

การคำนวณอัตราฝนตกจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา
เพื่อการศึกษาการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟ

EVALUATION OF RAIN RATE FROM METEOROLOGICAL DATA
FOR THE RAIN-INDUCED MICROWAVE ATTENUATION STUDIES



วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

๐๙๗.

ปีการศึกษา 2523

๐๕๑๐๗

๕๕๕๖

๐๑๐๔๐๐

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	II
บทคัดย่อ	III
Abstract	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การคำนวณหา Total cross section ของเม็ดฝน	4
2.1 เม็ดฝนลักษณะทรงกลม	4
2.2 เม็ดฝนลักษณะทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าว	10
บทที่ 3 คุณสมบัติของฝน	16
3.1 ชนิดของฝน	16
3.2 อาณาบริเวณที่ฝนตก	17
3.3 ลักษณะของเม็ดฝนและการกระจายของเม็ดฝน	17
บทที่ 4 อัตราฝนตกจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	19
บทที่ 5 การคำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณเนื่องจากเม็ดฝน	45
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ผศ.ดร.สุธี อักษรกิตติ เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นมาโดยตลอด และขอขอบคุณ คุณคำรัส ช่องตารากุล จากกรมอุตุนิยมวิทยา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการรวบรวมข้อมูลน้ำฝน



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกได้เป็น 3 ตอน ในตอนแรกกล่าวถึงการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงกลไกของการลดทอนสัญญาณและการกระจายกระจายของสัญญาณไมโครเวฟอันเนื่องมาจากเม็ดฝน เนื่องจากทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องนี้เป็นเรื่องยุ่งยากซับซ้อนพอสมควร และขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของเม็ดฝน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาแต่เฉพาะเม็ดฝนที่มีลักษณะทรงกลมและทรงคล้ายทรงกลมแบนชั่วเพียงสองชนิดเท่านั้น สำหรับในตอนที่สองเป็นการคำนวณหาค่าอัตราฝนตกจากกราฟบันทึกข้อมูลปริมาณฝนตกของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคต่าง ๆ ของประเทศ คือ กรุงเทพมหานคร - เพชรบูรณ์ สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2517 - 2521 สถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงใหม่ อุบลราชธานี นครศรีธรรมราช สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2513 - 2517 และสถานีอุตุนิยมวิทยา หล่มสัก ท่าวังผา โกล่มพิสัย ท่าชุม กบินทร์บุรี สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2518 - 2522 รวม 10 สถานี ในการหาอัตราฝนตกนี้เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราฝนตกทุก 5 นาที ตลอดทั้งวัน นำอัตราฝนตกที่คำนวณได้และจำนวนนาฬิกาที่ฝนตกในอัตรานั้น ๆ มาเขียนกราฟการแจกแจงรูปอัตราฝนตกในหนึ่งปี ความรู้ที่ได้จากการศึกษาเม็ดฝนและจากกราฟการแจกแจงรูปของอัตราฝนตกได้นำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาอัตราการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟอันเกิดจากฝนตกในประเทศไทย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางข่ายการสื่อสาร เชื่อมโยงด้วยสถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟภาคพื้นดินและข่ายการสื่อสารดาวเทียม

Abstract

This thesis is divided into three parts. The first part concerns the study of the mechanism of the attenuation and scattering of microwave signals due to rain drops. Since the theory relating to this problem is rather complicated and depends very much on the shape of rain drops, only the spheroid and oblate spheroid configurations are considered. In the second part, rain-rates are evaluated from the recorded weather data of the Meteorological Department at various sites such as Bangkok, Phetchabun for the period 1974 - 1978, Chiangmai, Ubonratchathani, Nakhonsithammarat for the period 1970 - 1974 and Lomsak, Thawangpha, Kosumpisai, Thatum, Kabinburi for the period 1975 - 1979. The average five minutes rainfall rates are evaluated from the recorded data and the total time in minutes that the rain falls at different rate within one year are plotted against the rain rate in millimeter per hour to obtain the five minutes rain rate distribution. The informations obtained from these two parts are used for calculation of the attenuation of microwave signals due to rainstorms in Thailand. The results will be useful for terrestrial microwave link and satellite communications planning.

บทที่ 1

บทนำ

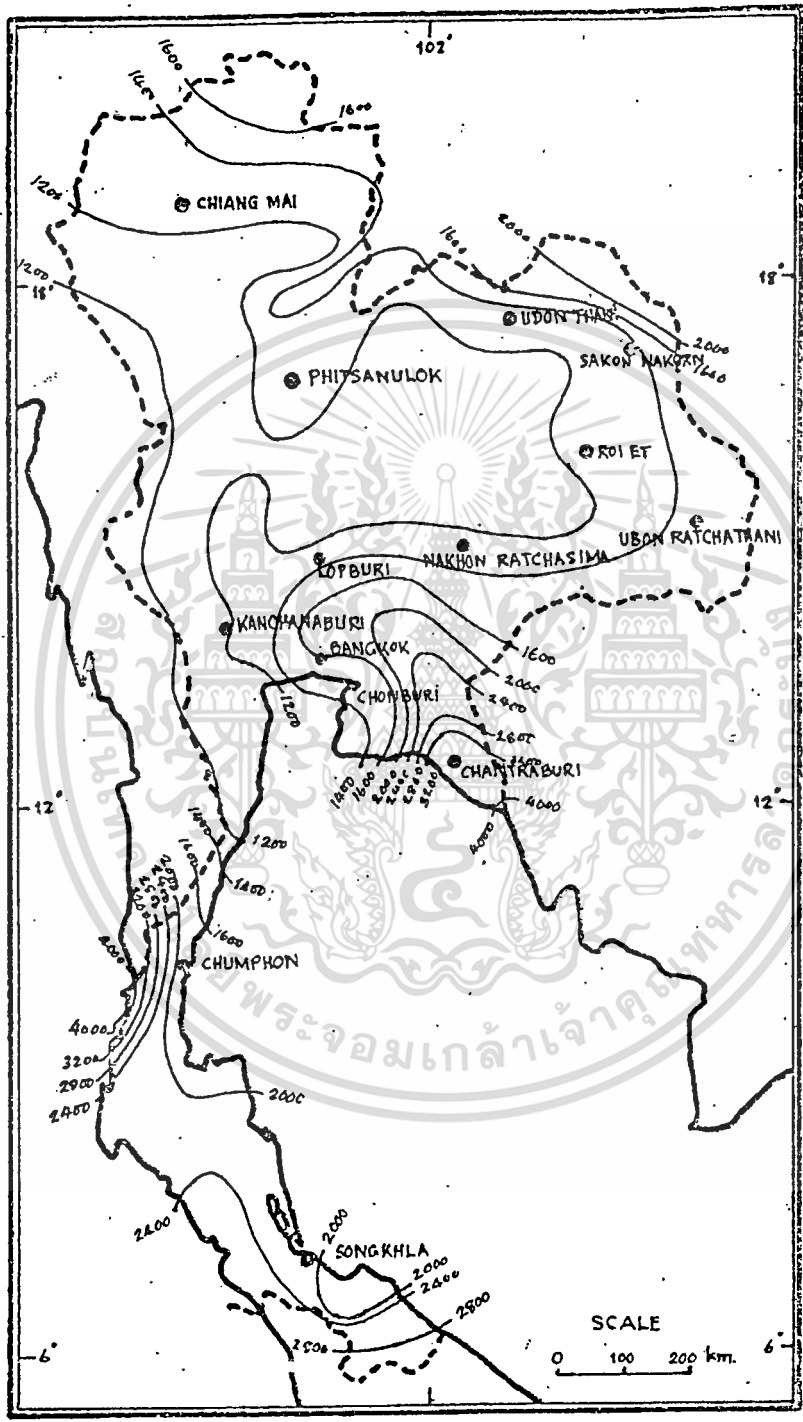
การสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งใช้เชื่อมโยงข่ายสื่อสารภาคพื้นดิน การสื่อสารดาวเทียมและใช้ในระบบควบคุมระยะไกลบางชนิด ความแน่นอนของระบบสื่อสาร ส่วนใหญ่จะมีผลกระทบจากการที่มีฝนตก ในเส้นทางการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟ โดยเฉพาะความถี่ที่สูงกว่า 4 GHz ฝนจะมีอิทธิพลต่อการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟอย่างมาก เม็ดฝนจะมีผลกระทบต่อคลื่นอยู่ 3 ประการด้วยกัน ประการที่หนึ่ง การเปลี่ยนขั้วคลื่น (depolarization) ในการที่จะเพิ่มความจุของช่องสัญญาณในระบบสื่อสารดาวเทียมนั้น ถ้าหากไม่เพิ่มความกว้างของช่วงคลื่น (bandwidth) แล้วก็อาจจะกระทำได้โดยการส่งคลื่นให้ขั้วคลื่นตั้งฉากกันจะเป็นแบบลิเนียร์ ในแนวตั้งและแนวนอน หรือแบบวงกลม หมุนซ้ายและหมุนขวาก็ได้ เป็นการส่งคลื่นความถี่เดียวกันไปในเส้นทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามการนำความถี่มาใช้ใหม่โดยการให้ขั้วคลื่นตั้งฉากกันนั้น อุปสรรคขัดขวางแนวความคิดนี้ คือ การเปลี่ยนขั้วคลื่น เมื่อคลื่นผ่านไปบนบริเวณที่มีฝนตก อันเป็นผลมาจากลักษณะรูปร่างของเม็ดฝนไม่เป็นทรงกลม ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณที่ส่งไป ผลกระทบประการที่สอง คือ การดูดกลืนพลังงาน เกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสั้นลงจนขนาดใกล้เคียงกับ เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน สัญญาณไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนมากขึ้น และผลประการที่สาม คือ การกระจายคลื่น เกิดขึ้นเมื่อคลื่นกระทบเม็ดฝนแล้วพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในเม็ดฝน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน อีกส่วนหนึ่งจะกระจายออกมา ผลของทั้งสองประการหลังนี้จะ เป็นกรณี ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณขึ้นทำให้สัญญาณที่ควรจะได้รับได้ในทิศทางที่ต้องการลดน้อยลง และบางครั้ง จากการที่เกิดการกระจายของสัญญาณที่ส่งจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมกระจายออกไปรบกวนข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินที่ใช้ความถี่เดียวกันได้

สำหรับประเทศไทยมีความต้องการใช้การสื่อสารภายในประเทศผ่านดาวเทียม และการสื่อสารภาคพื้นดินไปยังส่วนต่าง ๆ ของประเทศ เหตุด้วยที่ประเทศไทยอยู่ในบริเวณเขตร้อน มีปริมาณการตกของฝนตลอดปี เฉลี่ยแล้วอยู่ระหว่าง 1000 - 5000 มม. ตามส่วนต่าง ๆ ของประเทศ ดังแสดงในรูป 1.1 [1] จึง เป็นข้อที่น่าสนใจที่ข่ายการสื่อสารภายในประเทศ จะได้รับผลกระทบกระเทือนจากปริมาณของฝนที่มีอยู่จำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รายงานนี้จะสนใจเฉพาะปัญหาการลดทอนของคลื่นไมโครเวฟอันเนื่องจากฝน การคำนวณจะใช้ทฤษฎีการกระจายเดี่ยว (single scattering) ซึ่งจะใช้ผลรวมของสนามไฟฟ้าที่กระจายออกมาจากเม็ดฝนแต่ละเม็ด แต่เนื่องจากการลดทอนคลื่นไมโครเวฟนั้น ส่วนหนึ่งขึ้นกับอัตราการตกของฝน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาสถิติการตกของฝนในประเทศไทยโดยวิธีประมาณการเพิ่มของฝนทุก 5 นาที แบบนี้ไม่มีใครทำมาก่อนประกอบกับเรามีข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอยู่แล้ว จึงสมควรจะนำมาหาอัตราการตกของฝน เพื่อจะได้ใช้เป็นประโยชน์ในการทำค่าการลดทอนของคลื่นไมโครเวฟ





รูป 1.1 แผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี

การคำนวณหา Total cross section ของเม็ดฝน

การลดทอนและการกระจัดกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวัตถุที่เป็นทรงกลมได้เริ่มศึกษาโดย Mie, และต่อมา Stratton [2] ได้ดำเนินการตามวิธีของ Mie ต่อมาอีกโดยใช้วิธีการเปลี่ยนรูปของคลื่นที่กระจายออกให้อยู่ในลักษณะของโคออร์ดิเนตแบบทรงกลม (spherical wave) และต่อมา Ryde และ Ryde [3] ได้คำนวณค่า total cross-section ของเม็ดฝน และตั้งทฤษฎีค่าการลดทอนที่ขึ้นอยู่กับค่าอัตราการตกของฝน โดยสมมติฐานที่ว่าเม็ดฝนมีลักษณะเป็นทรงกลม ด้วยเหตุนี้ ในการหาการลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากฝน ก่อนอื่นเราต้องทราบ total cross - section ของเม็ดฝนขนาดต่าง ๆ ก่อนอื่นเราจะหา total cross - section ของเม็ดฝนที่มีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 0.025, (0.025), 0.35 ซม. และเป็นที่ทราบดีว่าขนาดของเม็ดฝนที่ตกมานั้น เม็ดฝนขนาดเล็กเท่านั้นที่มีลักษณะเป็นทรงกลม แต่เม็ดขนาดใหญ่ รูปร่างลักษณะที่ตกลงมาจะเป็นทรงกลมที่มนทางด้านบนและแบนทางด้านล่าง เนื่องจากการต้านของอากาศ เราจะแทนลักษณะของฝนที่ผิดรูปร่างไปนี้เป็นลักษณะของทรงกลมแบนขั้ว (oblate spheroids) และหา total cross - section ของเม็ดฝนที่เป็นลักษณะทรงกลมแบนขั้วที่มีปริมาตร เท่ากับ เม็ดชนิดทรงกลม ขนาดต่าง ๆ ที่มีค่าเฉลี่ยของรัศมีอยู่ระหว่าง 0.025 (0.025), 0.35 ซม.

2.1 เม็ดฝนลักษณะทรงกลม

เราจะพิจารณาคคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นระนาบ (plane wave) ตกกระทบกับเม็ดฝนทรงกลมหนึ่งเม็ด จากสมการของแมกเวลล์ เราจะได้ความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังนี้

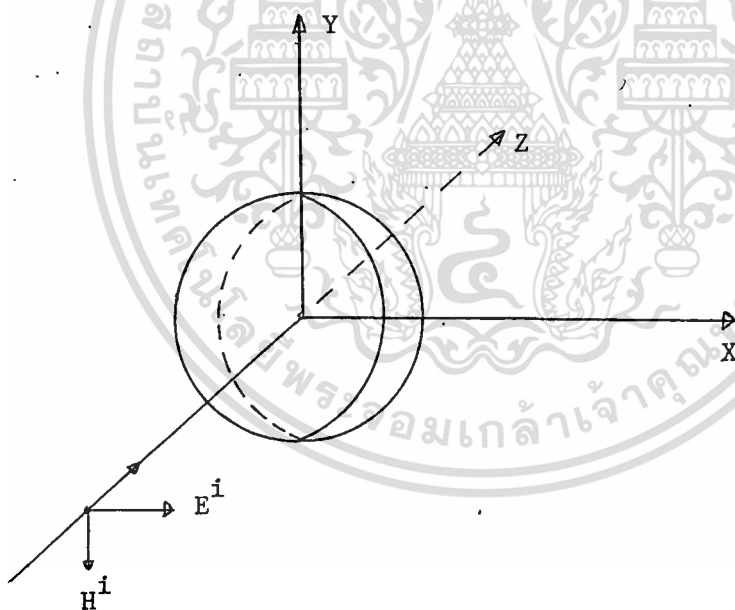
$$\nabla \times E = j\omega\mu H \quad (2.1)$$

$$\nabla \times H = (\sigma + j\omega\epsilon) E$$

ในที่นี้ ω เป็นความถี่เชิงมุม (angular frequency), μ เป็นค่าซึมซาบแม่เหล็ก (permeability) σ เป็นค่าความนำ (conductivity) และ ϵ เป็น เบริมาตรดี เมื่อเม็ค
 ผนอยู่ในอากาศบริเวณภายนอกเม็คผนที่เป็นอากาศ เราจะได้ $\sigma = 0$ และ $\epsilon = \epsilon_0$ ส่วนบริเวณ
 ภายในเม็คผน เราให้ $\sigma = \sigma_1$ และ $\epsilon = \epsilon_1$ และ k ค่าคงที่การเคลื่อนคลื่น (propaga-
 tion constant) โดยที่

$$k^2 = \omega \mu_0 (\omega \epsilon + j\sigma)$$

ในกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ในอากาศ ค่าคงที่การเคลื่อนที่ คือ $k_0 = \omega (\mu_0 \epsilon_0)^{1/2}$
 และในบริเวณเม็คผน $k_1 = N k_0$ เมื่อ N เป็นค่าดัชนีการหักเหของน้ำฝน



รูป 2.1 แสดงทิศทางของขั้วคลื่นตกกระทบบเม็ดฝนทรงกลม

เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ จะพิจารณาคลื่นระนาบตกกระทบเม็คแผ่นทรงกลมรัศมี a และเม็คแผ่นมีคุณสมบัติของค่าคงที่การเคลื่อนคลื่อนเป็น k_1 เม็คแผ่นนี้วางอยู่ ณ ตำแหน่งศูนย์กลางของ โคออร์ดิเนตในที่ว่างอนันต์ที่เป็นอากาศ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบขนานกับแกน X และเคลื่อนที่ไปทางทิศ Z เป็นบวก ดังแสดงในรูป 2.1 คลื่นระนาบนี้สามารถกระจายได้เป็นอนุกรมของฟังก์ชันของคลื่นทรงกลม (spherical wave) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 E^i &= a_x E_o \exp [jk_o z] \\
 &= E_o \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left[M_{omn}^{(1)} - i N_{emn}^{(1)} \right] \quad (2.2) \\
 H^i &= a_y \frac{k_o}{\mu_o \omega} E_o \exp [jk_o z] \\
 &= \frac{-k_o}{\mu_o \omega} E_o \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left[M_{emn}^{(1)} + i N_{omn}^{(1)} \right]
 \end{aligned}$$

ในที่นี้เราจะละตัวประกอบ $\exp(-j\omega t)$ ไว้ และ E_o เป็นขนาดของสนามไฟฟ้า ω เป็น angular frequencies และ M, N เป็นผลลัพธ์ของฟังก์ชันของคลื่นทรงกลม ซึ่งจากการที่เราจะใช้ฟังก์ชันเชิงซ้อน (complex function) ของ $\exp(im\phi)$ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันจริงสองค่าคือ $\cos m\phi$ และ $\sin m\phi$ แล้วเพื่อความสะดวกแล้วเราอาจจะแทนด้วยฟังก์ชันตรีโกณมิติและฟังก์ชันคู่ โดยการห้อยท้ายด้วยสัญลักษณ์ o หรือ e

$$\begin{aligned}
 M_{omn} &= \frac{-m}{\sin \theta} Z_n(kR) \cdot P_n^m(\cos \theta) \frac{\sin m\phi}{\cos m\phi} i_2 \\
 &\quad - Z_n(kR) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} P_n^m(\cos \theta) \frac{\cos m\phi}{\sin m\phi} i_3 \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{emn} &= \frac{n(n+1)}{KR} \cdot Z_n(KR) \cdot P_n^m(\cos \theta) \frac{\cos m\phi}{\sin m\phi} i_1 \\
&+ \frac{1}{KR} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \left[R \cdot Z_n(KR) \right] \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} P_n^m(\cos \theta) \frac{\cos m\phi}{\sin m\phi} i_2 \\
&+ \frac{m}{KR \cdot \sin \theta} \frac{\partial}{\partial R} \left[R \cdot Z_n(KR) \right] \cdot P_n^m(\cos \theta) \frac{\sin m\phi}{\cos m\phi} i_3
\end{aligned} \tag{2.4}$$

ในที่นี้ $Z_n(KR)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลชนิดทรงกลมของอันดับ n ครรณี (1) ที่แสดงไว้ หมายความว่า ฟังก์ชันเบสเซลชนิดทรงกลมเป็นชนิดที่หนึ่ง $Z_n(KR) = j_n(KR)$ และ $P_n^m(\cos \theta)$ เป็นฟังก์ชันเลอจองด์สัมพัทธ์ (associated Legendre function) ของระดับชั้น n และอันดับ m

เมื่อคลื่นกระทบเม็คผนแล้วส่วนที่กระจายออกอยู่ภายนอกของเม็คผนนั้น สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่อยู่ภายนอกเม็คผนนี้สามารถเขียนได้ในรูปของฟังก์ชันของคลื่นทรงกลม โดยที่สมการดังกล่าวจะติดอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การกระจายคลื่น ดังนี้

$$E^s = E_o \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left[a_n^s M_{omn}^{(3)} + i b_n^s N_{emn}^{(3)} \right] \tag{2.5}$$

$$H^s = \frac{-k_o}{\mu_o \omega} E_o \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left[b_n^s M_{emn}^{(3)} + i a_n^s N_{omn}^{(3)} \right]$$

ครรณี (3) นั้น หมายถึงฟังก์ชันเบสเซลชนิดทรงกลมเป็นชนิดที่สาม

คลื่นบางส่วนที่เคลื่อนที่เข้าไปภายในเม็คผนนั้น สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะติดอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น

$$E^t = E_o \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left[a_n^t M_{omn}^{(1)} - i b_n^t N_{emn}^{(1)} \right] \tag{2.6}$$

$$H^t = \frac{-k_1}{\mu_1 \omega} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} \left[b_n^t M_{emn}^{(1)} - i a_n^t N_{omn}^{(1)} \right]$$

