมเมนต์เชิงเส้นประมาณการ L_k อัตราส่วนไร้หน่วยของความแปรปรวนเชิงเส้นประมาณการ t_2 ของ τ_2 อัตราส่วนไร้หน่วยของความเบ้เชิงเส้นประมาณการ t_3 ของ τ_3 และอัตราส่วนไร้หน่วยของความแบนเชิง

เส้นประมาณการ t_4 ของ τ_4

(τ_2, τ_3 และ τ_4 = ค่าประชากร) จะถูกคำนวณหาโดย [10]

$$t_2 = \frac{L_2}{L_1} \quad (10)$$

$$t_3 = \frac{L_3}{L_2} \quad (11)$$

$$t_4 = \frac{L_4}{L_2} \quad (12)$$

3. การวิเคราะห์ความถี่ด้วยแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น
แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นเป็นพล็อตของโมเมนต์ระหว่างลำดับที่ m ($m = 2, 3, \dots$) กับ $m + 1$ แผนภาพนี้เหมาะสมในการวิเคราะห์ความถี่เพื่อหาทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นจริงของตัวแปรสุ่ม X ของภูมิภาคหนึ่งๆ เพราะสะดวกในการแสดงทฤษฎีจริงของตัวแปรสุ่มที่พิจารณา ด้วยแผนภาพเพียง 2 – 3 ภาพเท่านั้น นอกจากนี้โมเมนต์เชิงเส้นยังเป็นค่าทางสถิติซึ่งอธิบายลักษณะของตัวแปรสุ่มได้ค่อนข้างแม่นยำ [5]

ขั้นตอนการสร้างแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น สำหรับวิเคราะห์หาทฤษฎีจริงของตัวแปรสุ่ม X ได้แก่ {[5]}

- (1) เก็บรวบรวมข้อมูล $x_{v\eta}$ ขึ้นที่ V ณ สถานี η ของ X
- (2) ประมาณการสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเชิงเส้น ($t_{2\eta}$) สัมประสิทธิ์ความเบ้เชิงเส้น ($t_{3\eta}$) และสัมประสิทธิ์ความแบนเชิงเส้น ($t_{4\eta}$) ของ $x_{v\eta}$
- (3) พล็อตของแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นประมาณการระหว่าง $t_{2\eta}$ กับ $t_{3\eta}$ สำหรับทดสอบทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ 2 พารามิเตอร์ เช่น ทฤษฎี LN2 Gamma และ Gumbel เป็นต้น
- (4) ลากเส้นความสัมพันธ์ด้อยของแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นประมาณการข้างต้น
- (5) คำนวณความสัมพันธ์ด้อยทางทฤษฎีระหว่าง τ_2 กับ τ_3 ของฟังก์ชัน LN2 Gamma และ Gumbel โดยปกติความสัมพันธ์ด้อยทางทฤษฎีจะถูกแสดงให้อยู่ในรูปแบบโพลีโนเมียลดังนี้คือ

$$\tau_3 = \sum_{k=0}^K d_k \tau_2^k \quad (13)$$

โดยที่ d_k = ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับ $k = 1, 2, \dots$

K ดังแสดงในตารางที่ 1

- (6) เลือกฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็น ที่มีความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่าง τ_2 กับ τ_3 ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่าง $t_{2\eta}$ กับ $t_{3\eta}$ มากที่สุด ให้เป็นฟังก์ชันจริง $F_X(x)$ ของ X
- (7) อย่างไรก็ตามถ้าไม่มีทฤษฎีแบบ 2 พารามิเตอร์ชนิดใดสามารถอธิบายตัวแปรสุ่ม X ให้พิจารณาทฤษฎีแบบ 3 พารามิเตอร์ อาทิ ฟังก์ชัน GEV, GLOG, LN3, P3 และ LP3 เป็นต้น โดยทำซ้ำตามขั้นตอนที่ (3) – (6) แต่เปลี่ยนลำดับของโมเมนต์เชิงเส้นเป็นลำดับที่ 3 และ 4 พร้อมทั้งใช้ค่าสัมประสิทธิ์ d_k ในตารางที่ 2 ในกรณีของทฤษฎี LP3 ค่าอัตราส่วนโมเมนต์เชิงเส้น $t_{3\eta}$ และ $t_{4\eta}$ จะเป็นของข้อมูล $x_{v\eta}$ แบบเลขยกกำลัง $[\ln(x_{v\eta})]$ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ d_k ของทฤษฎี P3

