

การลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟอันเนื่องมาจากฝน

Microwave attenuation due to rain

สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

SUTHICHAI NOPPANAKEEPPONG



วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สาเหตุการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน	2
บทที่ 3 การทดลองวัดสัญญาณลดทอนอันเนื่องมาจากฝนในเส้นทางระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์รังสิตกับชุมสายโทรศัพท์หลักสี่	5
3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง	5
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	7
3.3 การติดตั้งเครื่องมือ	7
3.4 แนวการวิเคราะห์ข้อมูล	9
บทที่ 4 วิธีการพยากรณ์การลดทอนและแบบจำลองพยากรณ์การแจกแจงอัตราการตกของฝน	33
4.1 วิธีการพยากรณ์การลดทอนโดยใช้ Effective path length	33
4.2 วิธีการพยากรณ์การลดทอนสัญญาณของ CCIR	36
4.3 แบบจำลองสำหรับพยากรณ์การแจกแจงอัตราการตกของฝน	37
4.4 การหาค่าตัวแปร	38
บทที่ 5 บทสรุปและการเปรียบเทียบกับทฤษฎี	40
5.1 บทสรุป	40
5.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี	40
กิตติกรรมประกาศ	54
เอกสารอ้างอิง	55

บทคัดย่อ

ความมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ เพื่อจัดสร้างรูปแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์การลดทอนสัญญาณความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากฝนที่ย่านความถี่ 12 GHz โดยเราได้นำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ทางคานาสติติ โดยวิธีการยกกำลังสองน้อยที่สุด (The method of least squares) จากนั้นเราจะได้รูปแบบจำลองที่เหมาะสมของ การลดทอนสัญญาณความถี่ไมโครเวฟที่สัมพันธ์กับ ปริมาณการตกของฝน ซึ่งรูปแบบจำลองนี้สามารถใช้พยากรณ์ค่าการลดทอนสัญญาณความถี่ไมโครเวฟที่ปริมาณการตกของฝนขนาดต่าง ๆ ได้ สำหรับรูปแบบจำลองที่ได้มานั้นมีลักษณะเป็นแบบ สมการลดถอยแบบยกกำลัง และได้ผลจากการคำนวณจากรูปแบบจำลองนี้ สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ในส่วนสุดท้ายนี้ได้แสดงวิธีการพยากรณ์โอกาสการแจกแจงของการตกของฝนต่อปี โดย CCIR และวิธีการพยากรณ์การลดทอนสัญญาณไมโครเวฟ โดยวิธี effective path length อีกทั้งกราฟที่แสดงรูปแบบจำลองที่ได้มาจากการวิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการเชื่อมโยงระบบสื่อสารไมโครเวฟในแนวเส้นสายตา

Abstract

The purpose of this thesis is to empirically establish a prediction model for predicting rain induced microwave signal attenuation at 12 GHz band. By using the method of least squares to analyze the experimental data statistically, then we will obtain the suitable model for microwave signal attenuation which relates to rainfall. This model can be used to predict microwave signal attenuation at any size of rainfall. By having power regression equation characteristic, the calculated results agree well with the experiment data. Finally this thesis showed a method for prediction the yearly probability distribution of rain attenuation by CCIR and a method for prediction microwave signal attenuation by effective path length. It also showed the graph model which obtained from this analysis in order to use as a guide to design line of sight microwave links.

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องมาจากในปัจจุบันนี้ความต้องการใช้งานด้านการติดต่อสื่อสารนั้น นับวันจะขยายจำนวน ความต้องการเพิ่มมากขึ้น สำหรับการสื่อสารด้วยระบบไมโครเวฟนั้นที่ย่านความถี่ของไมโครเวฟย่านต่ำ ๆ มีการใช้กันอย่างแพร่หลายจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ คือไม่สามารถที่จะขยายจำนวนช่องสัญญาณให้ มากขึ้นได้ จึงได้ขยายระบบไมโครเวฟโดยการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น

เมื่อความถี่สูงขึ้นนั้นจะทำให้สัญญาณคลื่นเกิดการลดทอนในชั้นบรรยากาศได้มากและยังมีสัญญาณ ปรกวนเกิดขึ้นด้วย การลดทอนของสัญญาณคลื่นโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากฝนมากกว่าสาเหตุอื่น ขนาดของ การลดทอนของสัญญาณคลื่นจะมีค่าน้อยเมื่อใช้ความถี่ที่ต่ำ แต่เมื่อความถี่ที่ใช้สูงกว่า 10 GHz แล้ว ขนาด ของการลดทอนของสัญญาณคลื่นจะมีค่าสูง

ดังนั้นในการวางแผนระบบโครงข่ายไมโครเวฟในช่วงความถี่สูง ๆ จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะ ต้องศึกษาและทำความเข้าใจในผลของการลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากฝน ซึ่งจะเกิดได้ 2 แบบคือ

- ก. เกิดจากการดูดกลืนพลังงานของคลื่น
- ข. เกิดจากการกระจายของคลื่นและการเกิด depolarization

ผลทั้งสองข้อนี้จะทำให้คลื่นไมโครเวฟนี้เกิดการลดทอนกำลังลง และเกิดสภาวะสอดแทรก ของคลื่นจากทุกทิศทางขึ้นมาได้ สืบเนื่องมาจากความถี่คลื่นไมโครเวฟที่สูงขึ้น จะได้ความยาวคลื่นที่มีขนาด สั้นลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของหยคน้ำฝนแล้วจะมีขนาดใกล้เคียงกัน จึงทำให้เกิดการดูดกลืนพลัง งานคลื่นได้สูงมากขึ้น

ในรายงานนี้จะได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนที่มีผลต่อการลดทอน สัญญาณ โดยได้เก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติเพื่อหาแบบจำลองการลดทอนสัญญาณกับอัตรา การตกของฝนในประเทศไทย และได้เสนอวิธีการพยากรณ์อัตราการตกของฝน และการลดทอนสัญญาณ โดยใช่ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟที่เกิด ขึ้นเวลามีฝนตกได้อย่างถูกต้อง ทำให้เกิดการประหยัดในการเพื่อกำลังส่งของเครื่องส่ง หรือองค์ประ- กอบอื่น ๆ สำหรับการออกแบบระบบสื่อสารไมโครเวฟ

บทที่ 2

สาเหตุการลทอนของสัญญาณเนื่องมาจากฝน

2.1 การลทอนสัญญาณอันเนื่องมาจากฝน

สาเหตุที่ฝนมีผลต่อการลทอนสัญญาณ เนื่องมาจากเกิดการดูดกลืนสัญญาณ การแตกกระจายของคลื่น อันเนื่องมาจากอนุภาคของเม็ดฝน และการดีโพลาไรซ์ (depolarization) เป็นผลทำให้เกิดครอสโพลาไรซ์ (Cross polarization) ทางค่านรับ

2.1.1 การดูดกลืนพลังงานเนื่องมาจากฝน

หยดน้ำฝนแต่ละหยด เหมือนกับตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านจะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสเคลื่อนที่ (displacement current) ขึ้น เนื่องจากกระแสเคลื่อนที่แปรผันโดยตรงกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ค่ากระแสเคลื่อนที่ที่สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$I_d = \epsilon \frac{dE}{dt}$$

.....(2.1)

เมื่อ I_d = กระแสเคลื่อนที่

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, ϵ_r = ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์

E = ความเข้มของสนามไฟฟ้า

กระแสเคลื่อนที่ นี้เองที่มีผลต่อการดูดกลืนพลังงานทั้งนี้เพราะการเกิดกระแสเคลื่อนที่นี้ต้องใช้พลังงาน ซึ่งนำมาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านนั่นเอง ดังนั้นที่ความถี่ของสัญญาณไมโครเวฟยิ่งสูงก็จะทำให้เกิดกระแสเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้สัญญาณถูกดูดกลืนพลังงานมากขึ้นตาม

2.1.2 การลทอนกำลังเนื่องจากการกระจายออกของคลื่น

ฝนเป็นตัวการทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นซ้อน (Secondary radiation) หรือการกระจายออกของคลื่น (Scattering) ในทางปฏิบัติผลการกระจายออกของคลื่นมีผลในการลทอนกำลังอันเนื่องมาจากทิศทางของคลื่น กล่าวคือแทนที่คลื่นจะเดินทางไปในทิศทางเดียวกันหมด จะมีคลื่นบางส่วนที่กระจายออกทุกทิศทาง

การสูญเสียกำลังเนื่องจากการกระจายออกของคลื่น สามารถคำนวณได้จากทางทฤษฎีของ

Straiton และ Howton ซึ่งได้ทำการทดลองและสรุปว่าค่าการลดทอนเนื่องจากการกระจายออกของคลื่นจะเป็นไปดังสมการ

$$\delta = 4.34 \times 10^5 NK2\pi\rho^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

- เมื่อ δ : ค่าการลดทอนสัญญาณ เดซิเบล/กิโลเมตร
- N : จำนวนหยคน้ำฝน /ลูกบาศก์เซ็นติเมตร
- K : เป็นสัมประสิทธิ์การกระจายออกของคลื่น
- ρ : รัศมีของหยคน้ำฝนในหน่วยเซ็นติเมตร

2.1.3 การดีโพลาไรซ์ (Depolarization)

การเกิดดีโพลาไรซ์ของคลื่นในเส้นทางเดินของคลื่นเมื่อมีฝนตก จะทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้ลดต่ำลงเนื่องจากเกิด Cross-polarization ของสัญญาณ สาเหตุดังกล่าวเกิดเนื่องมาจากโมเลกุลของน้ำเป็น Polar molecule ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของธาตุที่ไม่เหมือนกันสองชนิด คืออะตอมของธาตุไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุออกซิเจน โดยที่อะตอมของไฮโดรเจนมีอิเล็กตรอนหนึ่งตัวในวาเลนซ์เชลล์ (Valence shell) ส่วนอะตอมของออกซิเจนมีอิเล็กตรอนอยู่ภายนอกสุด 6 ตัว คือเกือบเต็มวาเลนซ์เชลล์ อะตอมของธาตุทั้งสองรวมตัวกันอยู่ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ดังนั้นอะตอมของออกซิเจนจะดึงอิเล็กตรอนจากอะตอมของธาตุไฮโดรเจน จึงเป็นสาเหตุทำให้โมเลกุลของน้ำมีประจุไฟฟ้ากระจายอยู่อย่างไม่สมมาตร โดยด้านหนึ่งของโมเลกุลจะปรากฏเป็นประจุบวก เมื่อเปรียบเทียบกับอีกด้านหนึ่งซึ่งจะปรากฏเป็นประจุลบ ดังนั้นโมเลกุลของน้ำจึงแสดงไดโพลโมเมนต์ เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าตัดผ่าน (การเคลื่อนที่ของสัญญาณไมโครเวฟผ่านน้ำฝน) ไดโพลจะถูกเหนี่ยวนำ ผลคือจะเกิดการเรียงตัวของประจุต่างขั้วทั้งสองอย่างเป็นระเบียบในทิศทางตรงกันข้ามทำให้เกิดมีไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้น ค่าไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตรเราเรียกว่า "โพลาไรเซชัน" ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \text{โพลาไรเซชัน} &= \frac{\text{จำนวนไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้า}}{\text{ปริมาตร}} \dots\dots\dots(2.3) \\
 &= \frac{N \cdot P}{V} \quad \text{คูลอมบ์/ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

- เมื่อ N : จำนวนไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้า
 P : ไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้า
 V : ปริมาตรของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่าน

เนื่องจากไดโพลภายในโมเลกุลของน้ำจะเปลี่ยนกลับไปมาตามคาบของสนามไฟฟ้า เมื่อความถี่ของสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น เวลาของการเกิดโพลาริเซชันจะมีน้อยลง นั่นคือเมื่อสนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางไดโพลก็ต้องเปลี่ยนทิศตามไปด้วย เมื่อความถี่สูงมากขึ้นการเปลี่ยนทิศของไดโพลจะทำได้ไม่เต็มที่ การเกิดโพลาริเซชันจึงไม่สมบูรณ์ ประจุในโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของไดโพลก็จะมีจำนวนน้อยลง ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ) มีค่าลดลงด้วย

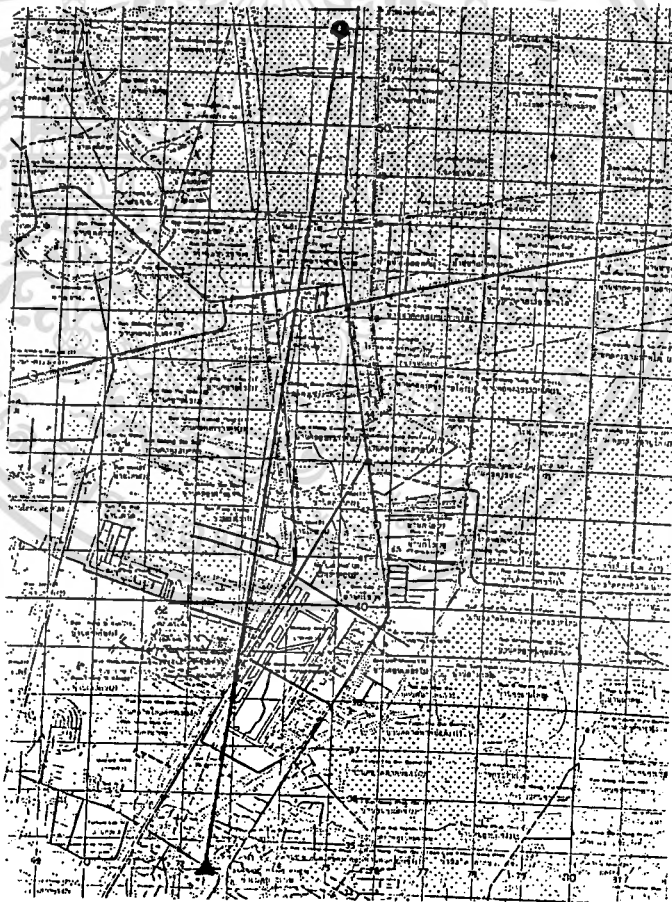
สำหรับการโพลาริเซชันของพวกโมเลกุลเชิงขั้ว (Polar molecule) เราเรียกว่า Molecular polarization หรือไดโพลโพลาริเซชัน ความไม่สมบูรณ์ของไดโพลโพลาริเซชันเกิดขึ้นในย่านความถี่ไมโครเวฟ เพราะไดโพลมีขนาดใหญ่และมีมวลมากเมื่อเปรียบเทียบกับอิเล็กตรอนและอนุภาคไฟฟ้าอื่น ๆ จึงกลับตัวได้ช้า ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการดีโพลาริเซชันของโมเลกุลทำให้เกิดครอส-โพลาริเซชัน ชั้นที่จางสายอากาศของเครื่องรับ

บทที่ 3

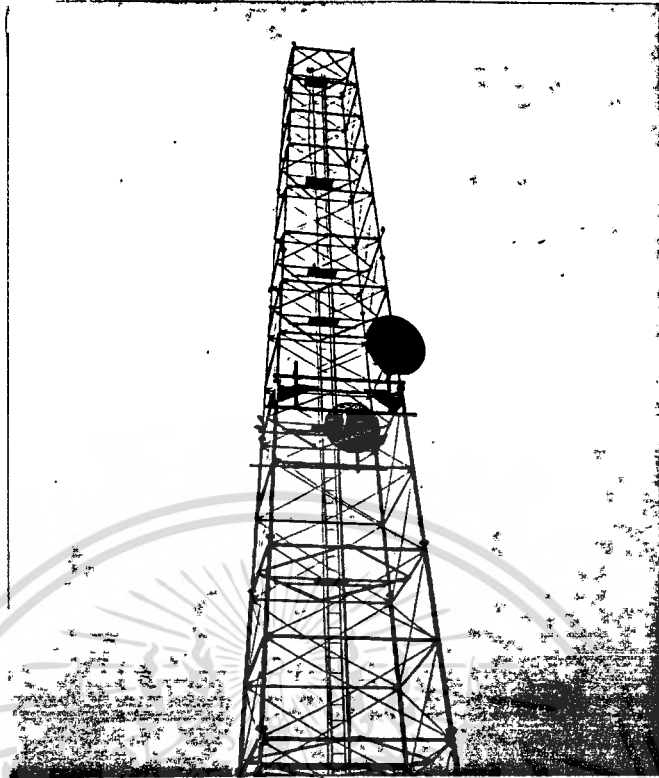
การทดลองวัดสัญญาณลทอนอันเนื่องมาจากฝนในเส้นทาง
ระหว่างชุมสายโทรศัพท์รังสิตกับชุมสายโทรศัพท์หลักสี่