ในที่นี้ a_n เป็นขนาดของการแกว่งกวัด (oscillated) ในทรงกลมแบบสนามแม่เหล็ก

b_n เป็นขนาดของการแกว่งกวัด (oscillated) ในทรงกลมแบบสนามไฟฟ้า

ค่าสัมประสิทธิ์นี้สามารถหาได้จากการพิจารณาเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ที่ผิวของเม็ดฝน ($R = a$) คือ

$$i_1 \times (E^i + E^s) = i_1 \times E^t \quad (2.7)$$

$$i_1 \times (H^i + H^s) = i_1 \times H^t$$

จะได้สัมประสิทธิ์ของการกระจายคลื่นและการส่งผ่านคลื่นดังนี้

$$a_n^s = \frac{-\mu_1 j_n(N\rho) \left[\rho j_n(\rho) \right]' - \mu_0 j_n(\rho) \left[N\rho j_n(N\rho) \right]'}{\mu_1 j_n(N\rho) \left[\rho h_n^{(1)}(\rho) \right]' - \mu_0 h_n^{(1)}(\rho) \left[N\rho j_n(N\rho) \right]'} \quad (2.8)$$

$$b_n^s = \frac{\mu_1 j_n(\rho) \left[N\rho j_n(N\rho) \right]' - \mu_0 N^2 j_n(N\rho) \left[\rho j_n(\rho) \right]'}{\mu_1 j_n^{(1)}(\rho) \left[N\rho j_n(N\rho) \right]' - \mu_0 N^2 j_n(N\rho) \left[\rho h_n^{(1)}(\rho) \right]'} \quad (2.9)$$

$$a_n^t = \frac{\mu_1 h_n^{(1)}(\rho) \left[\rho j_n(\rho) \right]' - \mu_1 j_n(\rho) \left[\rho h_n^{(1)}(\rho) \right]'}{\mu_2 h_n^{(1)}(\rho) \left[N\rho j_n(N\rho) \right]' - \mu_1 j_n(N\rho) \left[\rho h_n^{(1)}(\rho) \right]'}$$

$$b_n^t = \frac{\mu_1 N j_n(\rho) \left[\rho h_n^{(1)}(\rho) \right]' - \mu_1 N h_n^{(1)}(\rho) \left[\rho j_n(\rho) \right]'}{\mu_2 N^2 j_n(N\rho) \left[\rho h_n^{(1)}(\rho) \right]' - \mu_1 h_n^{(1)}(\rho) \left[N\rho j_n(N\rho) \right]'}$$

$$k_1 = Nk_0, \quad \rho = k_0 a, \quad k_1 a = N\rho$$

ผลรวมของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จุดใด ๆ ภายนอกเม็ดฝนเป็นผลรวมของสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็กเดิม กับสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมา ดังนี้

$$E = E^i + E^s, \quad H = H^i + H^s \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะเขียนสมการของพลังงานทั้งหมดในแนวรัศมี R จากจุดศูนย์กลางของพิกัด (coordinate) ได้ดังนี้

$$S_R^* = \frac{1}{2} (E_\theta \tilde{H}_\phi - E_\phi \tilde{H}_\theta) \quad (2.11)$$

\tilde{H} เป็นสังยุค (Conjugate) ของ H

เมื่อแทนค่าของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสมการ (2.11) แล้วจะได้

$$\begin{aligned} S_R^* &= \frac{1}{2} (E_\theta^i \tilde{H}_\phi^i - E_\phi^i \tilde{H}_\theta^i) + \frac{1}{2} (E_\theta^s \tilde{H}_\phi^s - E_\phi^s \tilde{H}_\theta^s) \\ &+ \frac{1}{2} (E_\theta^i \tilde{H}_\phi^s + E_\theta^s \tilde{H}_\phi^i - E_\phi^i \tilde{H}_\theta^s - E_\phi^s \tilde{H}_\theta^i) \end{aligned} \quad (2.12)$$

ที่ผิวของทรงกลมรัศมี R เมื่อเราอินทิเกรตพื้นที่คลุมทั้งผิวของทรงกลมของฟังก์ชัน S_R^* ค่าส่วนจริงที่ได้จะเท่ากับค่าของพลังงานที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในทรงกลม ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะเปลี่ยนเป็นความร้อน เราจะแทนพลังงานส่วนที่ถูกดูดกลืนโดยเม็ดฝนทรงกลมด้วย

$$W_a = -\text{Re} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} S_R^* R^2 \sin \theta \, d\phi \, d\theta \quad (2.13)$$

และจำนวนของพลังงานที่กระจายออกจากทรงกลม เราแทนค่าด้วย W_s ดังนี้

$$W_s = \frac{1}{2} \text{Re} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (E_\theta^s \tilde{H}_\phi^s - E_\phi^s \tilde{H}_\theta^s) R^2 \sin \theta \, d\phi \, d\theta \quad (2.14)$$

เมื่อคลื่นกระทบกับ เม็ดฝนแล้วพลังงานจะกระจายออกและอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปภายในเม็ด เมื่อรวมพลังงานทั้งสองส่วนนี้แล้วจะได้ผลรวมของพลังงานที่ลดทอนไปจากลำคลื่น เมื่อกระทบกับเม็ดฝนทรงกลมหนึ่งเม็ด จากสมการ (2.12), (2.13), (2.14) จะได้

$$\begin{aligned} W_t &= W_a + W_s \\ &= -\frac{1}{2} \text{Re} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (E_\theta^i \tilde{H}_\phi^s + E_\theta^s \tilde{H}_\phi^i - E_\phi^i \tilde{H}_\theta^s - E_\phi^s \tilde{H}_\theta^i) R^2 \\ &\quad \sin \theta \, d\theta \, d\phi \end{aligned} \quad (2.15)$$

แทนค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสมการ (2.2), (2.5) และอินทิเกรต

สมการ (2.15) จะได้

010400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_t = -\pi \frac{E_o^2}{k_o^2} \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}} \operatorname{Re} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (a_n^s + b_n^s) \quad (2.16)$$

ค่าเฉลี่ยการไหลของพลังงานของคลื่นตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีดังนี้

$$\bar{S} = \frac{1}{2} E_o^2 \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}} \quad (2.17)$$

Total cross section ของทรงกลม กำหนดโดยอัตราส่วนของพลังงานที่ลุดทอนไป เนื่องจากทรงกลมนั้นต่อค่าเฉลี่ยของพลังงานของคลื่นที่ตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่

$$Q_t = \frac{-2\pi}{K_o^2} \operatorname{Re} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (a_n^s + b_n^s) \quad \text{ตารางเมตร} \quad (2.18)$$

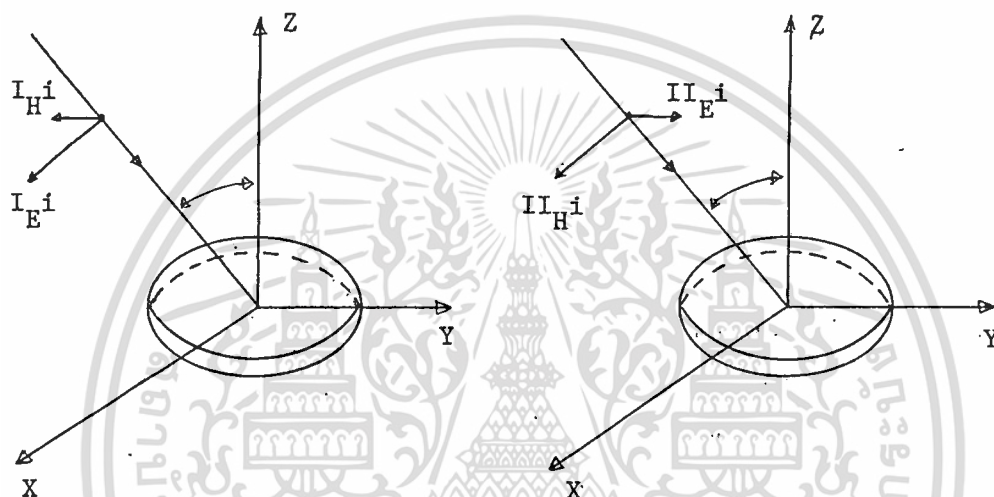
จากสมการ (2.18) ทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำนวณค่า Q_t สำหรับ เม็ดฝนทรงกลม ขนาดต่าง ๆ ที่มีรัศมีอยู่ระหว่าง 0.025-0.325 ซม. และที่ความถี่ 4, 6 และ 11 GHz โดยให้ค่าตรรกะของการหักเหของน้ำฝน [4] $N = 8.78 + 0.977 i$ ที่ 4 GHz, $N = 8.67 + 1.202 i$ ที่ 6 GHz, $N = 7.884 + 2.184 i$ ที่ 11 GHz

ผลของการคำนวณ Total cross section (Q_t) ได้แสดงไว้ในการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 1 [5] ผลของการคำนวณมีปัญหาในการทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของฟังก์ชันเบสเซล ที่มีอาร์กิวเมนต์เป็นเชิงซ้อน

2.2 เม็ดฝนลักษณะทรงกลมแบนขั้ว (oblate spheroids)

ตามธรรมชาติแล้วขนาดของ เม็ดฝนจะไม่เป็นทรงกลม จากการสังเกตการตกของหยดน้ำ จะมีลักษณะแบนทางด้านล่างและมนทางด้านบน [6] เม็ดฝนขนาดใหญ่ที่รูปร่างอาจจะไม่คงที่และจะเปลี่ยนรูปร่างไปเรื่อย ก่อนที่จะแตกกระจายเป็นเม็ดขนาดเล็ก ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องประมาณการลักษณะของเม็ดฝนให้ใกล้เคียงกับทรงกลม เพื่อประโยชน์ในการคำนวณพารามิเตอร์ ของการกระจายดังที่กล่าวข้างต้น จึงสมมุติว่าลักษณะของเม็ดฝนมีลักษณะเป็นทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว

จากการที่พิจารณาลักษณะเป็นทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้วนี้ ทำให้เกิดความแตกต่างของ Total cross section ระหว่างคลื่นที่มีขั้วของสนามไฟฟ้าในแนวตั้ง และคลื่นที่มีขั้วของสนามไฟฟ้าในแนวนอนและขั้นตอนการหา Total cross section ตามวิธีการของ T. Oguchi [7] ดำเนินการดังนี้



รูป 2.2 แสดงขั้วของคลื่นตกกระทบบนเม็ดแผ่นทรงกลมแบน

เราจะพิจารณาคลื่นตกกระทบบนสองแบบด้วยกัน คือ แบบขั้วคลื่นอยู่ในแนวตั้ง และแบบขั้วคลื่นอยู่ในแนวนอน ดังรูป 2.2 ซึ่งคลื่นตกกระทบบนนี้สามารถกระจายได้เป็นฟังก์ชันอนุกรมของคลื่นทรงกลม ได้ดังนี้

$$II_{E^i} = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (A_{omn} M_{omn}^{(1)} + B_{emn} N_{emn}^{(1)})$$

$$I_{H^i} = \frac{ik}{\omega\mu} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} (B_{e\,omn} M_{e\,omn}^{(1)} + A_{e\,omn} N_{e\,omn}^{(1)}) \quad (2.19)$$

และสัมประสิทธิ์ $A_{e\,omn}$ และ $B_{e\,omn}$ มีค่าดังนี้

$$A_{e\,omn} = (2 - \delta_m) \cdot \frac{2n+1}{n(n+1)} \cdot \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \cdot i^n \left[\frac{m \cdot P_n^m(\cos \alpha)}{\sin \alpha} \cdot E_1 - \frac{\partial P_n^m(\cos \alpha)}{\partial \alpha} \cdot E_2 \right]$$

$$B_{e\,omn} = (2 - \delta_m) \cdot \frac{2n+1}{n(n+1)} \cdot \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \cdot i^{n+1} \left[-\frac{\partial P_n^m(\cos \alpha)}{\partial \alpha} \cdot E_1 - \frac{m \cdot P_n^m(\cos \alpha)}{\sin \alpha} \cdot E_2 \right] \quad (2.20)$$

$$\delta_m = \begin{cases} 1, & m = 0 \\ 0, & m \neq 0 \end{cases}$$

กรณี (1) ที่ M และ N แสดงถึงฟังก์ชันเบสเชลชนิดทรงกลมเป็นชนิดหนึ่ง และคลื่นที่กระจายออกมาจะติดอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ดังนี้

$$I_{E^s} = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} (a_{e\,omn}^s M_{e\,omn}^{(4)} + b_{e\,omn}^s N_{e\,omn}^{(4)})$$

$$I_{H^s} = \frac{ik}{\omega\mu} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} (b_{e\,omn}^s M_{e\,omn}^{(4)} + a_{e\,omn}^s N_{e\,omn}^{(4)}) \quad (2.21)$$

กรณี (4) ที่ M และ N แสดงถึงฟังก์ชันเบสเชลชนิดทรงกลมเป็นชนิดที่สี่ และคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าไปภายในเม็ทผลจะติดอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านดังนี้

$$I_{E^t} = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} (a_{e\,omn}^t M_{e\,omn}^{(1)} + b_{e\,omn}^t N_{e\,omn}^{(1)})$$

$$I_{H^t} = \frac{ik}{\omega\mu} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} (b_{emn}^t M_{emn}^{(1)} + a_{eomn}^t N_{eomn}^{(1)}) \quad (2.22)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ทำได้โดยพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวของเม็ดฝน โดยที่ผิวของทรงกลมแบนจะสัมพันธ์กับฟังก์ชันของ θ



เงื่อนไขขอบเขตของสนามภายในเม็ดฝนและภายนอกเม็ดฝนจะสอดคล้องกัน ในแนวของ r, θ, ϕ ตามทิศทางของทรงกลม ดังนี้ [8]

$$I_{E_\phi}^{out} = I_{E_\phi}^{in} \quad (2.24)$$

$$I_{H_\phi}^{out} = I_{H_\phi}^{in} \quad (2.25)$$

$$\int_{II} E_{\theta} \text{ out} + \frac{1}{r} \frac{df}{d\theta} \cdot \int_{II} E_r \text{ out} = \int_{II} E_{\theta} \text{ in} + \frac{1}{r} \frac{df}{d\theta} \cdot \int_{II} E_r \text{ in} \quad (2.26)$$

จะได้ความสัมพันธ์การกระจายเมื่อเทียบกับกรณีทรงกลมดังนี้

$$a_{omn}^s = a_n^s A_{omn}^s \quad (2.28)$$

$$b_{omn}^s = b_n^s B_{omn}^s$$

และผลรวมของพลังงานที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในเม็ดฝนกับพลังงานที่กระจายออกมาได้

$$W_t = \frac{-2\pi}{K^2} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \cdot \text{Re} \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} \left[a_{omn}^s \frac{m \cdot P_n^m(\cos \alpha) - \partial P_n^m(\cos \alpha)}{\partial \alpha} \cdot i^{-n} + b_{omn}^s \frac{\partial P_n^m(\cos \alpha)}{\partial \alpha} \cdot i^{-(n+1)} - \frac{m \cdot P_n^m(\cos \alpha)}{\sin \alpha} \right] \right\} \quad (2.29)$$

ค่าเฉลี่ยการไหลของพลังงานของคลื่นตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่

$$\bar{S} = \frac{1}{2} E_o^2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \quad (2.30)$$

total cross-section ของวัตถุใด ๆ กำหนดโดยอัตราส่วนของผลรวมของพลังงานที่กระจายออกกับพลังงานที่ถูกดูดกลืนเข้าไป ต่อค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ตกกระทบ และในกรณีนี้เราจะเขียนให้อยู่ในลักษณะนี้

$$\int_{II} Q_t = Q_{t0} + \nu \int_{II} Q_{t1} \quad (2.31)$$

โดยที่ $Q_{t0} = \frac{-2}{k} \text{Re} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (a_n^s + b_n^s)$

$$\begin{aligned}
 \text{II } Q_{t1} = & \frac{-4}{k^2} \text{Re} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=m}^{\infty} \left[\text{II } F_{a,mn}^S \frac{\frac{m.P_n^m(\cos \alpha)}{\sin \alpha} - \frac{\partial P_n^m(\cos \alpha)}{\partial \alpha}}{\partial \alpha} .i^{-n} \right. \\
 & \left. + \text{II } F_{b,mn}^S \frac{-\frac{\partial P_n^m(\cos \alpha)}{\partial \alpha}}{\sin \alpha} .i^{-(n+1)} \right] \quad (2.32)
 \end{aligned}$$

$F_{a,mn}^S$ และ $F_{b,mn}^S$ ได้จากรายงานของ T. Oguchi

ในการคำนวณหาค่า total cross section จากสมการ (2.31) จำเป็นจะต้องทราบค่าตรรกะการหักเหของคลื่นตกกระทบ ในกรณีความถี่ต่าง ๆ ซึ่งจะสามารถหาได้จากรายงานของ P.S. Ray [9] ผลของการคำนวณมีปัญหา การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของฟังก์ชันเลขจอร์ด์สมทบที่ต้องทำขึ้นเองและผลที่ได้ไม่อาจตรวจสอบให้แน่ใจได้ว่าถูกต้องหรือไม่ จึงไม่ได้แสดงผลการคำนวณในรายงานนี้

บทที่ 3

คุณสมบัติของฝน

3.1 ชนิดของฝน [10]

โดยทั่วไปฝนสามารถจะแบ่งออกเป็นแบบใหญ่ ๆ ได้สองแบบด้วยกัน คือ แบบ stratiform และแบบ convective ฝนแบบแรกเป็นแบบที่เกิดจากการเปลี่ยนผลึกน้ำแข็งและเกล็ดหิมะมาเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะมีอัตราการตกของน้ำฝนต่ำ อยู่ระหว่าง 10 - 20 มม./ชม. จะมีความหนาของชั้นฝนคงที่และชั้นรอยต่อระหว่างที่เกล็ดหิมะกลายเป็นหยดน้ำจะมีความหนาประมาณ 400 - 500 เมตร ซึ่งเป็นชั้นที่มีผลต่อการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์เป็นสำคัญ ชั้นนี้เรียกว่า bright band จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเยือกแข็งและประกอบด้วยอนุของเมฆฝนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-40 μ จำนวนมาก ส่วนฝนแบบ convective เป็นแบบที่เกิดจากการชนกันของเมฆฝนทำให้เมฆฝนเพิ่มปริมาณมากขึ้นและกลายเป็นหยดน้ำ อนุของเมฆฝนชนิดนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-40 μ

การเกิดฝนนั้นจะเกิดจากทั้งสองแบบพร้อมกัน ซึ่งฝนที่เกิดจากแบบ stratiform จะมีอาณาบริเวณกว้างในแนวระดับ เพราะว่าเมฆฝนแบบนี้สูงจากพื้นดินหลายกิโลเมตร และอัตราการตกจะเบาบาง แต่ระยะเวลาในการตกนาน ส่วนในกรณีของฝนแบบ convective ลักษณะการตกจะขยายออกไปทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ ระยะทางเกือบ 10 กิโลเมตร หรือมากกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกหนักในช่วงระยะเวลาสั้น เมื่อรวมฝนทั้งสองแบบนี้เข้าด้วยกันแล้ว จะเป็นผลให้เกิดฝนตกหนักในระยะเวลาที่ยาวนาน

CCIR ได้แบ่งขนาดอัตราการตกของฝนไว้ดังนี้ [11]

ฝนตกเล็กน้อย (drizzel)	0.25	มม./ชม.
ฝนตกเบาบาง (light rain)	1.0	มม./ชม.
ฝนตกพอประมาณ (moderate rain)	4.0	มม./ชม.
ฝนตกหนัก (heavy rain)	16.0	มม./ชม.
ฝนตกหนักมาก (very heavy rain)	100.0	มม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อาณาบริเวณที่ฝนตก [12]

การที่จะทราบอาณาบริเวณที่ฝนตกนั้น ส่วนสำคัญอยู่ที่ปริมาณของเมฆฝนว่าจะมีมากเท่าไร และทิศทางของลมที่จะพัดฝนให้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่าใด จากการศึกษาและตรวจสอบโดยสถานีอุตุนิยมวิทยาในประเทศญี่ปุ่นพบว่าระดับความสูงของเมฆฝนนั้น 50% จะอยู่ในระดับความสูง 5-6 กิโลเมตร และอาจจะสูงอีก 16 กิโลเมตร และการเคลื่อนของเมฆฝนจะอยู่ในช่วง 35-40 กม./ชม. ระยะเวลาที่ฝนตกแต่ละครั้งพบว่า ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกนั้นคิดเฉลี่ย 50% แล้ว สำหรับอัตรา 20 มม./ชม จะมีฝนตกอยู่ประมาณ 6 นาที สำหรับอัตราที่มากกว่า 50 มม./ชม. จะมีฝนตกอยู่ประมาณ 4 นาที เมื่อนำไปสัมพันธ์กับความเร็วของฝนแล้ว 50% ของบริเวณที่มีฝนตกหนักจะมีอาณาบริเวณถึง 3 กม. ในทิศทางของลม

3.3 ลักษณะของเม็ดฝนและการกระจายของเม็ดฝน

เม็ดฝนที่มีขนาดเล็กนั้นจะมีลักษณะเป็นทรงกลม แต่เมื่อฝนมีอัตราการตกหนักแล้วขนาดของเม็ดฝนจะโตขึ้นและรูปร่างจะผิดรูปไปจากทรงกลม ซึ่งเกิดจากการต้านของลมและเม็ดฝนขนาดใหญ่ที่รูปร่างจะไม่คงที่แน่นอนจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาจนกว่าที่จะแตกกระจายออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ และการกระจายของเม็ดฝนนั้น ได้มีผู้ศึกษาอยู่หลายคนด้วยกันและวิธีการที่นิยมทำกันอยู่นั้นมีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ [13]

3.3.1 Absorbent-paper method คิดโดย J. Wiesner (1895) ในเยอรมัน วิธีนี้ใช้แผ่นกระดาษที่ฉาบด้วยสีที่มีคุณสมบัติ เมื่อถูกน้ำแล้วจะเปลี่ยนไป ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างบริเวณที่เม็ดฝนตก ทำให้นับจำนวนเม็ดฝนที่ตกได้ แต่กรณีที่มีเม็ดฝนขนาดใหญ่แล้วเมื่อตกกระทบแผ่นกระดาษจะกระจายออกทำให้ไม่ทราบขนาดที่แน่นอนได้ วิธีนี้จึงเหมาะกับเม็ดฝนขนาดเล็กและอัตราการตกน้อยเท่านั้น

3.3.2 Flour-method คิดโดย W.A. Bentley (1904) ในสหรัฐอเมริกา วิธีนี้ใช้แป้งฝุ่นรองรับ เม็ดฝนและนับจำนวนขนาดของเม็ดฝนที่ทำได้จะไม่ใช้ขนาดโดยตรง เพราะว่ามีเม็ดฝนจะไปรวมกับแป้งที่ใช้ และในการหาขนาดก็ไม่ใช่ง่าย เพราะเม็ดฝนที่ตกลงไปในแป้งแล้วจะไม่อยู่ในลักษณะของทรงกลม

3.3.3 Oil Method คิดโดย S.Pugui (1977) ในญี่ปุ่น วิธีนี้ใช้น้ำมันละหุ่ง
ที่ใสสี ที่มีคุณสมบัติผสมได้กับน้ำมัน แต่ไม่ผสมละลายกับน้ำฝน เมื่อฝนตกมาบนภาคน้ำมันที่ทำด้วย
วัสดุโปร่งแสง เม็ดฝนจะลอยอยู่ที่ผิวน้ำมัน ใช้วิธีถ่ายรูปเพื่อนับจำนวนเม็ดฝน

ผลของการวัดการกระจายกระจายของเม็ดฝนที่ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายนั้น นำมา
จากการวัดของ Laws และ Parsons [14] ที่ทำการวัดในปี 1943 ซึ่งในรายงานนี้ได้นำ
ลักษณะการกระจายกระจายตามแบบของ Laws และ Parsons มาใช้เช่นกัน โดยแบ่งขนาด
ของเม็ดฝนเป็นกลุ่มที่มีรัศมีเฉลี่ย 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.175, 0.2, 0.225,
0.25, 0.3, 0.325 มม.