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ d_k ของของความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลระหว่างอัตราส่วนของความแปรปรวน τ_2 กับอัตราส่วนของความเบ้ τ_3 สำหรับทฤษฎีทฤษฎี LN2 Gamma และ Gumbel

Coefficient	LN2	Gamma	Gumbel
d_0	0	0	0.1699
d_1	1.16008	1.74139	0
d_2	-0.05325	0	0
d_3	0	-2.59736	0
d_4	-0.10501	2.09911	0
d_5	0	0	0
d_6	-0.00103	-0.35948	0

ที่มา : [12]

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ d_k ของความสัมพันธ์แบบพหุนามระหว่างอัตราส่วนของความแปรปรวน τ_3 กับอัตราส่วนของความแปรปรวน τ_4 สำหรับทฤษฎี GEV GLOG LN3 และ P3

Coefficient	GEV	GLOG	LN3	P3
d_0	0.10701	0.16667	0.12282	0.12240
d_1	0.11090	0	0	0
d_2	0.84838	0.83333	0.77518	0.30115
d_3	-0.06669	0	0	0
d_4	0.00567	0	0.12279	0.95812
d_5	-0.04208	0	0	0
d_6	0.03763	0	-0.13638	-0.57488
d_7	0	0	0	0
d_8	0	0	0.11368	0.19383

ที่มา : [12]

4. แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นของฝนรายวันสูงสุด

ลำดับอนุกรมเวลาของฝนรายวันสูงสุดของสถานีวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติจำนวน 31 สถานี (ชนาธิฐ เรืองโรจน์ 2553) และของสถานีวัดน้ำฝนแบบธรรมดาจำนวน 90 สถานี ได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นจริงของฝนสูงสุดข้างต้น โดยใช้แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น รูปที่ 1 นำเสนอแผนที่แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 121 สถานี ทั่วประเทศไทย ความยาวของข้อมูลฝนสูงสุดเหล่านี้ครอบคลุมช่วงเวลา 1951 – 2010

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความแปรปรวน τ_2 กับความแปรปรวน τ_3 ของข้อมูลฝนสูงสุด และของทฤษฎี LN2 Gamma และ Gumbel สำหรับ (ก) กรณีแสดงจุดข้อมูล และ (ข) กรณีไม่แสดงจุดข้อมูล จากรูปจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง τ_2 กับ τ_3 ของทฤษฎี LN2 จะใกล้เคียงกับของข้อมูลมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ $0.15 \leq \tau_2 \leq 0.3$ ในขณะที่ทฤษฎี Gamma และ Gumbel ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง τ_2 กับ τ_3 ของข้อมูลได้เลย

ยิ่งกว่านั้นทฤษฎีแบบ 3 พารามิเตอร์ (GEV GLOG LN3 P3 และ LP3) ซึ่งได้รับความนิยมในการจำลองตัวแปรสุ่ม

ทางอุทกวิทยา ได้ถูกนำมาทดสอบความพอดีกับฝนสูงสุดรายวันด้วย รูปที่ 3 แสดงแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความแปรปรวน τ_3 กับความแปรปรวน τ_4 ของข้อมูลฝนสูงสุด และของทฤษฎี GEV GLOG LN3 และ P3 ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ทางทฤษฎีของ τ_3 และ τ_4 กับของข้อมูลปรากฏว่าทฤษฎี GEV มีความสัมพันธ์ ซึ่งสอดคล้องมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับบรรดาทฤษฎี GLOG LN3 และ P3 ส่วนทฤษฎี LP3 นั้นไม่สามารถนำมาใช้จำลองฝนสูงสุดได้เลย เพราะมันมีความสัมพันธ์ระหว่าง τ_3 และ τ_4 ซึ่งแตกต่างจากของข้อมูลมาก ดังแสดงในรูปที่ 4

