เอกสารอ้างอิง

1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย "ผังแม่บทจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มีนาคม 2524.
2. ——. คณะวิศวกรรมศาสตร์ "เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง น้ำท่วม 27 ประสบการณ์ ความก้าวหน้าและการวางแผน", สิงหาคม 2527.
3. ——. สำนักงานอธิการบดี งานวิจัยสถาบัน กองแผนงาน ฝ่ายวางแผนและพัฒนา "รายงานการสำรวจและวิจัย ระบบประปา ระบบระบายน้ำ และระบบกำจัดขยะของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย", มกราคม 2522.
4. ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล และ ไตรรัตน์ ศรีวัฒนา การป้องกันน้ำท่วมและการระบายน้ำของมหานคร, ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร, 2529.
5. ไพฑูรย์ กิติสุนทร "ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝนในภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศไทย" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
6. สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร "โครงการจัดทำหมุดหลักฐานทางดิ่ง ในบริเวณกรุงเทพมหานคร (พ.ศ.2529), สิงหาคม 2529.
7. สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร งานวิศวกรรมการระบายน้ำ กองควบคุมระบบระบายน้ำ "แผนที่ระบบระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร", 2524.
8. สำนักงานคณะกรรมการดำเนินงาน โครงการย้ายที่ตั้งกองทัพอากาศ"รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาวิจัยและทำแผนผังแม่บทระบบระบายน้ำ และป้องกันน้ำท่วมบริเวณพื้นที่กองทัพอากาศดอนเมือง", มิถุนายน 2528.
9. Chow, V.T., Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
10. Davis, C.V., and Sorensen, K.E., Handbook of Applied Hydraulics, 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, Japan, 1970.

11. Department of Drainage and Sewerage, Bangkok Metropolitan Administration "Bangkok Flood Control and Drainage Project (City Core)" General Study Report Vol.1, BFCD Joint Venture, NEDECO, NECCO, LM/SPAN, 1984.

12. Hennes, R.G., and Ekse, M.I., Fundamentals of Transportation Engineering, McGraw-Hill Book Company, London, 1955.

13. Kite, G.W., Frequency and Risk Analysis in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1977.

14. Linsley, R.K., Kohler, M., and Paulhus, J.H., Hydrology for Engineer, 3rd ed.,McGraw-Hill Book Company, New York,1982.

15. Liyanagama, B.S., "A Comparison Study between ILLUDAS and SWMM Storm Water System Models", Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1981.

16. Luthin, J.N., Drainage Engineering, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York, 1978.

17. Metcalf & Eddy, Inc., University of Florida, and Water Resources Engineers, Inc., Storm Water Management Model, Vols. I-IV, U.S.Environmental Protection Agency, Washington D.C.,1971.

18. Paquette, R.J., Ashford, N.J., and Wright, P.H., Transportation Engineering Planning and Design, 2nd ed., John Wiley & sons, Inc., 1982.

19. Raudkivi, A.J., Hydrology An Advanced Introduction to Hydrological Process and Modelling, William Clowes (Beccles) Limited, London, 1979.

20. Steel, E.W., and McGhee, T.J., Water Supply and Sewerage, 5th ed., McGraw-Hill Book Company, Japan, 1984.

21. Stephenson, D., Stormwater Hydrology and Drainage, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1981.

22. Wanielista, M.P., Stormwater Management Quantity and Quanlity, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, 1981.

ภาคผนวก ก
ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยานั้น มีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องได้แก่ หลักการเกี่ยวกับความน่าจะเป็นและสถิติ ทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็น และการทดสอบความเหมาะสม ดังจะได้กล่าวถึงโดยสังเขปต่อไป

ก.1 หลักการเกี่ยวกับความน่าจะเป็นและสถิติ

ก.1.1 ตัวแปรทางสถิติ (Statistical Variables) เมื่อนำหลักการทางสถิติมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลทางอุทกวิทยานั้น สามารถจะอธิบายหลักการเปรียบเทียบเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านสถิติกับข้อมูลทางอุทกวิทยาได้ว่า ในทางสถิตินั้นค่าสังเกต(observe) ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการทดลองหรือการสำรวจหมายถึงประชากร (population) ส่วนต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงค่าได้อันประกอบขึ้นเป็นประชากรนั้นเรียกว่าตัวแปร (variables) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแทนด้วยอักษร X ค่าของตัวแปร (variate) แต่ละตัวจะแทนด้วยอักษร x สำหรับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยา (hydrologic phenomena) เมื่อให้ตัวแปร X เป็นปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลา (duration) ที่กำหนด ตัวแปร x ก็จะเป็นค่าของปริมาณฝนที่ทำการตรวจวัด เช่น ปริมาณฝนรายวัน (daily rainfall) จากการตรวจวัดครั้งหนึ่งเท่ากับ 80.0 มม. จะได้ว่า X คือปริมาณฝนรายวัน และ x คือค่าปริมาณฝนที่วัดได้เท่ากับ 80.0 มม. เป็นต้น

ก.1.2 พารามิเตอร์ทางสถิติ (Statistical Parameters) พารามิเตอร์ทางสถิตินั้น จะบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของการแจกแจงทางสถิติ (characteristic of statistical distribution) ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะที่สำคัญ ๆ และเกี่ยวข้อง ดังนี้คือ

1) การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measure of Central Tendency) พารามิเตอร์โดยทั่วไปที่ใช้แทนการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ของการแจกแจงเกี่ยวกับสถิติที่สำคัญ ๆ ได้แก่

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmatic mean) ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่ม และ x_1, x_2,... x_n เป็นค่าของตัวแปรสุ่มที่ได้จากการทดลอง n ครั้ง ค่าเฉลี่ยของตัวเลขเหล่านี้ เรียกว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิต เขียนแทนด้วยสัญญลักษณ์ $\bar{x}$ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (ก-1)$$

เมื่อ X คือตัวแปรสุ่มของตัวอย่าง

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (ก-2)$$

เมื่อ X คือตัวแปรสุ่มของประชากร

มัธยฐาน (median) หมายถึงค่าของตัวแปรสุ่มที่แบ่งการแจกแจงออกเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 ถ้าเขียนกราฟของการแจกแจงแล้ว มัธยฐานจะเป็นจุดแบ่งพื้นที่ใต้โค้งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ซึ่งถ้ากล่าวถึงค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างหรือประชากรแล้วก็คือ ค่ากึ่งกลางของข้อมูลจำนวนคี่และค่าเฉลี่ยกึ่งกลางของ 2 ค่า สำหรับข้อมูลจำนวนคู่