3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

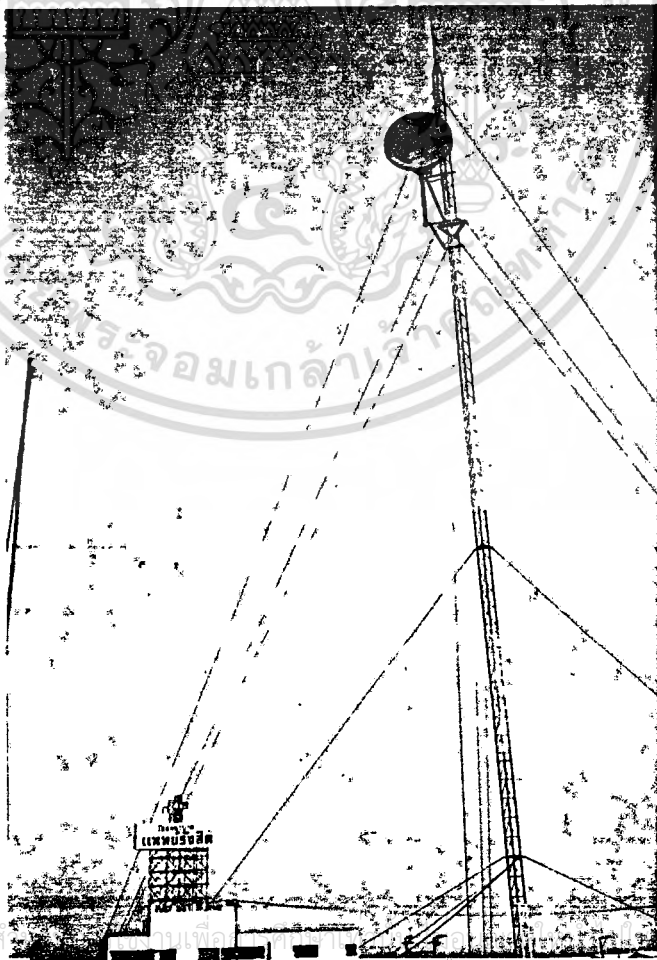
วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ก็คือ การวัดค่าการลทอนของสัญญาณทางค่านรับ เปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนขนาดต่าง ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์กันสำหรับข้อมูลในประเทศไทยเราว่ามีลักษณะเป็นแบบใด การทดลองครั้งนี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดระดับสัญญาณทางรับที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ซึ่งรับสัญญาณที่ส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์รังสิต ความถี่ที่ใช่ส่งคือ 12.821 GHz ระยะทางระหว่างสถานีส่งและรับทางกัน 9.5 กิโลเมตร



รูปที่ 3.1 แสดงเส้นทางระหว่างสถานีส่งและรับที่ใช้ทดลองวัดสัญญาณ



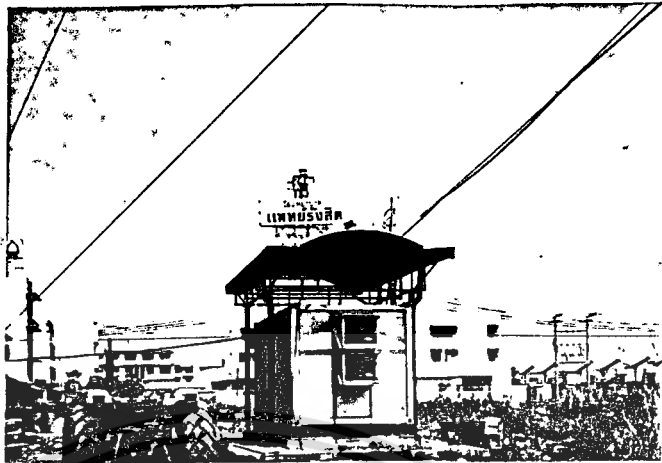
รูปที่ 3.2 แสดงงานสายอากาศ (งานคานหน้า) รับสัญญาณที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายและจะมีความผิดตามกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงงานสายอากาศส่งสัญญาณที่ชุมสายโทรศัพท์รังสิต



รูปที่ 3.4 ชุมสายโทรศัพท์ที่รังสิตซึ่งเป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

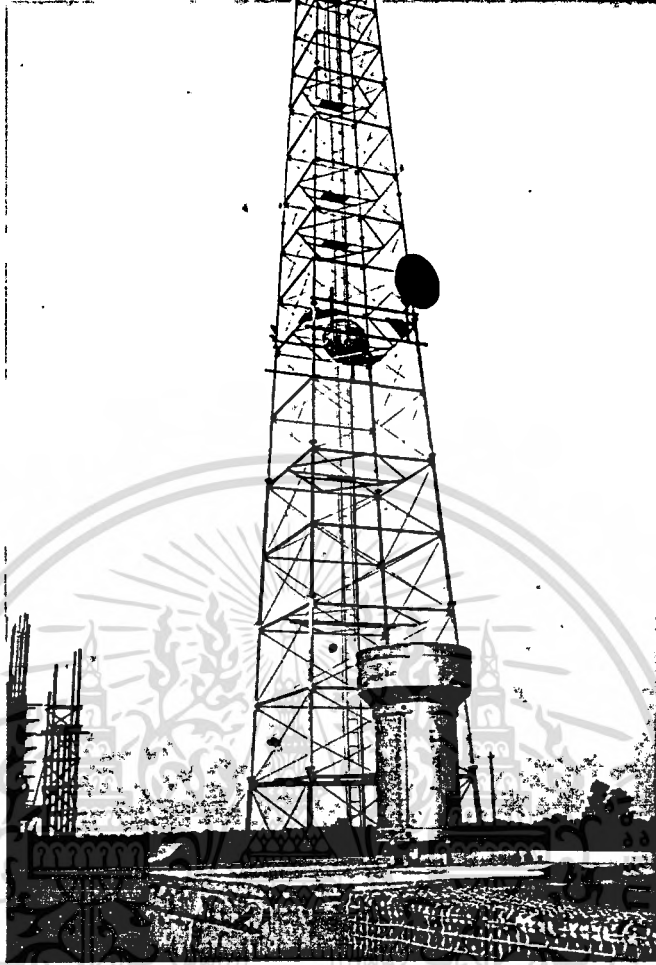
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ในการบันทึกอัตราการตกของฝน รุ่น RS-220, KOSHIN DENKI KOGYO ประกอบด้วยเครื่องรองรับปริมาณน้ำฝน ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังเครื่องบันทึกอัตราการตกของฝน ดังรูปที่ 3.6

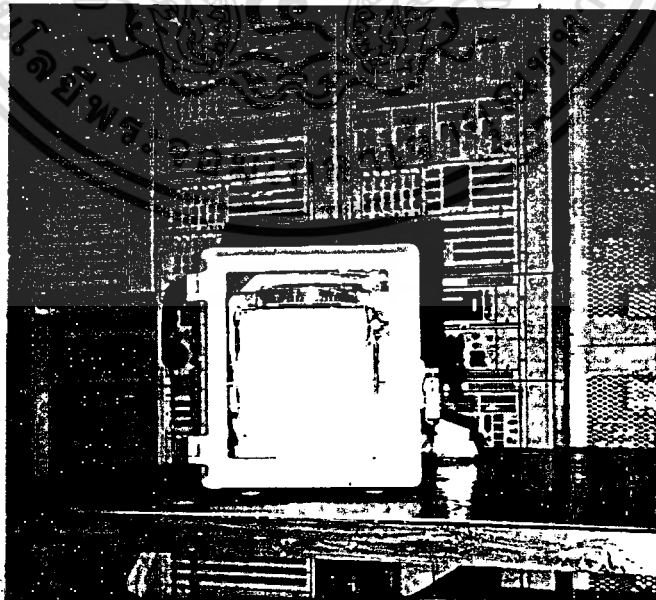
3.2.2 เครื่องบันทึกระดับสัญญาณ : Rectilinear ink-writing oscillograph 8S ของบริษัท SAN-EI INSTRUMENT CO., LTD. แสดงดังรูปที่ 3.7

3.3 การติดตั้งเครื่องมือ

การทดลองนี้เป็นแบบวิจัยข้อมูล ซึ่งเก็บรวบรวมผลการทดลองที่ได้จากชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ช่วงเวลาการทดลอง 6 เดือน โดยได้ติดตั้งเครื่องบันทึกระดับสัญญาณเชื่อมต่อเข้ากับระบบทางคานรับของชุมสายหลักสี่ และติดตั้งเครื่องรองรับปริมาณน้ำฝนไว้ที่คาบฟ้าของชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ซึ่งจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังเครื่องบันทึกอัตราการตกของฝน ซึ่งติดตั้งไว้ที่ชั้นล่างของชุมสายโทรศัพท์หลักสี่

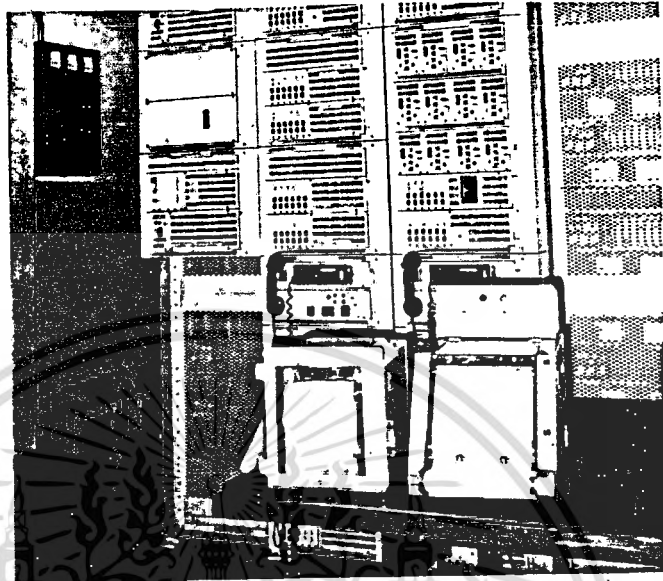


รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องรองรับปริมาณน้ำฝนซึ่งติดตั้งอยู่บนคานาฟ้าของชุมสายโทรศัพท์หลักสี่



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องบันทึกอัตราการตกของฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่องบันทึกอัตราการตกของฝน (เครื่องทางคานซ้าย)
และเครื่องบันทึกระดับสัญญาณ (เครื่องทางคานขวา)

3.4 แนวการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่เราได้มานี้มีตัวแปรอยู่ 2 ตัวแปร เราจะศึกษาสัมพันธ์ภาพหรือความเกี่ยวพันระหว่างตัวแปร 2 ตัว ในชุดข้อมูล ตัวแปรในที่นี้หมายถึงสิ่งที่เป็นตัวแทนค่าสังเกตจากการวัด - ในที่นี้เรากำหนดให้ตัวแปร x คืออัตราการตกของฝนและตัวแปร y คือระดับสัญญาณที่ลดทอนลง และชุดข้อมูลที่ได้นี้มีตั้งแต่ 7-14 คู่ด้วยกัน

เราจะเริ่มพิจารณาได้โดยการใส่กราฟแสดงการกระจายของจุดที่เราเรียกว่า สะเกตเตอร์แกรม (Scattergram หรือ Correlation chart) เพื่อดูแบบแผนของจุดค่าสังเกตในข้อมูลว่าเป็นรูปใด โดยการใส่แกนนอน (แกน x) แทนด้วยอัตราการตกของฝน และแกนตั้ง (แกน y) แทนระดับสัญญาณลดทอนแล้วเขียนจุดบนกราฟตามค่าพิกัด (x, y) ของค่าสังเกตแต่ละคู่

ขั้นต่อไป เราจะใช้ตัวสถิติที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) วัดระดับหรือขนาดของสัมพันธ์ภาพระหว่างกันและกันของตัวแปรอัตราการตกของฝนกับตัวแปรระดับสัญญาณ

ลดทอน ซึ่งเราใช้คำว่า สหสัมพันธ์ โดยการคำนวณจากข้อมูลที่ได้แล้วแทนค่าลงในสูตรของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เนื่องจากตัวแปรทั้งสองที่เราพิจารณาอยู่นี้มีสหสัมพันธ์ต่อกันอยู่มาก เราจึงสามารถใช้ค่าของตัวแปรตัวหนึ่ง (ในที่นี้คืออัตราการตกของฝน) มาพยากรณ์ว่าตัวแปรอีกตัวหนึ่ง (ในที่นี้คือระดับสัญญาณลดทอน) จะมีค่าเท่าไร ซึ่งวิธีการที่เราจะใช้ในการพยากรณ์ (Prediction) นี้เราเรียกว่าการวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) การพยากรณ์นี้จะดีเพียงไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวนั้นมีอยู่มากเพียงใด

ในการวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าสหสัมพันธ์ และการวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรอัตราการตกของฝน และตัวแปรระดับสัญญาณลดทอนมีขั้นตอนดังนี้

ก. การสร้างและการตีความหมายของสเกทเตอร์แกรม

ข. การคำนวณหาค่าและการตีความหมายของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค. การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) และการใช้สมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าของระดับสัญญาณลดทอนซึ่งเป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) เมื่อทราบค่าของอัตราการตกของฝนซึ่งเป็นตัวอิสระ (Independent variable)

3.4.1 การสร้างและการตีความหมายของสเกทเตอร์แกรม

สืบเนื่องจากเราสนใจสหสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตที่ได้มา ซึ่งค่าสังเกตในที่นี้คืออัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณลดทอน เป็นคู่ ๆ วิธีการเบื้องต้นง่าย ๆ ที่เราจะทำได้ในการหาสหสัมพันธ์ก็โดยการใช้สเกทเตอร์แกรม หรือเขียนกราฟแสดงการกระจายของจุดค่าสังเกต โดยให้แกนอนแทนอัตราการตกของฝน และแกนตั้งแทนระดับสัญญาณลดทอนนั่นเอง จากข้อมูลที่ได้ เมื่อนำมาทำสเกทเตอร์แกรมได้ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.9 ถึง 3.17

จากสเกทเตอร์แกรมที่ได้ในรูปที่ 3.9 ถึง 3.17 นี้จะเห็นว่าสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณลดทอนนั้น มีสหสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง (Curvilinear relationship)

3.4.2 การคำนวณหาค่าและการตีความหมายของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เนื่องจากตัวแปรที่เราพิจารณาทั้งสองนั้นมีสหสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง แต่เราสามารถจะแปลงค่าตัวแปรค่าตัวแปรทั้งสองให้อยู่ในรูปสหสัมพันธ์แบบเส้นตรงได้ จากนั้นเราสามารถที่จะวัดว่า

สัมพันธ์ภาพนั้นมีระดับมากน้อยเพียงใด โดยอาศัยตัวสถิติที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ค่าของ r ซึ่งเป็นตัววัดขนาดหรือระดับของสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง $+1$ เท่านั้น โดยที่ r จะมีค่าและมีความหมายดังต่อไปนี้

ก) r มีค่าเป็น $+$ ถ้าตัวแปรทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน คือเมื่อตัวหนึ่งเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งก็เพิ่มขึ้นด้วย เรียกว่าสหสัมพันธ์ทางบวกระหว่างตัวแปร

ข) r มีค่าเป็น $-$ ถ้าตัวแปรทั้งสองตัวเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงข้าม คือเมื่อตัวหนึ่งเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งก็จะลด เรียกว่าสหสัมพันธ์ทางลบระหว่างตัวแปร

ค) r มีค่าเป็น 0 ถ้าตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลงรวมกันเลย เรียกว่ามีค่าสหสัมพันธ์เป็นศูนย์ หรือไม่มีสัมพันธ์ภาพต่อกันเลย

โดยทั่วไปจะไม่มีกำหนดตายตัวว่า r จะต้องมีความเท่าใดจึงจะเรียกว่ามีสหสัมพันธ์สูงหรือสหสัมพันธ์ต่ำ เพราะขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่ใช้ค่าสหสัมพันธ์นั้นว่าต้องการความละเอียดมากเพียงใด แต่เกณฑ์ที่ชุกกันโดยคร่าว ๆ มักจะถือเอา $|r|$ (ค่า r ที่ไม่คิดเครื่องหมาย) ระหว่าง 1.0 ถึง 0.7 เป็นสหสัมพันธ์ระดับสูง ระหว่าง 0.7 ถึง 0.4 เป็นสหสัมพันธ์อย่างต่ำ และระหว่าง 0.4 ถึง 0 เป็นสหสัมพันธ์อย่างต่ำมากหรืออาจไม่มีสหสัมพันธ์เลย

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สูตรในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ

$$r = \frac{n\sum \ln x \ln y - \sum \ln x \sum \ln y}{[n\sum (\ln x)^2 - (\sum \ln x)^2][n\sum (\ln y)^2 - (\sum \ln y)^2]} \dots\dots (3.1)$$

เมื่อ r : คือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

x และ y : คือตัวแปรสองตัวที่เราต้องการวัดสหสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน

n : คือจำนวนคู่ค่าสังเกต

ผลจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นปรากฏว่าค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาในแต่ละวัน แต่มีค่าอยู่ในช่วง 0.840 ถึง 0.995 ซึ่งแสดงว่าอัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณลดทอน

มีสหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง

ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นในการตีความหมายของค่า r คือ

1) ข้อมูลที่เรานำมาวิเคราะห์นั้นได้มาเป็นคู่ ๆ คืออัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณลทอน โดยแต่ละคู่ได้มาโดยวิธีทำตัวอย่างแบบสุ่ม (Random sampling) ซึ่งหมายความว่าแต่ละคู่ค่าสังเกตที่ได้มาเป็นอิสระจากคู่อื่น ๆ

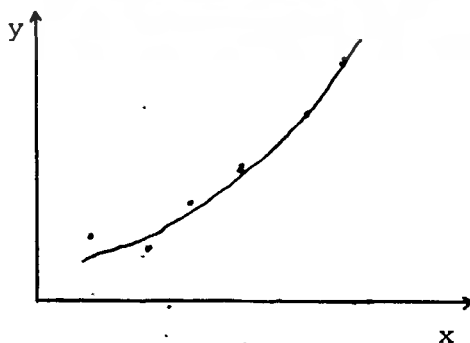
2) ตัวแปรทั้งสองที่จะหาสหสัมพันธ์นี้เป็นตัวแปรที่มีค่าต่อเนื่อง

3) สัมพันธ์ภาพระหว่างตัวแปรทั้งสอง ($\ln x, \ln y$) มีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรง

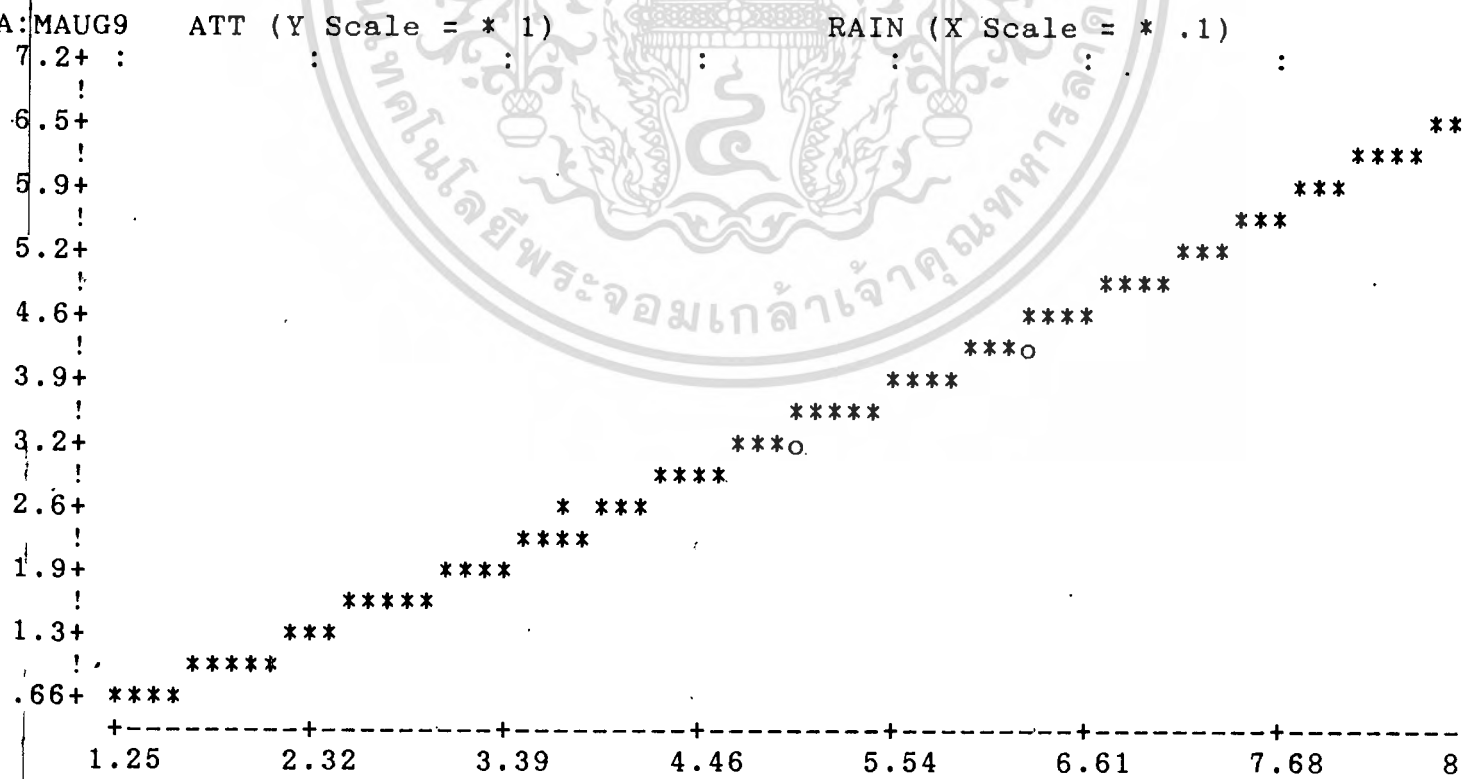
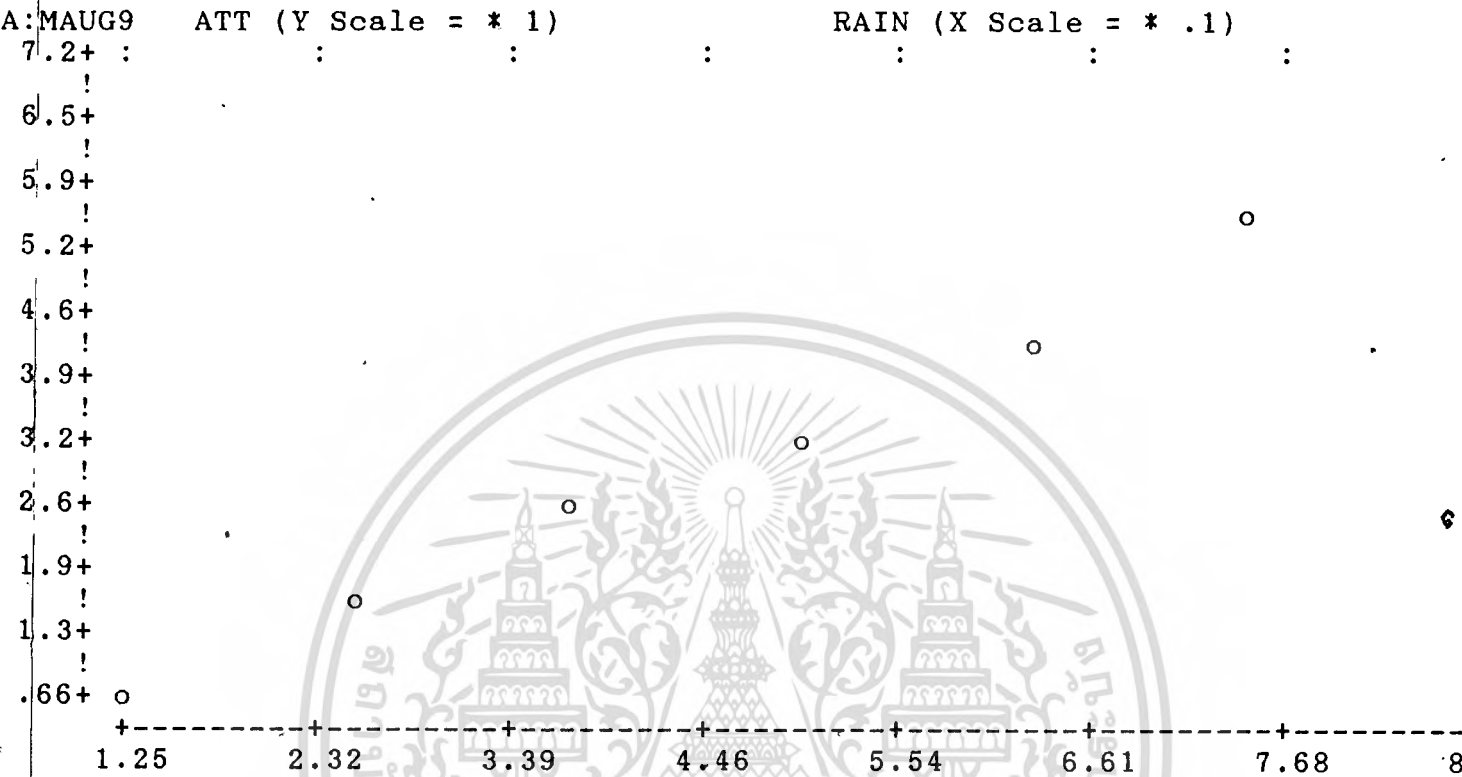
3.4.3 การวิเคราะห์ความถดถอยและการพยากรณ์

ในที่นี้เราต้องการพยากรณ์ค่าระดับสัญญาณลทอนโดยอาศัยค่าที่ทราบของอัตราการตกของฝน วิธีการที่เราจะใช้ในการพยากรณ์นี้เรียกว่า การวิเคราะห์ความถดถอย

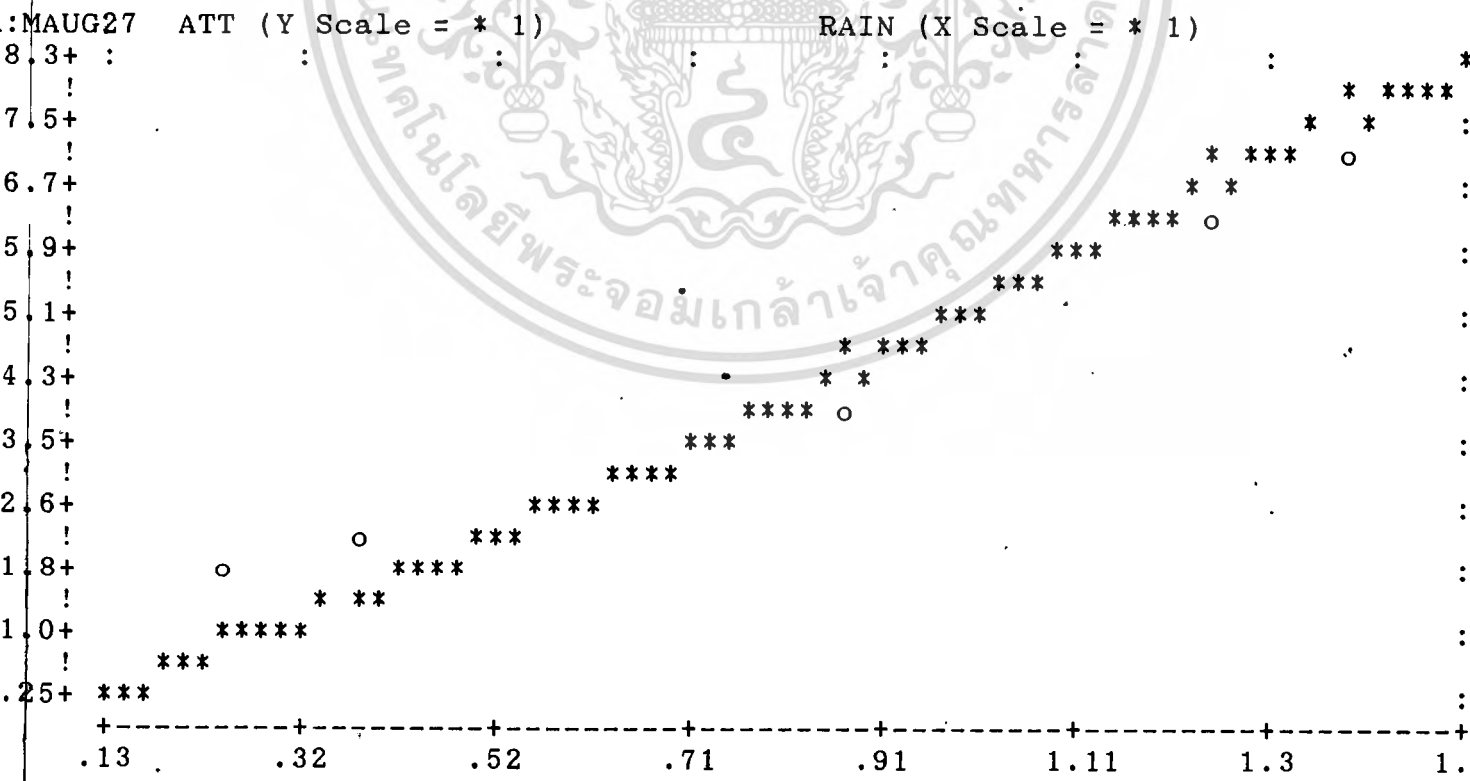
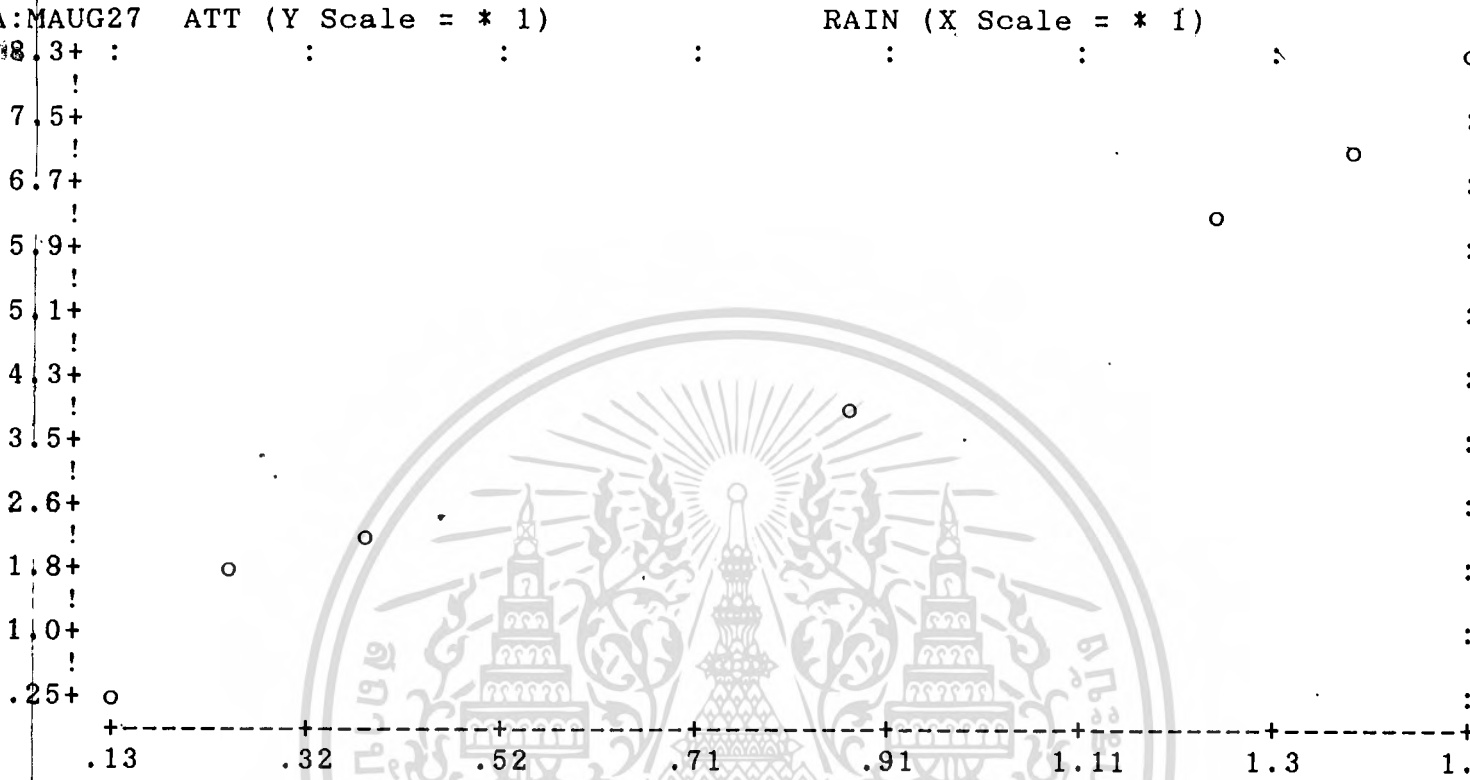
เราจะใช้วิธีการพยากรณ์ค่าระดับสัญญาณลทอน โดยอาศัยการสร้างสมการถดถอย (Regression equation) จากสะแกตเตอร์แกรมที่ได้ดังรูปที่ 3.9 ถึง 3.17 แสดงจุดค่าสังเกตระหว่างอัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณลทอน จะเห็นว่าเราสามารถลากเส้นโค้งแสดงแทนกลุ่มจุดค่าสังเกตที่จะทำให้เส้นโค้งนั้นเข้ากับกลุ่มจุดได้หลายวิธี รวมทั้งการลากเส้นโค้งโดยกะเอาด้วยสายตา แต่วิธีการที่เราจะใช้ที่นี่ทำโดยการใช่วิธีทางคณิตศาสตร์เข้ารวม เพื่อให้ได้เส้นตรงที่เข้ากับกลุ่มจุดค่าสังเกตได้ดีที่สุด วิธีที่เราใช้นี้เรียกว่า วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ซึ่งจะทำให้ผลบวกกำลังสองของระยะทางระหว่างจุดค่าสังเกตกับเส้นตรง (วัดแนวตั้ง) มีค่าน้อยที่สุด โดยวิธีนี้เราจะได้สมการเส้นโค้งที่จะใช้สร้างเส้นโค้งที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้กับข้อมูลที่เราได้ เราเรียกว่าเส้นถดถอย