บทที่ 4

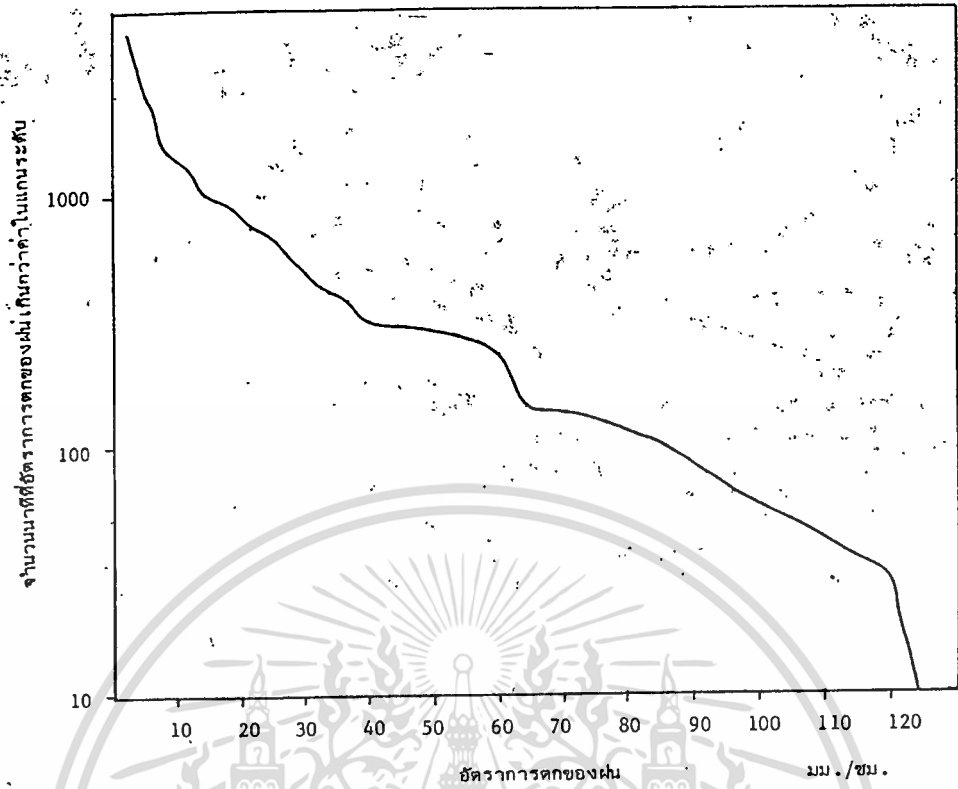
อัตราฝนตกจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การศึกษาสถิติการตกของน้ำฝนในประเทศไทยโดยการนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (15) มาใช้ ข้อมูลที่นำมาศึกษานั้นเป็นลักษณะที่บันทึกประมาณการตกของฝนลงบนกราฟ เป็นการวัดปริมาณน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก เครื่องที่วัดเป็นของบริษัท BELFORT INSTRUMENT COMPANY แบบ No. 5-780 กราฟนี้บันทึกประมาณน้ำฝนในหนึ่งวัน ตลอด 24 ชั่วโมง บันทึกทุกวันตลอดปี โดยเลือกสถานที่ที่ทำการศึกษาอัตราการตกของฝน 10 แห่งด้วยกัน คือ กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ นครศรีธรรมราช อุบลราชธานี กบินทร์บุรี ท่าตูม หล่มสัก เพชรบูรณ์ ท่าวังผา และโกสุมพิสัย ระยะเวลาที่นำมาหาอัตราการตกของฝนแห่งละ 5 ปี ในการหาอัตราการตกของน้ำฝนนั้นได้ดำเนินการโดยอ่านค่าอัตราการเพิ่มของน้ำฝนบนกราฟทุก 5 นาที (16) แล้วนำไปคำนวณหาอัตราการตกในหนึ่งชั่วโมง ทำไปเช่นนี้ทุก ๆ 5 นาที ตลอดทั้งปี ได้ค่าผลการรวบรวมสถิติของแต่ละสถานที่ทำการวัดในแต่ละปี เป็นอัตราการตกของฝนในหนึ่งปี เมื่อได้อัตราการตกของน้ำฝนกับจำนวนเวลาที่ตกในหนึ่งปีนำไปแสดงบนกราฟ เพื่อจะแสดงว่าจะมีอัตราการตกของน้ำฝนอัตราต่าง ๆ อยู่ที่นาทีในหนึ่งปี ผลที่ได้แสดงในรูป 4.1 ถึง 4.48

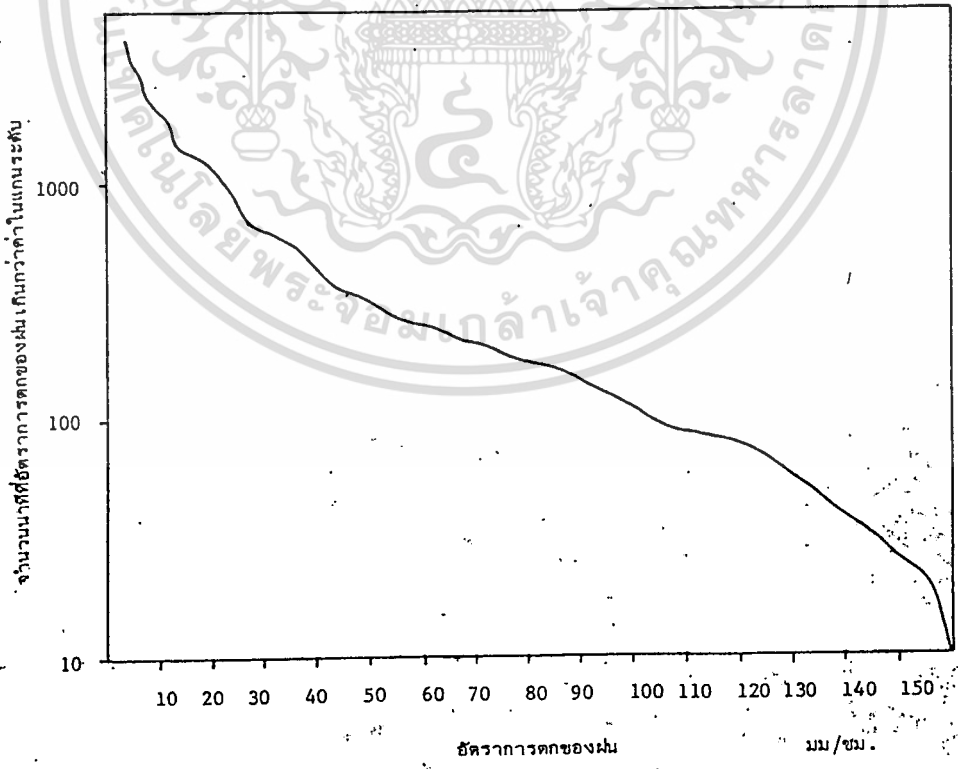
ตาราง 4.1 แสดงค่าบอดที่ตั้งของสถานีที่ทำกราวด์

สถานี	เส้นรุ้ง	เส้นแวง
กรุงเทพฯ	13 44 N	100 34 E
เชียงใหม่	18 47 N	98 59 E
นครศรีธรรมราช	08 28 N	99 58 E
อุบลราชธานี	15 15 N	104 52 E
กยรินทร์บุรี	14 03 N	101 22 E
ท่าตูม	15 19 N	103 41 E
หล่มสัก	16 43 N	101 13 E
เพชรบูรณ์	16 26 N	101 09 E
ท่าวังผา	19 07 N	100 48 E
โกสุมพิสัย	16 10 N	101 40 E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



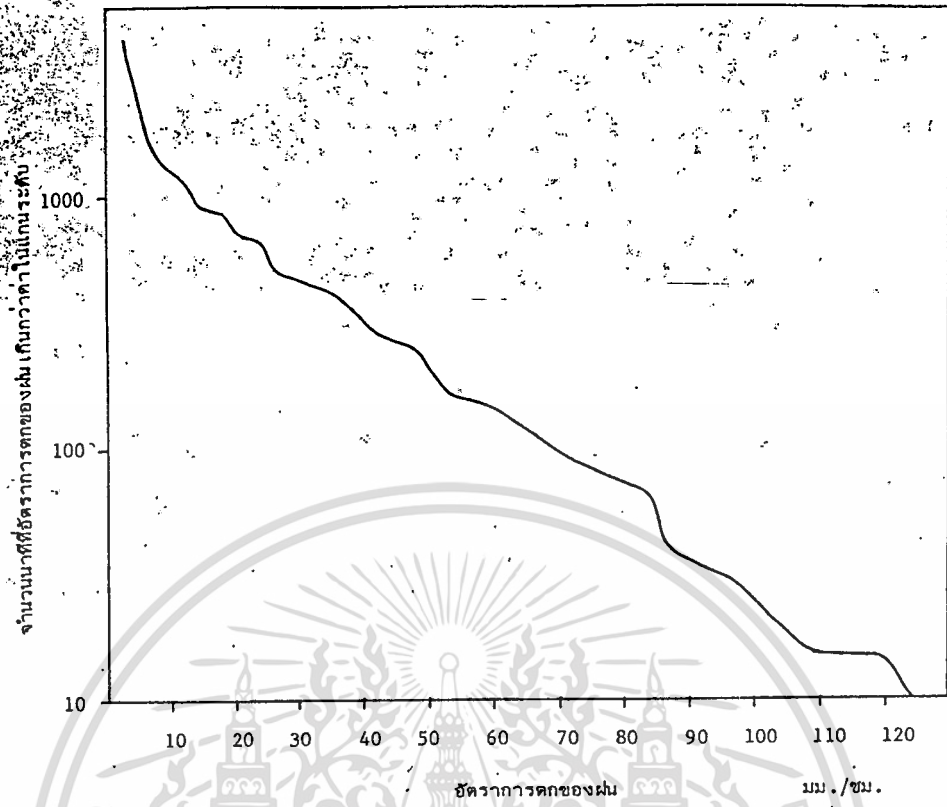
รูป 4.1 สถานีกรุงเทพฯ ปี 2517



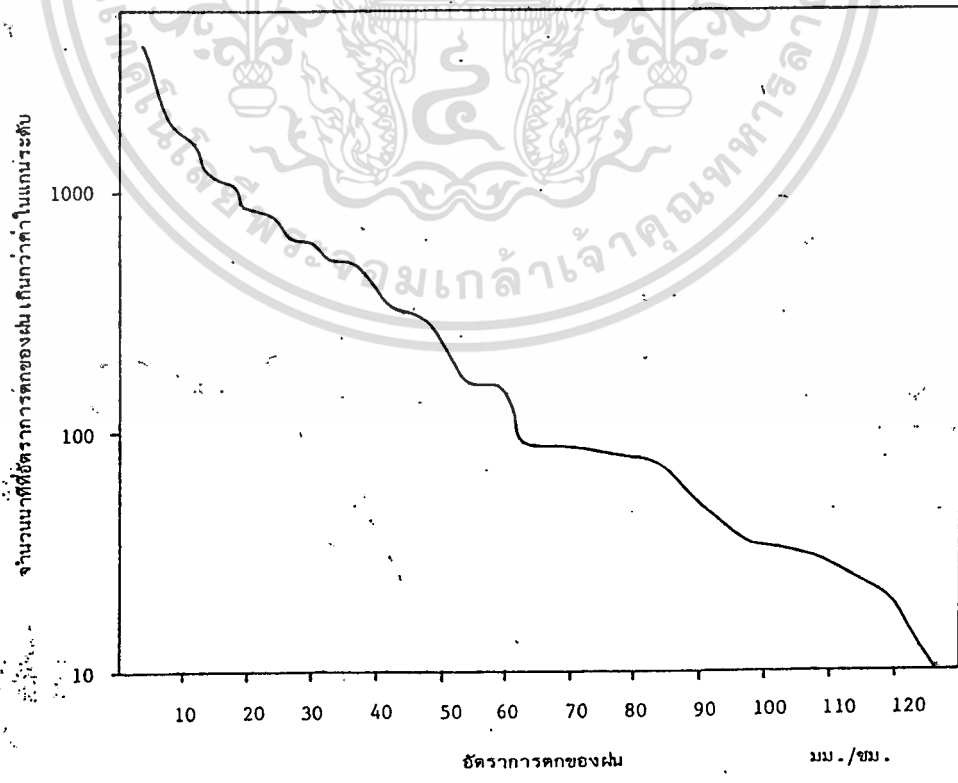
รูป 4.2 สถานีกรุงเทพฯ ปี 2519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



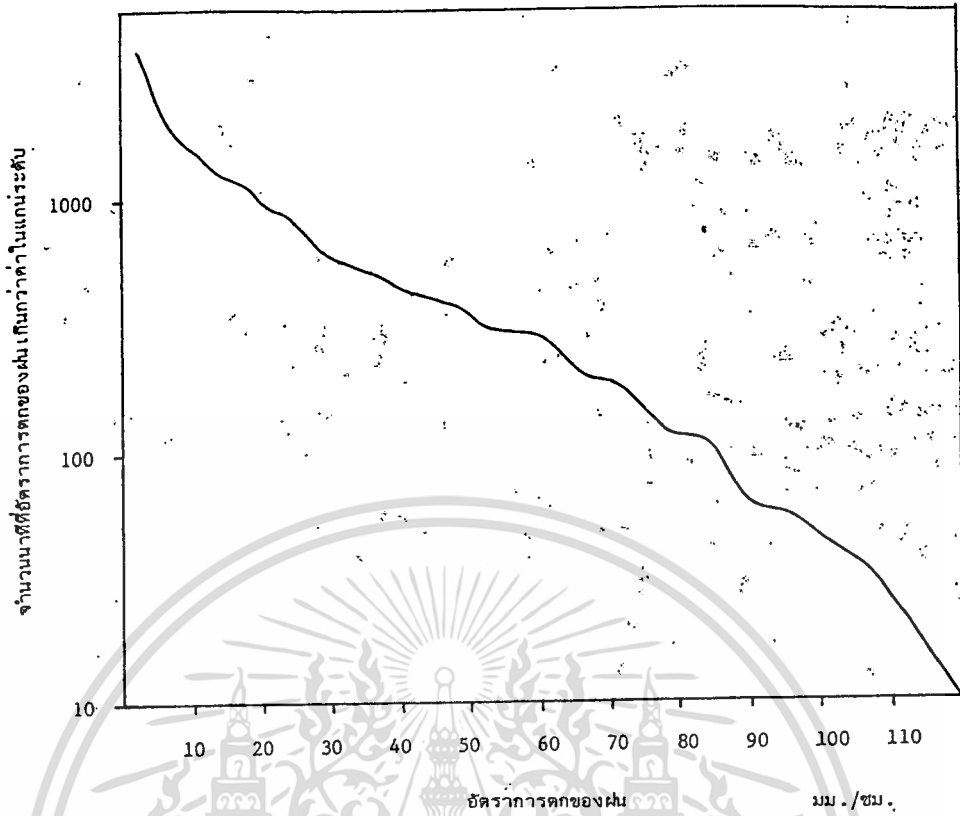
รูป 4.3 สถานีกรุงเทพฯ ปี 2520



รูป 4.4 สถานีกรุงเทพฯ ปี 2521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

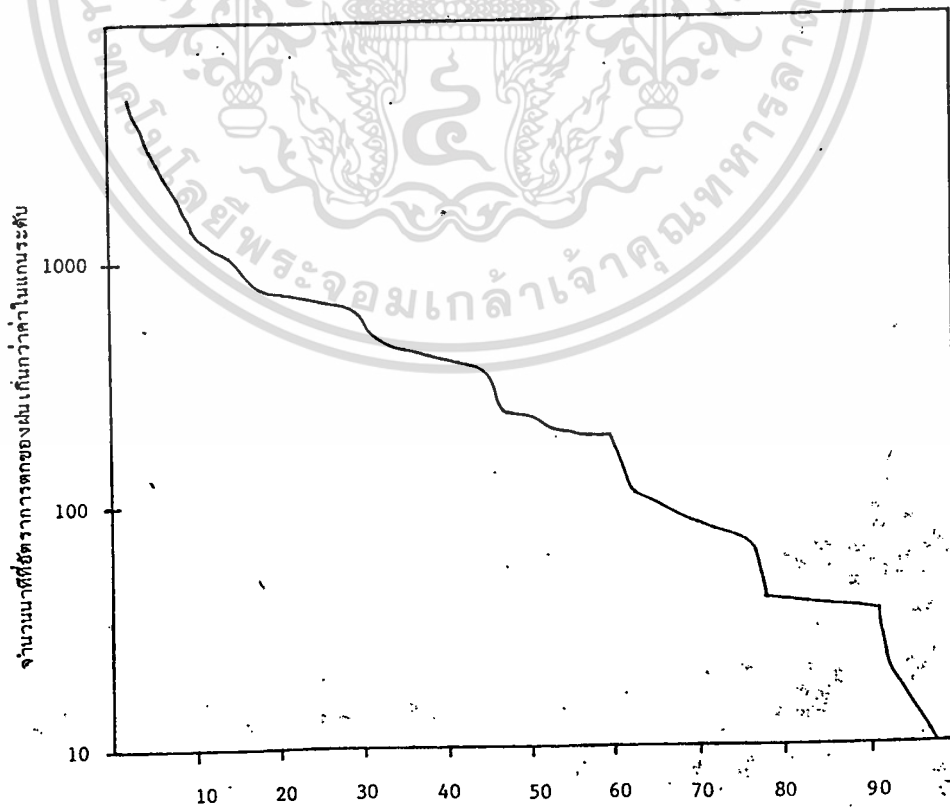
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5