เนื่องจากทฤษฎี LN2 และ GEV ต่างก็เป็นทฤษฎีจริงแบบ 2 และ 3 พารามิเตอร์ของฝนสูงสุดรายวันตามลำดับ ดังนั้นในการจำลองฝนสูงสุดของสถานีหนึ่ง ถ้าสถานีนี้มีข้อมูลน้อยกว่า 20 ปี ซึ่งถือว่าเป็นกรณีที่ข้อมูลมีจำกัด [13] ทฤษฎี LN2 ควรจะถูกนำมาจำลองฝนสูงสุดที่นี่ เพื่อประหยัดจำนวนพารามิเตอร์ (principle of parsimony) แต่ถ้าสถานีที่สนใจมีข้อมูลยาวเพียงพอ (≥ 20 ปี) ทฤษฎี GEV จะถูกนำมาประยุกต์ใช้

5. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นของฝนสูงสุดรายวันในประเทศไทย โดยใช้วิธีแผนภาพโมเมนต์เชิงเส้น วิธีนี้สะดวกกว่าการวิเคราะห์ความพอดีทางสถิติ เพราะสามารถให้ข้อสรุปของสมมติฐานความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่พิจารณาด้วยกราฟเพียง 3 รูป เท่านั้น นอกจากนี้โมเมนต์เชิงเส้นยังอธิบายลักษณะทางสถิติของตัวแปรสุ่มแม่นยำกว่าโมเมนต์ผลคูณอีกด้วย แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นของข้อมูลฝนสูงสุดรายวันจำนวน 121 สถานี ทั่วประเทศ (1951 – 2010) จึงได้ถูกสร้างขึ้นสำหรับวิเคราะห์หาทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นจริงแบบ 2 พารามิเตอร์ (LN2 Gamma และ Gumbel) และแบบ 3 พารามิเตอร์ (GEV GLOG LN3 P3 และ LP3)

ผลการทดสอบความพอดีของทฤษฎีต่างๆพบว่า ทฤษฎี LN2 และ GEV เป็นทฤษฎีจริงของฝนสูงสุดรายวันแบบ 2 และ 3พารามิเตอร์ ตามลำดับ เพราะความสัมพันธ์ระหว่าง

τ_2 กับ τ_3 และ τ_3 กับ τ_4 ของทั้ง 2 ทฤษฎี สอดคล้องกับของข้อมูลมากที่สุด ตามหลักการประหยัดจำนวนพารามิเตอร์ ทฤษฎี LN2 จะใช้จำลองฝนสูงสุดรายวัน เมื่อข้อมูลของสถานที่ที่พิจารณามีจำกัด (< 20 ปี) แต่ถ้าข้อมูลยาวเพียงพอ ฝนสูงสุดควรจะถูกอธิบาย โดยใช้ทฤษฎี GEV

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2552

เอกสารอ้างอิง

[1] ประวิทย์ ตูลาพันธ์ (2525) “การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึก — ช่วงเวลา — ความถี่ของฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] สวามี หอสุชาติ (2525) “การวิเคราะห์ความถี่ข้อมูลค่าปริมาณฝนสูงสุดในภาคเหนือของประเทศไทย” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] ไพฑูรย์ กิตติสุนทร (2528) “การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของช่วงเวลา และคาบการเกิดของฝนในภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[4] พิสิษฐ์ บำเพ็ญกิจ (2542) “การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม — ช่วงเวลา — ความถี่ของฝนในประเทศไทย” Hydrology No. 1264/00 กรมชลประทาน

[5] Stedinger, J.R., R.M., Vogel, and E., Foufoula-Georgiou (1993) “Frequency Analysis of Extreme Events” in Handbook of Hydrology, edited by D.R. Maidment, McGraw-Hill, NY.

[6] Vogel, R.M., and Fennessey, N.M. (1993) “L—moment Diagrams Should Replace Product Moment Diagrams” Water Resources Research, 29(6), pp. 1745 — 1752.