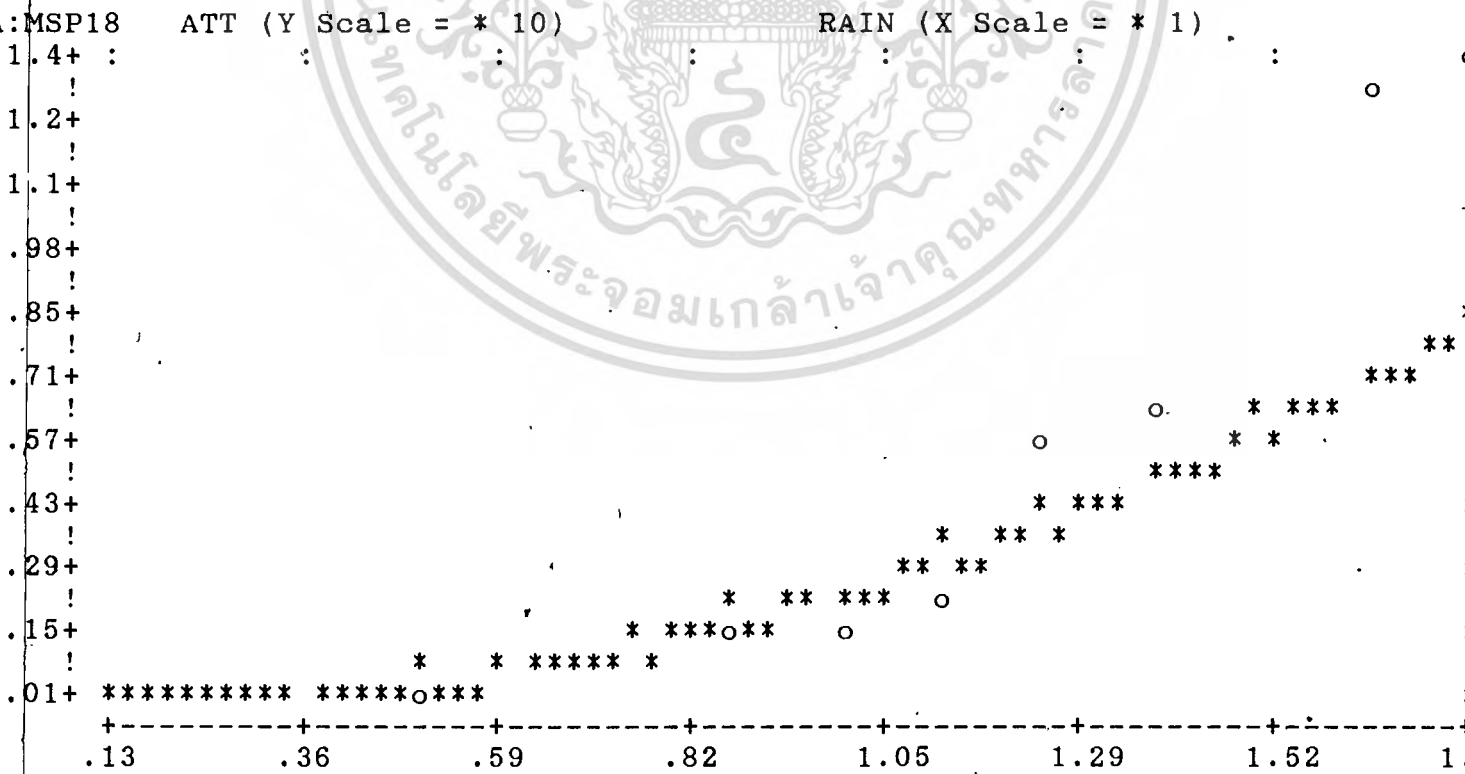
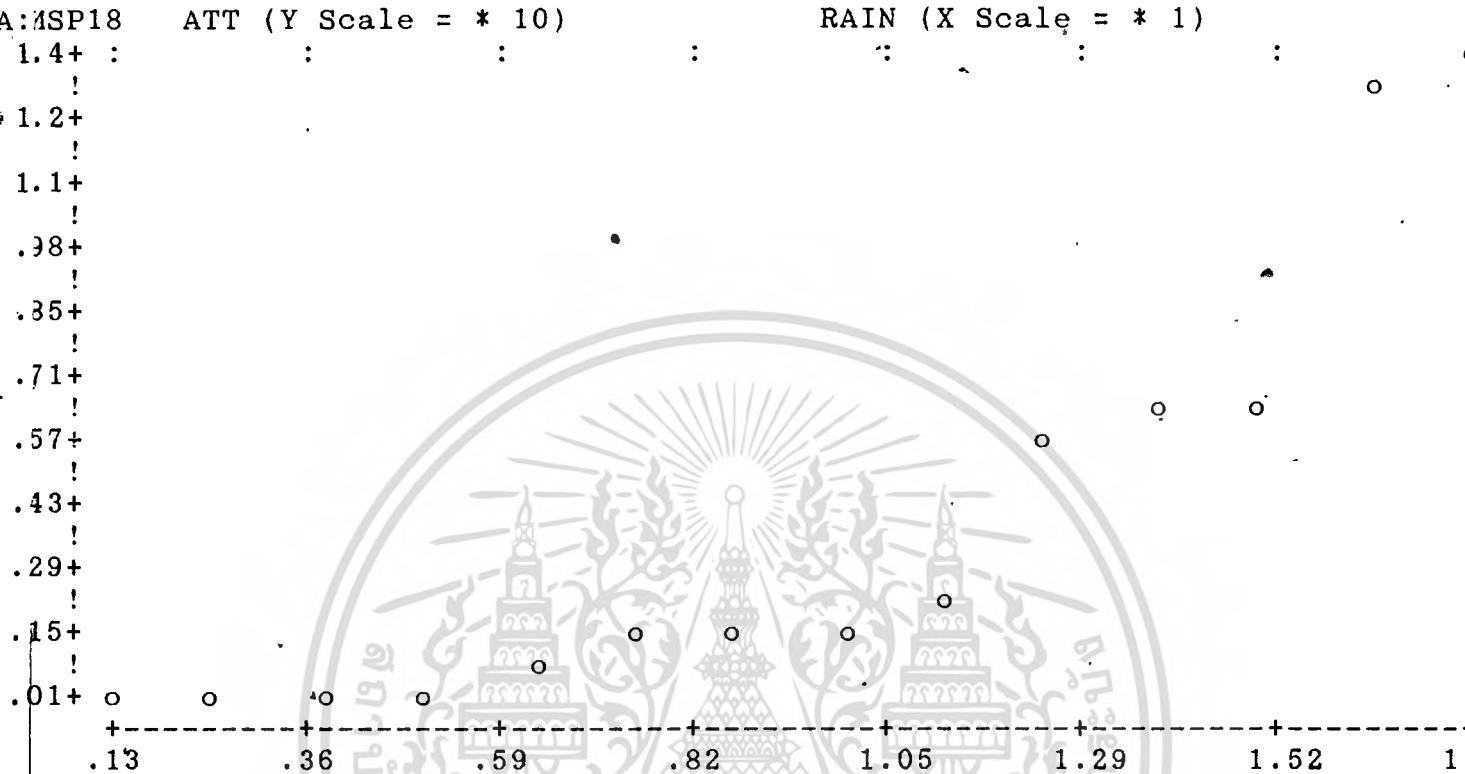
รูปที่ 3.8 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method)



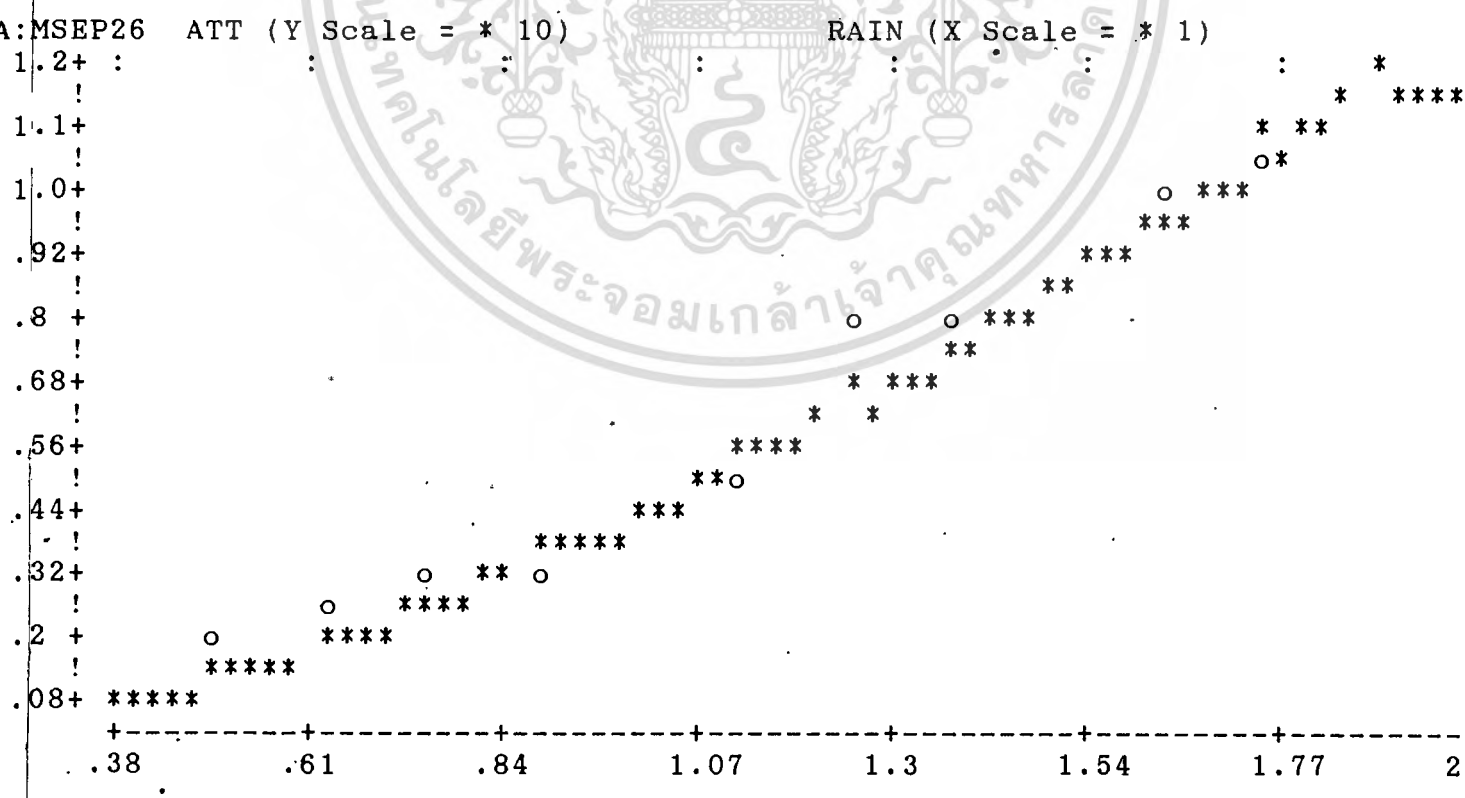
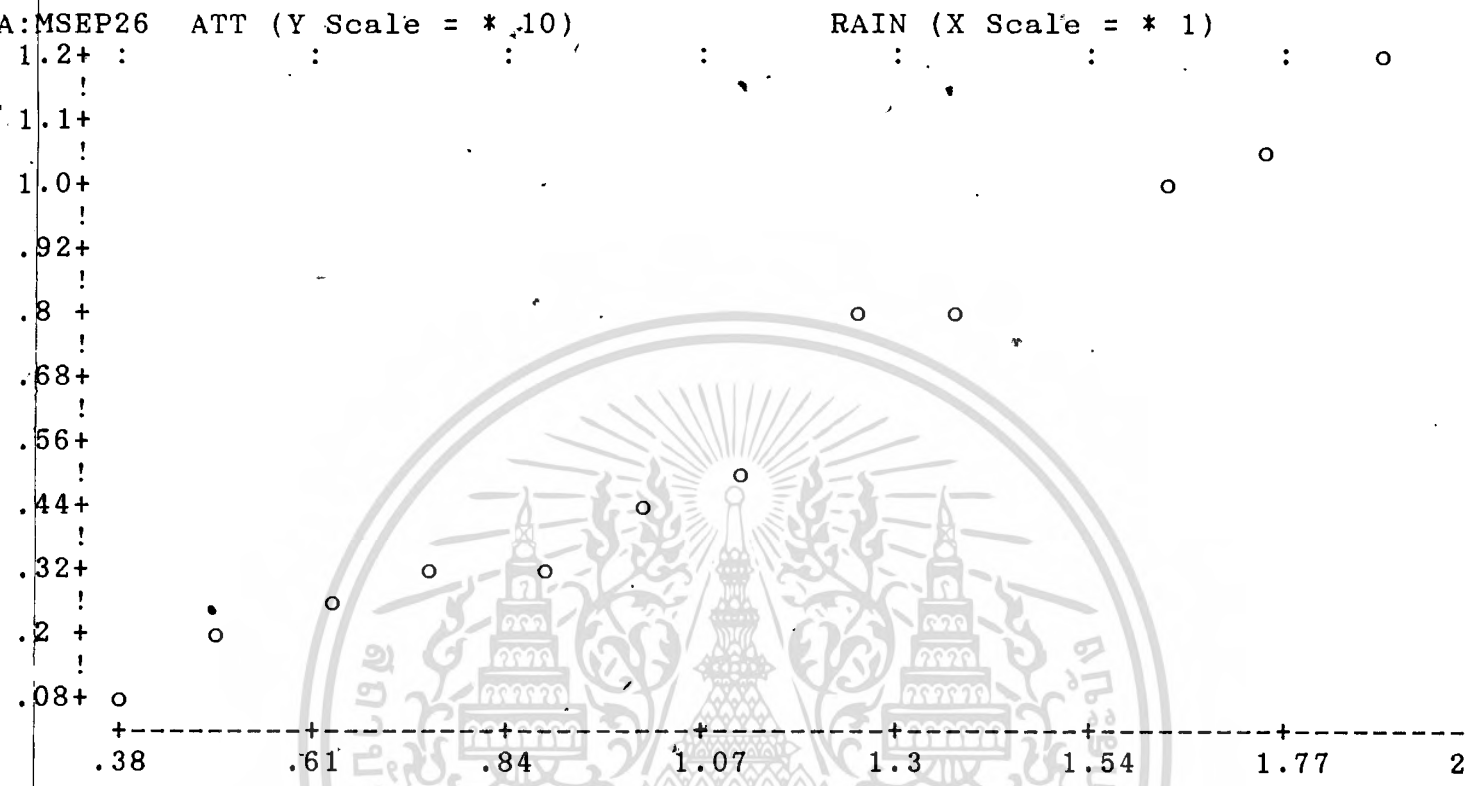
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.9 สะเกตเตอร์แกรมและเส้นดคดอยู่ในวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ 2528 งานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



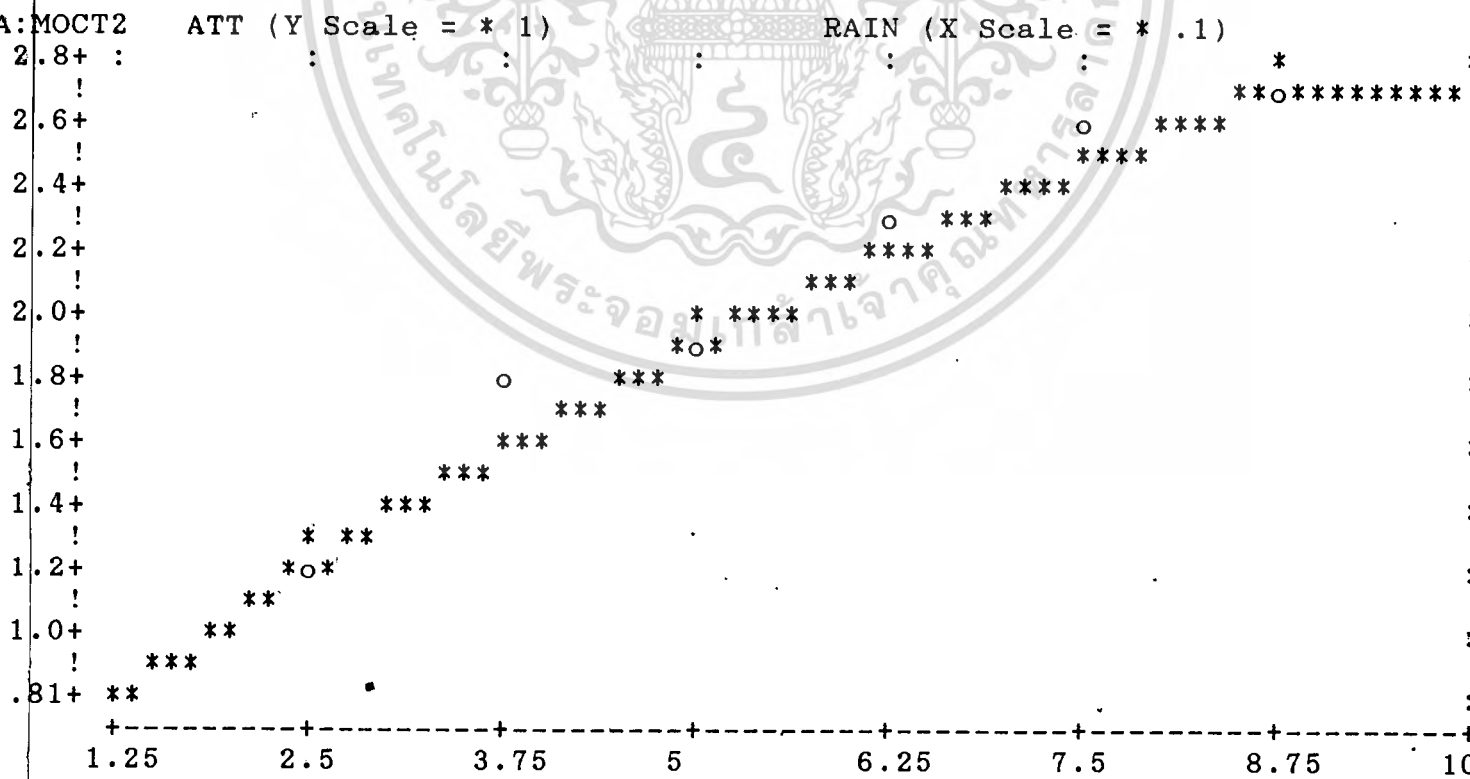
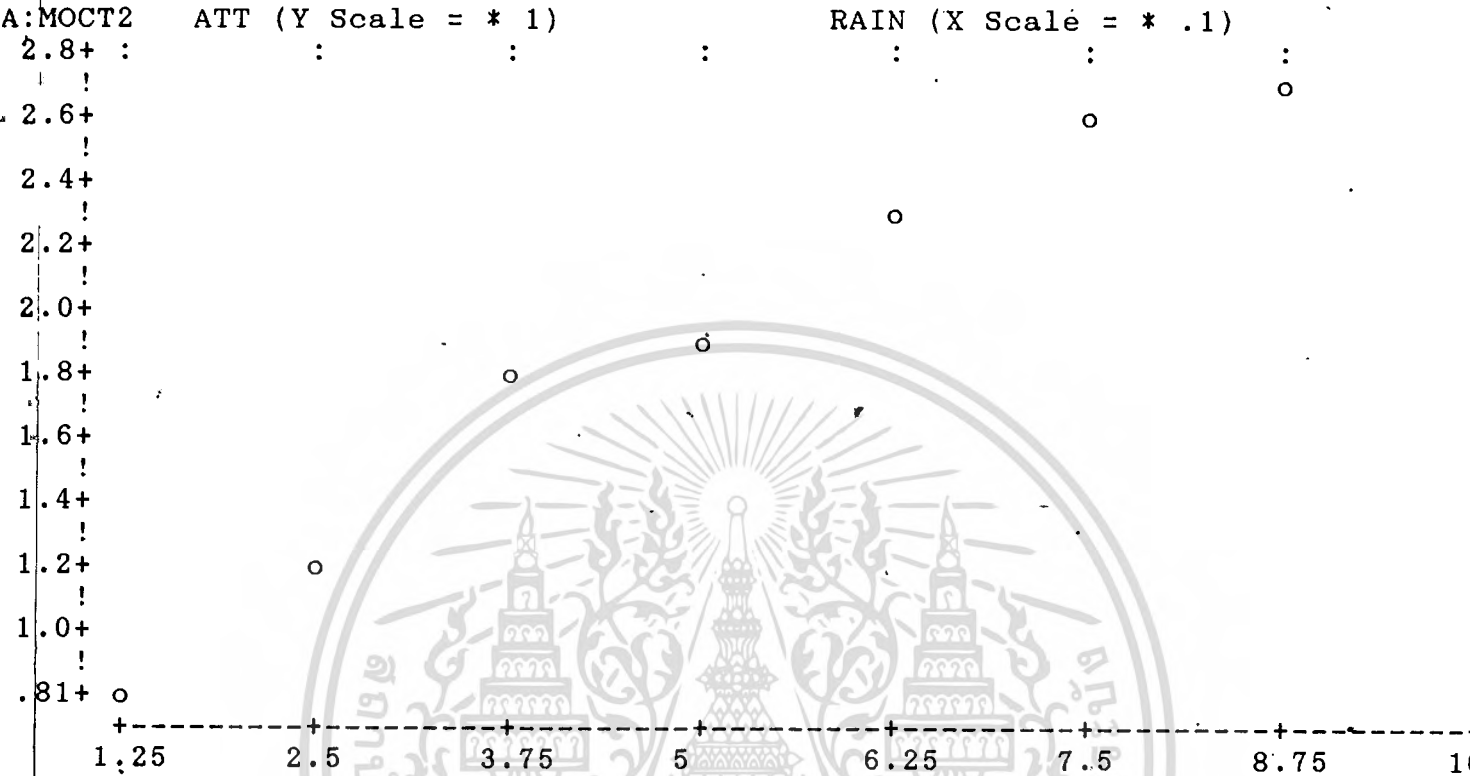
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3.10 สะเกตเตอร์แกรมและเส้นดัดอยู่ในวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2528
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.11 สะเกตเตอร์แกรมและเส้นถดถอยในวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2528
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