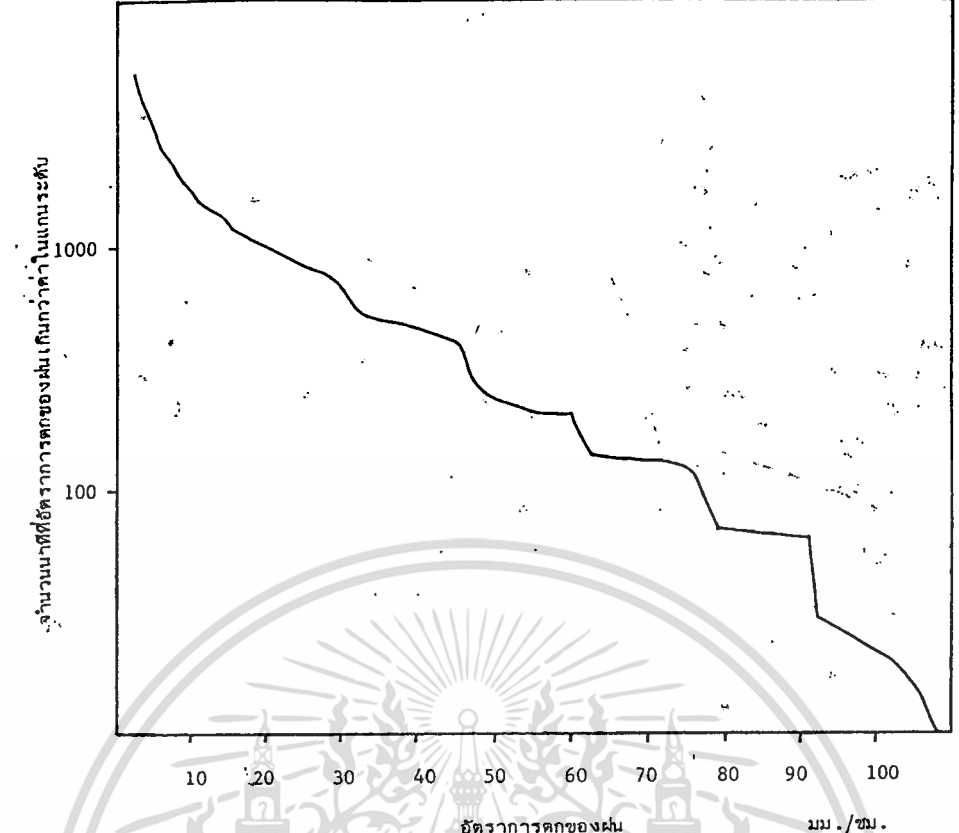
สถานีกรุงเทพฯ

ปี 2522

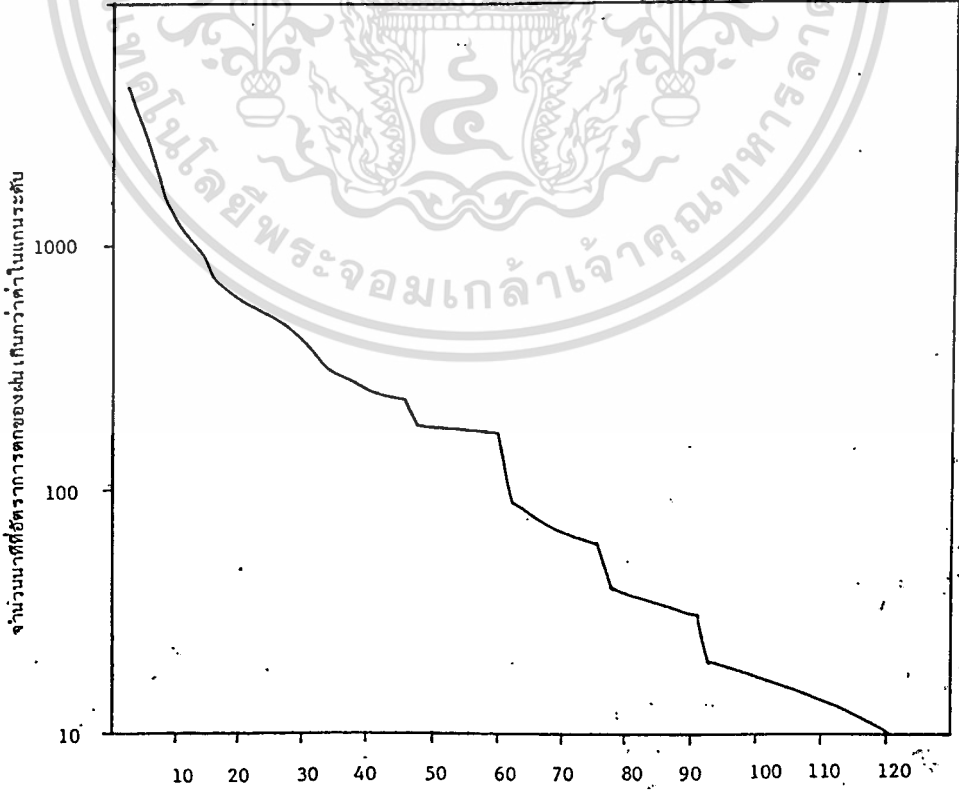


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



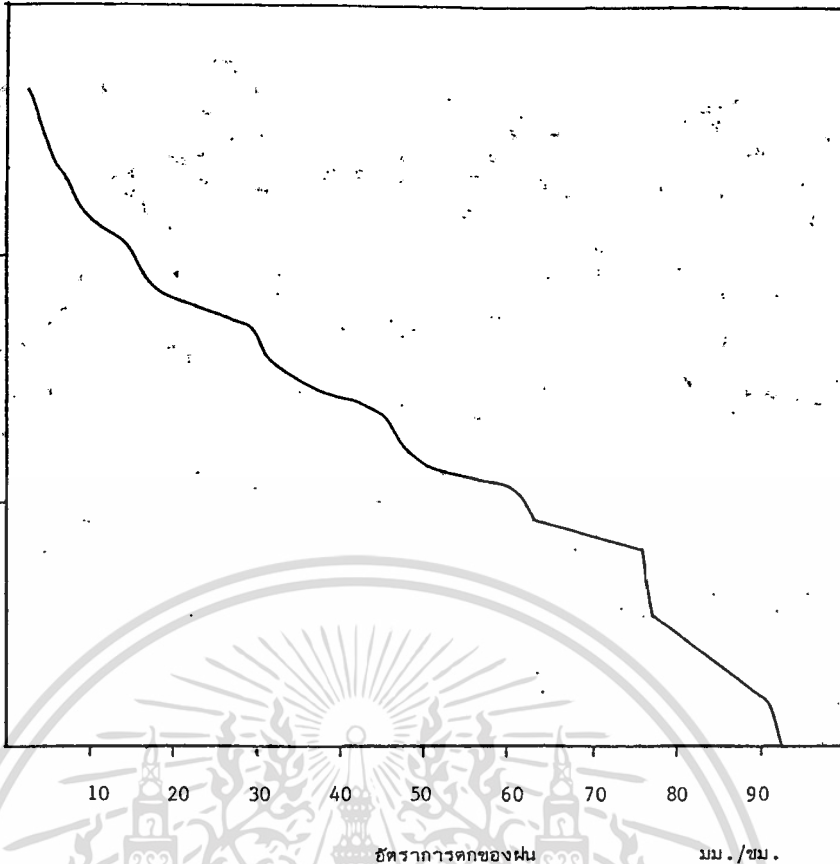
รูป 4.7 สถานีเชียงใหม่ ปี 2514



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

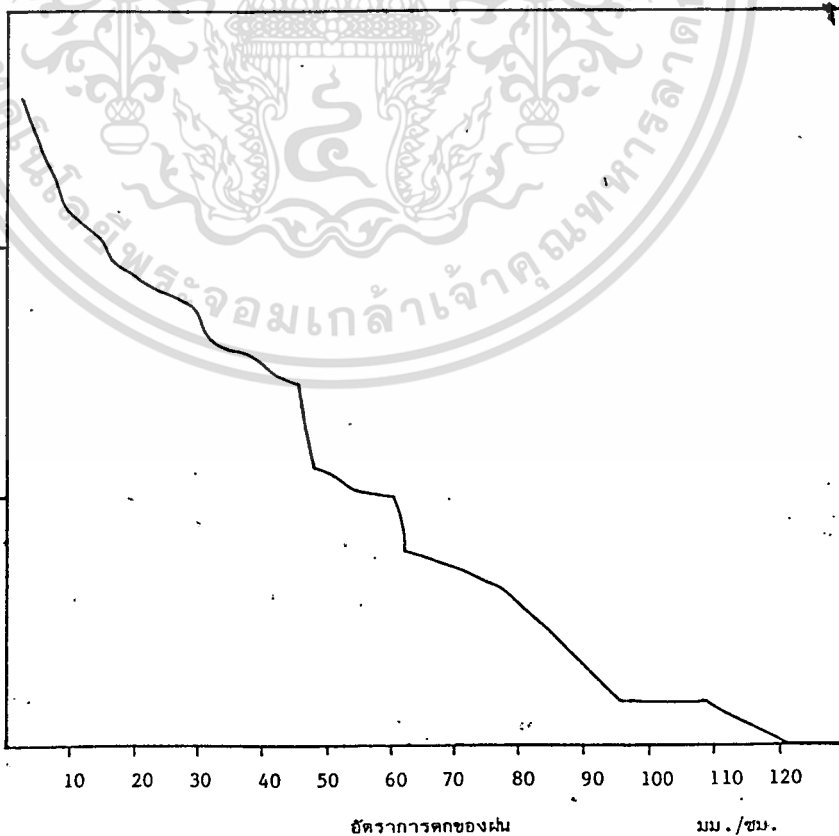
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนนาฬิกาการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



รูป 4.9 สถานีเชียงใหม่ ปี 2516

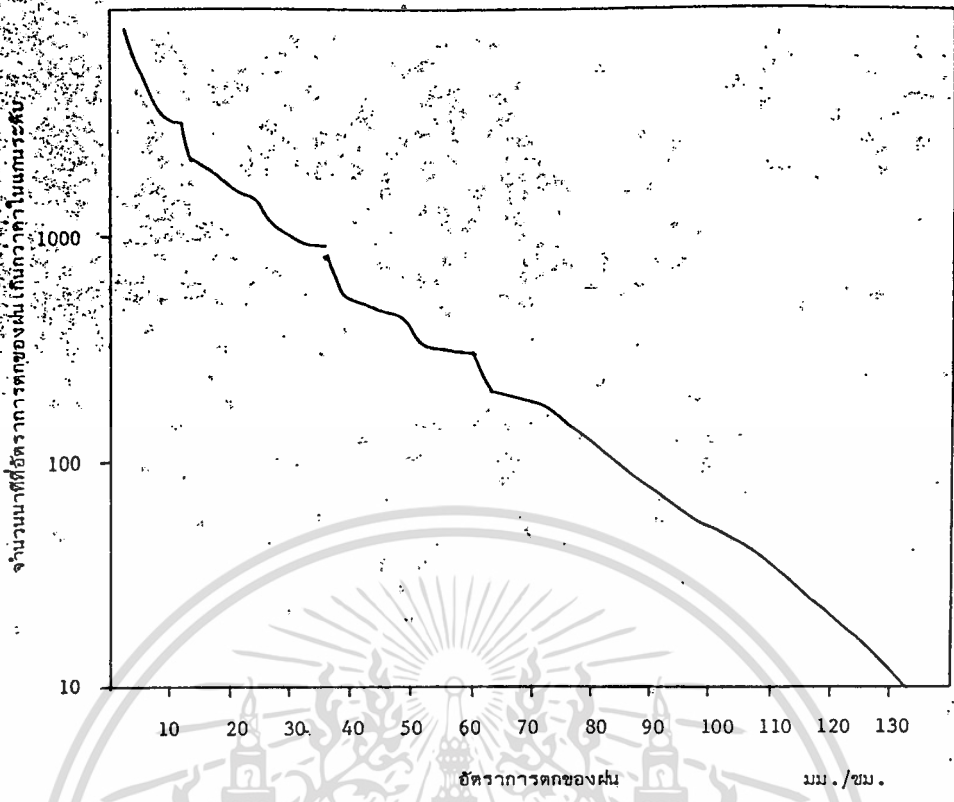
จำนวนนาฬิกาการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



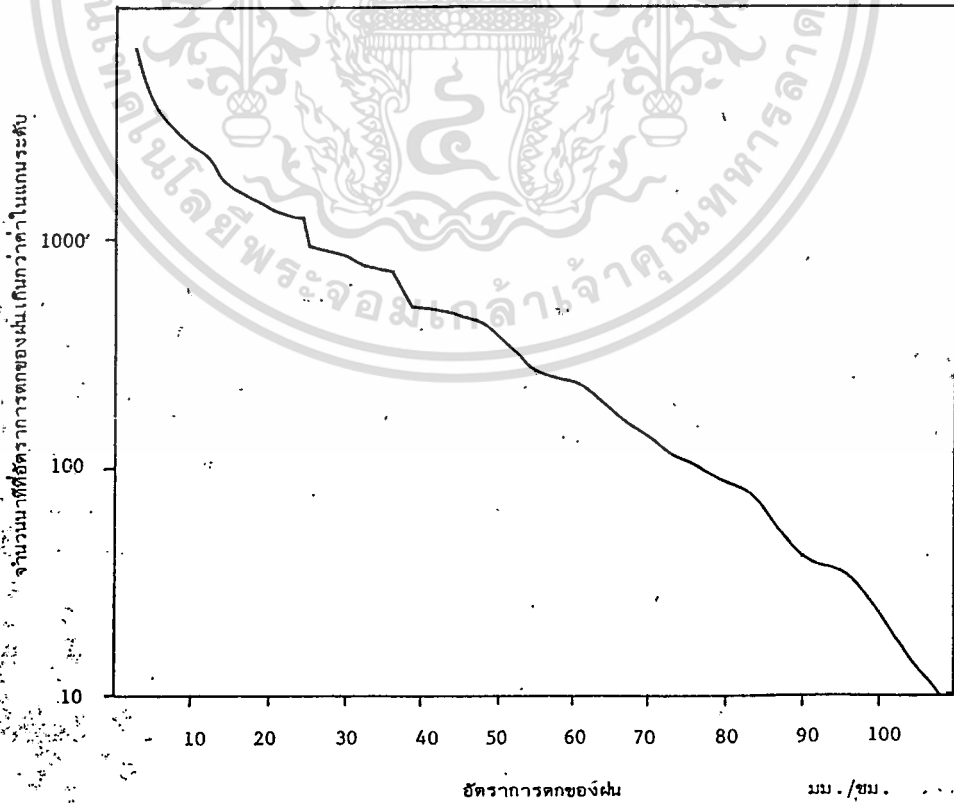
รูป 4.10 สถานีเชียงใหม่ ปี 2517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตีพิมพ์อ้างอิงถึงองค์การเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



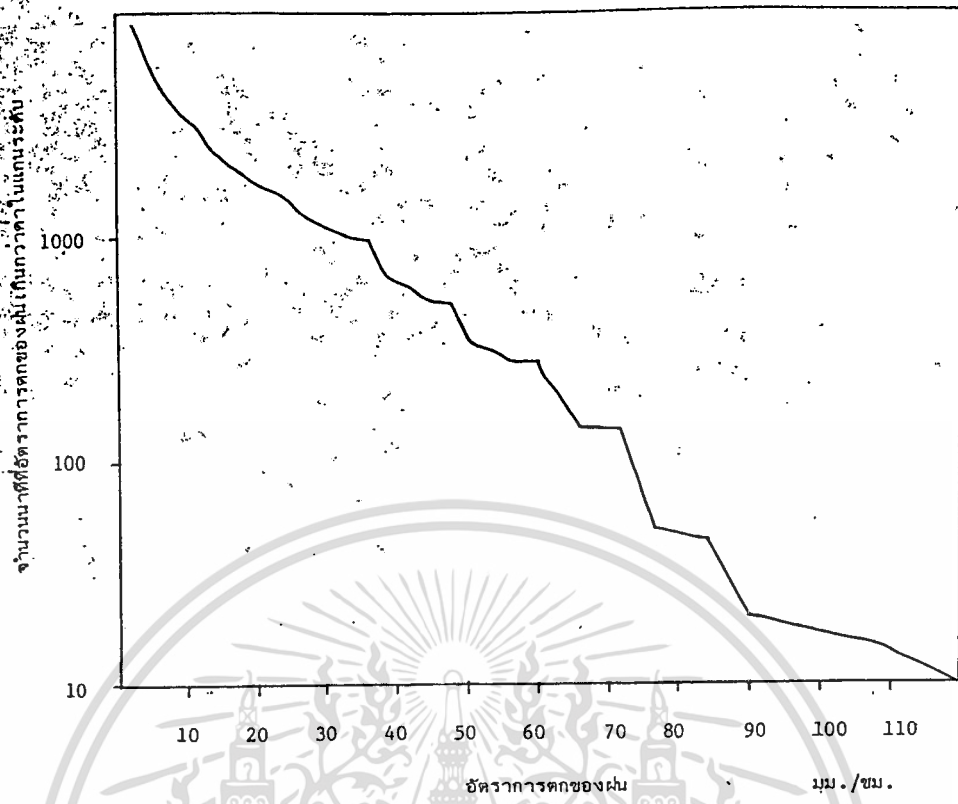
รูป 4.11 สถานีนครศรีธรรมราช ปี 2514



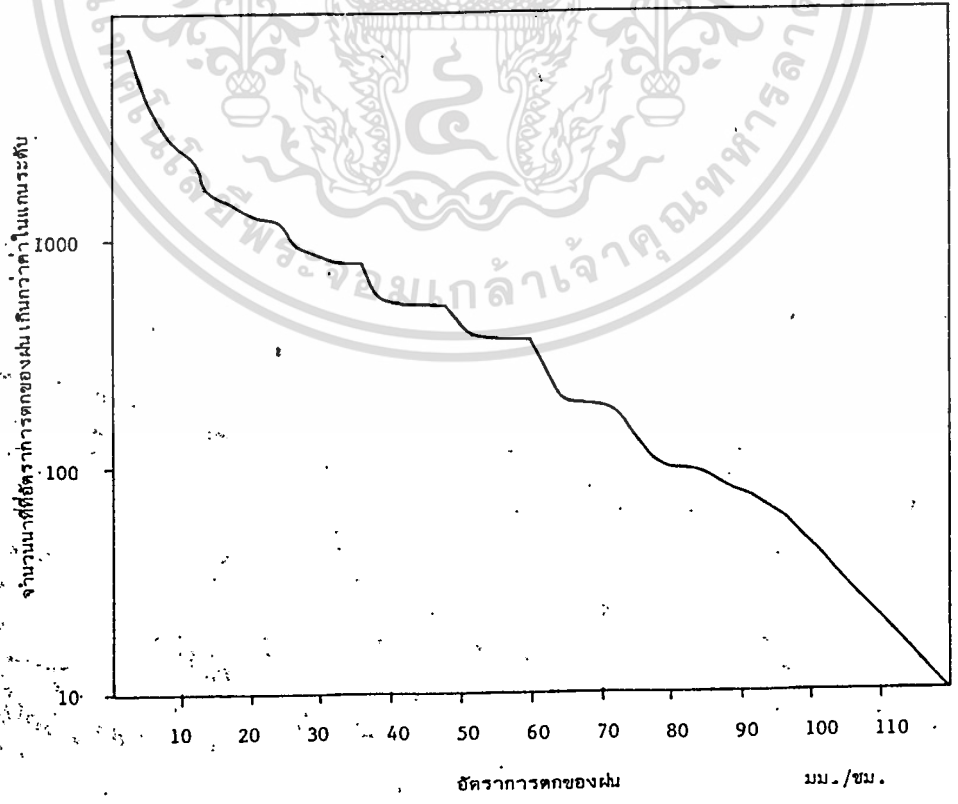
รูป 4.12 สถานีนครศรีธรรมราช ปี 2515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



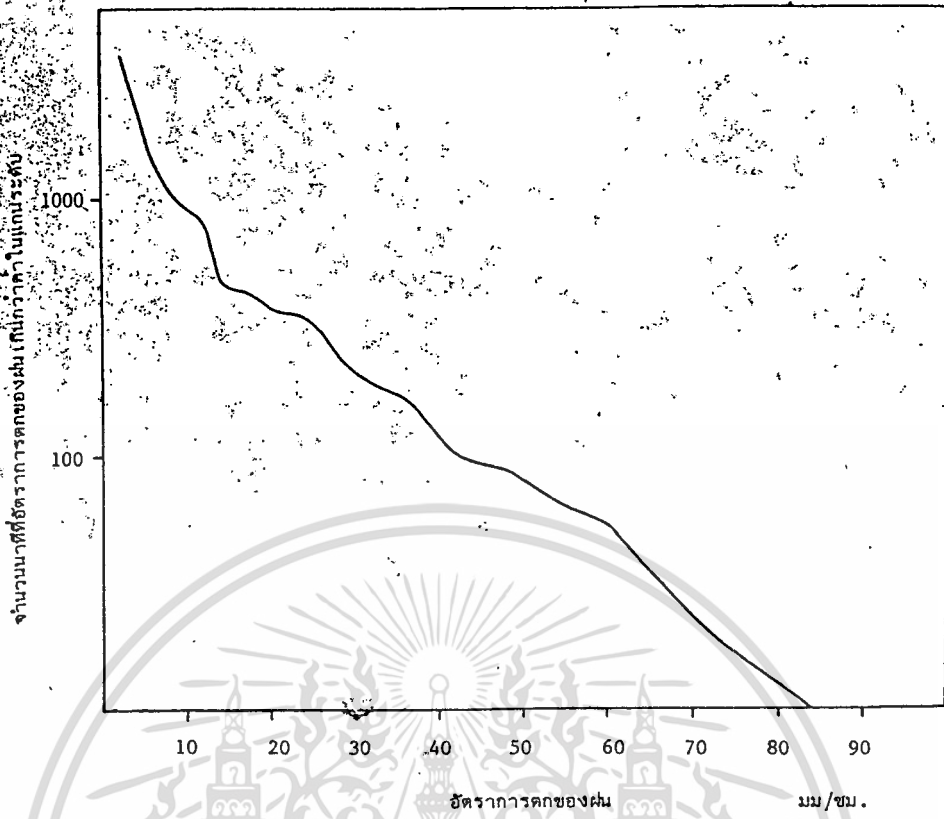
รูป 4.13 สถานีนครศรีธรรมราช ปี 2516



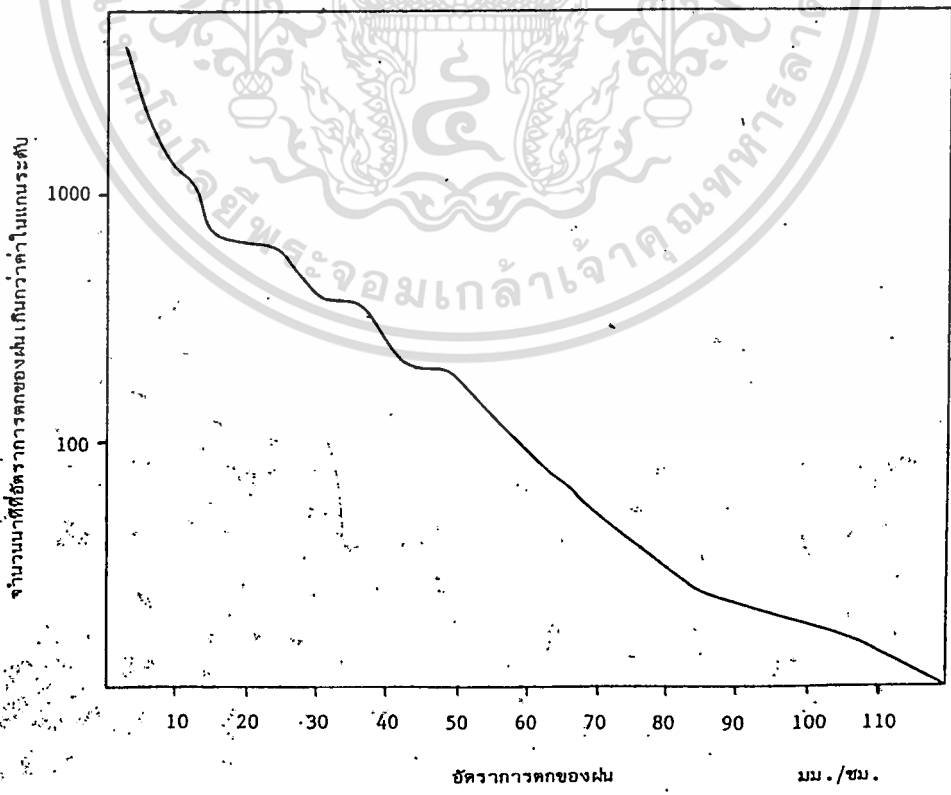
รูป 4.14 สถานีนครศรีธรรมราช ปี 2517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