ฐานนิยม (mode) เป็นค่าของตัวแปรสุ่มที่มีค่าฟังก์ชั่นของความน่าจะเป็นสูงสุด ในข้อมูลบางชุดอาจจะไม่มีค่าฐานนิยมหรือมีค่าฐานนิยมมากกว่า 1 ค่าก็ได้

2) การวัดการกระจาย (Measure of Variability) สำหรับข้อมูลต่างชุดกันที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากันนั้นอาจจะมีการแจกแจงต่างกัน และวิธีการที่จะบอกว่าข้อมูลชุดใดมีการกระจายมากน้อยเพียงไรนั้น สามารถบอกได้ด้วยค่าต่อไปนี้

ความแปรปรวน (Variance) เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าค่าของตัวแปรสุ่มห่างจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด สัญญลักษณ์ที่ใช้คือ S^2 และ σ^2 แทนค่าความแปรปรวนของตัวอย่างและประชากรตามลำดับ โดยสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} [(x_i-\bar{x})^2] \qquad (ก-3)$$

สำหรับตัวแปรสุ่มที่เป็นตัวอย่างจำนวน n ตัว

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} [(x_i-\mu)^2] \qquad (ก-4)$$

สำหรับตัวแปรสุ่มที่เป็นประชากรจำนวน n ตัว

ความเบี่ยงเบนเฉลี่ย (mean deviation) เป็นค่าของตัวแปรสุ่มที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย โดยไม่คิดเครื่องหมายแทนด้วยสัญญลักษณ์ M.D. สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$M.D. = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}| \qquad (ก-5)$$

$$M.D. = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |x_i - \mu| \qquad (ก-6)$$

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) คือค่ารากที่สองของความแปรปรวนแทนด้วยสัญญลักษณ์ s และ σ สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{n}{n-1} (\overline{x^2} - \bar{x}^2)} \qquad (ก-7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2} = \sqrt{\frac{n}{n-1} (\overline{x^2} - \mu^2)} \qquad (ก-8)$$

โดยที่ $$\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \qquad (ก-9)$$

พิสัย (range) คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของชุดข้อมูล

สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation) การที่ข้อมูล 2 ชุดมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันนั้น ไม่สามารถที่จะสรุปว่าข้อมูล 2 ชุดนั้นมีการกระจายเท่ากัน หากข้อมูลทั้ง 2 ชุดดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยต่างกัน สิ่งหนึ่งที่สามารถวัดการกระจายเปรียบเทียบกันได้ก็คือ สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน แทนด้วยสัญญลักษณ์ C_v สามารถหาค่าได้จาก

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \approx \frac{S}{\bar{x}} \qquad (ก-10)$$

3) การวัดความไม่สมมาตร (Measure of Asymmetry) การที่เส้นโค้งของการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution curve) มีความสมมาตร เบ้ซ้ายหรือเบ้ขวานั้นสามารถจะวัดได้ด้วยค่าความเบ้ (skewness) เมื่อแทนค่าความเบ้ของประชากรและตัวอย่างด้วยสัญญลักษณ์ $\hat{\gamma}$ และ γ ตามลำดับ สามารถจะหาค่าเหล่านี้ได้จากสมการ

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^3 \qquad (ก-11)$$

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n} (x_i-\bar{x})^3 \qquad (ก-12)$$

$$\gamma = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} (\bar{x}^3-3\bar{x}^2+2\bar{x}^3) \qquad (ก-13)$$

$$\bar{x}^3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i^3 \qquad (ก-14)$$

โดยทั่วไป วิธีที่นิยมใช้สำหรับวัดความเบ้ของเส้นโค้งของการแจกแจงความน่าจะเป็นวิธีหนึ่งคือ สัมประสิทธิ์ของความเบ้ (coefficient of skew) แทนด้วยสัญญลักษณ์ $\hat{\gamma}_1$ สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\hat{\gamma}_1 = \frac{\hat{\gamma}}{\sigma^3} \approx \frac{\gamma}{S^3} \qquad (ก-15)$$

เมื่อค่า $\hat{\gamma}_1 = 0$ แสดงว่าเส้นโค้งของการแจกแจงความน่าจะเป็นสมมาตร ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ย (mean) มัธยฐาน (median) และฐานนิยม (mode) มีค่าเท่ากัน ถ้าค่า $\hat{\gamma}_1 > 0$ แสดงว่าเบ้ซ้าย (left skewness) และถ้า $\hat{\gamma}_1 < 0$ แสดงว่าเบ้ขวา (right skewness)

ก.1.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์(Estimate of Parameter) คุณสมบัติเฉพาะของการแจกแจงทางสถิตินั้นสามารถที่จะแสดงได้ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งมีวิธีการประมาณค่าได้หลายวิธีด้วยกัน ส่วนวิธีที่นิยมและยอมรับกันอย่างแพร่หลายคือ

1) วิธีโมเมนต์ (method of moment)
2) วิธี maximum likelihood (method of menimum likelihood)
3) วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (method of least square)
4) วิธีกราฟ (method of graphical)

ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีโมเมนต์เพียงวิธีเดียว ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและให้ความสะดวกในการคำนวณด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) และให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีสำหรับข้อมูลฝน

โมเมนต์ทางสถิติ (statistical moments) เมื่อให้ $x_1, x_2, \ldots, x_n$ เป็นค่าของตัวแปรสุ่มแล้วสามารถจะหาค่าโมเมนต์อันดับที่ r ของสถิติซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดได้ดังนี้

1) โมเมนต์รอบจุดกำเนิด (origin) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\mu_r' = \int_{-\infty}^{+\infty} x^r p(x)dx \qquad (ก-16)$$

สำหรับตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่อง (continuous random variable)

$$\mu_r' = \sum_{i=1}^{n} x_i \, p(x_i) \quad = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i^r \qquad (ก-17)$$

สำหรับตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง (discrete random variable)

เมื่อ p(x) = ความถี่ (frequency) หรือความน่าจะเป็น (probability) ของ x แต่ละค่า

2) โมเมนต์รอบค่าเฉลี่ย สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\mu_r = \int_{-\infty}^{+\infty} (x-\mu)^r \, p(x)dx \qquad (ก-18)$$

$$\mu_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i-\mu) \qquad (ก-19)$$