[7] Lee, S.H., and Maeng, S.J. (2003) “Frequency Analysis of Extreme Rainfall using L-moment” *Irrigation and Drainage*, 52, 219 — 230. doi: 10.1002/ird.90

[8] Eslamian, S Saeid, Feizi, and Hussein (2007), “Maximum Monthly Rainfall Analysis Using L-Moments for an Arid Region in Isfahan Province, Iran.” *Journal of Applied Meteorology and Climatology*.

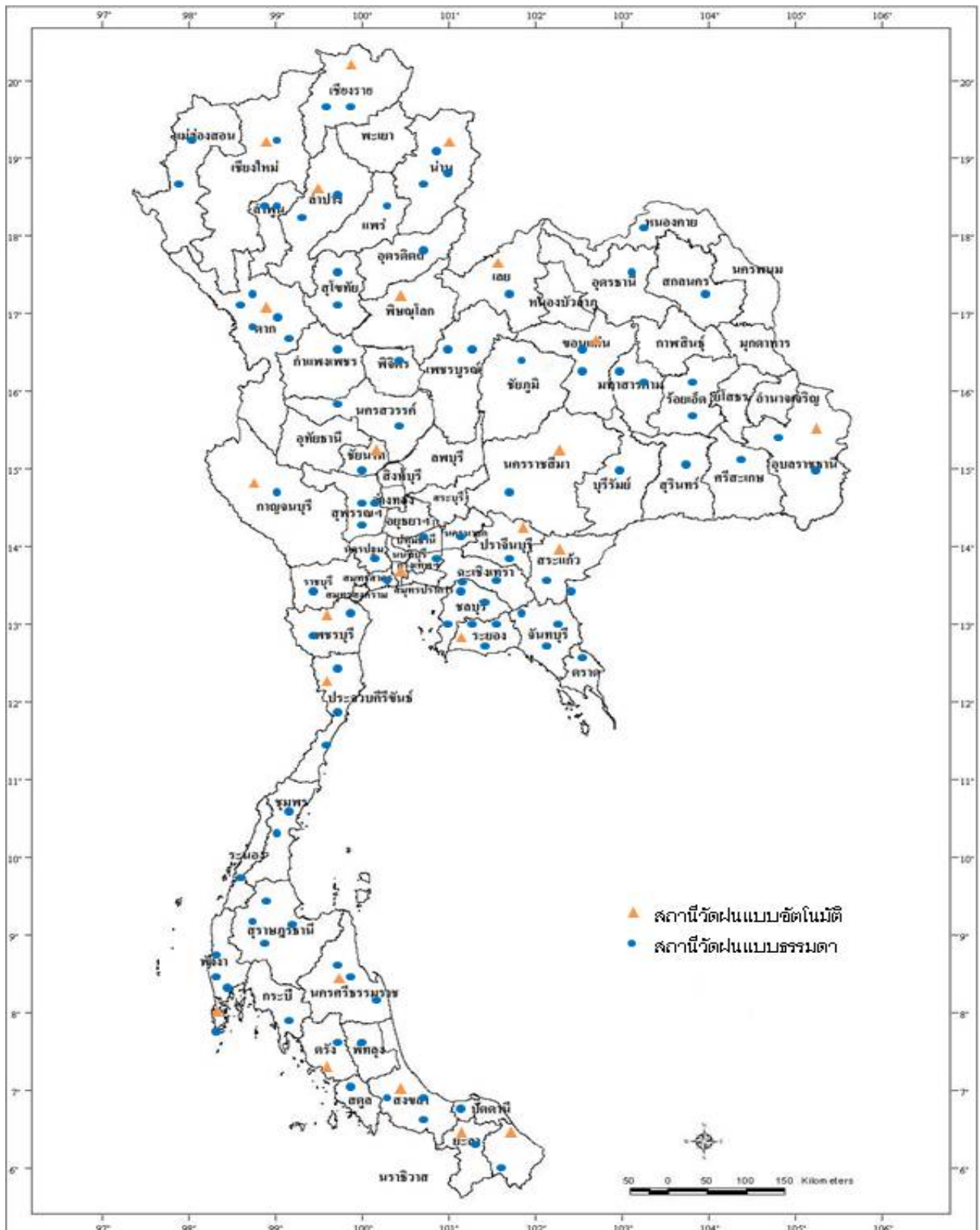
[9] Yurekli, K., Modarres, R., and Ozturk, F. (2009) “Regional Daily Maximum Rainfall Estimation for Cekerek Watershed by L—moments” *Meteorological Applications*, 16: 435 — 444. Doi: 10.1002/met.139