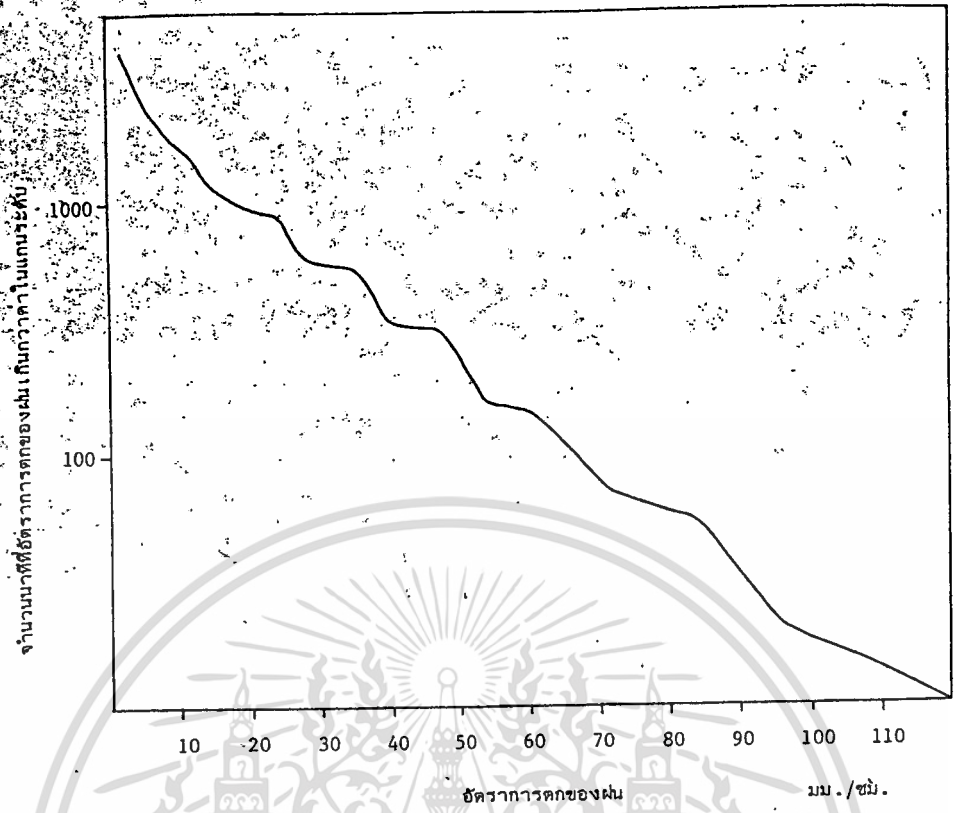
รูป 4.15 สถานีเพชรบูรณ์ ปี 2517



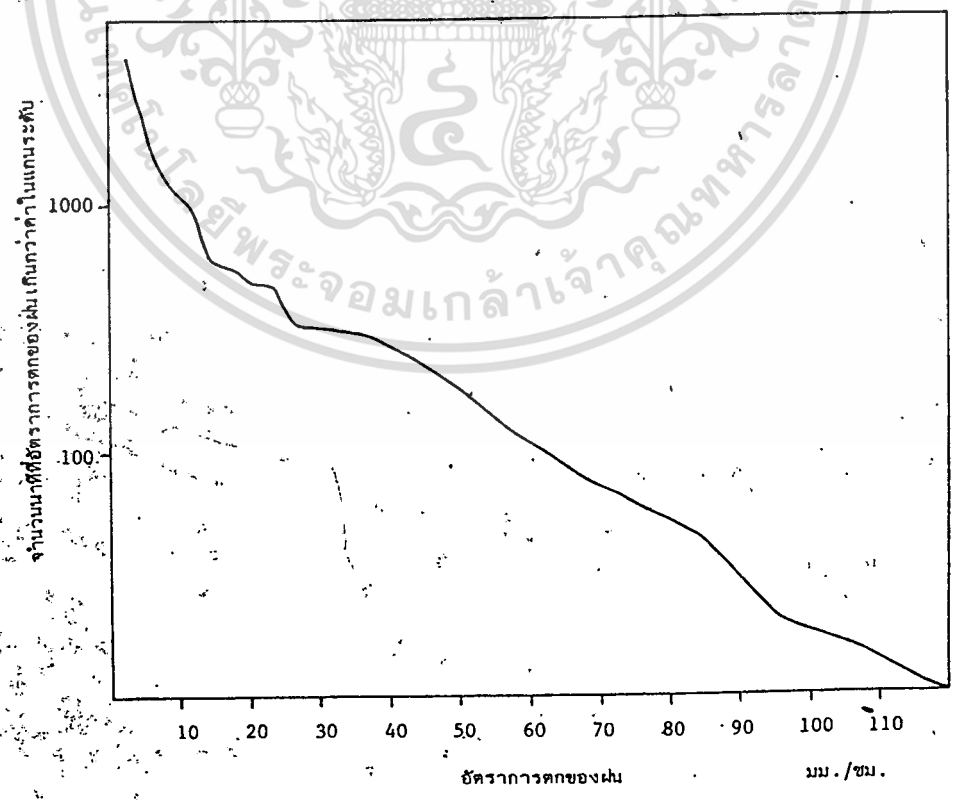
รูป 4.16 สถานีเพชรบูรณ์ ปี 2518

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



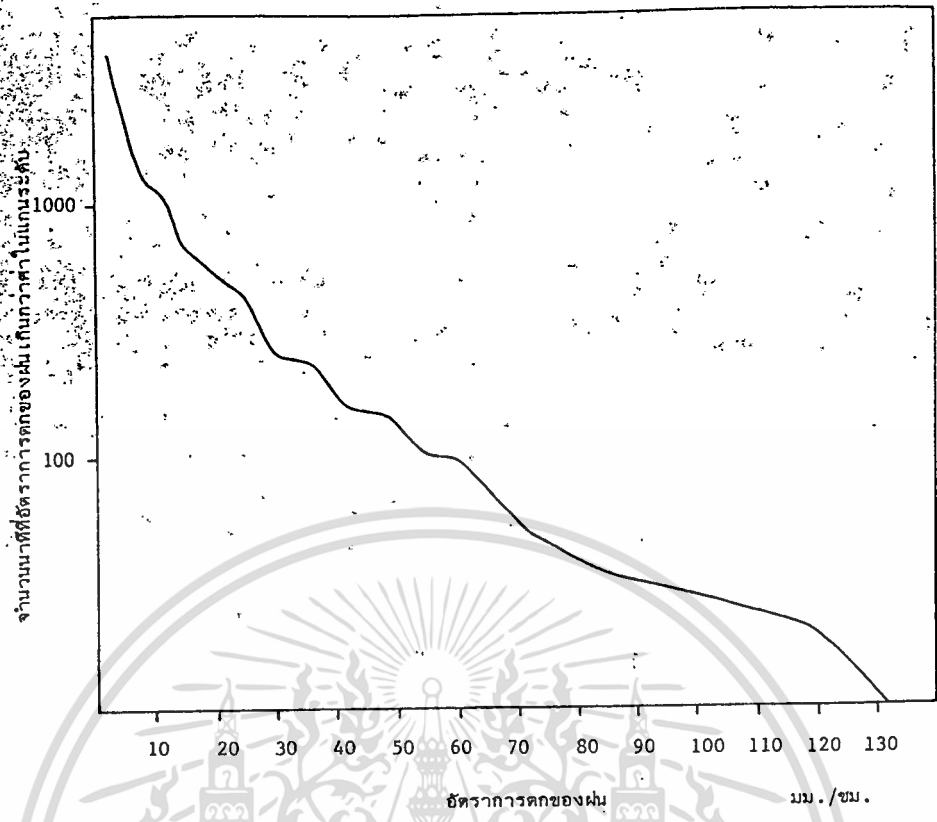
รูป 4.17 สถานีเพชรบูรณ์ ปี 2519



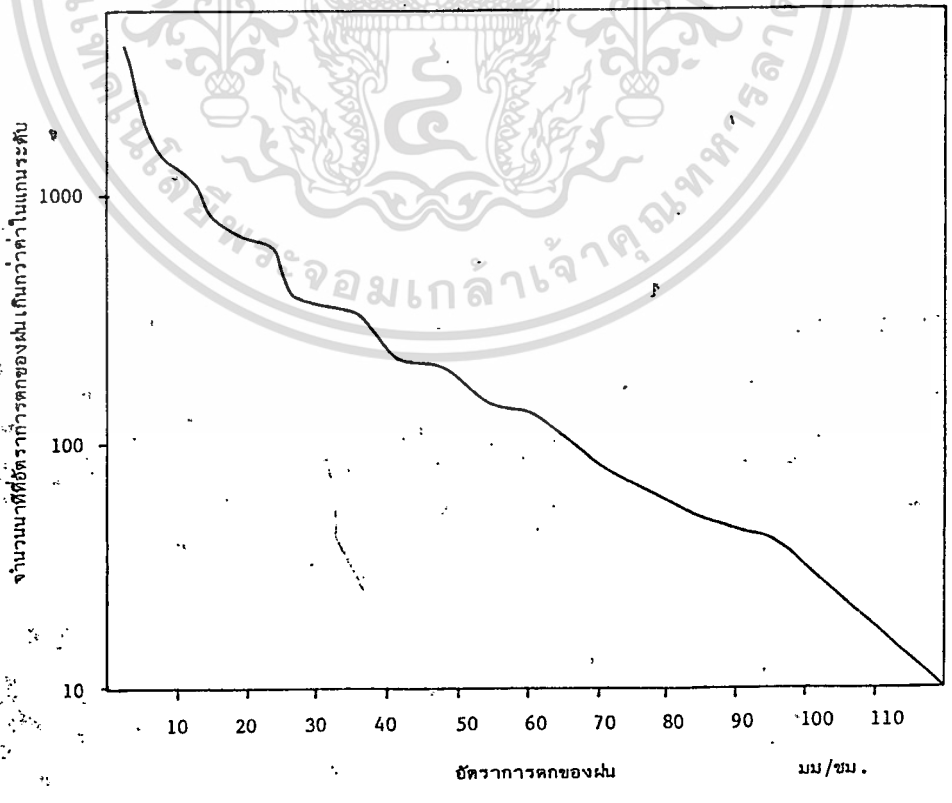
รูป 4.18 สถานีเพชรบูรณ์ ปี 2520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



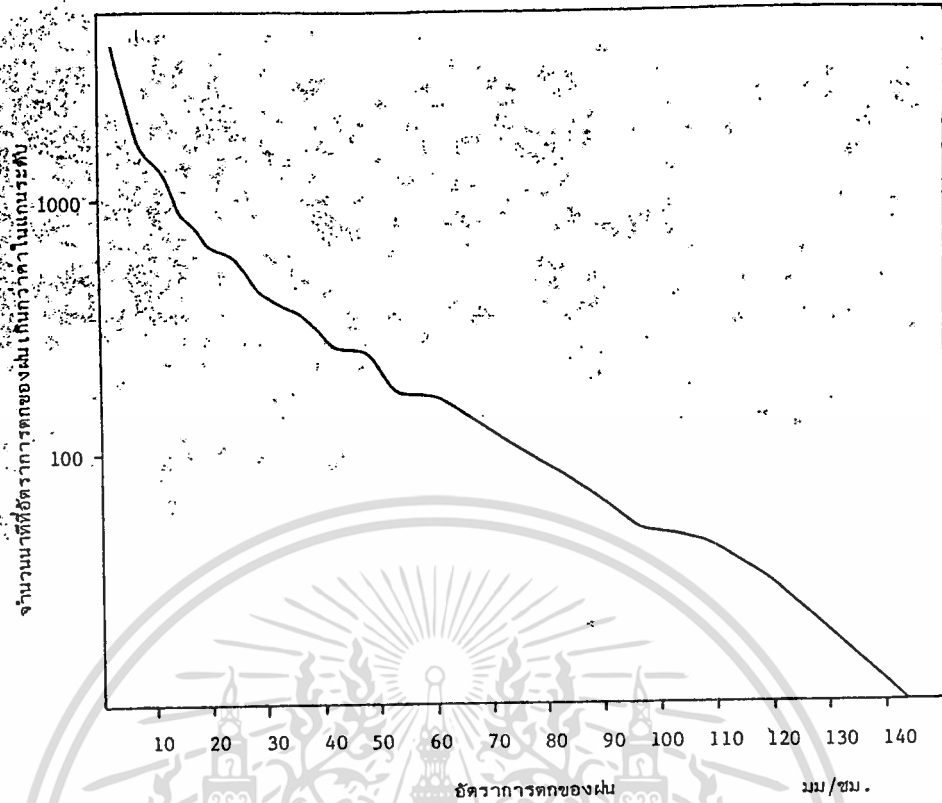
รูป 4.19 สถานีเพชรบูรณ์ ปี 2521



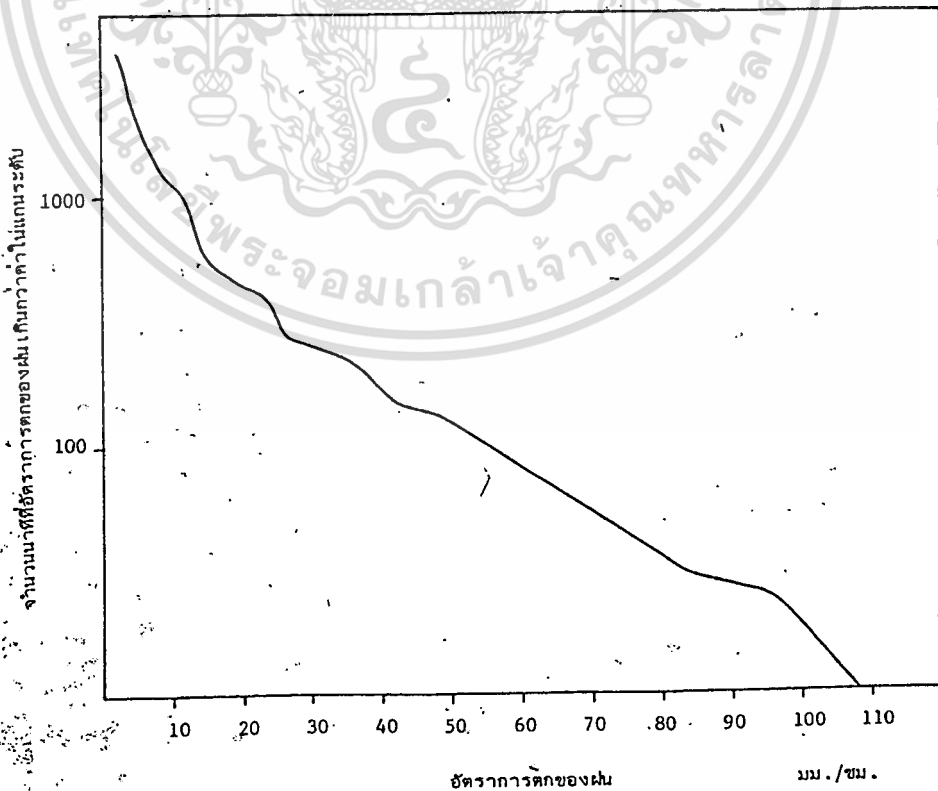
รูป 4.20 สถานีหล่มสัก ปี 2518

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



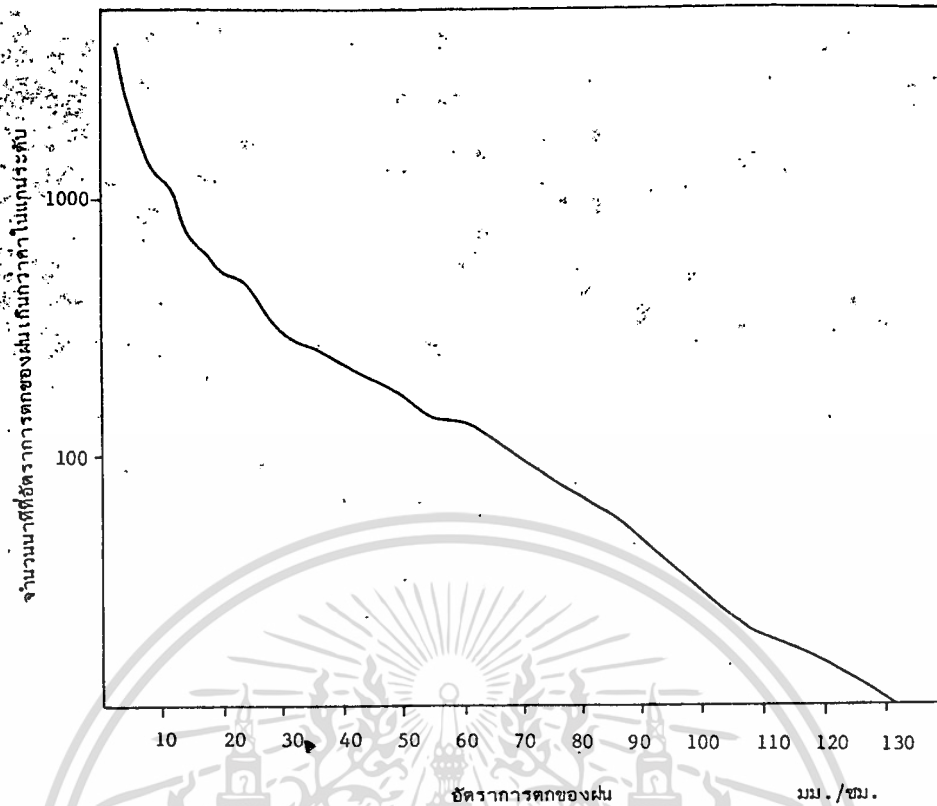
รูป 4.21 สถานีหลมสีก ๓ 2519



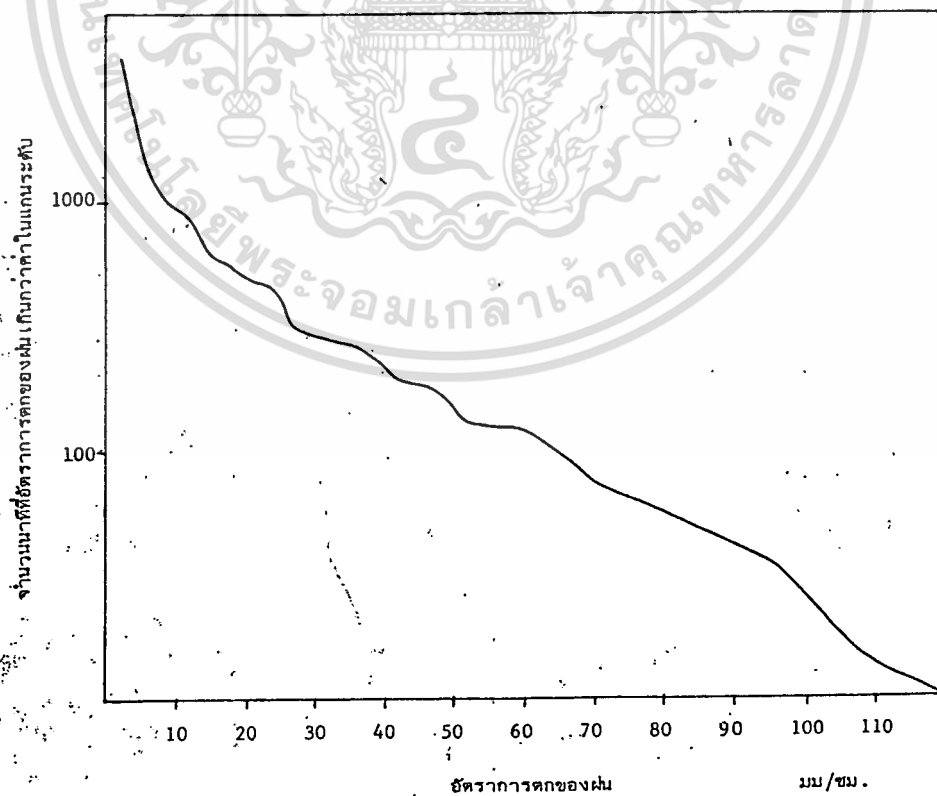
รูป 4.22 สถานีหลมสีก ๓ 2520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.23 สถานีหลุมลึก ปี 2521

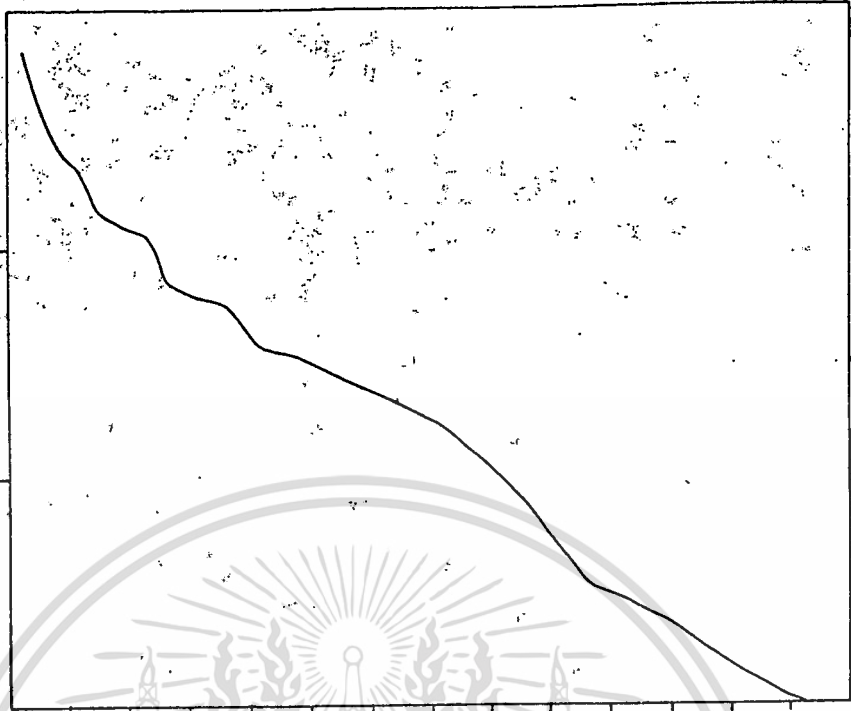


รูป 4.24 สถานีหลุมลึก ปี 2522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

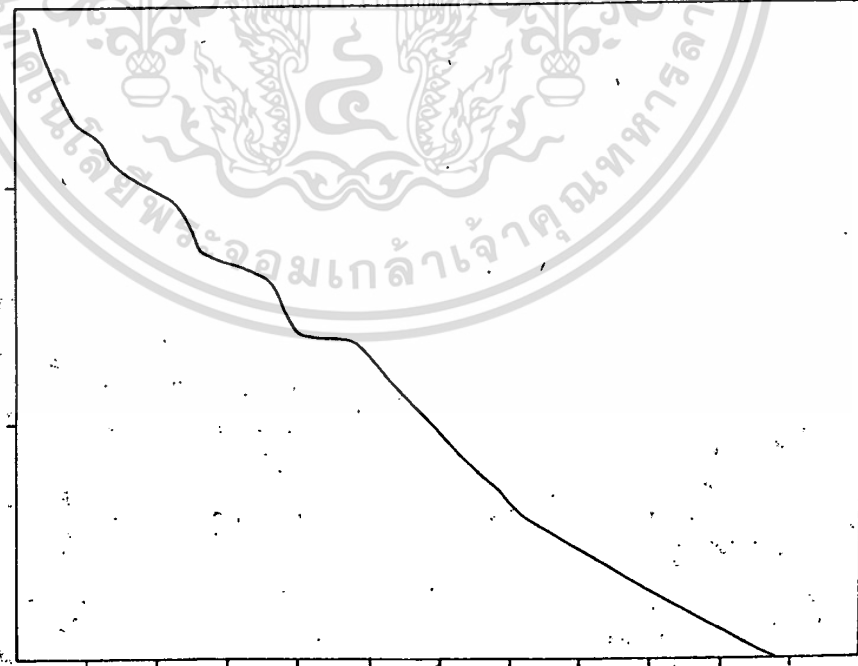
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาที่อัตราการตกของฝนเกินกว่า 100 มม. / ชม.