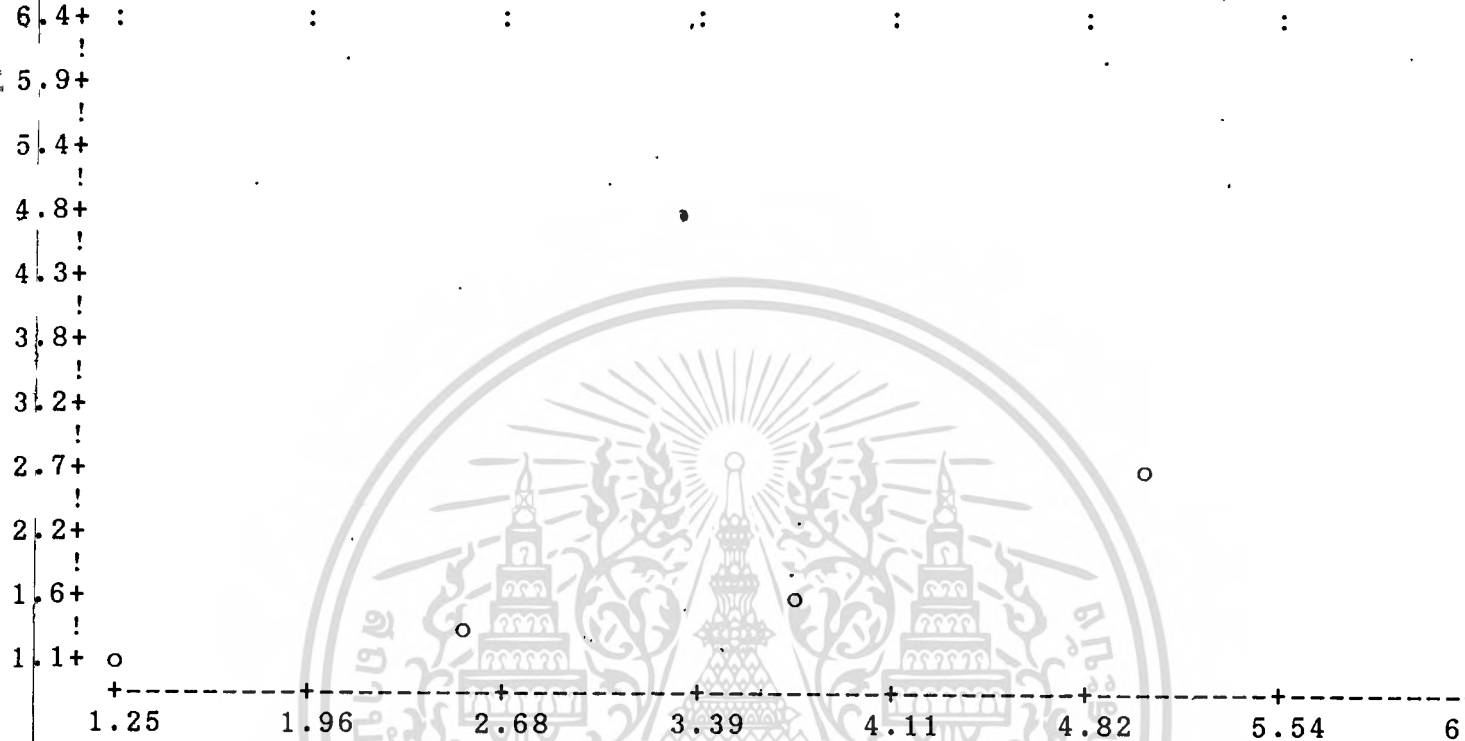
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.12 สะเกตเตอร์แกรมและเส้นดกดอยู่ในวันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2528 งานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 สะเก็ดเทอร์แกรมและเส้นตกถอยในวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2528 ด้านการคำ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำ
 ไปทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
 9675

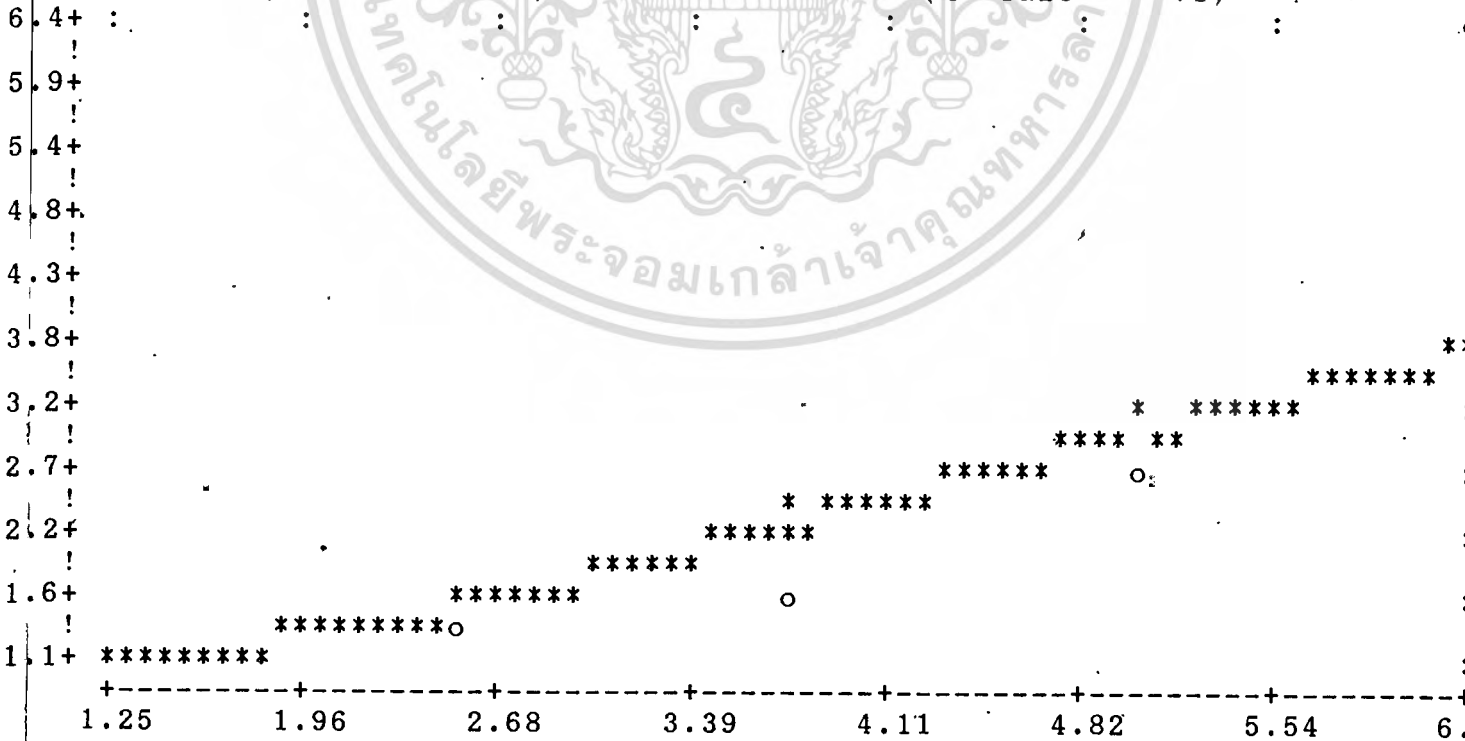
A:MOCT10 ATT (Y Scale = * 1)

RAIN (X Scale = * .1)



A:MOCT10 ATT (Y Scale = * 1)

RAIN (X Scale = * .1)

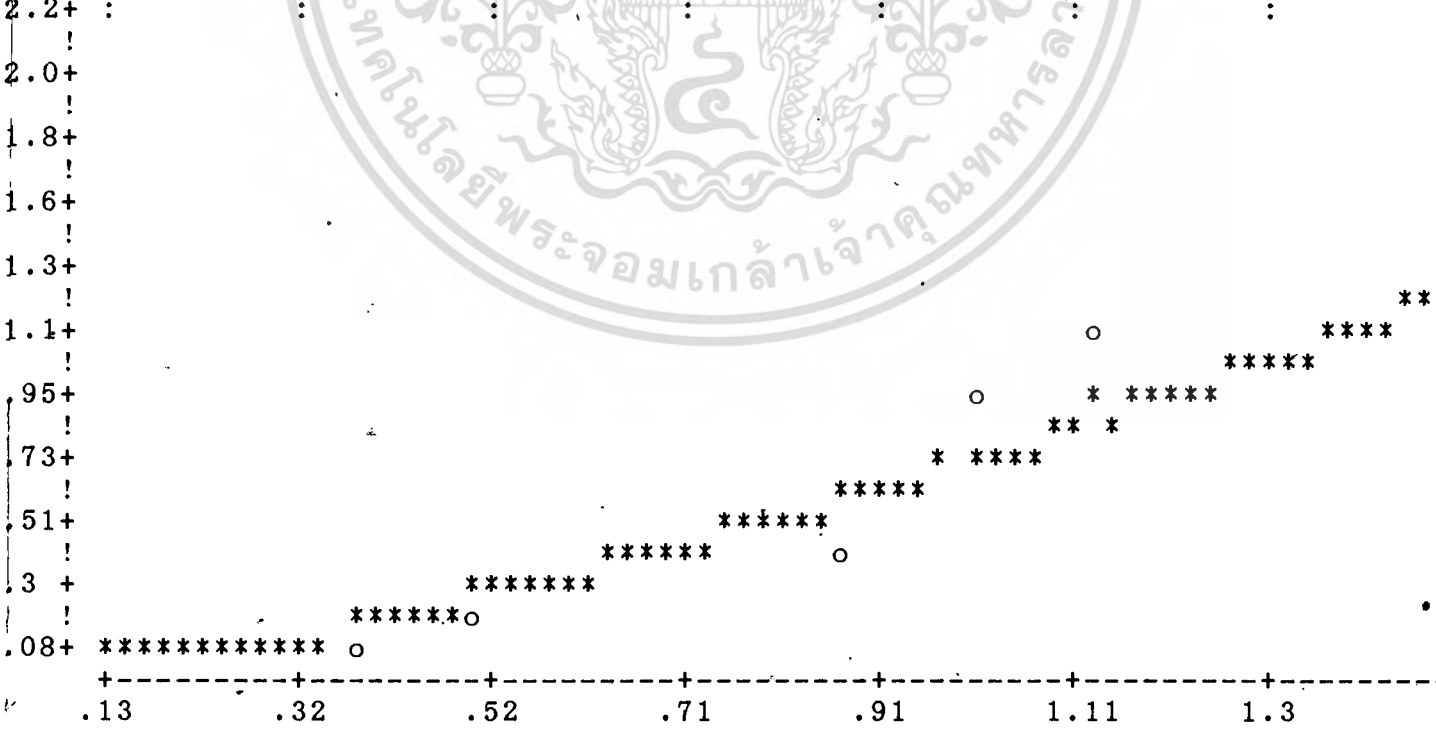


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.14 สะเก็ดเตอร์แกมและเส้นดกถอยในวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ 2528
 ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A:MOCT12 ATT (Y Scale = * 10) RAIN (X Scale = * 1)

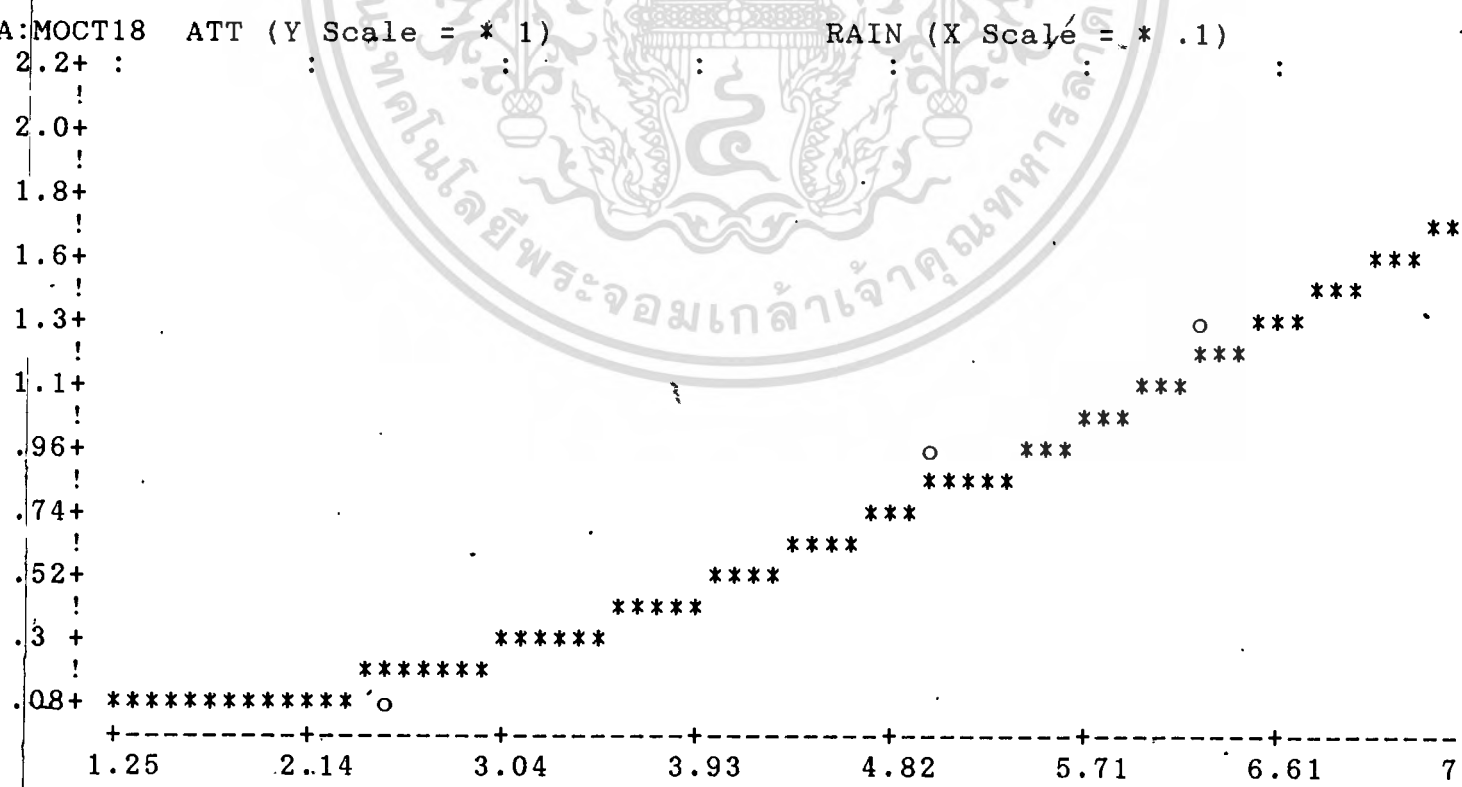
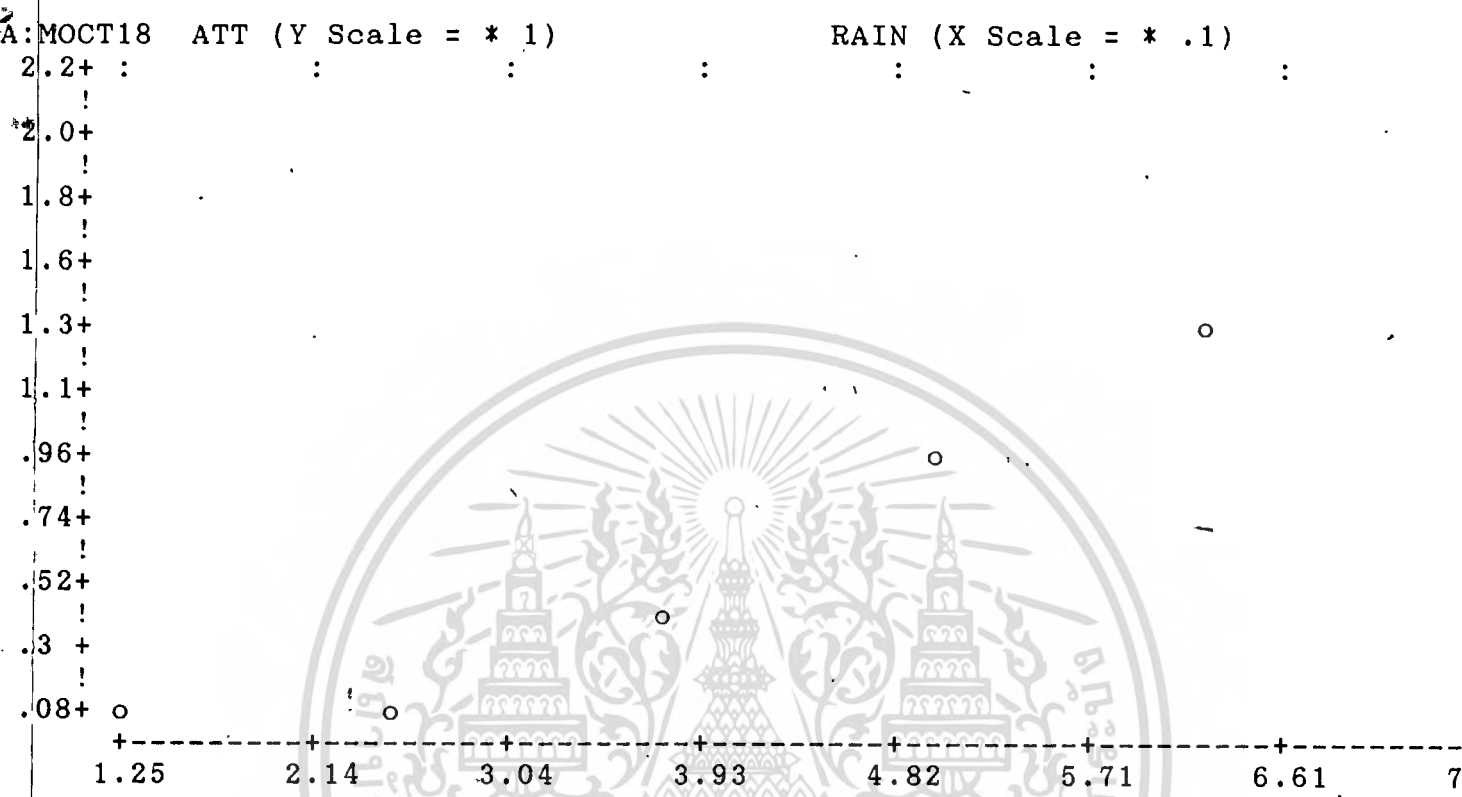