[10] Hosking, J.R.M. (1990) “L—Moments Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics” *Journal of the Statistical Society: Series B*, 52(2), pp.105 — 124.

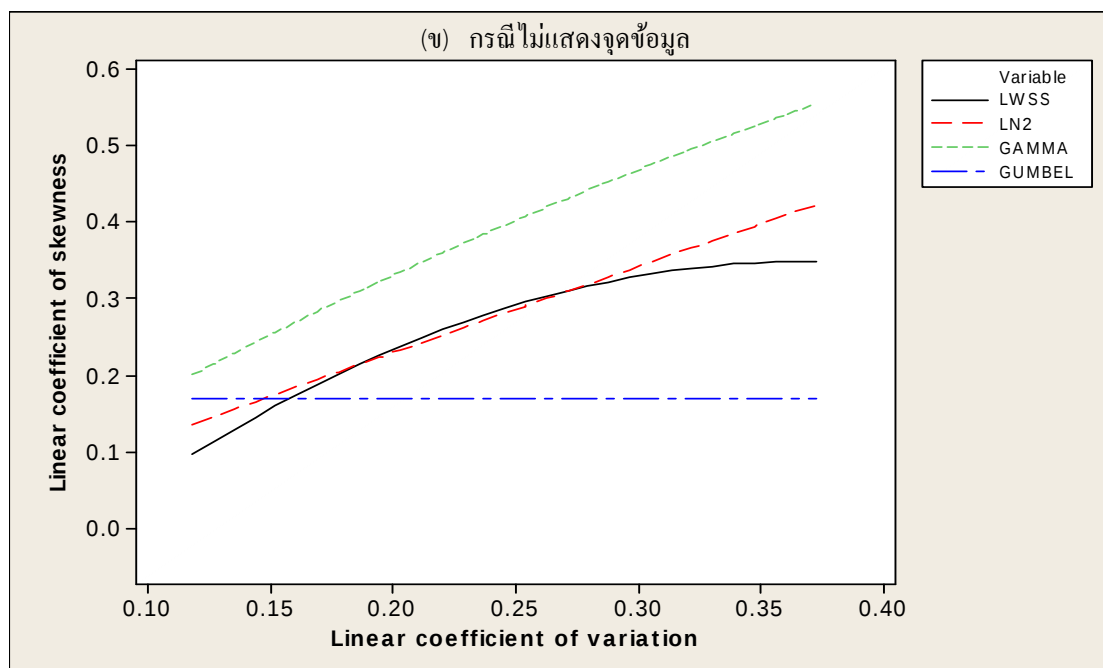
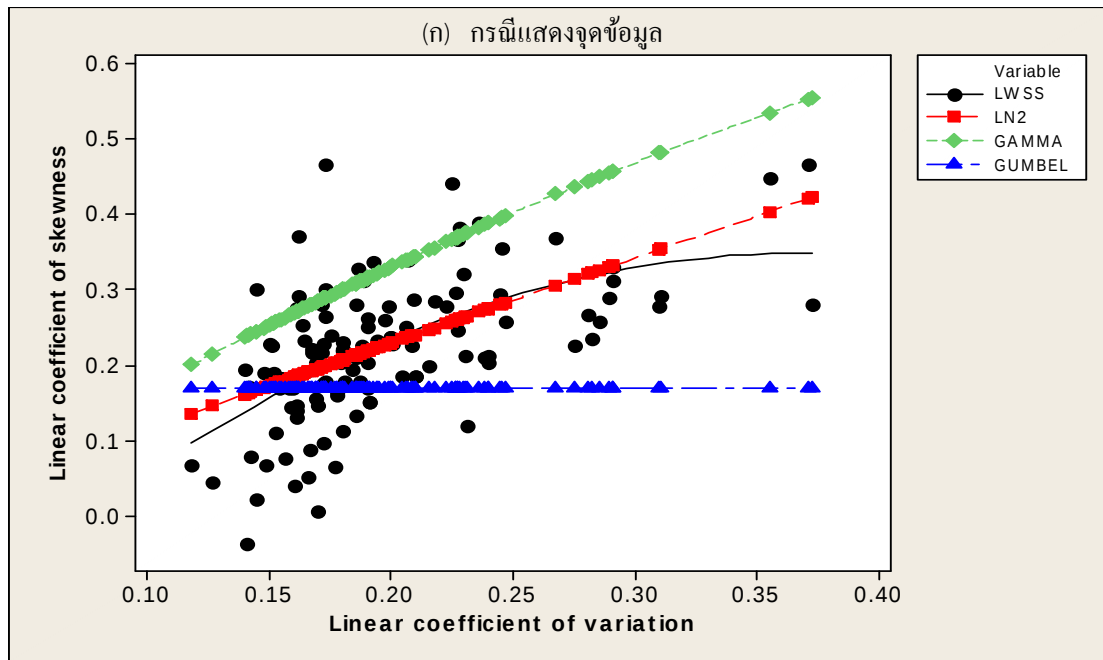
[11] Landwehr, J.M., Matalas, N.C., and Wallis, J.R. (1980) “Quantile Estimation with More or Less Floodlike Distributions” *Water Resources Research*, 16(3), pp. 547 — 555.