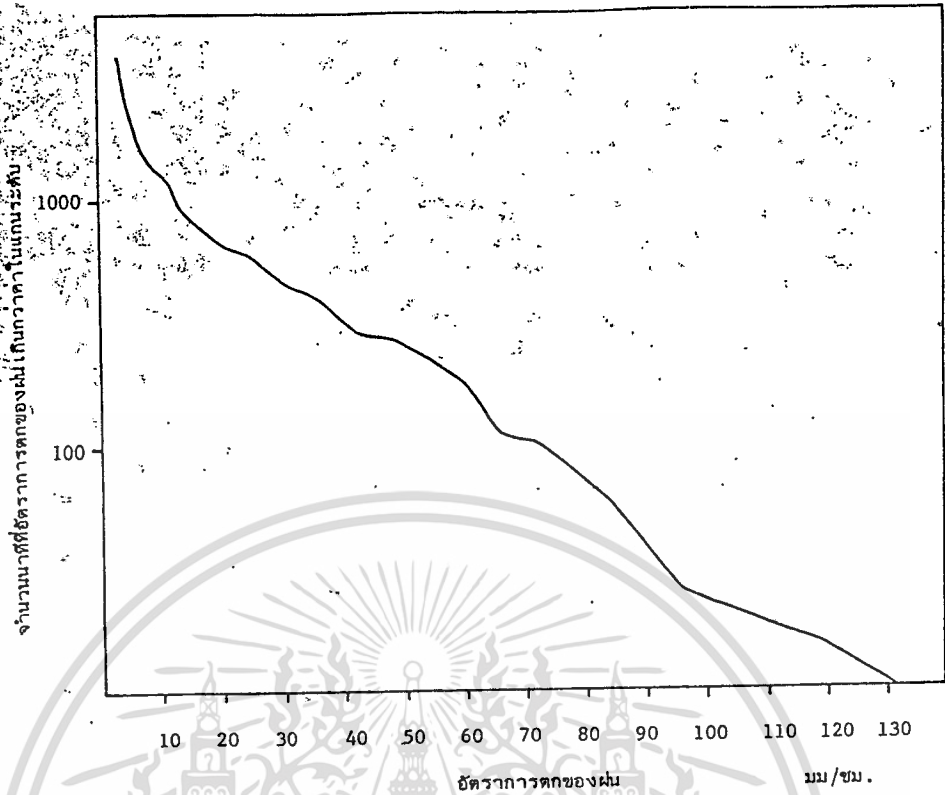


อัตราการตกของฝน มม./ชม.
รูป 4.25 สถานีท่าวังผา ปี 2518

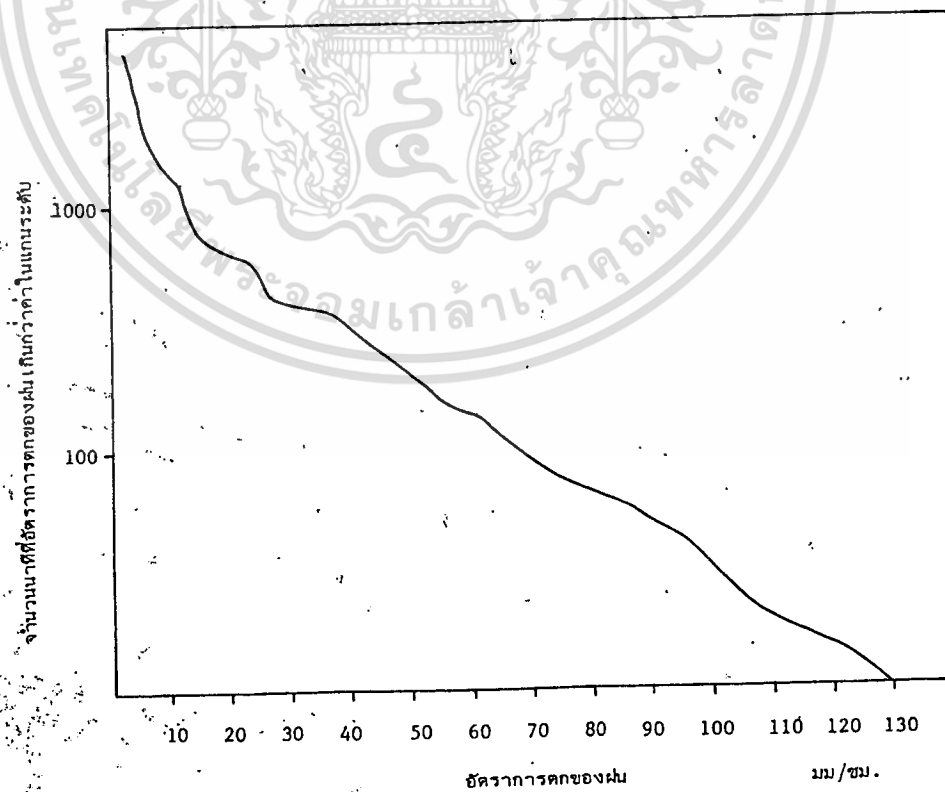
จำนวนมาที่อัตราการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



อัตราการตกของฝน มม./ชม.



รูป 4.27 สถานีทำวังผา ๒ 2520

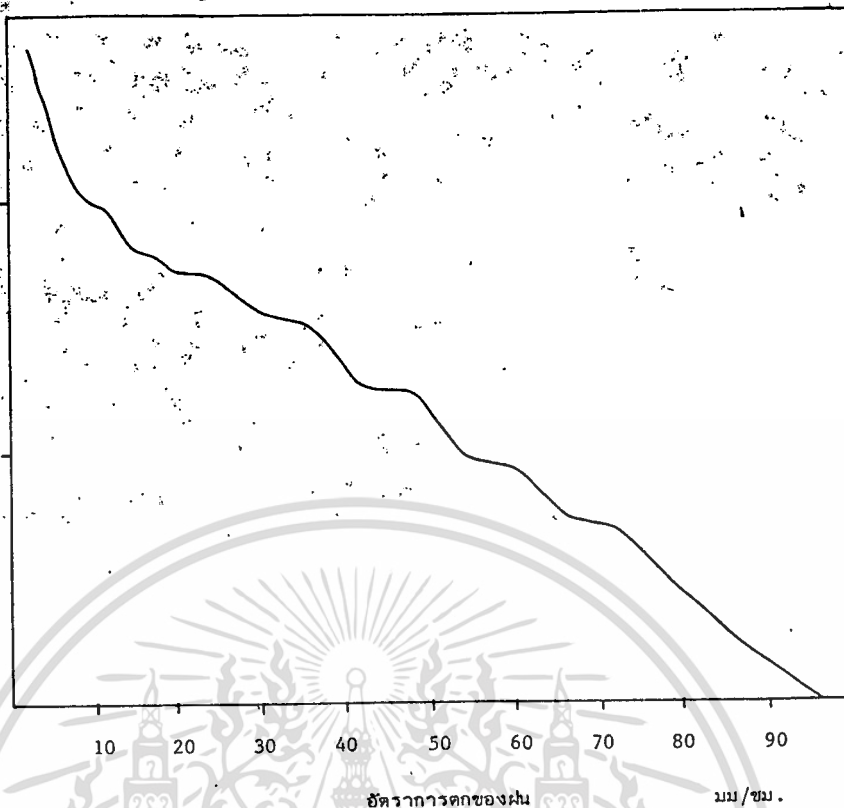


รูป 4.28 สถานีทำวังผา ๒ 2521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญวตใงำำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

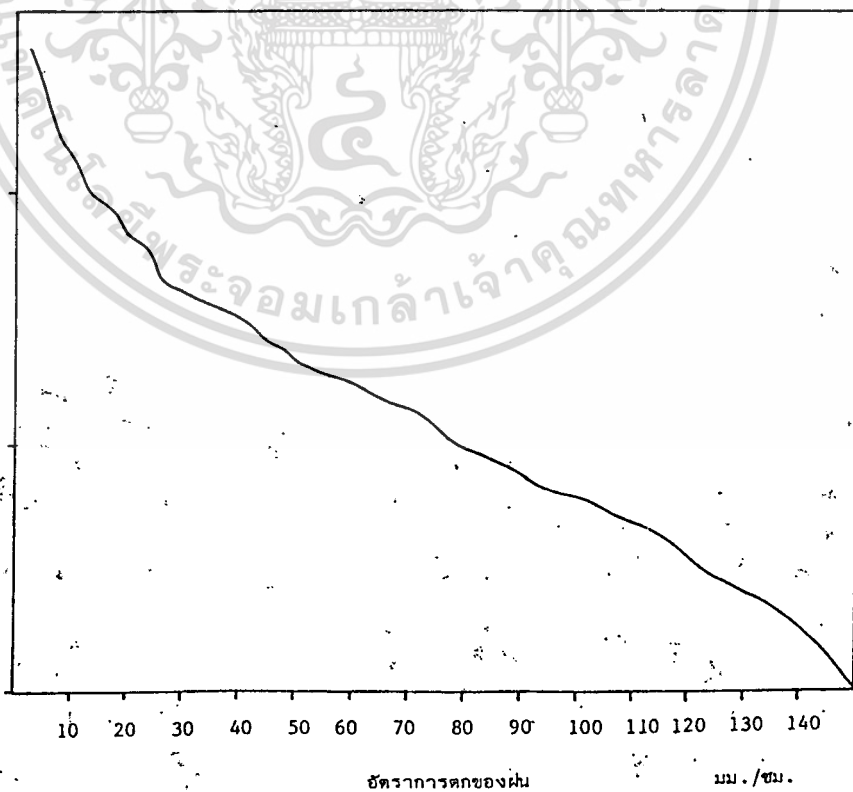
จำนวนนาที่อัตราการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



รูป 4.29 สถานีท่าวังผา

ปี 2522

จำนวนนาที่อัตราการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ

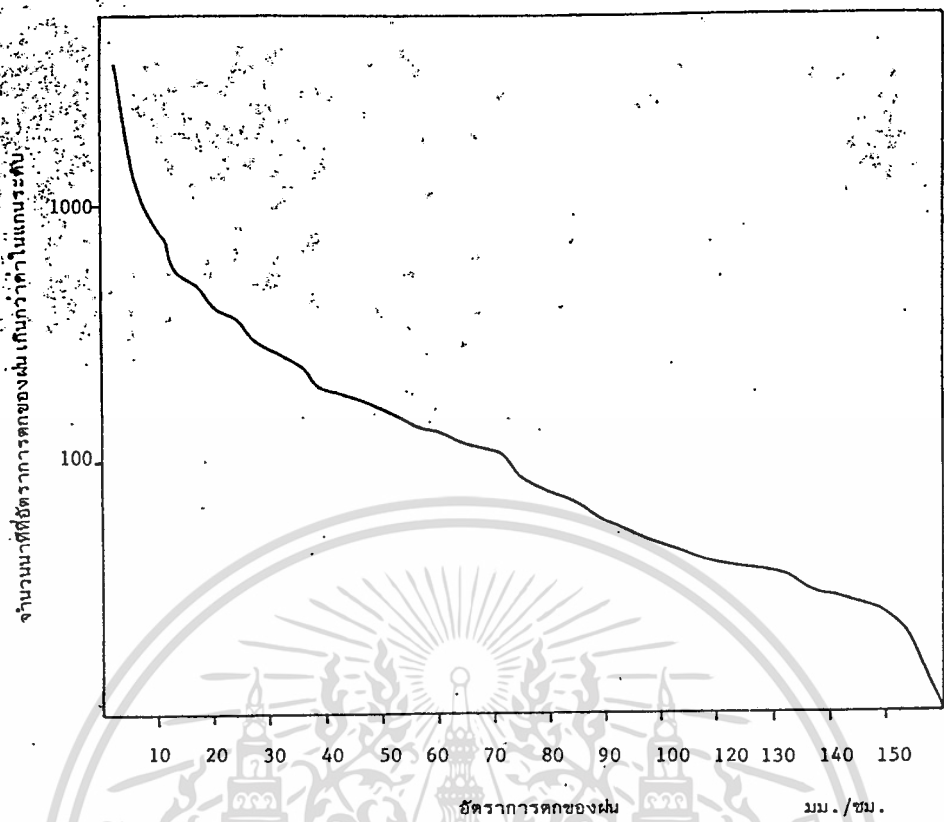


รูป 4.30 สถานีอุบลราชธานี

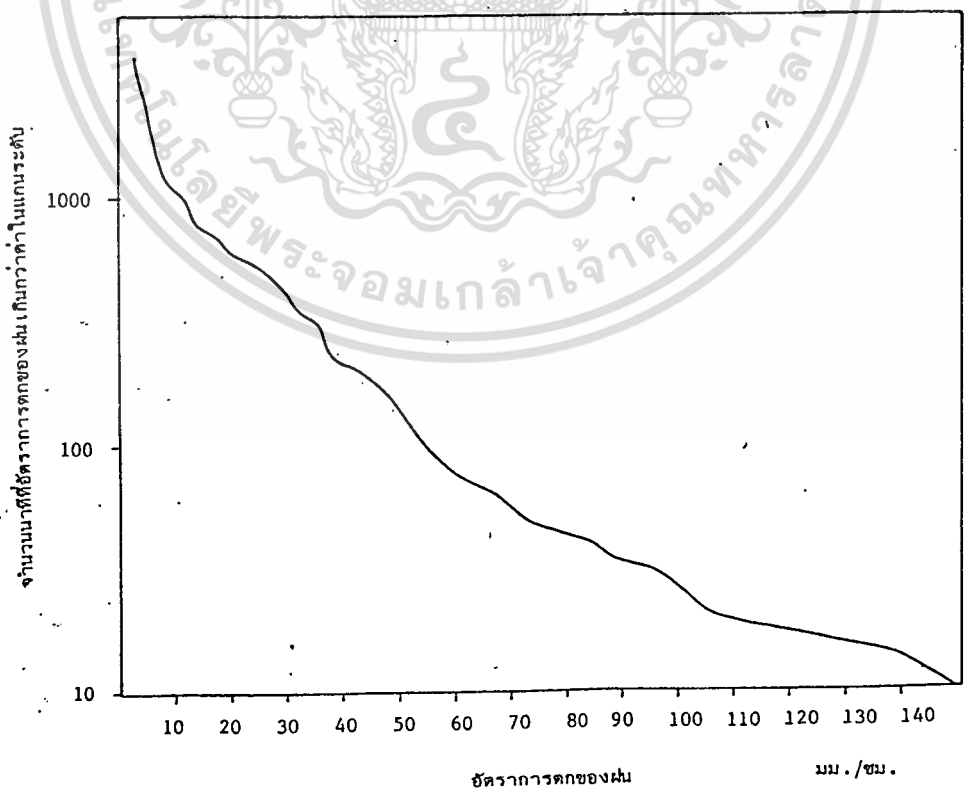
ปี 2513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รวมเพื่อการศึกษาของหน่วยงานไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



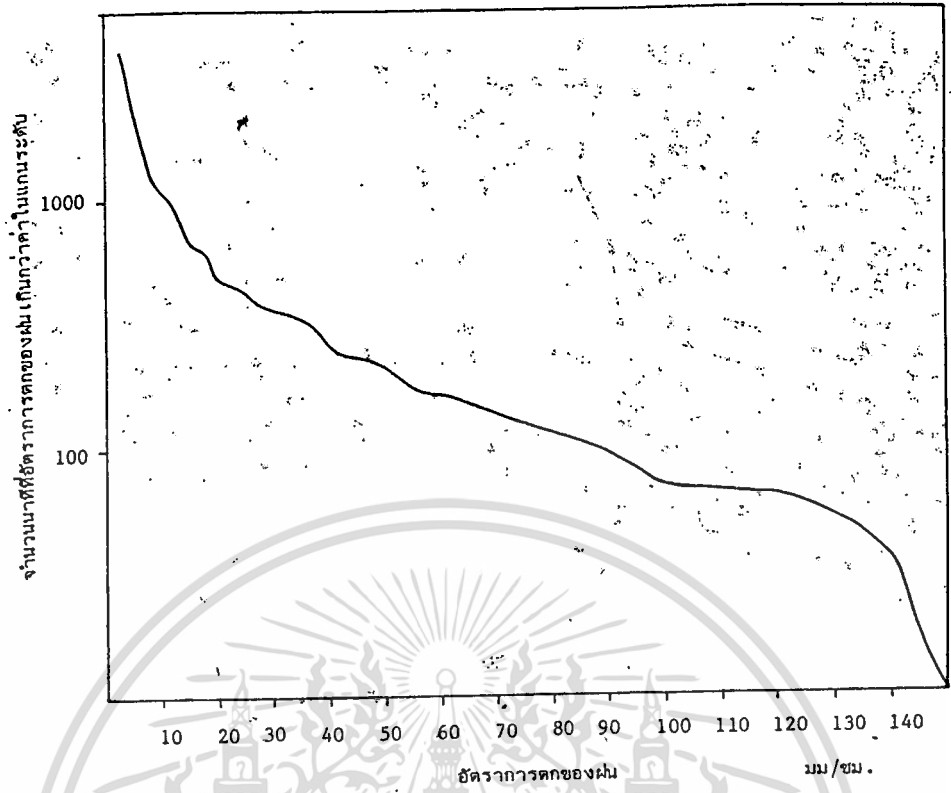
รูป 4.31 สถานีอุบลราชธานี ปี 2514



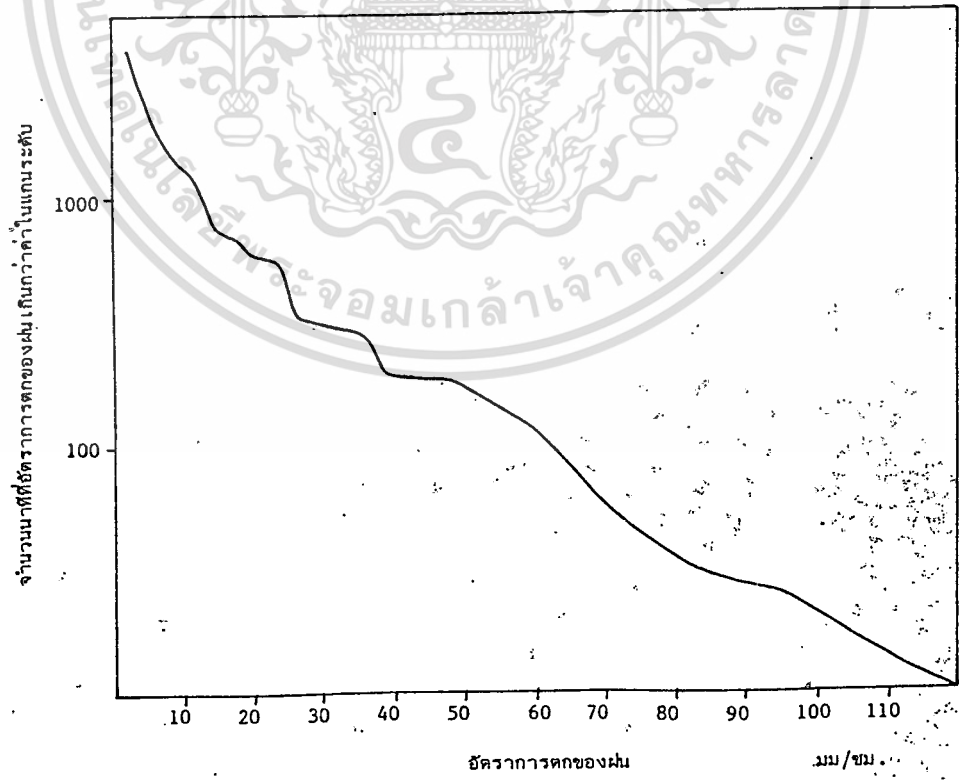
รูป 4.32 สถานีอุบลราชธานี ปี 2516

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.33 สถานีอุบลราชธานี ปี 2517

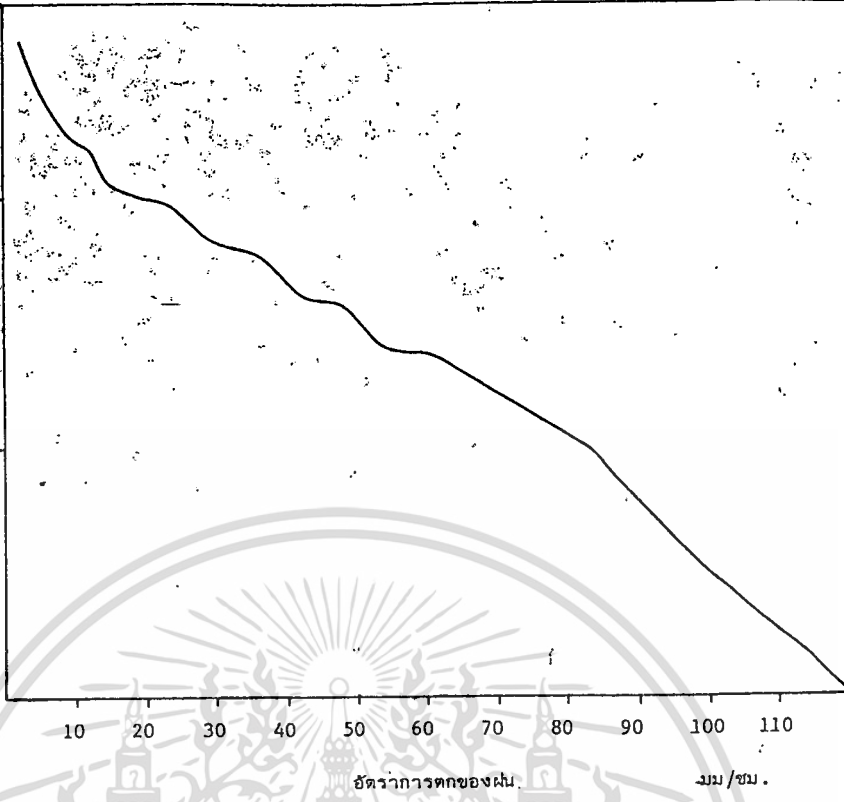


รูป 4.34 สถานีโกสุมพิสัย ปี 2522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

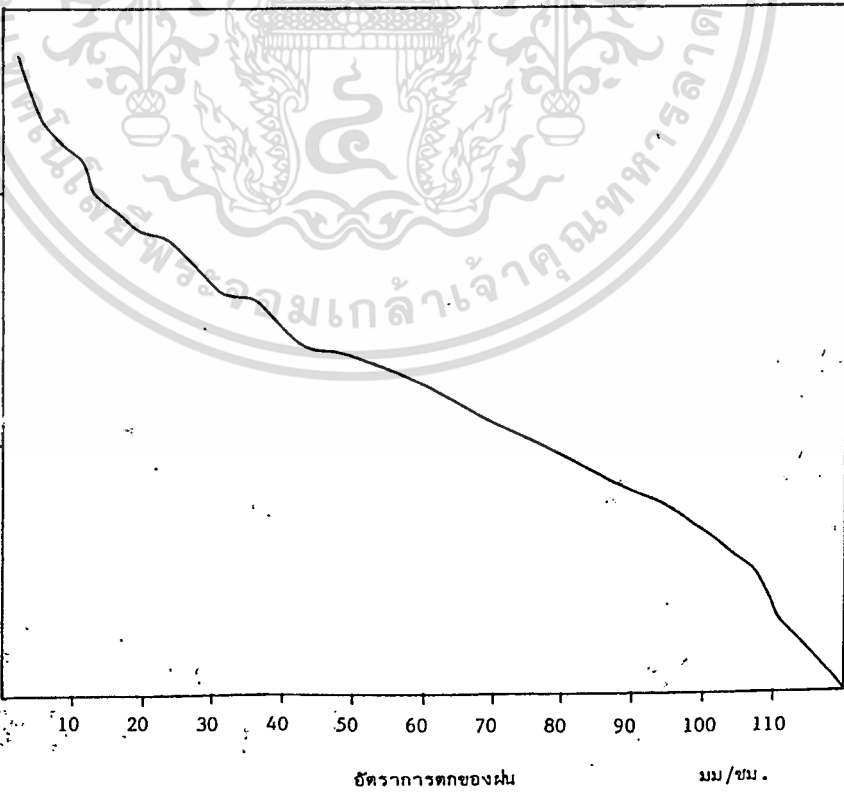
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนนาฬิกาการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