สำหรับโมเมนต์อันดับที่ 1, 2 และ 3 นั้นจะมีค่าสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$\mu_1' = \mu \qquad (ก-20)$$

$$\mu_2' = \mu_2 + \mu_1'^2 \qquad (ก-21)$$

$$\mu_3' = \mu_3 + 3\mu_2\mu_1' + \mu_1'^3 \qquad (ก-22)$$

$$\mu_1 = 0 \qquad (ก-23)$$

$$\mu_2 = \mu_2' - \mu_1'^2 \quad = \quad \sigma^2 \qquad (ก-24)$$

$$\mu_3 = \mu_3' + 3\mu_2'\mu_1' + \mu_1'^3 \quad = \gamma\sigma^3 \qquad (ก-25)$$

ก.1.4 แนวความคิดเกี่ยวกับความน่าจะเป็นในทางอุทกวิทยา การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยานั้นได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมา เพื่อใช้ในการคาดคะเนเหตุการณ์ในอนาคต โดยเป็นการคาดคะเนในลักษณะของความน่าจะเกิดขึ้นของขนาดของ

เหตุการณ์ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับหรือมากกว่าขนาดของเหตุการณ์ที่กำหนดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

เมื่อกำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่ม x เป็นค่าของตัวแปรสุ่ม และ A เป็นเหตุการณ์แล้ว นิยามเกี่ยวกับความน่าจะเป็นที่สำคัญทางอุทกวิทยาคือ

1) ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ (probability of event) ทางด้านอุทกวิทยา หมายถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม (cumulative distribution) ของตัวแปรสุ่มที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

$$P(A) = P(X \leqslant x) \qquad (ก-26)$$

$$P(X \leqslant x) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx \qquad (ก-27)$$

$$P(X \leqslant x) = \Sigma p(x_i) \qquad (ก-28)$$

ในเมื่อ $x_i \leqslant x$

โดยที่ P(A) = ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์

P(X⩽x) = ความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่ม X ทุก ๆ ค่าที่มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ x

P(x) = ฟังก์ชั่นของความน่าจะเป็น (probability function) หรือการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution) ของตัวแปรสุ่ม

2) คาบปี (Return period) หมายถึงส่วนกลับของความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ หรือค่าการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่มที่มีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าค่าที่กำหนดในช่วงระยะเวลาเท่ากับ 1 ปี ซึ่งแสดงถึงว่าในแต่ละปีนั้นเหตุการณ์ที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าที่กำหนดจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้เท่ากับส่วนกลับของคาบปี

$$T = \frac{1}{P(A)} = \frac{1}{1-P(X \leqslant x)} = \frac{1}{P(X \geqslant x)} \qquad (ก-29)$$

เมื่อ T คือคาบปี

3) ความเสี่ยง (risk) หมายถึงค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนดจะเกิดขึ้นอย่างน้อยหนึ่งครั้งในระยะเวลา n ปีที่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถ

ประมาณค่าได้จากสมการ

$$R = 1-(1-1/T)^n \qquad (ก-30)$$

เมื่อ R คือค่าความเสี่ยง

ก.1.5 ตัวคูณค่าความถี่ (Frequency Factor) Chow (1964) ได้เสนอสมการในการหาค่าของเหตุการณ์ใด ๆ ในรูปของการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยไว้ดังนี้

$$x = \mu+\Delta x \qquad (ก-31)$$

ในเมื่อ x แทนค่าของเหตุการณ์ใด ๆ และ Δx เป็นส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย โดยมีสมมติฐานว่า Δx มีค่าเท่ากับผลคูณของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ กับตัวคูณค่าความถี่ (K)

$$\Delta x = \sigma K \qquad (ก-32)$$

ดังนั้นจะได้สมการทั่วไปสำหรับการคำนวณค่าของเหตุการณ์ที่รอบปีใด ๆ ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ x_T ดังนี้

$$x_T = \mu+\sigma K \qquad (ก-33)$$

หรือ

$$x_T = m_1'+K\ m_2 \qquad (ก-34)$$

โดยที่ m_1' และ m_2 คือค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของตัวอย่าง ซึ่งสามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีโมเมนต์ สำหรับตัวคูณค่าความถี่ (K) นั้นสามารถที่จะหาค่าได้ตามแต่ละทฤษฎีของการแจกแจงความน่าจะเป็นดังจะได้กล่าวต่อไป

ก.1.6 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ (Standard Error of Estimate) การวัดความแปรปรวนของการคำนวณค่าเหตุการณ์ใด ๆ สามารถวัดได้ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละชุดมีความคลาดเคลื่อนของการกะประมาณไปจากค่าสังเกต (observes) ที่รอบปีต่าง ๆ มากน้อยเพียงใด ค่า

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$S_T = \{[\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x}_i)^2]/n\}^{1/2} \qquad (ก-35)$$

เมื่อ $\hat{x}_1$ คือค่าของเหตุการณ์จากการคำนวณที่ความถี่ต่าง ๆ และ S_T แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ

Kite (1977) เสนอวิธีการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ซึ่งสัมพันธ์กับค่าโมเมนต์ 3 อันดับและค่ารอบปีคือ $S_T = f(m_1', m_2, m_3, T)$ เมื่อ m_1' คือค่าโมเมนต์อันดับที่ 1 รอบจุดกำเนิด, m_2 และ m_3 คือโมเมนต์อันดับที่ 2 และ 3 รอบค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ได้จากสมการ

$$S_T^2 = \frac{\mu_2}{n}\{1+K\gamma_1+\frac{K^2}{4}[\gamma_2-1]+\frac{\partial K}{\partial \gamma_1}[2\gamma_2-3\gamma_1^2-6+K(\gamma_3-6\gamma_1\gamma_2/4-10\gamma_1/4)]$$

$$+(\frac{\partial K}{\partial \gamma_1})^2[\gamma_4-3\gamma_3\gamma_1-6\gamma_2-9\gamma_1^2\gamma_2/4+35\gamma_1^2/4+9]\} \qquad (ก-36)$$