A:MOCT12 ATT (Y Scale = * 10) RAIN (X Scale = * 1)

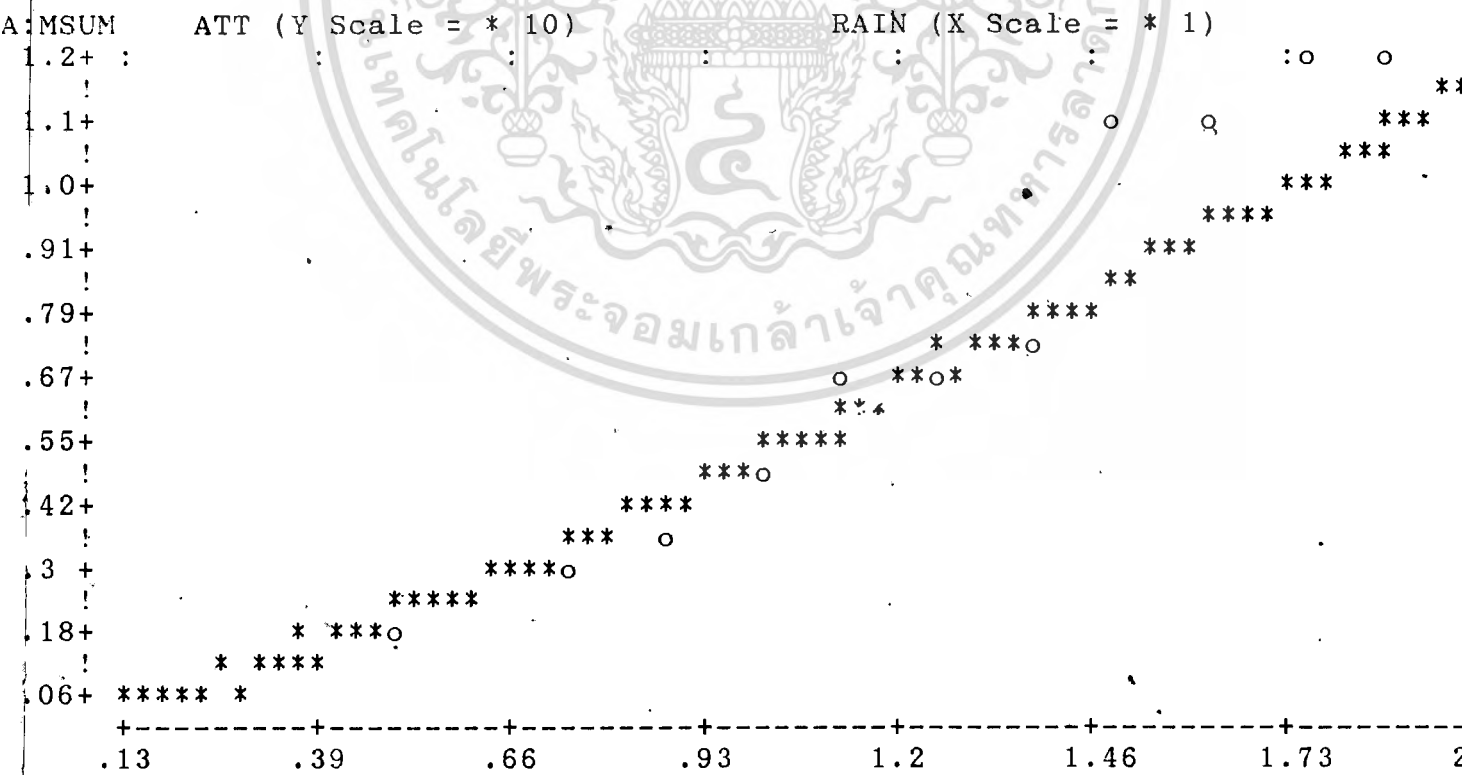
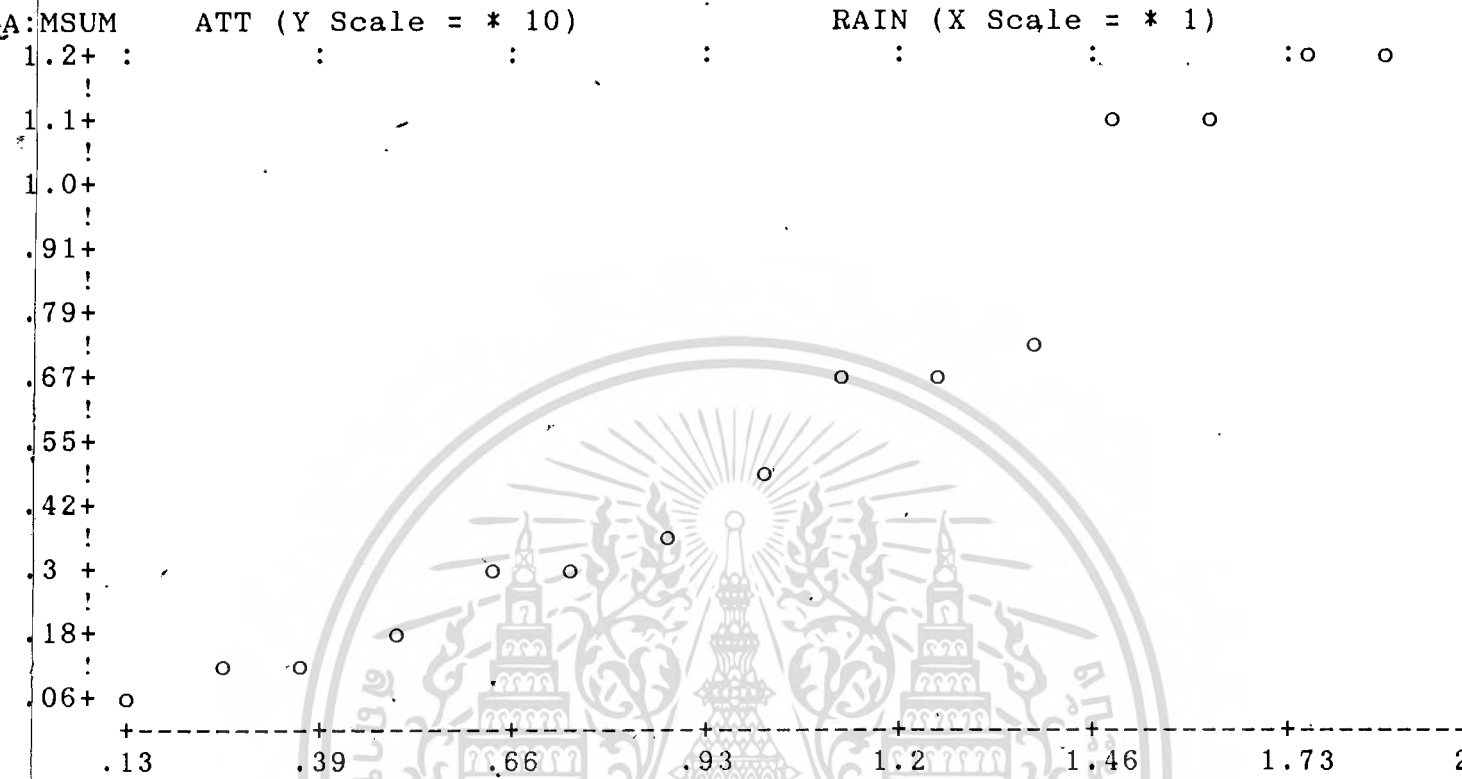


รูปที่ 3.15 สะเกตเตอร์แกรมและเส้นดกอดในวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบใจในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.16 สะเกตเตอร์แกรมและเส้นดคดอยู่ในวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2528 จำนวนการคำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 สะเก็ดเตอร์แกรมและเส้นถดถอยในช่วงวันที่ 9 ส.ค- 18 ต.ค 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเขียนขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนี้เราจะได้สูตรสำหรับคำนวณหาค่า A และ B ซึ่งเราเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ซึ่งผลของการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมกับกลุ่มข้อมูลนี้ (ดูจากสแกตเตอร์แกรม) มีลักษณะอยู่ในรูปของการยกกำลัง ซึ่งมีสมการถดถอยเป็น $y = Ax^B$ ซึ่งเราได้อาของ A, B ดังนี้

$$B = \frac{n\sum(\ln x \cdot \ln y) - \sum \ln x \cdot \sum \ln y}{n \cdot \sum(\ln x)^2 - (\sum \ln x)^2} \dots\dots(3.2)$$

$$A = e^{\frac{\sum \ln y - B \cdot \sum \ln x}{n}} \dots\dots(3.3)$$

วิธียากรณการระดับสัญญาณทอนเมื่อกำหนดค่าอัตราการตกของฝน นั้นเรากำหนดให้แกนตั้งในสแกตเตอร์แกรมเป็นตัวแปรตาม (คือระดับสัญญาณทอน) และแกนนอนเป็นตัวแปรอิสระ (คืออัตราการตกของฝน) เมื่อเราได้สมการถดถอยแล้ว ถ้าเราต้องการพยากรณ์การระดับสัญญาณทอนว่ามีค่าเท่าไร ก็เพียงแต่แทนค่าอัตราการตกของฝนลงไป ในสมการถดถอย ก็จะได้ค่าพยากรณ์ของสัญญาณทอนผลของสมการถดถอยและค่าสหสัมพันธ์ที่เราวิเคราะห์ได้คือ

$$Y = 5.344x^{1.23}, \quad r = 0.9843 \dots\dots(3.4)$$

เนื่องจากค่าพยากรณ์นั้นไม่ตรงกับค่าสังเกตเสมอไป เราจะวัดได้ว่าเส้นถดถอยและสมการถดถอยพยากรณ์การระดับสัญญาณทอนได้ก็เพียงไร โดยการวัดความเปลี่ยนแปลงจากค่าสังเกตของค่าพยากรณ์เมื่ออัตราการตกของฝนมีค่าต่าง ๆ กัน เราเรียกสถิตินี้ว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเกี่ยวกับการพยากรณ์ ค่าของระดับสัญญาณทอนโดยใช้อัตราการตกของฝน สูตรในการคำนวณเป็นดังนี้

$$s_{xy} = s_y (1 - r^2) \dots\dots(3.5)$$

เมื่อ s_{xy} คือความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ
 s_y คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $\ln y$

$$s_y = \frac{\Sigma(\ell ny)^2 - (\Sigma \ell ny)^2/n}{n-1} \dots\dots\dots(3.6)$$

r : สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลคทอน

จากสมการที่ (4.5) จะเห็นว่าถ้าอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลคทอนมีสหสัมพันธ์แบบสมบูรณ์ต่อกัน (r = -1 หรือ +1) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะเป็นศูนย์ ดังนั้นถ้าตัวแปรทั้งสองนี้มีสหสัมพันธ์ต่อกันมากขึ้นเท่าไร ก็จะได้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานน้อยลงเท่านั้น ซึ่งเป็นเครื่องแสดงให้เห็นว่าค่าประมาณของระดับสัญญาณลคทอนหรือค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการถดถอยจะยิ่งดีขึ้นถ้าตัวแปรทั้งสองมีสหสัมพันธ์สูงขึ้น ผลของการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองและจากการพยากรณ์ แสดงดังตารางที่ 3.1 ถึงตารางที่ 3.9



ตารางที่ 3.1 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 9 ส.ค 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:AUG9
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 7.939132
SLOPE = 1.16755
R-SQUARE = .9914725
PEARSON'S R = .9957272

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = 8.122903E-02
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 581.3385 WITH 1, 5 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = 4.842404E-02

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 5 D.F.
1.168-T(.048) < B < 1.168+T(.048)

SUMMARY STATISTICS			RAIN (IND.), ATT (DEP.)		
SUMX =	-6.03093	SUMY =	7.461215	N =	7
SUMX^2 =	2.813848	SUMY^2 =	3.868753	SUMXY =	3.285308

ANOVA TABLE			
	SS	D.F.	MS
REGRESSION	3.835762	1	3.835762
ERROR	.0329907	5	6.598139E-03
TOTAL	3.868753	6	*****

YHAT VALUES	RESIDUALS	IND= RAIN	DEP= ATT
.700	-.040		
1.573	.207		
2.526	.074		
3.534	-.224		
4.586	-.316		
5.674	-.094		
6.793	.427		
SUM OF RESIDUALS =		.0325	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 27 ส.ค 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:MAUG27
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 5.371773
SLOPE = 1.193482
R-SQUARE = .9039194
PEARSON'S R = .9507468

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .4138383
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 47.03966 WITH 1, 5 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = .1740139

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 5 D.F.
 $1.193 - T(.174) < B < 1.193 + T(.174)$

SUMMARY STATISTICS RAIN (IND.), ATT (DEP.)

SUMX = -3.633034 SUMY = 7.432144 N = 7
SUMX^2 = 5.655792 SUMY^2 = 8.912421 SUMXY = 6.750088

ANOVA TABLE

	SS	D.F.	MS
REGRESSION	8.056111	1	8.056111
ERROR	.8563109	5	.1712622
TOTAL	8.912421	6	*****

YHAT VALUES	RESIDUALS	IND= RAIN	DEP= ATT
.449	-.199		
1.027	.853		
1.666	.664		
4.580	-.540		
7.011	-.611		
7.856	-.736		
8.715	-.335		
SUM OF RESIDUALS = -.9046			

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 18 ก.ย 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:SEP18
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 2.521392
SLOPE = 2.160009.
R-SQUARE = .9235484
PEARSON'S R = .9610142

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .5007255
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 144.9621 WITH 1, 12 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = .1794024

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 12 D.F.
 $2.160 - T(.179) < B < 2.160 + T(.179)$

SUMMARY STATISTICS				RAIN (IND.), ATT (DEP.)	
SUMX = -3.92096	SUMY = 4.478049	N = 14			
SUMX ² = 7.790093	SUMY ² = 39.35449	SUMXY = 16.82667			

ANOVA TABLE			
	SS	D.F.	MS
REGRESSION	36.34577	1	36.34577
ERROR	3.008713	12	.2507261
TOTAL	39.35449	13	*****

YHAT VALUES	RESIDUALS	IND= RAIN	DEP= ATT
.028	.052		
.126	-.036		
.303	-.103		
.564	-.244		
.914	-.254		
1.354	-.044		
1.890	-.490		
2.521	-.721		
3.252	-1.172		
4.083	1.747		
5.016	1.014		
6.053	.337		
7.196	6.184		
8.445	5.585		

SUM OF RESIDUALS = 11.8539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 26 ก.ย 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:SEP26
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 4.557502
SLOPE = 1.62757
R-SQUARE = .9811944
PEARSON'S R = .9905526

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .1241079
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 573.9332 WITH 1, 11 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = 6.793739E-02

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 11 D.F.
1.628-T(.068) < B < 1.628+T(.068)

SUMMARY STATISTICS		RAIN (IND.), ATT (DEP.)	
SUMX = .4610659	SUMY = 20.46849	N = 13	
SUMX^2 = 3.33719	SUMY^2 = 9.009588	SUMXY = 5.431508	

ANOVA TABLE			
	SS	D.F.	MS
REGRESSION	8.840158	1	8.840158
ERROR	.1694307	11	1.540279E-02
TOTAL	9.009588	12	*****

YHAT VALUES	RESIDUALS	IND= RAIN	DEP= ATT
.924	-.154		
1.475	.255		
2.121	.319		
2.854	.126		
3.667	-.647		
4.558	-.288		
5.521	-.241		
6.553	1.257		
7.653	.537		
10.044	.236		
11.332	-.302		
12.678	-.038		
14.082	-1.262		
SUM OF RESIDUALS = -.2002			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 2 ต.ค 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:OCT2
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 3.038492
SLOPE = .627914
R-SQUARE = .9784252
PEARSON'S R = .9891538

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = 7.084045E-02
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 272.1034 WITH 1, 6 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = 3.806564E-02

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 6 D.F.
.628-T(.038) < B < .628+T(.038)

SUMMARY STATISTICS RAIN (IND.), ATT (DEP.)