รูป 4.35 สถานีโกสุมพิสัย ปี 2519

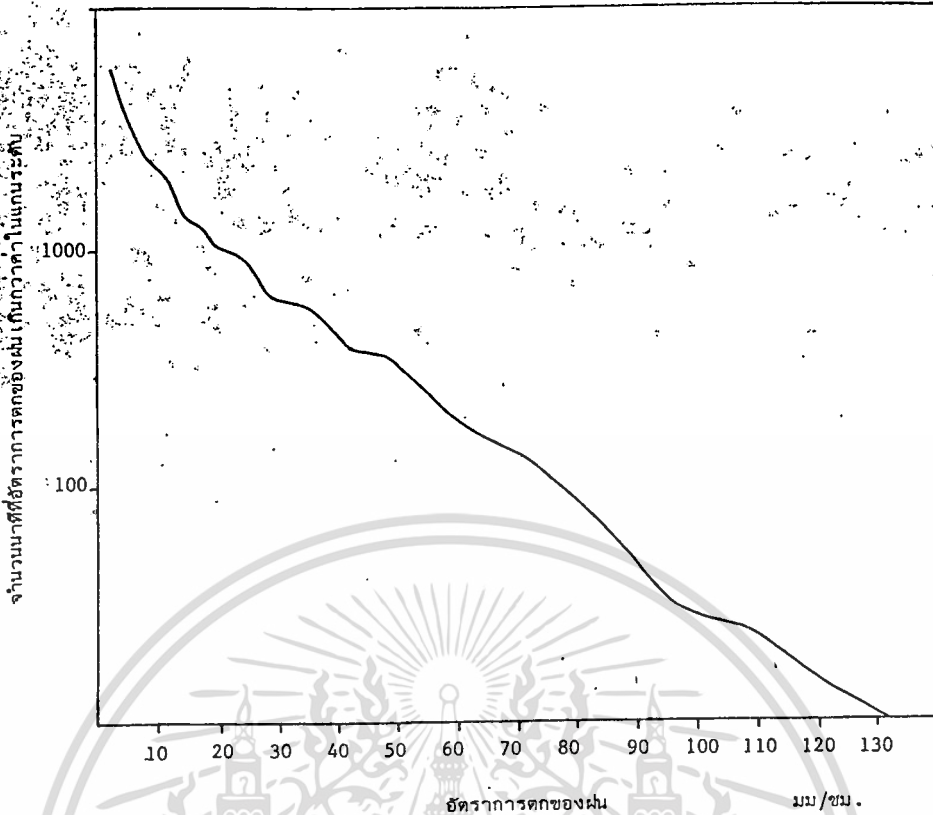
จำนวนนาฬิกาการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



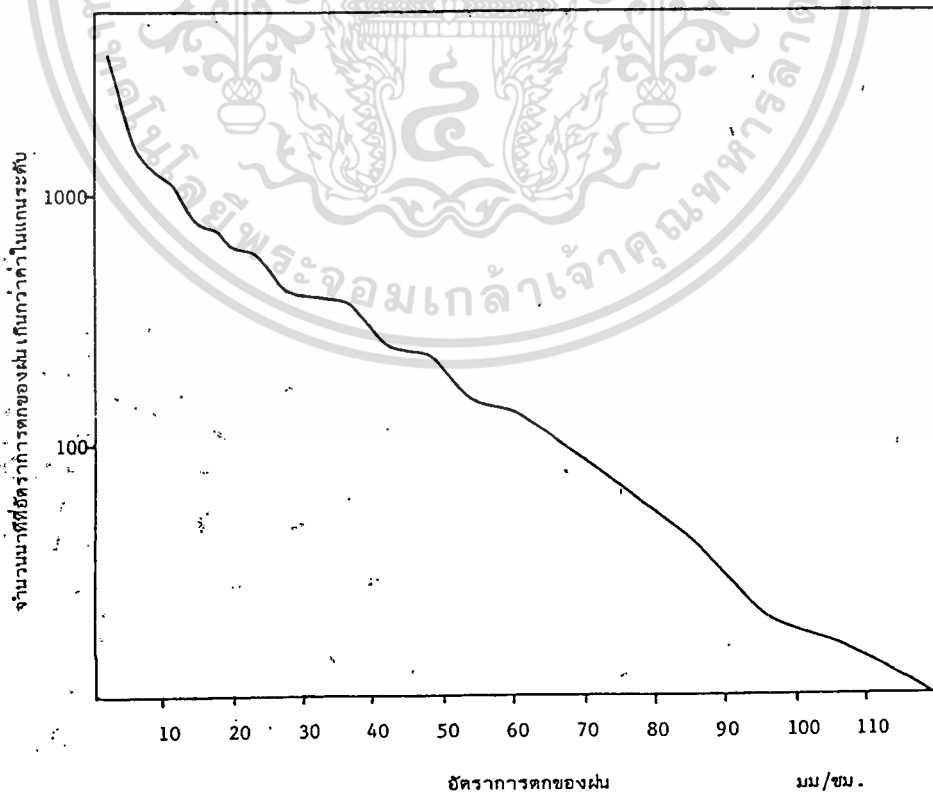
รูป 4.36 สถานีโกสุมพิสัย ปี 2520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.37 สถานีโกสุมพิสัย ปี 2521

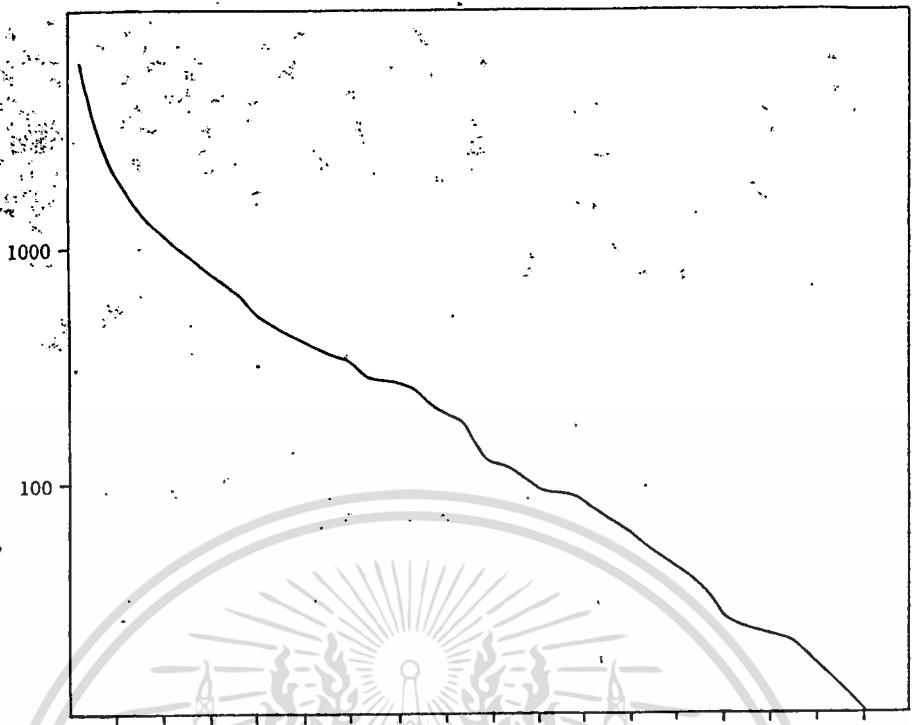


รูป 4.38 สถานีโกสุมพิสัย ปี 2518

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์ห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนนาฬิกาการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ

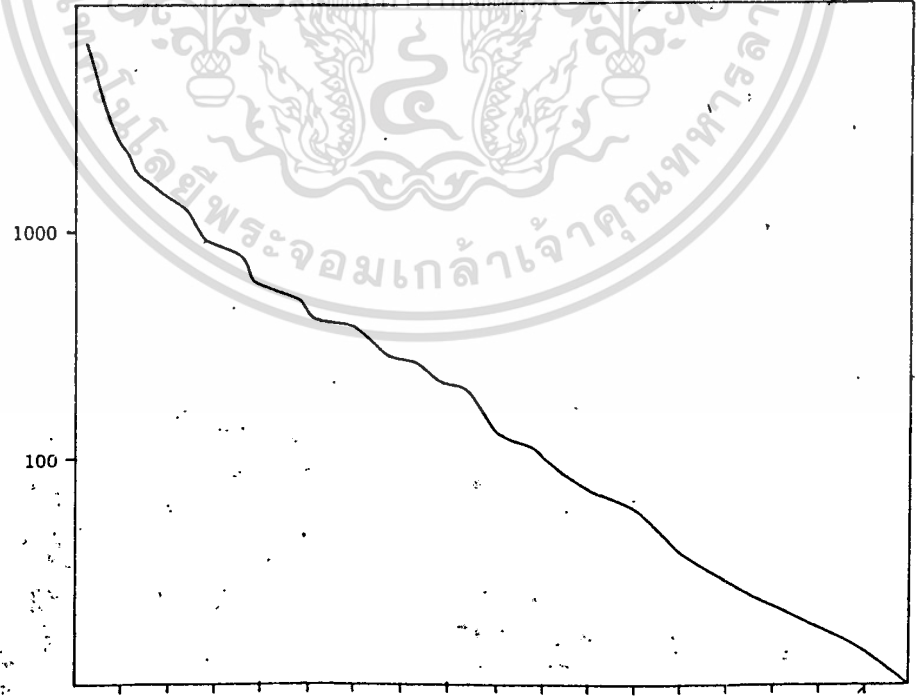


10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170

อัตราการตกของฝน มม./ชม.

รูป 4.39 สถานีท่าฉลอม ปี 2518

จำนวนนาฬิกาการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



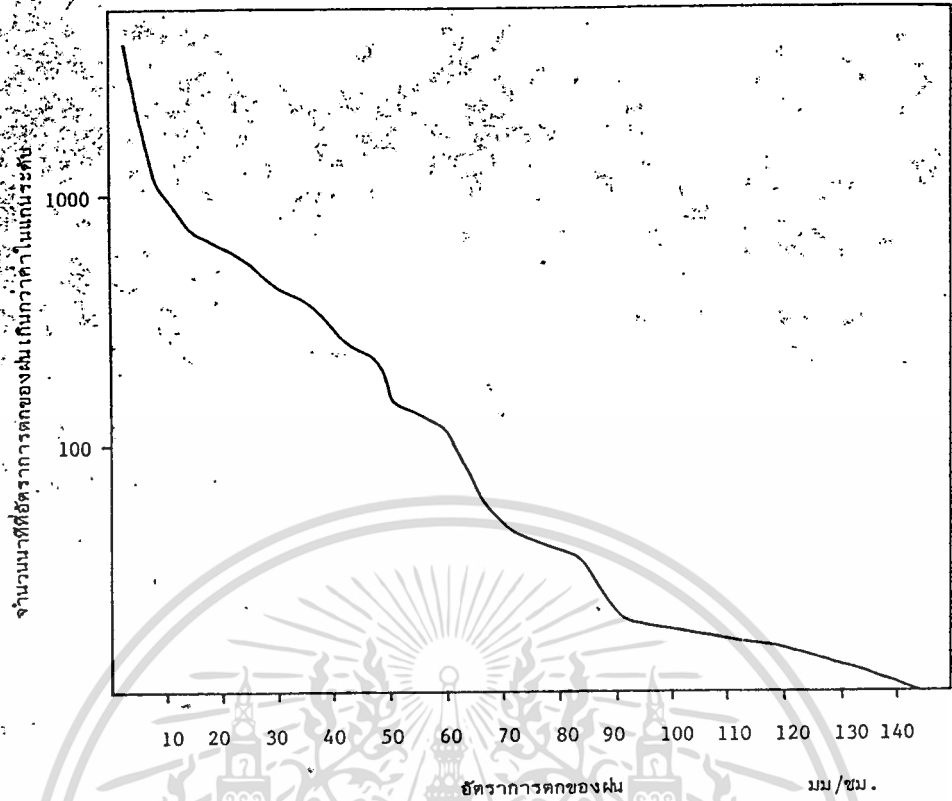
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170

อัตราการตกของฝน มม./ชม.

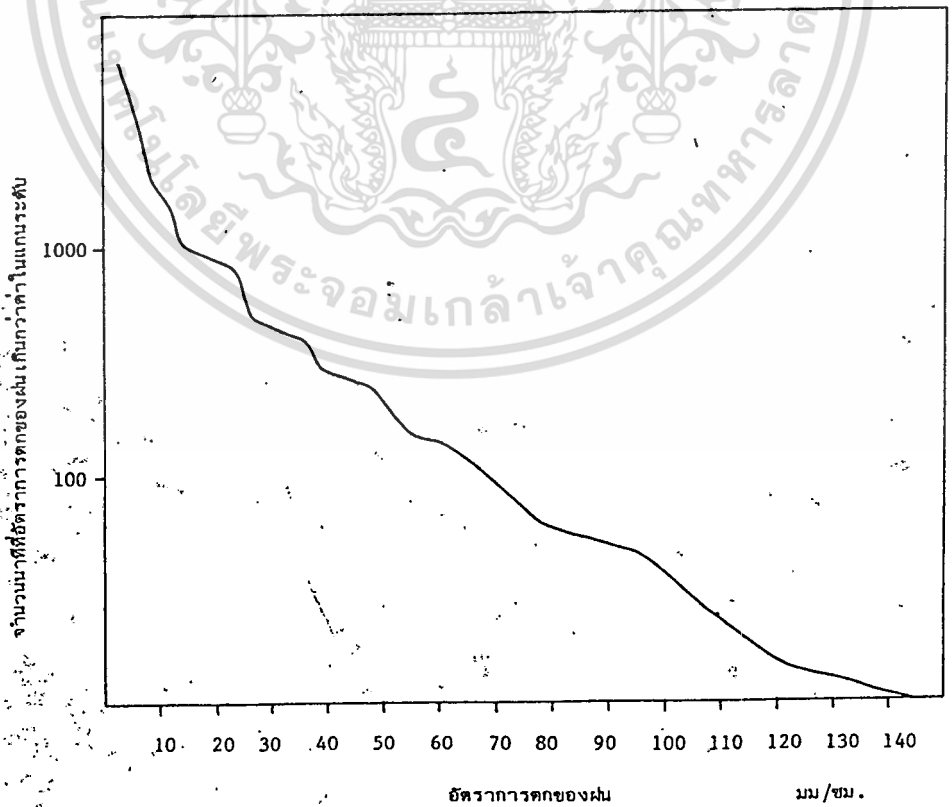
รูป 4.40 สถานีท่าฉลอม ปี 2519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



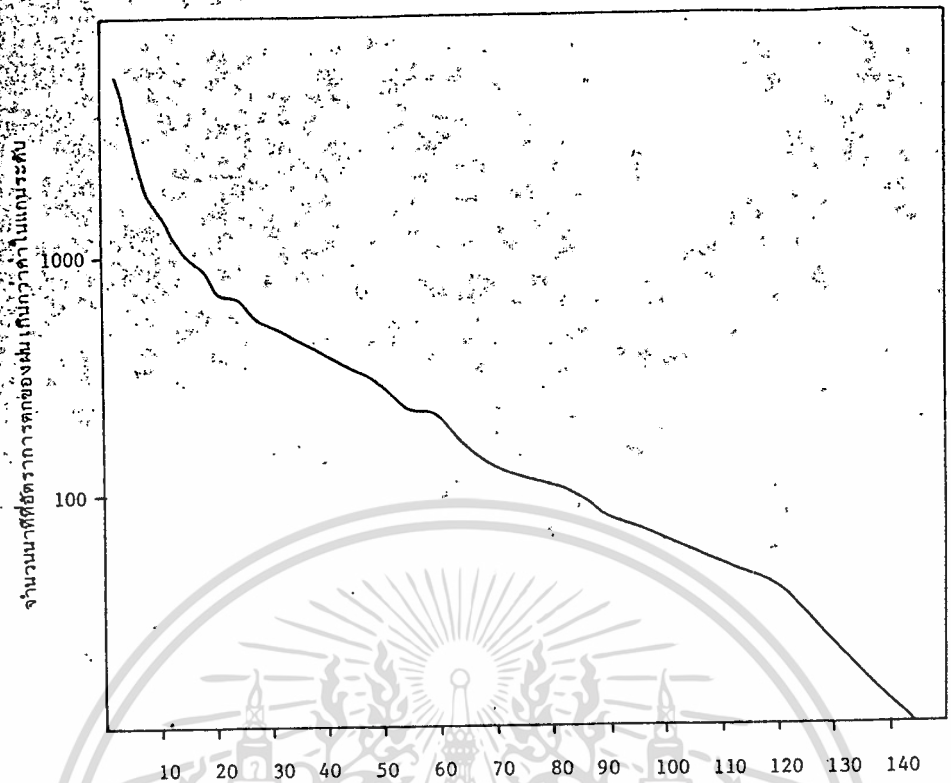
รูป 4.41 สถานีท่าคูม ปี 2520



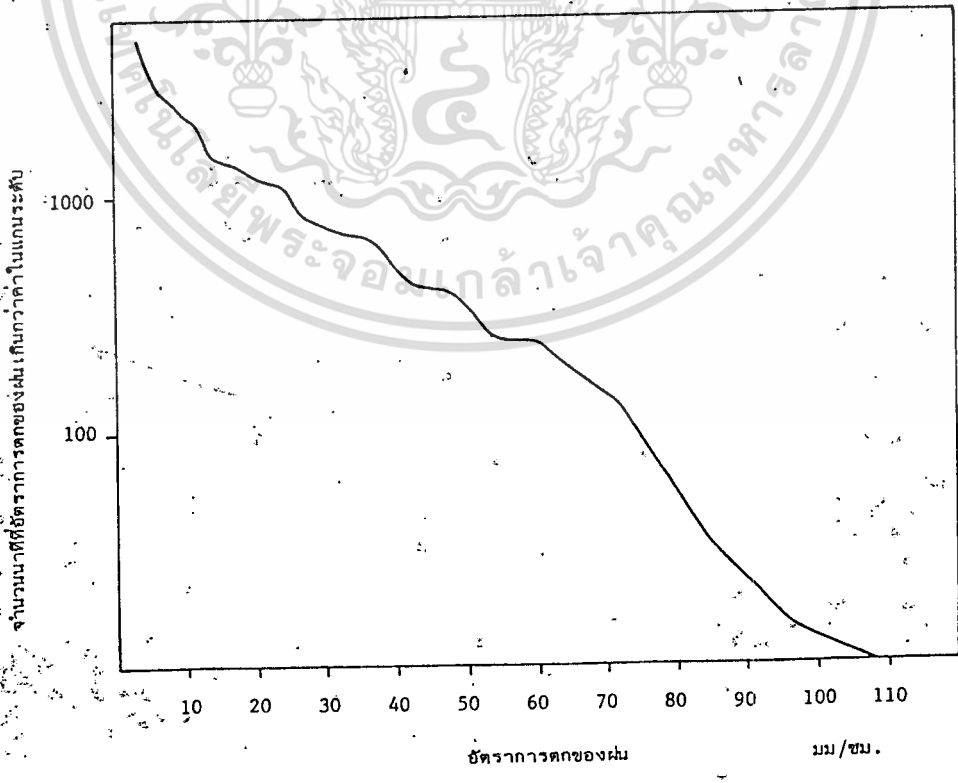
รูป 4.42 สถานีท่าคูม ปี 2521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.43 สถานีท่าชุม ปี 2522

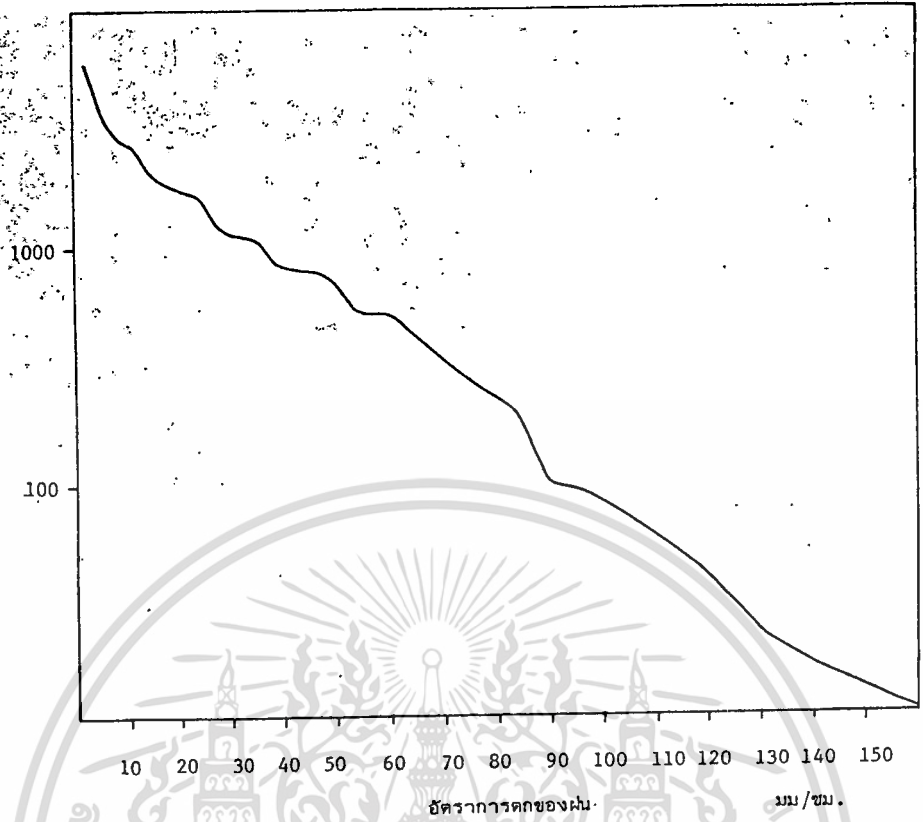


รูป 4.44 สถานีขอนแก่น ปี 2518

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

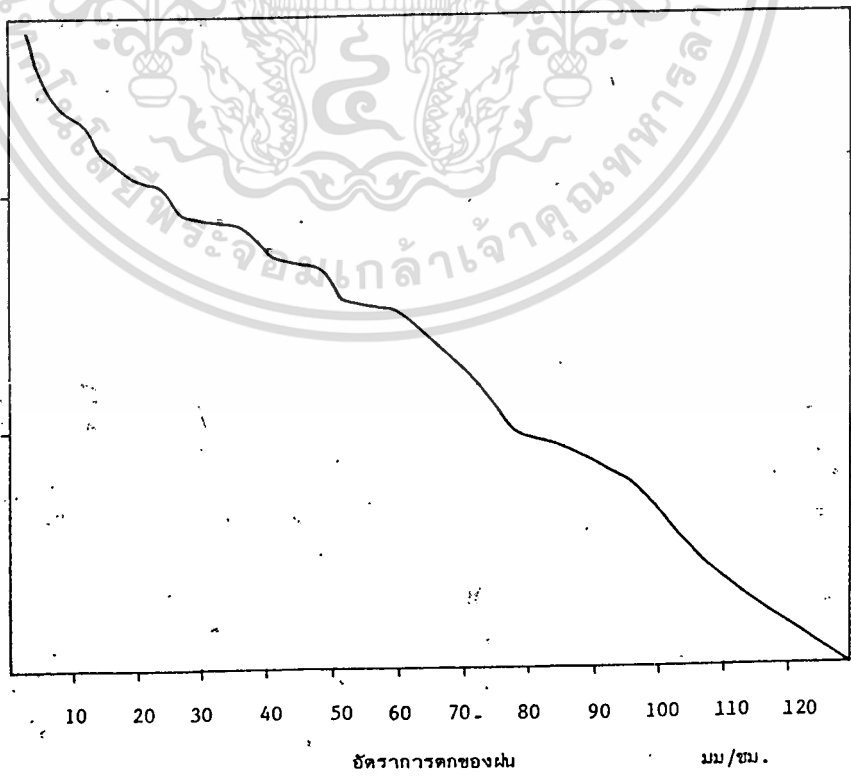
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนนาที่อัตราการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