$$\gamma_1 = \mu_3/\mu_2^{3/2} \qquad (ก-37)$$

$$\gamma_2 = \mu_4/\mu_2^2 \qquad (ก-38)$$

$$\gamma_3 = \mu_5/\mu_2^{5/2} \qquad (ก-39)$$

$$\gamma_4 = \mu_6/\mu_2^3 \qquad (ก-40)$$

สมการโดยทั่วไป ในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณคือ

$$S_T = \delta\sqrt{\frac{\mu_2}{n}} \qquad (ก-41)$$

เมื่อ δ คือ พารามิเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ซึ่งสามารถหาค่าได้จากตารางของค่า δ ในแต่ละการแจกแจงความน่าจะเป็น สำหรับการแจกแจงความน่าจะเป็นที่มีค่า K ไม่ขึ้นกับสัมประสิทธิ์ของความเบ้จะสามารถหาค่าของ δ ได้จากสมการ

$$\delta = \{1+K\gamma_1+\frac{K^2}{4}[\gamma_2-1]\}^{1/2} \qquad (ก-42)$$

ก.2 ทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็น

ทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็น ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดฝนสูงสุดนั้นมีอยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับในการวิจัยนี้ได้เลือกวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมาใช้ อันได้แก่ การแจกแจงแบบลอกนอร์มอลชนิด 2 พารามิเตอร์, การแจกแจงแบบลอกเพียร์สันชนิดที่ 3 และการแจกแจงแบบกัมเบล ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ก.2.1 การแจกแจงแบบลอกนอร์มอลชนิด 2 พารามิเตอร์ (2-Parameter Log-normal Distribution) การแจกแจงแบบนี้จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าลอกคือ $y=\ln x$ โดยมีฟังก์ชั่นของความน่าจะเป็นดังสมการ

$$p(x) = \frac{1}{x\sigma_y \sqrt{2\pi}} \quad \exp \{- \frac{[\ln x-\mu_y]^2}{2\sigma_y^2}\} \tag{ก-43}$$

ในเมื่อ x มีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง $+\infty$, μ_y และ σ_y คือค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ y

ค่าโมเมนต์อันดับใด ๆ ของการแจกแจงแบบนี้ คือ

$$\mu_r' = \int_0^\infty x^r \frac{1}{x\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \{\frac{[\ln x-\mu_y]^2}{2\sigma_y^2}\} dx \tag{ก-44}$$

แทนค่า $\omega = (\ln x - r\sigma_y^2 - \mu_y)/\sigma_y$ ลงในสมการ (3-44) จะได้

$$\mu_r' = \exp(r\mu_y + r^2\sigma_y^2/2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-\omega^2/2)\, d\omega \tag{ก-45}$$

เมื่ออินทิเกรตเทอมมีค่าเท่ากับ 1 จะได้

$$\mu_r' = \exp[r\mu_y + r^2\sigma_y^2/2] \tag{ก-46}$$

$$\mu_1' = \mu = \exp[\mu_y + \sigma_y^2/2] \tag{ก-47}$$

$$\mu_2 = \sigma^2 = [\exp(\sigma_y^2)-1]\, \mu_1'^2 \tag{ก-48}$$

$$\mu_3 = [\exp(3\sigma_y^2)-3\exp(\sigma_y^2)+2].\exp[3\mu_y+3\sigma_y^2/2] \tag{ก-49}$$

จากสมการ (ก-47), (ก-48) และ (ก-49) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของความเบี่ยงเบนและสัมประสิทธิ์ของความเบ้ได้จากสมการ

$$Z \;=\; \mu_2^{1/2}/\mu_1' \;=\; [\exp(\sigma_y^2)-1]^{1/2} \tag{ก-50}$$

$$\gamma_1 \;=\; \mu_3/\mu_2^{3/2} \;=\; \frac{\exp(3\sigma_y^2)-3\exp(\sigma_y^2)+2}{[\exp(\sigma_y^2)-1]^{3/2}} \tag{ก-51}$$

แทนค่า Z ลงในสมการ (ก-51) จะได้ $\gamma_1 = 3Z+Z^3$

จากสมการทั่วไปในการคำนวณค่าของเหตุการณ์ที่รอบปีใด ๆ (สมการ ก-33) เมื่อเขียนให้อยู่ในรูปของลอกจะได้ว่า

$$\ln x_T \;=\; y_T = \mu_y+t\sigma_y \tag{ก-52}$$

ในเมื่อ t คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานปกติ (standard normal deviation) ซึ่งสามารถประมาณค่าด้วยวิธีโพลิโนเมียล (polynomial approximation) ได้จากสมการ

$$K \;=\; t \approx w - \frac{c_0+c_1w+c_2w^2}{1+d_1w+d_2w^2+d_3w^3} \tag{ก-53}$$

โดยที่ $c_0 = 2.515517$; $d_1 = 1.432788$

$c_1 = 0.802853$; $d_2 = 0.189269$

$c_2 = 0.010328$; $d_3 = 0.001308$

และ $w = \sqrt{\ln[1/P(t)^2]}$ เมื่อ $0 \leqslant P(t) \leqslant 0.5$

ถ้า $P(t) > 0.5$ ให้ใช้ค่า $1-P(t)$ แทนและเปลี่ยนเครื่องหมาย t จากบวกเป็นลบ

แทนค่า μ และ σ จากสมการ (ก-47) และ (ก-48) ลงในสมการ (ก-52) จะได้ว่า

$$\exp(y_T) = \exp(\mu_y+\sigma_y^2/2)\{1+K[\exp(\sigma_y^2)-1]^{1/2}\} \tag{ก-54}$$

$$K \;=\; \frac{\exp(y_T-\mu_y-\sigma_y^2/2)-1}{[\exp(\sigma_y^2)-1]^{1/2}} \tag{ก-55}$$

จากสมการ (ก-52) $y_T-\mu_y \;=\; t\sigma_y$ แทนค่าลงในสมการ (ก-55) จะได้

$$K \;=\; \frac{\exp(\sigma_y t-\sigma_y^2/2)-1}{[\exp(\sigma_y^2)-1]^{1/2}} \tag{ก-56}$$

จากสมการ (ก-50) และ (ก-56) จะได้ว่า

$$K = \frac{\exp\{[\ln(1+Z^2)]^{1/2}\, t-[\ln(1+Z^2)]/2\} -1}{Z} \qquad (ก-57)$$

สมการในการประมาณค่าพารามิเตอร์ δ ที่ใช้หาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณสำหรับการแจกแจงแบบลอกนอร์มอลชนิด 2 พารามิเตอร์ คือ

$$\delta = \{1+\gamma_1 K+[\gamma_2-1]\ \frac{K^2}{4}\}^{1/2} \qquad (ก-58)$$

เมื่อ γ_1 และ γ_2 อยู่ในรูปของค่าลอก และ K = t' จะได้

$$\delta = [1+t^2/2]^{1/2} \qquad (ก-59)$$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณในหน่วยเชิงเส้น (linear units) สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$S_T = \delta\sigma_y/\sqrt{n} \qquad (ก-60)$$