SUMX = -6.03093 SUMY = 5.103986 N = 8
SUMX^2 = 3.46335 SUMY^2 = 1.395626 SUMXY = 2.174686

A N O V A T A B L E
SS D.F.

REGRESSION 1.365515 1 1.365515
ERROR 3.011024E-02 6 5.018374E-03
TOTAL 1.395626 7 *****

YHAT VALUES RESIDUALS IND= RAIN DEP= ATT
.823 -.013
1.272 -.092
1.641 .219
1.966 -.026
2.262 .088
2.536 .084
2.794 -.044
3.039 -.219
SUM OF RESIDUALS = -.0043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 10 ต.ค 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:OCT10
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 6.077892
SLOPE = .9352492
R-SQUARE = .7069602
PEARSON'S R = .8408092

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .4418599
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 7.237518 WITH 1, 3 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = .3476423

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 3 D.F.
.935-T(.348) < B < .935+T(.348)

SUMMARY STATISTICS RAIN (IND.), ATT (DEP.)

SUMX = -5.609716 SUMY = 3.776807 N = 5
SUMX^2 = 1.615489 SUMY^2 = 1.998774 SUMXY = 1.510885

A N O V A T A B L E
SS D.F.

REGRESSION 1.413054 1 1.413054
ERROR .5857205 3 .1952401
TOTAL 1.998774 4 *****

YHAT VALUES RESIDUALS IND= RAIN DEP= ATT
.869 .271
1.662 -.292
2.429 -.879
3.178 -.398
3.916 2.574
SUM OF RESIDUALS = 1.2754

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 12 ต.ค. 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:OCT12
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 7.691742
SLOPE = 1.399198
R-SQUARE = .8635213
PEARSON'S R = .9292584

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .5110382
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 37.96292 WITH 1, 6 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = .2270907

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 6 D.F.
 $1.399 - T(.227) < B < 1.399 + T(.227)$

SUMMARY STATISTICS RAIN (IND.), ATT (DEP.)

SUMX = -4.749996 SUMY = 9.674994 N = 8

SUMX^2 = 5.064166 SUMY^2 = 11.48136 SUMXY = 7.085771

ANOVA TABLE			
	SS	D.F.	MS
REGRESSION	9.914398	1	9.914398
ERROR	1.56696	6	.2611601
TOTAL	11.48136	7	*****

YHAT VALUES	RESIDUALS	IND= RAIN	DEP= ATT
.419	.381		
1.106	-.146		
1.950	-.710		
2.916	-1.286		
6.381	-2.341		
7.692	1.598		
9.070	3.060		
13.565	8.955		
SUM OF RESIDUALS = 9.5118			

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 18 ต.ค 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:OCT18
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 3.243795
SLOPE = 1.986255
R-SQUARE = .9267618
PEARSON'S R = .9626847

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .4136709
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 50.61625 WITH 1, 4 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = .2791837

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 4 D.F.
 $1.986 - T(.279) < B < 1.986 + T(.279)$

SUMMARY STATISTICS RAIN (IND.), ATT (DEP.)

SUMX = -5.897398 SUMY = -4.653274 N = 6
SUMX^2 = 2.195482 SUMY^2 = 9.346129 SUMXY = 4.360787

A N O V A T A B L E
SS D.F. MS

REGRESSION 8.661634 1 8.661634
ERROR .684494 4 .1711235
TOTAL 9.346129 5 *****

YHAT VALUES RESIDUALS IND= RAIN DEP= ATT
.052 .028
.207 -.097
.462 -.082
.819 .111
1.275 .075
1.832 .438
SUM OF RESIDUALS = .473

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณจากข้อมูลที่
ได้ในวันที่ 9 ส.ค-18 ต.ค 2528

POWER MODEL FOR FILE - B:MSUM
VARIABLES = RAIN (IND.) AND ATT (DEP.)

INTERCEPT = 5.344868
SLOPE = 1.235487
R-SQUARE = .9689912
PEARSON'S R = .9843736

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = .1805371
SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 437.4859 WITH 1, 14 D.F.
STANDARD ERROR OF SLOPE = 5.906853E-02

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 14 D.F.
1.235-T(.059) < B < 1.235+T(.059)

SUMMARY STATISTICS		RAIN (IND.), ATT (DEP.)	
SUMX = -2.599205	SUMY = 23.60691	N = 16	
SUMX^2 = .9.341591	SUMY^2 = 14.71558	SUMXY = 11.54141	

ANOVA TABLE			
	SS	D.F.	MS
REGRESSION	14.25927	1	14.25927
ERROR	.4563113	14	3.259366E-02
TOTAL	14.71558	15	*****

YHAT VALUES	RESIDUALS	IND= RAIN	DEP= ATT
.409	.141		
.964	.086		
1.591	-.221		
2.270	-.470		
2.991	-.061		
3.746	-.796		
4.532	-.782		
5.345	-.795		
6.182	.308		
7.042	-.462		
7.922	-.812		
8.821	2.759		
9.737	2.093		
10.671	1.959		
11.621	1.019		
12.585	.235		

SUM OF RESIDUALS = 4.2024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการพยากรณ์การลดทอนและแบบจำลองพยากรณ์การแจกแจงอัตราการตกของฝน

ตามปกติการประมาณการลดทอนของสัญญาณคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากฝน จะได้มาจากอัตรา
การตกของฝนที่วัดได้จากสภาพทางภูมิศาสตร์ที่พิจารณาอยู่ วิธีการส่วนมากที่ได้เสนอขึ้นเพื่อใช้พยากรณ์
การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน ก็คือใช้การแจกแจงสะสมของอัตราการตกของฝนที่วัดได้ที่จุด ๆ หนึ่ง โดย
การเฉลี่ยจากเส้นทางที่มีฝนตกอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งได้มาจากการคูณจุดที่มีอัตราการตกของฝนสำหรับค่า
เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เราสั่งใจ โดยใช้ของประกอบการลดลง (Reduction factor) ส่วนอีก
วิธีหนึ่งคือใช้ค่า Effective path length ซึ่งได้มาจากการคูณความยาวของเส้นทางจริง ๆ
โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดลง (Reduction coefficient) Effective path length นี้คือ
ความยาวที่สมมติขึ้นของเส้นทางเส้นหนึ่ง ซึ่งเกิดการลดทอนขึ้นในช่วงเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่กำหนดให้
ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากจุดหรือตำแหน่งที่มีการตกของฝน ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเปอร์เซ็นต์ของเวลาค่าเดียว
กันนี้ และให้นำเอาวิธีการพยากรณ์โดยใช้ Effective path length และวิธีการพยากรณ์ของ CCIR
มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเรา เพื่อจะหาแบบจำลองที่เหมาะสม

4.1 วิธีการพยากรณ์การลดทอนสัญญาณโดยใช้ Effective path length

ค่าของการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟเนื่องจากฝนตลอดเส้นทางคือ

$$A = kR^\alpha L_{\text{eff}} \dots\dots(4.1)$$

$$L_{\text{eff}} = \gamma \ell \dots\dots(4.2)$$

- A : ค่าการลดทอนของสัญญาณ (เดซิเบล)
- L_{eff} : Effective path length
- ℓ : ความยาวของเส้นทาง (กิโลเมตร)
- γ : สัมประสิทธิ์การลดลง (Reduction Coefficient)

ซึ่งอยู่ในรูปของ

ซึ่งอยู่ในรูปของ

$$\gamma = \frac{1}{1 + c\ell^m} \dots\dots(4.3)$$

โดย c และ m : ค่าของสัมประสิทธิ์

R : อัตราการตกของฝนใน 1 นาที (มม./ชม.)

k และ α : สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient)

ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิ

สำหรับค่าของการลดทอนสัญญาณ A(dB) และอัตราการตกของฝนใน 1 นาที R(มม./ชม.) จะต้องทำการคำนวณที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาเดียวกัน

ค่าของ c และ m นั้นได้มาจากการทดลองที่ได้มาจากการติดต่อสื่อสารไมโครเวฟภาคพื้นดิน จำนวน 30 แห่ง ในช่วงความถี่ 7-38 GHz โดยมีระยะทางจาก 1.3- 58 กิโลเมตร ในประเทศคองโก ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และในประเทศแถบยุโรป ซึ่งได้พบว่าค่าของ c นี้จะขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็น P (เปอร์เซ็นต์) ของเวลาที่สนใจสำหรับข้อมูลที่มีอยู่ และ m ขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางการติดต่อสื่อสารกับความถี่ที่ใช้ ซึ่งจะโคจรของสัมประสิทธิ์การลดลง (γ) ตลอดความยาวของเส้นทางเป็น

$$\gamma = \frac{1}{1 + 0.03(P/0.01)^{-\beta}\ell^m} \dots\dots(4.4)$$

$$m(F, \ell) = 1 + \Psi(F)\ln \ell \dots\dots(4.5ก)$$

$$\Psi(F) = 1.4 \times 10^{-4} F^{1.76} \dots\dots(4.5ข)$$

F : ค่าความถี่ที่ใช้

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ β นั้น ได้มาจากเงื่อนไขดังนี้

ถ้า $\ell < 50$ กิโลเมตร

$$\beta = 0.45 \text{ สำหรับ } 0.001 < P(\%) \leq 0.01 \dots\dots(4.6ก)$$

$$\beta = 0.6 \text{ สำหรับ } 0.01 < P(\%) \leq 0.1 \dots\dots(4.6ข)$$

ถ้า $l \geq 50$ กิโลเมตร

$$\beta = 0.36 \text{ สำหรับ } 0.001 \leq P(\%) \leq 0.01 \quad \dots\dots(4.6ก)$$

$$\beta = 0.6 \text{ สำหรับ } 0.01 < P(\%) \leq 0.01 \quad \dots\dots(4.6ข)$$

เพื่อที่จะหาค่า k และ α จึงได้ใช้ข้อมูลที่ได้อาจจากการแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยดน้ำฝนรูปทรงกลมสามแบบที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิของหยดน้ำเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส สำหรับแต่ละความถี่ ดังนี้

- 1) Laws and Parsons (LP) Distribution ใช้สำหรับแจกแจงอัตราการตกของฝนที่มากกว่า 30 มม./มม.
 - 2) "Thunderstorm" Distribution (J-T) ของ Joss et. al. เป็นการแจกแจงแบบ Negative Exponential ซึ่งกำหนดโดย Joss et. al. ทำการวัดในฝนชนิด Convective
 - 3) "Drizzle" Distribution (J-D) ของ Joss et. al. เป็นการแจกแจงแบบ Negative Exponential ใช้สำหรับฝนชนิดเบาบางและประกอบด้วยหยดน้ำขนาดเล็กเป็นส่วนมาก
- วิธีทั้ง 3 แบบหาค่า k และ α ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า k และ α ที่ขึ้นอยู่กับความถี่และการแจกแจงหยดน้ำฝน
ที่อุณหภูมิของหยดน้ำ = 0°C

ความถี่ (GHz)	ค่าสัมประสิทธิ์ k			ค่าสัมประสิทธิ์ α		
	LP	J-T	J-D	LP	J-T	J-D
10	0.0114	0.0169	0.0114	1.189	1.076	0.968
11	0.0152	0.0212	0.0141	1.167	1.065	0.997
12	0.0196	0.0262	0.0172	1.150	1.052	0.985
15	0.0347	0.0466	0.0282	1.119	1.010	1.003
20	0.0709	0.0983	0.0530	1.083	0.946	1.020

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า k และ α ที่ขึ้นอยู่กับความถี่และการแจกแจงของหยกน้าฝน ที่อุณหภูมิของหยกน้า = 20°C

ความถี่ (GHz)	ค่าสัมประสิทธิ์ k			ค่าสัมประสิทธิ์ α		
	LP	J-T	J-D	LP	J-T	J-D
10	0.0111	0.0190	0.0075	1.229	1.079	1.024
11	0.0167	0.0242	0.0097	1.181	1.060	1.047
12	0.0233	0.0325	0.0122	1.142	1.022	1.067
15	0.0459	0.0589	0.0220	1.076	0.966	1.106
20	0.0859	0.103	0.0456	1.044	0.934	1.123

จากการสังเกตสมการข้างต้นไควว่า วิธี Effective path length แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในค่านระยะทาง โดยความถี่จะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การลดลง (Reduction Coefficient) γ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของฝนที่ตกตามเส้นทางของการติดต่อสื่อสาร และเกิดจากการไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าการลดทอนโดยเฉพาะของอัตราการตกของฝน

4.2 วิธีการพยากรณ์การลดทอนสัญญาณของ CCIR

CCIR ได้ปรับปรุงวิธีทำนายการลดทอนเนื่องจากฝนซึ่งประกอบด้วย

ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่าการลดทอน $A_{0.01}$ ที่เกินค่าในแนวระดับระหว่างช่วงเวลา 0.01%

ขั้นที่ 2 หาค่าการลดทอน A_P ที่เกินค่าในแนวระดับสำหรับเปอร์เซ็นต์ของค่าความน่าจะเป็น

P ของเวลาค่าอื่น ๆ

จากสมการที่ (3.1) จะได้

$$A = kR^\alpha L_{eff}$$

หาค่าการลดทอน $A_{0.01}$ จะได้

$$A_{0.01} = kR_{0.01}^\alpha L_{eff} \dots\dots(4.7)$$

$$A_p = b A_{0.01} P^{-a} \dots\dots(4.8)$$

เมื่อ $\gamma = \frac{90}{90 + 4\gamma}$, $\dots\dots(4.9)$

$R_{0.01}$ คือปริมาณฝนที่เกินค่าในแนวระดับที่ 0.01 เปอร์เซนต์ของเวลา (โดยอินทิเกรต เวลาในช่วง 1 นาที) และ

$b = 0.22$ และ $a = 0.33$ สำหรับ $0.001 \leq P(\%) \leq 0.01$ $\dots\dots(4.10ก)$

$b = 0.15$ และ $a = 0.41$ สำหรับ $0.01 < P(\%) \leq 0.1$ $\dots\dots(4.10ข)$

4.3 แบบจำลองสำหรับพยากรณ์การแจกแจงอัตราการตกของฝน

โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองแบบ Log-normal และแบบ Gamma ที่ใช้กันอยู่แพร่หลายในขณะนี้ สามารถที่จะให้ค่าประมาณการที่ถูกต้องสำหรับอัตราการตกของฝนทั้งมากและน้อย แต่ในหลาย ๆ เขตตามสภาพทางอุตุนิยมวิทยาไม่สามารถที่จะใช้แบบจำลองนี้ทั่วไปได้ ยิ่งไปกว่านั้นที่จุดต่อระหว่างการแจกแจง 2 แบบนี้เปลี่ยนอยู่ระหว่างค่า 20 ถึง 50 มม./ชม. ซึ่งการนำเอาค่าในช่วงนี้ไปใช้ปฏิบัติจริงอาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณได้

จากการวัดอัตราการตกของฝนที่กระทำในเขตภูมิอากาศแถบศูนย์สูตร ได้มีการนำเอาแบบจำลองที่แสดงถึงสูตรการแจกแจงอัตราการตกของฝนแบบใหม่มาใช้ โดยสูตรนี้สามารถที่จะอธิบายถึงการแจกแจงอัตราการตกของฝนแบบสะสมสำหรับเกือบทุก ๆ เขตของสภาพทางอุตุนิยมวิทยาตามแผนที่ของ CCIR คือ

$$P(R_1 > R) = \frac{a e^{-UR}}{R^b} \quad R > 2 \text{ มม./ชม.} \quad \dots\dots(4.11)$$

เมื่อ $U = 2.5 \times 10^{-2}$ $0 < a < 1, b > 0$

P : ค่าความน่าจะเป็นของอัตราการตกของฝน R (มม./ชม.)
ซึ่งมากกว่าหรือเท่ากับค่า R

a และ b : ตัวแปรซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งและระยะเวลาที่เก็บปริมาณน้ำฝน

เพื่อที่จะใช้สูตรนี้ให้ง่ายขึ้นในแต่ละเขตตามสภาพทางอุตุนิยมวิทยา จึงจำเป็นต้องทราบค่าอัตราการตกของฝน $R_{0.01}$ (มม./ชม.) ที่เกินค่าในแนวระดับระหว่างช่วงเวลา 0.01 เพอร์เซ็นต์ ขึ้นตอนต่อไปก็คือต้องหาค่าตัวแปร a และ b