[12] Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. (1993) “Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis” *Water Resources Research*, 29(2), pp. 271 — 281.

[13] Nguyen, V-T-V. (2005).Section 5.7: Frequency Analysis of Rainfall, in “Guide to Hydrological Practices”, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 22 pages.

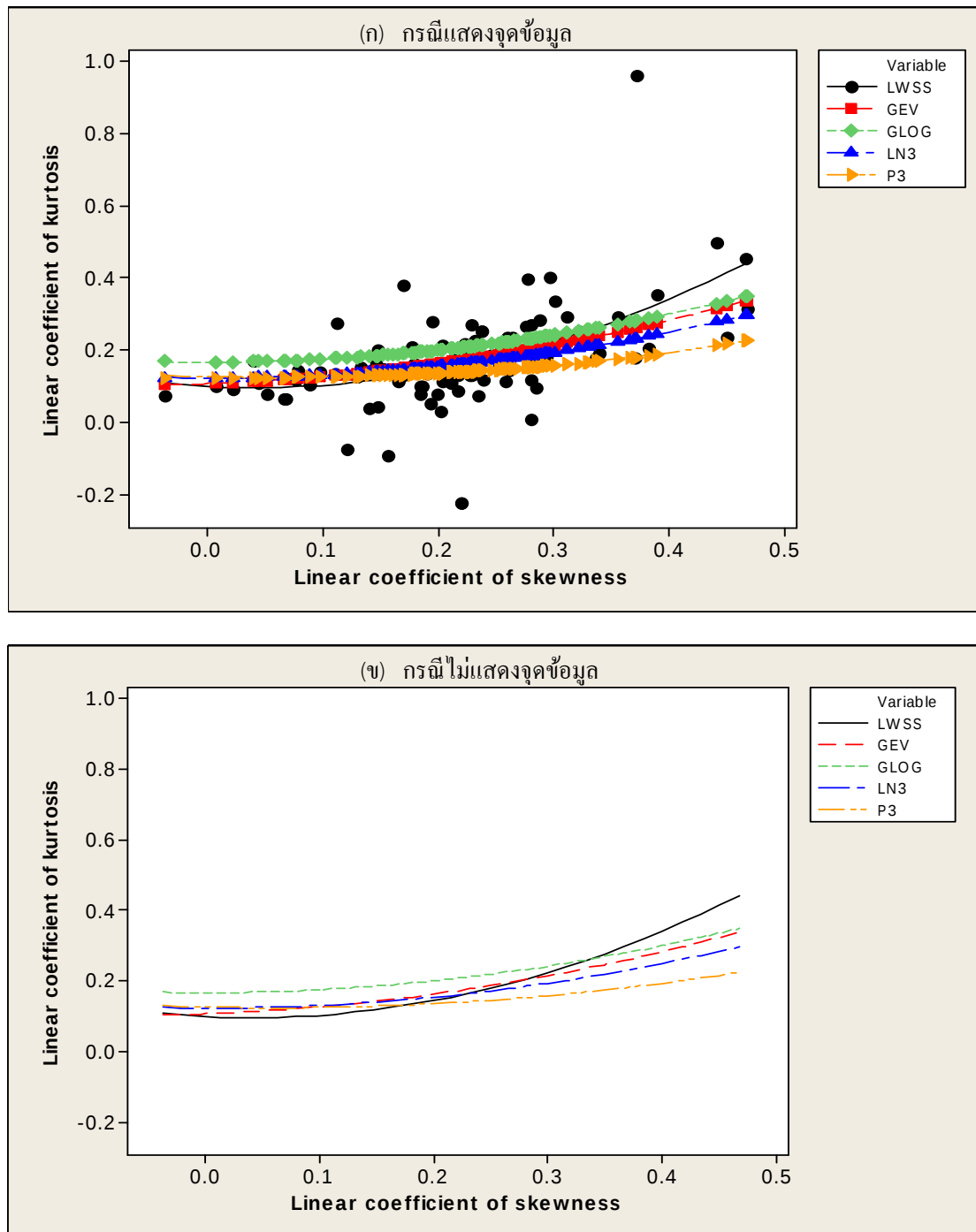


รูปที่ 1 แผนที่ตำแหน่งสถานีวิัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ และแบบธรรมดา ที่ใช้ในการศึกษา