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} = [\exp(\sigma_y^2/2)]^8+2[\exp(\sigma_y^2/2]^6+3[\exp(\sigma_y^2/2]^4-3 \qquad (ก-61)$$

จากสมการ (ก-50), (ก-51) และ (ก-61) แทนค่าลงในสมการ (ก-58) จะได้

$$\delta_y = [1+(Z^3+3Z)K+(Z^8+6Z^6+15Z^4+16Z^2+2)K^2/4]^{1/2} \qquad (ก-62)$$

ก.2.2 การแจกแจงแบบลอกเพียร์สันชนิดที่ 3 (Log-Pearson Type III Distribution) การแจกแจงแบบนี้จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าลอกเช่นเดียวกัน โดยมีฟังก์ชั่นของความน่าจะเป็นดังสมการ

$$p(x) = \frac{1}{\alpha x\Gamma(\beta)}\ [\frac{\ln x\ -\ \gamma}{\alpha}]^{\beta-1}\ \ \exp[-(\frac{\ln x - \gamma}{\alpha})] \qquad (ก-63)$$

โดยที่ α, β และ γ คือพารามิเตอร์กำหนดขนาด (scale), รูปร่าง (shape) และตำแหน่ง (location) ตามลำดับ และ Γ(β) คือ แกมมาฟังก์ชั่น (gamma function)

อาศัยวิธีโมเมนต์ซึ่งเสนอโดย Bobee และ Robitaille สามารถที่จะประมาณค่าพารามิเตอร์ α, β และ γ ได้จากสมการ

$$\gamma_1 = \hat{\gamma}_1 \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} [1+\frac{8.5}{n}] \qquad (ก-64)$$

$$\beta = (2/\gamma_1)^2 \qquad (ก-65)$$

$$\alpha = \sigma/\sqrt{\beta} \qquad (ก-66)$$

$$\gamma = \mu-\sigma\sqrt{\beta} \qquad (ก-67)$$

และจากสมการ (ก-65)-(ก-67) สามารถคำนวณหาค่า μ_y, σ_y และ γ_y ได้ดังนี้

$$\mu_y = \gamma+\alpha\beta \qquad (ก-68)$$

$$\sigma_y = \alpha\sqrt{\beta} \qquad (ก-69)$$

$$\gamma_y = 1/\sqrt{\beta} \qquad (ก-70)$$

สมการทั่วไปในการคำนวณค่าของเหตุการณ์ที่รอบปีใด ๆ คือ

$$y_T = \ln x_T = \mu_y + K\sigma_y \qquad (ก-71)$$

สำหรับสมการคำนวณหาตัวคูณค่าความถี่ K คือ

$$K \approx t+(t^2-1)\frac{\gamma_1}{6}+\frac{1}{3}(t^3-6t)(\frac{\gamma_1}{6})^2-(t^2-1)(\frac{\gamma_1}{6})^3+t(\frac{\gamma_1}{6})^4+\frac{1}{3}(\frac{\gamma}{6})^5 \qquad (ก-72)$$

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณในหน่วยเชิงเส้น สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$S_{T,x} = \{x_T[\exp(S_{T,y})-\exp(-S_{T,y})]\}/2 \qquad (ก-73)$$

เมื่อ $S_{T,x}$ และ $S_{T,y}$ คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณในหน่วยเชิงเส้นและหน่วยลอกตามลำดับ

ก.2.3 การแจกแจงแบบกัมเบล (Gumbel or Type I Extremal Distribution) ฟังก์ชั่นของความน่าจะเป็นคือ

$$p(x) = \alpha.\exp\{-\alpha(x-\beta)-\exp[-\alpha(x-\beta)]\} \quad (ก-74)$$

เมื่อ α และ β คือพารามิเตอร์รวม (concentration) และพารามิเตอร์วัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางตามลำดับ สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\alpha = 1.2825/\sigma \quad (ก-75)$$

$$\beta = \mu-0.45\sigma \quad (ก-76)$$

สมการทั่วไปในการคำนวณค่าของเหตุการณ์ที่รอบปีใด ๆ คือ

$$y_T = -\ln\{-\ln[(T-1)/T]\} \quad (ก-77)$$

$$K = \frac{y_m - \mu_y}{\sigma_y} \quad (ก-78)$$

$$y_m = -\ln\{-\ln[(n+1-m)/(n+1)]\} \quad (ก-79)$$

$$\mu_y = \frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n} y_m \quad (ก-80)$$

$$\sigma_y = [\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n} (y_m - \mu_y)^2]^{1/2} \quad (ก-81)$$

ในเมื่อ T = ค่ารอบปี

n = จำนวนข้อมูล

m = ลำดับที่ค่าเหตุการณ์ของข้อมูลจากมากไปหาน้อย

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณสามารถหาได้จากสมการ (ก-41) และ (ก-42) โดยที่การแจกแจงแบบกัมเบลนี้กำหนดให้ $\gamma_1 = 1.1396$ และ $\gamma_2 = 5.4002$ ดังนั้น

$$S_T^2 = \frac{\sigma^2}{n}[1+1.1396K + 1.1000K^2] \quad (ก-82)$$

ก.3 การทดสอบความเหมาะสม (Test of Goodness of Fit)

การทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่าง ๆ เพื่อหาทฤษฎีที่เหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างของเหตุการณ์ทางอุทกวิทยานั้น เป็นสิ่งสำคัญมากจำเป็นต้องกระทำก่อนจะตัดสินใจเลือกใช้ทฤษฎีการแจกแจงที่เหมาะสมที่สุด ในการคาดคะเนขนาดของเหตุการณ์ที่รอบปีใด ๆ ความผิดพลาดหรือความไม่เหมาะสมในการคาดคะเนอาจจะเกิดขึ้นได้ หากเลือกทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ไม่เหมาะสมกับค่าของเหตุการณ์ทางอุทกวิทยานั้น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีทฤษฎีแบบหนึ่งแบบใดที่จะมีความเหมาะสมกับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยาได้ทั้งหมดในทุกพื้นที่ทุกประเภท และทุกชุดของข้อมูล วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบความเหมาะสมคือ Chi-Square Test ซึ่งมีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ทางสถิติเป็นไปตามสมการ

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{k} \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \qquad (ก-83)$$