รูป 4.45 สถานีบึงหนองปรือ ปี 2519

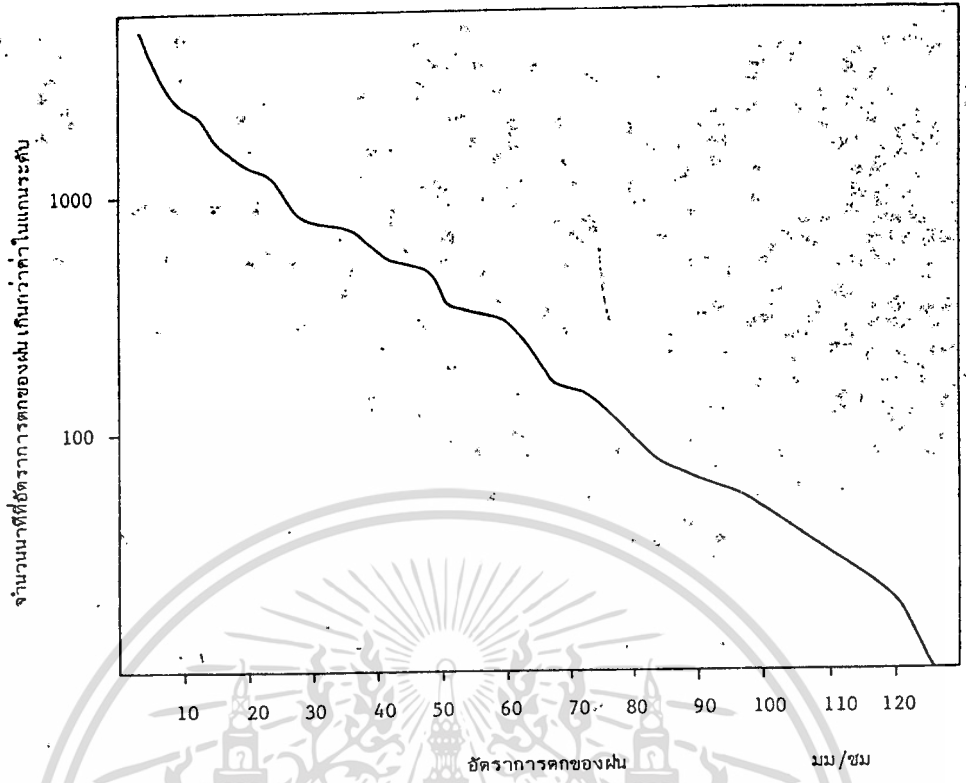
จำนวนนาที่อัตราการตกของฝนเกินกว่าค่าในแกนระดับ



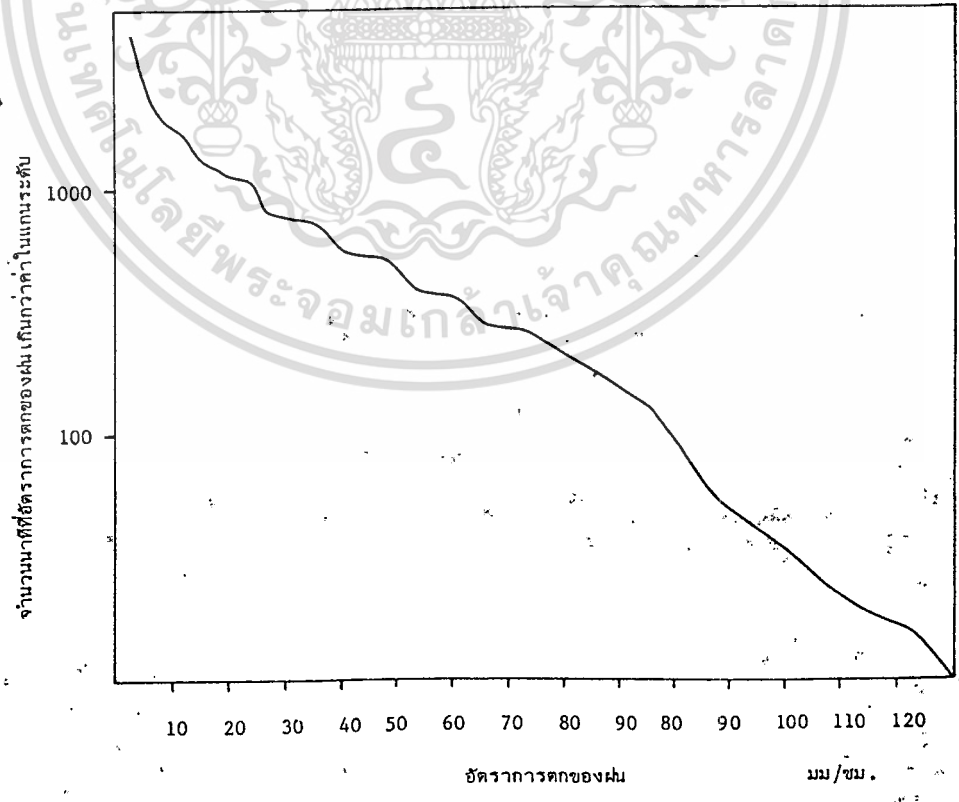
รูป 4.46 สถานีบึงหนองปรือ ปี 2520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.47 สถานีบึงทรบุรี ปี 2521



รูป 4.48 สถานีบึงทรบุรี ปี 2522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณหาค่าการลดทอนสัญญาณเนื่องจากเม็ดฝน

ค่าการลดทอนมีหน่วยเป็น เดซิเบล ต่อ กิโลเมตร พิจารณาเมื่อในปริมาตรหนึ่งเมตร มีเม็ดฝนอยู่เพียงหนึ่งเม็ดเท่านั้น จะได้ดังนี้ (17)

$$4343 \times Q_t$$

Q_t - total cross section

แต่ความจริงการตกของเม็ดฝนนั้น จะมีขนาดที่แตกต่างกันอยู่หลายขนาดเป็นจำนวนมาก Laws และ Parsons ได้แบ่งขนาดของเม็ดฝนออกเป็น 13 กลุ่มด้วยกัน โดยแสดงค่าเฉลี่ยของรัศมี "a" ในแต่ละกลุ่มและช่วงห่างระหว่างกลุ่มเป็น "da" ถ้าเราให้ $n(a)da$ เป็นจำนวนของเม็ดฝนในปริมาตรหนึ่งเมตรและสัมพันธ์กับ total cross section ของเม็ดฝนแต่ละเม็ด เราจะได้ค่าการลดทอนเป็น เดซิเบล ต่อ กิโลเมตร ดังนี้

$$L = 4343 \times \int_0^{\infty} Q_t(a) \cdot n(a)da \quad \text{db/Km} \quad (5.1)$$

$Q_t(a)$ เป็น total cross section ของเม็ดฝนขนาดรัศมี "a"

$n(a)da$ เป็นจำนวนของเม็ดฝนในปริมาตรหนึ่งเมตร ในการหาจำนวนของเม็ดฝนในปริมาตรหนึ่งเมตรนั้น จำเป็นจะต้องทราบ drop-size distribution ของเม็ดฝน ซึ่ง Laws และ Parsons [18] ได้ทำการวัด และนำ Terminal velocity ของเม็ดฝน ซึ่ง Best [19] ได้ทำการวัด เพื่อที่จะได้จำนวนของเม็ดฝนในปริมาตรหนึ่งเมตร ดังแสดงในตาราง 5.2 แต่โดยที่ว่า drop-size distribution ของเม็ดฝนนั้นจะขึ้นกับอัตราการตกของน้ำฝนขนาดต่าง ๆ ดังนั้น ในการที่จะทราบจำนวนของเม็ดฝนในหนึ่งปริมาตร จึงจำเป็นต้องทราบอัตราการตกของฝน เหตุผลที่เชื่อมโยงกันดังกล่าว ค่าการลดทอนจึงมีส่วนสัมพันธ์กับอัตราการตกของน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใจว่ากรณิดางนี้สืบ ลึกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าการลดทอนอันเนื่องจากอัตราการตกต่าง ๆ นั้น โดยใช้ค่า Total cross section จากการคำนวณของ T. Oguchi จำนวนที่ความถี่ 4, 6 และ 11 GHz แสดงในตาราง 5.1

ความถี่ มม./ชม.	การลดทอน		
	4 GHz	6 GHz	11 GHz
.25	.0002179	.0005536	.002665
1.25	.0009503	.002710	.01733
2.5	.001851	.005718	.04105
12.5	.00957	.03891	.3124
25.0	.0254	.09685	.7396
50.0	.04618	.2515	1.713
100.0	.1075	.6596	3.882
150.0	.1751	1.136	6.071

ตาราง 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอน (เดซิเบล/ กิโลเมตร) กับอัตราการตกของน้ำฝน (มม./ชม.)

ตาราง 5.2 จำนวนเม็ดฝนในปริมาตรหนึ่ง เมตร สัมพันธ์กับเม็ดฝนขนาดต่าง ๆ

มม/ชม.	.25	1.25	2.5	12.5	25	50	100	150
รัศมี(ชม)	n(a)da (จำนวนเม็ดฝนในปริมาตรหนึ่ง เมตร)							
.025	1.5+02	2.5+02	3.2+02	6.0+02	8.0+02	1.3+03	2.0+03	3.0+03
.050	1.5+01	7.0+01	1.0+02	1.9+02	2.7+02	3.4+02	6.0+02	8.0+02
.075	1.3+00	1.0+01	2.5+01	9.0+01	1.3+02	1.7+02	2.5+02	3.1+02
.100	8.0-02	2.0+00	5.2+00	3.4+01	6.5+01	1.1+02	1.5+02	1.8+02
.125	7.5-03	2.8-01	9.0-01	1.0+01	2.1+01	4.8+01	8.4+01	1.1+02
.150	-----	4.4-02	2.0-01	2.8+00	7.9+00	1.9+01	4.2+01	6.4+01
.175	-----	9.0-03	4.5-02	8.2-01	2.6+00	8.0+00	2.0+01	3.5+01
.200	-----	1.8-03	1.2-02	2.6-01	1.0+00	3.1-00	9.3+00	1.6+01
.225	-----	-----	3.0-03	9.0-02	3.5-01	1.1+00	3.4+00	5.4+00
.25	-----	-----	-----	3.1-02	1.2-01	4.0-01	1.4+00	2.6+00
.275	-----	-----	-----	8.0-03	4.0-02	1.7-01	5.6-01	1.1+00
.300	-----	-----	-----	-----	1.2+02	6.5-02	2.5-01	5.1-01
.325	-----	-----	-----	-----	-----	1.9-02	1.3-01	3.0-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินหรือการสื่อสารผ่านดาวเทียม ที่ใช้ระบบไมโครเวฟย่าน ความถี่ 6 GHz หรือสูงกว่า ในส่วนของการแพร่กระจายคลื่นจะต้องคำนึงถึงการลดทอนที่เกิด จากฝนด้วย โดยเหตุที่ว่าลักษณะการตกของฝนไม่มีอัตราการตกที่แน่นอนและอาณาบริเวณที่ฝนตกอาจ จะมีบริเวณกว้างไกลถึง 50 กม. ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดของเมฆฝนและทิศทางลม ระดับที่มีฝนจะสูงจาก พื้นดินตั้งแต่ 3 กม. ขึ้นไปจนถึง 6 กม. แต่ระยะที่มีปริมาณของฝนหนาแน่นที่สุดอยู่ที่ระดับ 3.5 กม. [20]

การคำนวณความน่าจะเป็นของระบบสื่อสารที่เกิดการติดต่อไม่ได้ขึ้น เนื่องจากการแพร่คลื่น (Probability of Outages due to Propagation) [21]

จะพิจารณากรณีที่ไม่มี Diversity จากสูตร

$$U = a \times b \times 6 \times 10^{-7} \times f \times D^3 \times 10^{-F/10}$$

โดยที่ U = เวลาที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (unavailability) ของระบบ
สื่อสาร. ที่แสดงในลักษณะของความน่าจะเป็นไปได้

$$D = \text{ระยะทาง (กิโลเมตร)}$$

$$f = \text{ความถี่ (GHz)}$$

$$a = \text{ตัวแปรของสภาพภูมิประเทศ}$$

$$= 4 \text{ สำหรับพื้นที่ราบเรียบ ซึ่งรวมทั้งพื้นน้ำด้วย}$$

$$= 1 \text{ สำหรับพื้นที่ขรุขระเล็กน้อย}$$

$$= 1/4 \text{ สำหรับบริเวณที่เป็นภูเขา บริเวณสูง ๆ ต่ำ ๆ และ บริเวณที่แห้งแล้งมาก}$$

$$b = \text{ตัวแปรของสภาพภูมิอากาศ}$$

$$= 1/2 \text{ สำหรับบริเวณชายฝั่ง หรือบริเวณชื้นแฉะ ในเขตร้อน}$$

$$= 1/4 \text{ สำหรับสภาพอากาศอบอุ่น}$$

$$= 1/8 \text{ สำหรับบริเวณภูเขา หรือพื้นที่แห้งแล้ง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F = \text{fade margin}$

ถ้าหากในระบบไมโครเวฟมีตัวประกอบดังกล่าวข้างต้น ดังนี้ $D = 50 \text{ km}$, $a = 4$,
 $b = \frac{1}{2}$, $f = 6 \text{ GHz}$, $F = 40 \text{ dB}$ เราจะสามารถหาความเป็นไปได้ของเวลาที่ใช้ประโยชน์
 ไม่ได้ (U) ดังนี้

$$\text{path unavailability (U)} = 0.00009$$

$$\text{path availability} = 1 - U$$

$$= .99991$$

$$\text{path reliability} = 99.991 \%$$

$$\text{path outage time} = 0.009 \%$$

ความหมายว่าในช่วงระยะเวลา 1 ปี ของระบบสื่อสารนี้ โอกาสที่จะทำให้เกิดการติด
 ต่อสื่อสารไม่ได้เป็นเวลา 47.3 นาที และสมมุติว่า ถ้าเกิดการลดทอนเนื่องจากฝน 4 dB แล้วใช้
 ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแต่ fade margin จะลดลงเหลือเพียง 36 dB ผลที่ได้ดังนี้

$$\text{path unavailability (U)} = .000226$$

$$\text{path availability} = .999774$$

$$\text{path reliability} = 99.9774 \%$$

$$\text{path outage time} = 0.0226 \%$$

ความหมายในช่วงระยะเวลา 1 ปี ของระบบสื่อสารนี้ โอกาสที่จะทำให้เกิดการติดต่อ
 สื่อสารไม่ได้เป็นเวลา 2 ชม. จากการคำนวณที่ได้จะเห็นว่าอิทธิพลของฝนจะทำให้ค่า reliability
 ของระบบสื่อสารลดลงไป

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

รายงานนี้ได้กล่าวถึงสถิติอัตราการตกของน้ำฝนในประเทศไทยที่สามารถนำไปประกอบการพิจารณาการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟได้ ถึงแม้ว่าอาณาบริเวณการตกของฝนจะคาดการณ์แน่นอนไม่ได้ แต่เราก็พอจะรู้ระยะทางเฉลี่ย ประมาณ 3 กม. และระยะทางการส่งผ่านคลื่นสำหรับการสื่อสารดาวเทียมที่จำเป็นจะต้องผ่านไปนในบริเวณที่มีฝนตก สำหรับปริมาณของสายอากาศมากกว่า 45 องศา ระยะทางเป็นกิโลเมตรประมาณ $5 \operatorname{cosec} \theta$ เมื่อ θ เป็นมุมยกของจานสายอากาศ ทำให้เราพอจะคาดการณ์ได้ว่าควรอยู่ในระดับใด เพราะเมื่อเกิดการลดทอนขึ้น ระดับความแน่นอนในข่ายสื่อสารจะลดน้อยลง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับกำลังส่งให้สูงขึ้นเพื่อชดเชยกับการลดทอนที่เกิดขึ้นเฉพาะช่วงที่มีฝนตก เพื่อที่จะทำให้ความแน่นอนในการสื่อสารสูง ถ้าเกิดการลดทอนขึ้น 3 dB เราจะต้องเพิ่มกำลังส่งอีกเท่าตัว ถ้าหากเราไม่คาดการณ์ถึงอัตราการลดทอนที่จะเกิดขึ้น และเหตุผลที่เราจำเป็นจะต้องเพิ่มกำลังส่งและไม่ได้เตรียมการไว้ อาจจะทำให้ความแน่นอนในการสื่อสารต่ำถึงขั้นที่ไม่สามารถติดต่อกันได้

รายงานนี้ได้ทำเพียง 10 สถานีเท่านั้น ซึ่งยังมีพื้นที่อีกหลายส่วนของประเทศที่ควรจะได้ทำการวิเคราะห์และประมวลอัตราการตกออกมา ในการเก็บข้อมูลแต่ละที่จะต้องใช้เวลานานในการที่จะได้ข้อมูลมาแต่ละปี อีกทั้งชนิดกราฟที่ทำการบันทึกมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ในเมื่อเราต้องการอัตราการเพิ่มอย่างละเอียดทุก 5 นาที จึงต้องใช้เวลามาก และเป็นที่หวังว่าคงจะได้มีโอกาสทำรายงานสรุปอัตราการตกของฝนในทุกส่วนของประเทศในโอกาสต่อไป เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมาประกอบการคำนวณข่ายสื่อสารของประเทศ อันก่อให้เกิดประสิทธิภาพด้านความแน่นอนในการสื่อสารสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Seppo E. Mustonen, "Rainfall intensity duration-frequency curves for some stations in Thailand" Meteorological Department, Bangkok, Thailand, 1969.
2. J.A. Stratton, "Electromagnetic Theory" New York McGraw-Hill, pp. 563-569, 1941.
3. Kerr, D.E. "Propagation of Short Radio Wave" MIT Radiation Lab Series, New York, McGraw-Hill Book Company, pp.671-685, 1951.
4. J.A. Morrison and M.J. Cross, "Scattering of a plane electromagnetic wave by axisymmetric raindrops," Bell Syst Tech. J., vol 53, pp. 955-1019, 1974.
5. เวช วิเวก และ สุธี อักษรกิตติ "การลดทอนและการกระจัดกระจายของสัญญาณไมโครเวฟเนื่องจากฝน" การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 1, มิถุนายน 2521
6. H.R. Pruppacher and P.L. Pittler "A semi-empirical determination of the shape of cloud and raindrops" J. Atmos Sci, vol 28, pp.86-94, 1971.
7. T. Oguchi, "Attenuation of electromagnetic wave due to rain with distorted rain drops," J. Radio Res. Labs. (Japan), vol 7, pp. 467-485, Sept., 1960.
8. Y. Mushiake, "Backscattering for arbitrary angles of incidence of a plane electromagnetic wave on a perfectly conducting spheroid with small eccentricity," J. Appl Phys. vol 27, pp.1549-1556, Dec., 1956.
9. P.S. Ray, "Broadband complex refractive index of ice and water," Appl. Opt. vol 11, pp. 1836-1844, Aug., 1972.
10. K. Morita and M. Yamada, "Radio wave propagation through precipitation," J. IECE. (Japan), vol. 60, No. 4, 1977.

11. R.F White, "Engineering considerations for microwave communications systems" Lenkurt Electric Co., Inc. USA., pp. 48, June, 1970.
12. Ref. 10, pp. 4.
13. S. Ugui, "Notes on the oil method and data," Sophia University, Japan, 1977.
14. J.O. Laws and D.A. Parsons, "The relation of raindrop size to intensity," Trans, Amer. Geophys. Union, vol 24, pp. 450-460, 1943.
15. Meteorological Department, Unpublished rainfall data.
16. W.Y.S. Chen, "A simple method for estimating five-minute point rain-rate distributions based on available climatological data," Bell Syst Tech J., vol 55, pp. 129-134, Jan., 1976.
17. Ref. 7, pp. 481.
18. Ref. 14, pp.458.
19. T. Oguchi, "Attenuation of electromagnetic wave due to rain with distorted raindrops (Part II)," J. Radio Res. Labs (Japan), vol 11, pp. 19-44, Jan., 1964.
20. M.P.M. Hall and J.W.F. Gaddard, "Studies of rain intensity and rain cell characteristics using three-dimensional maps of rain obtained with a high resolution 10 cm radar," Sci., Res. council, Berkshere, U.K.
21. Ref. 11, pp. 59.



ประกาศสำนักบัณฑิตศึกษาและวิจัยประยุกต์

ที่ 11/2522

เรื่อง ขอชี้แจงเกี่ยวกับการจบหลักสูตรปริญญาโท

.....

1. นักศึกษาปริญญาโทจะจบหลักสูตร ใดของ เสนอวิทยานิพนธ์ให้คณะ ผ่าน สำนักบัณฑิตศึกษา เพื่อจัดให้มีการสอบวิทยานิพนธ์
2. คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์จะประกอบด้วย กรรมการภายนอก 2 ท่าน กรรมการภายใน 2 ท่าน การสอบจะกระทำโดย เปิดโอกาสให้ผู้สนใจเข้าร่วม ฟังได้
3. วิทยานิพนธ์จะต้อง เป็นงานค้นคว้าวิจัยหรือพัฒนาค้นคว้ากรรมศาสตร์หรือ วิทยาศาสตร์ ซึ่งมีความคิดริเริ่มที่สำคัญ (significant original work) และ ในการเขียนวิทยานิพนธ์ นักศึกษาต้องบ่งชี้ให้เห็นบทความหรือบทว่า ความคิดริเริ่ม ที่สำคัญอยู่ที่ส่วนไหนของวิทยานิพนธ์
4. นักศึกษาที่ประสงค์จะจบหลักสูตรในปีใด ต้องส่งวิทยานิพนธ์อย่างช้าก่อน วันที่ 1 สิงหาคมของปีนั้น ๆ.

ประกาศ ณ วันที่ 21 สิงหาคม 2522

(ผศ.ดร.ไพรัช ชัยพงษ์)

สำนักบัณฑิตศึกษา



สำนักบัณฑิตศึกษาและวิจัยประยุกต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ประกาศที่ ๔/๒๕๒๑

เรื่อง มาตรฐานขั้นต่ำในการส่งวิทยานิพนธ์ปริญญาโท

ตามมติที่ประชุมกรรมการคณะฯ เมื่อวันที่ ๒๑ มิถุนายน ๒๕๒๑ ซึ่งสรุปได้ความว่า เพื่อให้คุณภาพของวิทยานิพนธ์ปริญญาโทของคณะฯ มีมาตรฐานสม่ำเสมอ ทางคณะฯ จึงได้กำหนด มาตรฐานขั้นต่ำสุดของวิทยานิพนธ์ปริญญาโทว่าต้องมีผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ (หรือตอบรับว่าจะตีพิมพ์) ในวารสารระดับสากล ซึ่งมีการตรวจคุณภาพของบทความอย่างน้อยหนึ่งบทความ โดยให้ใช้มาตรการ ดังกล่าว ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

อนึ่ง รายชื่อวารสารที่ทางคณะฯ ถือว่าได้มาตรฐาน จะได้ประกาศให้ทราบต่อไป.

ประกาศ ณ วันที่ ๒๔ มิถุนายน ๒๕๒๑

(ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้