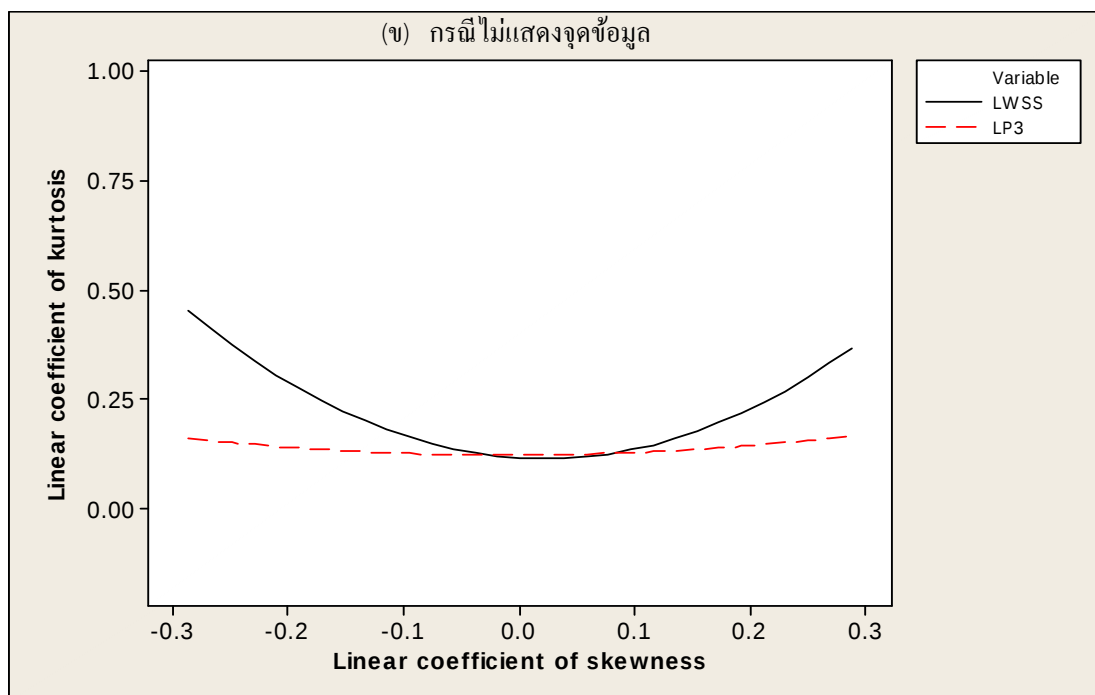
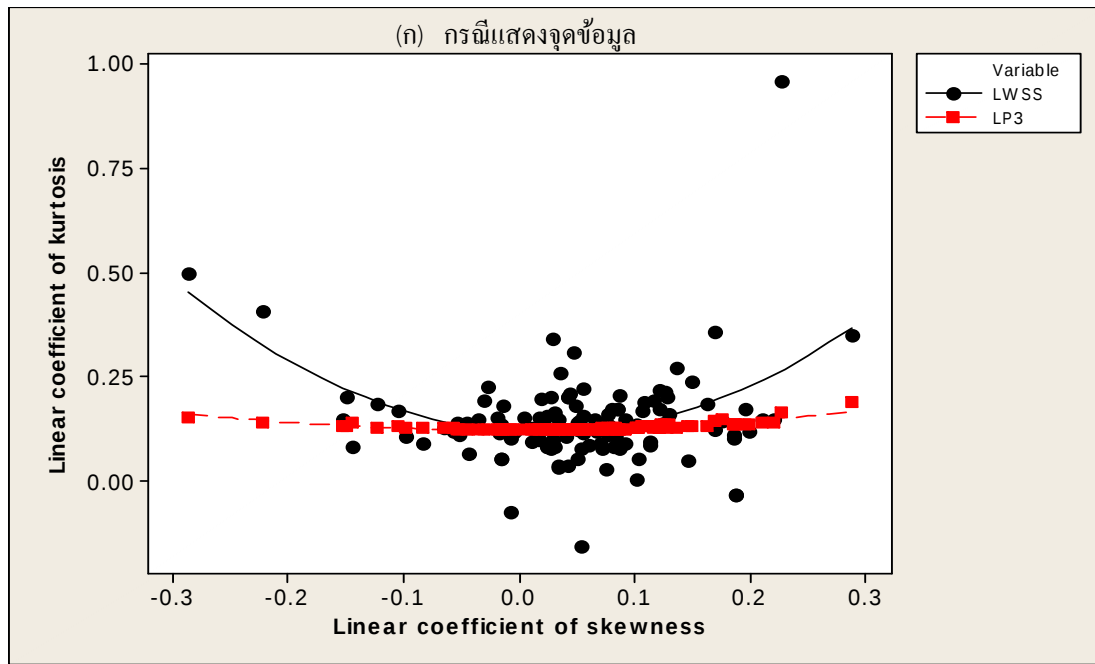
Note: LWSS = locally weighted scatter smoothes ของข้อมูล

รูปที่ 2 แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความแปรปรวน τ_2 กับความเบ้ τ_3 ของข้อมูลฝนสูงสุด และของทฤษฎี LN2 Gamma และ Gumbel สำหรับ (ก) กรณีแสดงจุดข้อมูล และ (ข) กรณีไม่แสดงจุดข้อมูล



Note: LWSS = locally weighted scatter smoothes ของข้อมูล

รูปที่ 3 แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความเบ้ τ_3 กับความแบน τ_4 ของข้อมูลฝนสูงสุด และของทฤษฎี GEV GLOG LN3 และ P3 สำหรับ (ก) กรณีแสดงจุดข้อมูล และ (ข) กรณีไม่แสดงจุดข้อมูล



Note: LWSS = locally weighted scatter smoothes ของข้อมูล

รูปที่ 4 แผนภาพโมเมนต์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความความเบ้ τ_3 กับความแบน τ_4 ของข้อมูลฝนสูงสุด และของทฤษฎี LP3 สำหรับ (ก) กรณีแสดงจุดข้อมูล และ (ข) กรณีไม่แสดงจุดข้อมูล