ในเมื่อ χ^2 = ค่าความแตกต่างของการสังเกตกับการคำนวณตามทฤษฎี

O_j = ค่าความถี่ที่ได้จากการสังเกต

E_j = ค่าความถี่ที่คาดว่าจะได้ตามทฤษฎี

k = จำนวนช่วงชั้น (number of class intervals)

พิจารณาเมื่อมีการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในแต่ละช่วงชั้นเท่า ๆ กัน (equal probabilities) $E_j = n/k$ เมื่อ n คือจำนวนของเหตุการณ์ (sample size) จะได้

$$\chi^2 = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^{n} O_j^2 - n \qquad (ก-84)$$

สำหรับค่าลิมิตของช่วงชั้น (class limits,CL)จะสามารถคำนวณหาได้ในแต่ละทฤษฎีของการแจกแจงความน่าจะเป็นดังนี้

1) การแจกแจงแบบลอกนอร์มอลชนิด 2 พารามิเตอร์

$$CL = \exp(\bar{y} + tS_y) \qquad (ก-85)$$

เมื่อ $\bar{y}$ และ S_y คือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเหตุการณ์ในหน่วยลอก $[y = \ln(x)]$

2) การแจกแจงแบบลอกเพียร์สันชนิดที่ 3

$$CL = \exp\{\bar{y} + [\frac{\chi^2\gamma_y}{4} - \frac{2}{\gamma_y}]\ S_y\} \qquad (ก-86)$$

เมื่อ γ_y คือค่าสัมประสิทธิ์ของความเบ้ของกลุ่มตัวอย่างในหน่วยลอก

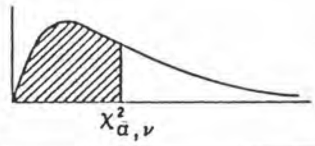
3) การแจกแจงแบบกัมเบล

$$CL = \bar{x} + [\frac{y_m - \mu}{\sigma}]\ S \qquad (ก-87)$$

เมื่อ $Y_m = -\ln(-\ln P)$

การทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงแบบ Chi-square มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาความเหมาะสมจากค่า χ^2 ถ้ามีค่าน้อย แสดงว่าความถี่ที่ได้จากการสังเกตกับที่คาดว่าจะได้ตามทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าความแตกต่างที่ยอมให้ (χ^2_α) เป็นไปตามตารางที่ ก-1

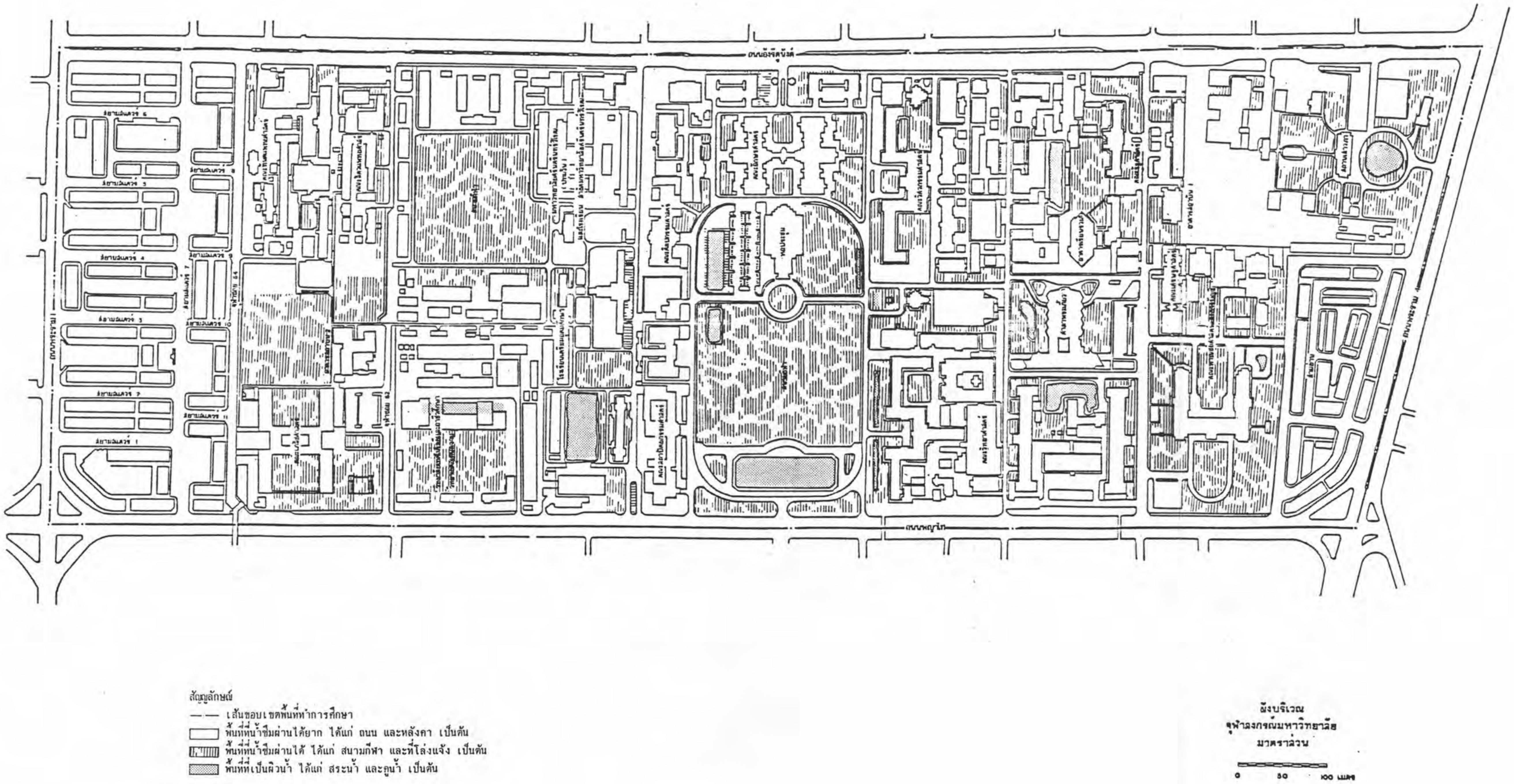
ตารางที่ ก-1 ค่าเปอร์เซ็นไตล์ของการแจกแจงแบบไคสแคว (Percentile Values ($\chi^2_{\alpha,\nu}$) for the Chi-Square Distribution with Degrees of Freedom (Shaded area = α)) [Hann (1977)]



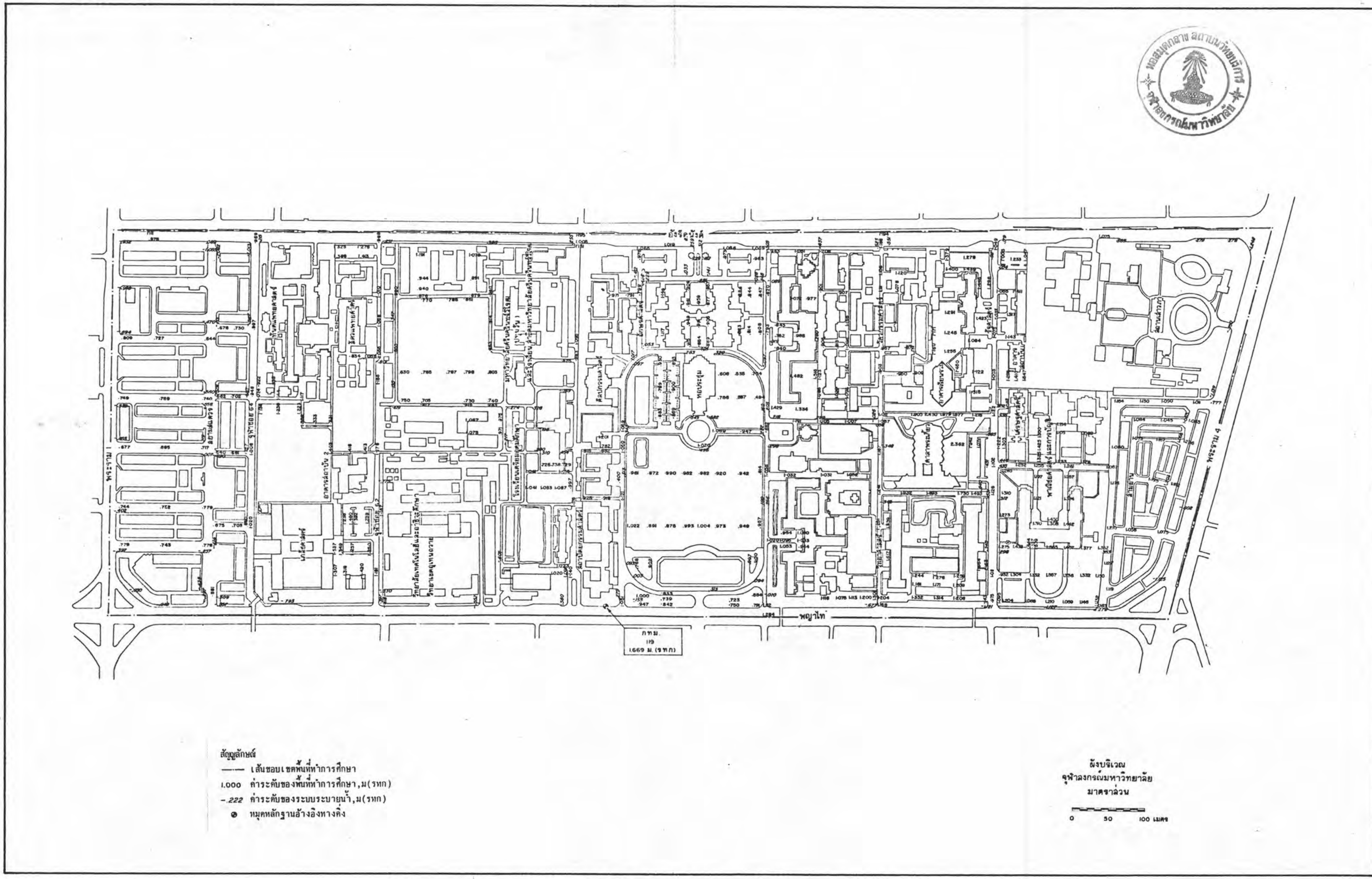
ν	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	.455	.102	.0158	.0039	.0010	.0002	.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	.575	.211	.103	.0506	.0201	.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	.584	.352	.216	.115	.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	.711	.484	.297	.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	.831	.554	.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	.872	.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.01	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.7	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Source: Catherine M. Thompson, Table of percentage points of the χ^2 distribution, Biometrika, Vol. 32 (1941), by permission of the author and publisher.

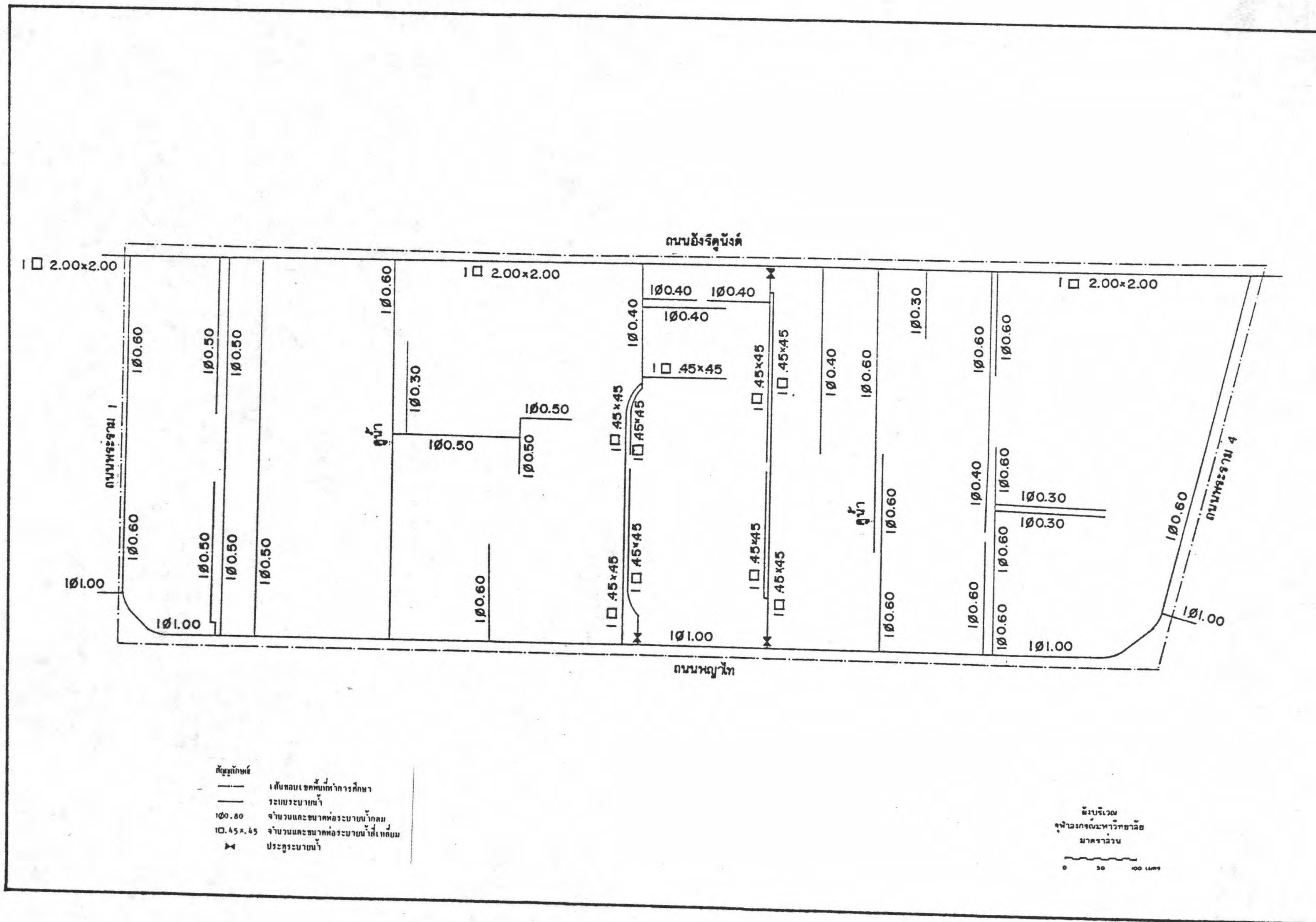
ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ทำการศึกษา



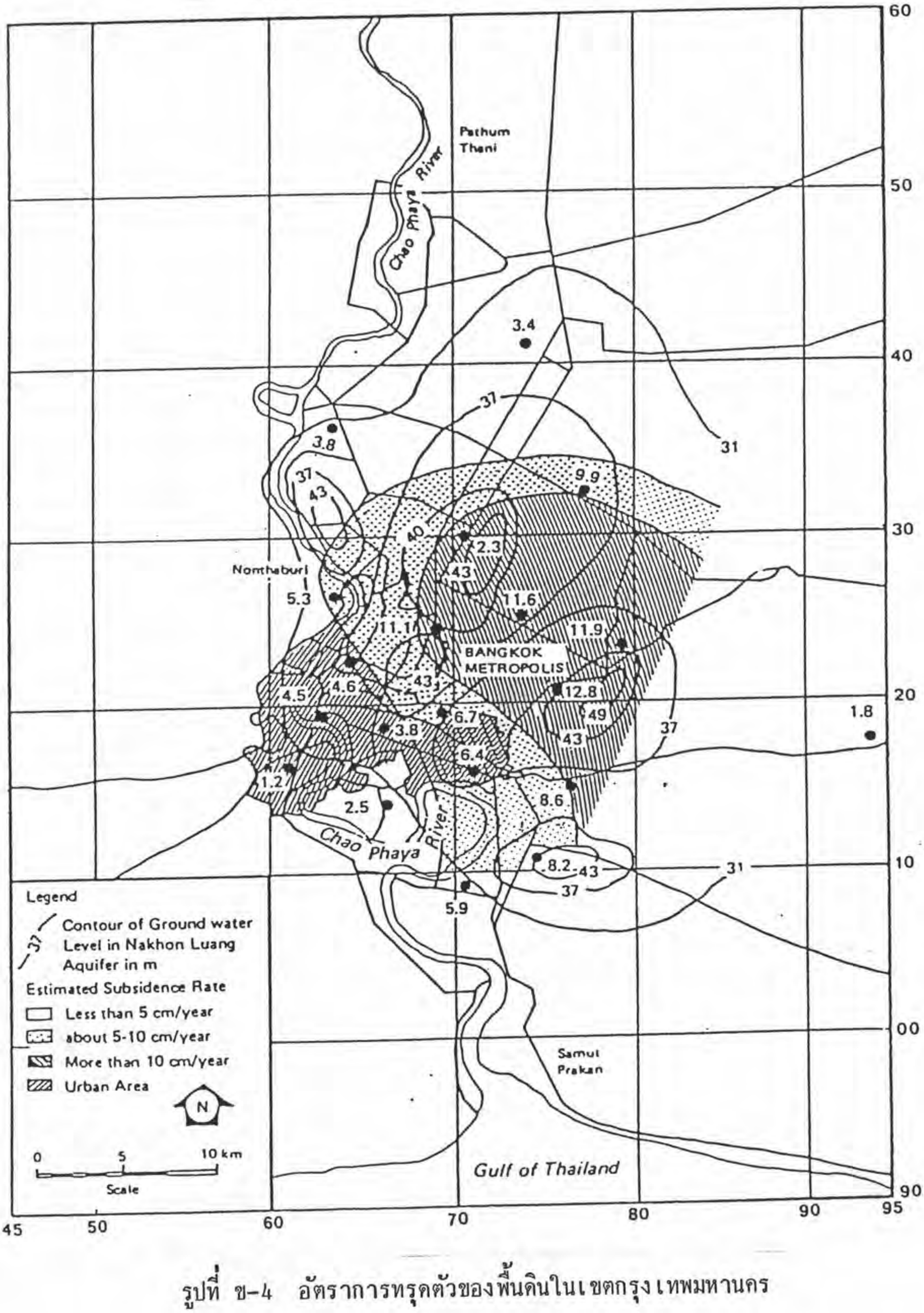
รูปที่ ข–1 สภาพการปกคลุมผิวดินของพื้นที่ทำการศึกษา



รูปที่ ข-2 ระดับของพื้นที่และระบบระบายน้ำบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา



รูปที่ ข-3 ระบบระบายน้ำบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา



รูปที่ ข-4 อัตราการทรุดตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร

ประวัติผู้ศึกษา

นายวัลลภ เมฆพฤกษาวงศ์ เกิดวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2505 ที่จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2527 และได้เข้าศึกษาต่อใน สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ.2527 ระหว่างการศึกษาได้ร่วมเป็นผู้ช่วยวิจัยเรื่อง "การศึกษาวิจัยและทำแผนผังแม่บทระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วมบริเวณพื้นที่กองทัพอากาศดอนเมือง" ระหว่างเดือน มกราคม-มิถุนายน พ.ศ.2528