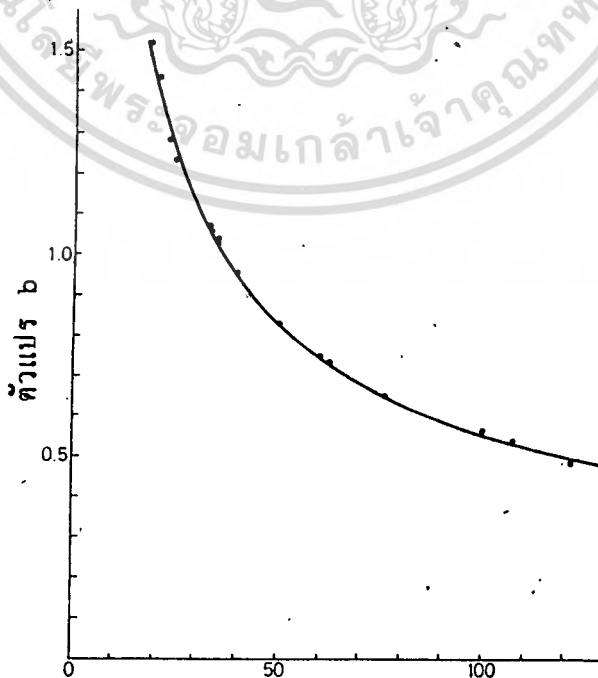
4.4 การหาค่าตัวแปร

4.4.1 ตัวแปร b

จากข้อกำหนดของ CCIR ได้กำหนดให้ใช้แผนที่แสดงอัตราการตกของฝน $R_{0.01}$ (มม./ชม.) ที่เกินค่าในแนวระดับในระหว่างช่วงเวลา 0.01 เพอร์เซ็นต์ สำหรับแต่ละเขตของโลก ที่มีสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าเหล่านี้ได้รับความสนใจมาก เนื่องจากมีการนำเอาค่าเหล่านี้มาใช้ในการทำนายการลคทอนของสัญญาณคลื่นวิทยุ ทั้งในเส้นทาง Line of sight และ Earth space links

ในตารางที่ 4.3 แสดงถึงค่าตัวแปร a และ b ซึ่งหาจากการคำนวณ โดยใช้สมการเชิงเส้นถดถอย (Linear regression) ค่า $R_{0.01}$ (มม./ชม.) และค่าของการอินทิเกรตเวลาในช่วงที่มีฝนตกได้มาจากหลายแห่งด้วยกัน เมื่อนำเอาค่า b และค่าอัตราการตกของฝนที่เกินค่า ๆ หนึ่งระหว่างช่วงเวลา 0.01 เพอร์เซ็นต์ plot ลงในกราฟ แล้วทำการ fit curve จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$b = 8.22 \cdot R_{0.01}^{-0.584} \dots\dots(4.12)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.1 แสดงถึงลักษณะของตัวแปร b เทียบกับ $R_{0.01}$ (มม./ชม.)
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้า 0.01 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ตัวแปร a

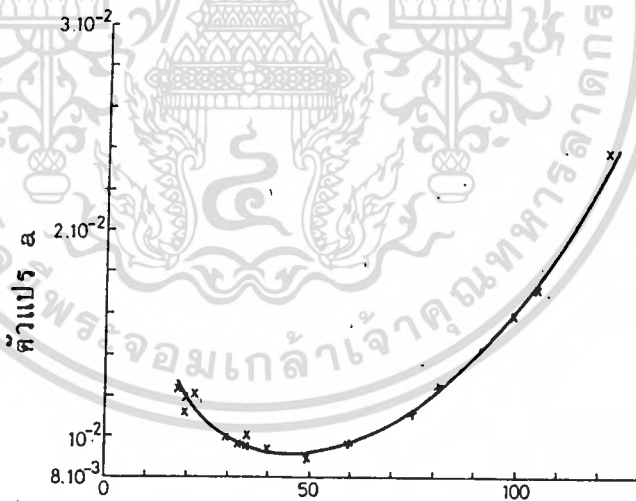
เมื่อตัวแปร b ถูกกำหนดค่าไว้ ดังนั้นจึงหาค่าตัวแปร a ได้โดยเพียงแต่รู้ค่าอัตราการตกของฝนใด ๆ R (มม./ชม.) สำหรับเปอร์เซ็นต์ของเวลาใด ๆ

และเมื่อใช้ $R_{0.01}$ (มม./ชม.) แทนลงในสมการที่ (4.11) จะได้

$$P(R > R_{0.01}) = \frac{a e^{-UR_{0.01}}}{R_{0.01}^b} = 0.01\% \dots\dots(4.13)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad a = 10^{-4} R_{0.01}^b e^{UR_{0.01}} \dots\dots(4.14)$$

ค่าของตัวแปรที่คำนวณมาจาก Linear regression รวมทั้งที่คำนวณจากสมการที่ (4.14) ได้นำมา plotted เปรียบเทียบกัน แสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะพบว่าผลจากการคำนวณและผลที่ได้จากสมการที่ (4.14) มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 4.2 แสดงถึงลักษณะของตัวแปร a เทียบกับ $R_{0.01}$ (มม./ชม.)

โดยวิธีการพยากรณ์การแจกแจงอัตราการตกของฝนแบบนี้จำเป็นต้องทราบค่าของ $R_{0.01}$ ของบริเวณที่ต้องการพยากรณ์ก่อน ซึ่งหาได้มาจากการทดลอง จากนั้นจึงคำนวณหาค่าตัวแปร b และ a ซึ่งจะช่วยให้สามารถพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดอัตราการตกของฝน R (มม./ชม.) ที่เกินค่า $R_{0.01}$ ใด ๆ ได้

บทที่ 5

บทสรุปและการเปรียบเทียบทฤษฎี

5.1 บทสรุป

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลดทอนของข้อมูลที่ได้มานั้น เมื่อนำมาหารูปแบบจำลองความสัมพันธ์กันทางสถิติ จากตารางที่ 5.1, 5.2 จะได้รูปแบบยกกำลัง (power model) มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด โดยมีรูปแบบดังรูปที่ 5.11

$$\text{ระดับสัญญาณลดทอน} = A (\text{อัตราการตกของฝน})^B$$

เมื่อ A, B คือตัวคงที่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่

ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการสร้างสมการถดถอย จะได้ค่าตัวคง

ที่ A, B มีค่าดังนี้

$$\text{ตัวคงที่ } A = 5.344$$

$$\text{ตัวคงที่ } B = 1.235$$

ดังนั้น จะได้สมการค่าพยากรณ์ของสัญญาณลดทอนที่สัมพันธ์กับอัตราการตกของฝนเป็น

$$\text{ระดับสัญญาณลดทอน} = 5.344 (\text{อัตราการตกของฝน})^{1.235}$$

ในส่วนของการทดลองนั้น จะสังเกตได้จากรูปที่ 5.1 ถึง 5.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดทอนของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มขึ้น แต่การลดทอนของสัญญาณไม่ไคค้อย ๆ เพิ่มขึ้นในแบบเชิงเส้นตลอดทุก ๆ ค่า เมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการตกของฝนที่ค่า 0.125 มิลลิเมตร/นาที่ ถึง 1.375 มิลลิเมตร/นาที่ การเพิ่มของระดับสัญญาณลดทอนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 0.55 เดซิเบล ถึง 7.11 เดซิเบล แต่เมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มเป็น 1.5 มิลลิเมตร/นาที่ ระดับสัญญาณลดทอนจะเพิ่มเป็น 11.58 เดซิเบล และจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มขึ้น จนเมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มเป็น 2.0 มิลลิเมตร/นาที่ หรือ 120 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการตกของฝนที่สูงที่สุดที่วัดได้ในช่วงการทดลองนี้ จะได้ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณลดทอนมีค่า 12.82 เดซิเบล

5.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี

5.2.1 การเปรียบเทียบอัตราการตกของฝนที่เกินค่าอ้างอิงใด ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์กับแบบจำลองที่ใช้ทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยใน
รูปแบบต่างๆ

DATA FILE = A:STRIP VARIABLES = 6 OBSERVATIONS = 16 PAGE

	1 RAIN	2 ATT	3 PYHT	4 LYHT	5 SYHT	6 EYHT
1	.125	.55	.409	-3.41	-.776	.965
2	.25	1.05	.964	.097	.166	1.18
3	.375	1.37	1.591	2.149	1.108	1.444
4	.5	1.8	2.27	3.604	2.05	1.766
5	.625	2.93	2.991	4.733	2.992	2.16
6	.75	2.95	3.746	5.656	3.934	2.642
7	.875	3.75	4.532	6.436	4.876	3.232
8	1	4.55	5.345	7.111	5.818	3.954
9	1.125	6.49	6.182	7.707	6.76	4.836
10	1.25	6.58	7.042	8.24	7.703	5.916
11	1.375	7.11	7.922	8.722999	8.645001	7.237
12	1.5	11.58	8.821	9.163	9.587	8.852
13	1.625	11.83	9.737001	9.568	10.529	10.828
14	1.75	12.63	10.671	9.943	11.471	13.246
15	1.875	12.64	11.621	10.292	12.413	16.202
16	2	12.82	12.585	10.618	13.355	19.819

PYHT = POWER MODEL

LYHT = LOG MODEL

SYHT = LINEAR MODEL

EYHT = EXPONENTIAL MODEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

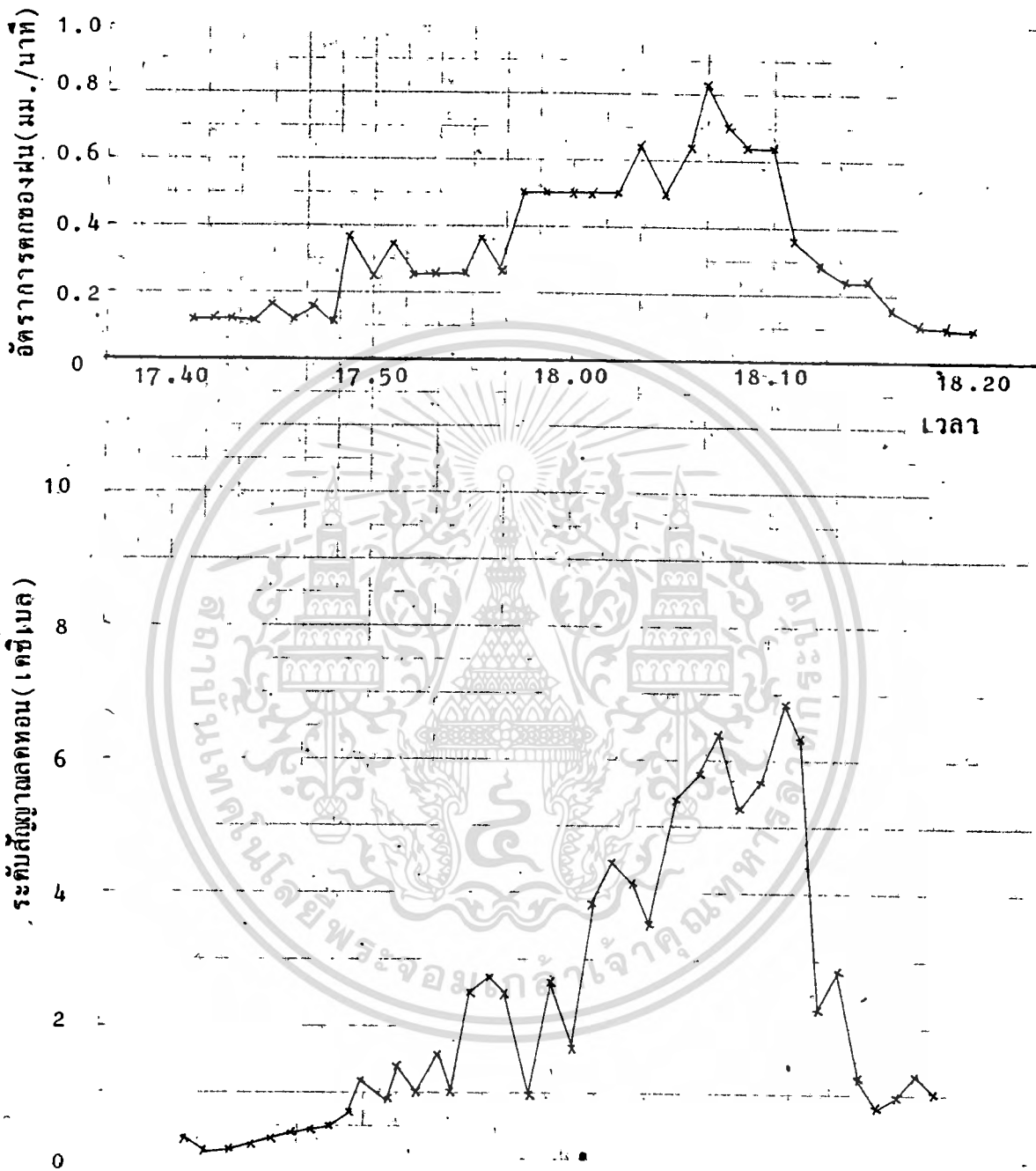
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยใน

รูปแบบ Polynomial

THE POLYNOMIAL REGRESSION EQUATION IS
 $Y = -1.641 + 7.331X + .097X^{**2}$

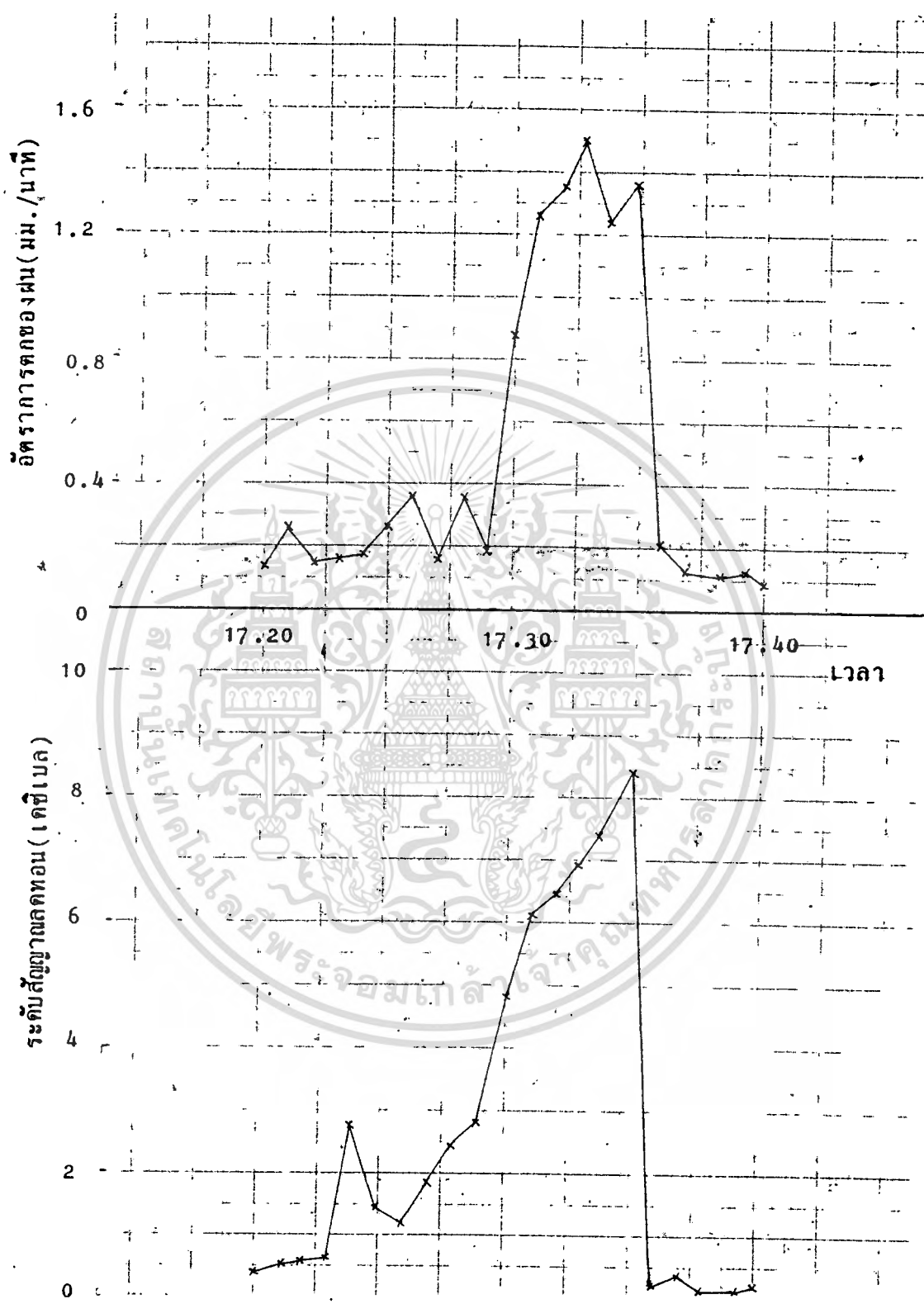
ORIGINAL RAINFATE (X)mm/min	ORIGINAL ATTENUATION (Y)dB	ESTIMATED ATTENUATION (Y)dB	RESIDUALS
.125	.550	-.723	1.273
.250	1.050	-.197	.853
.375	1.370	1.121	.249
.500	1.800	2.048	-.248
.625	2.930	2.978	-.048
.750	2.950	3.911	-.961
.875	3.750	4.847	-1.097
1.000	4.550	5.787	-1.237
1.125	6.490	6.729	-.239
1.250	6.580	7.674	-1.094
1.375	7.110	8.622	-1.512
1.500	11.580	9.573	2.007
1.625	11.830	10.527	1.303
1.750	12.630	11.485	1.145
1.875	12.640	12.445	.195
2.000	12.820	13.408	-.588
SUM OF RESIDUALS =			.1334E-05
STANDARD ERROR OF ESTIMATE =			1.08190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



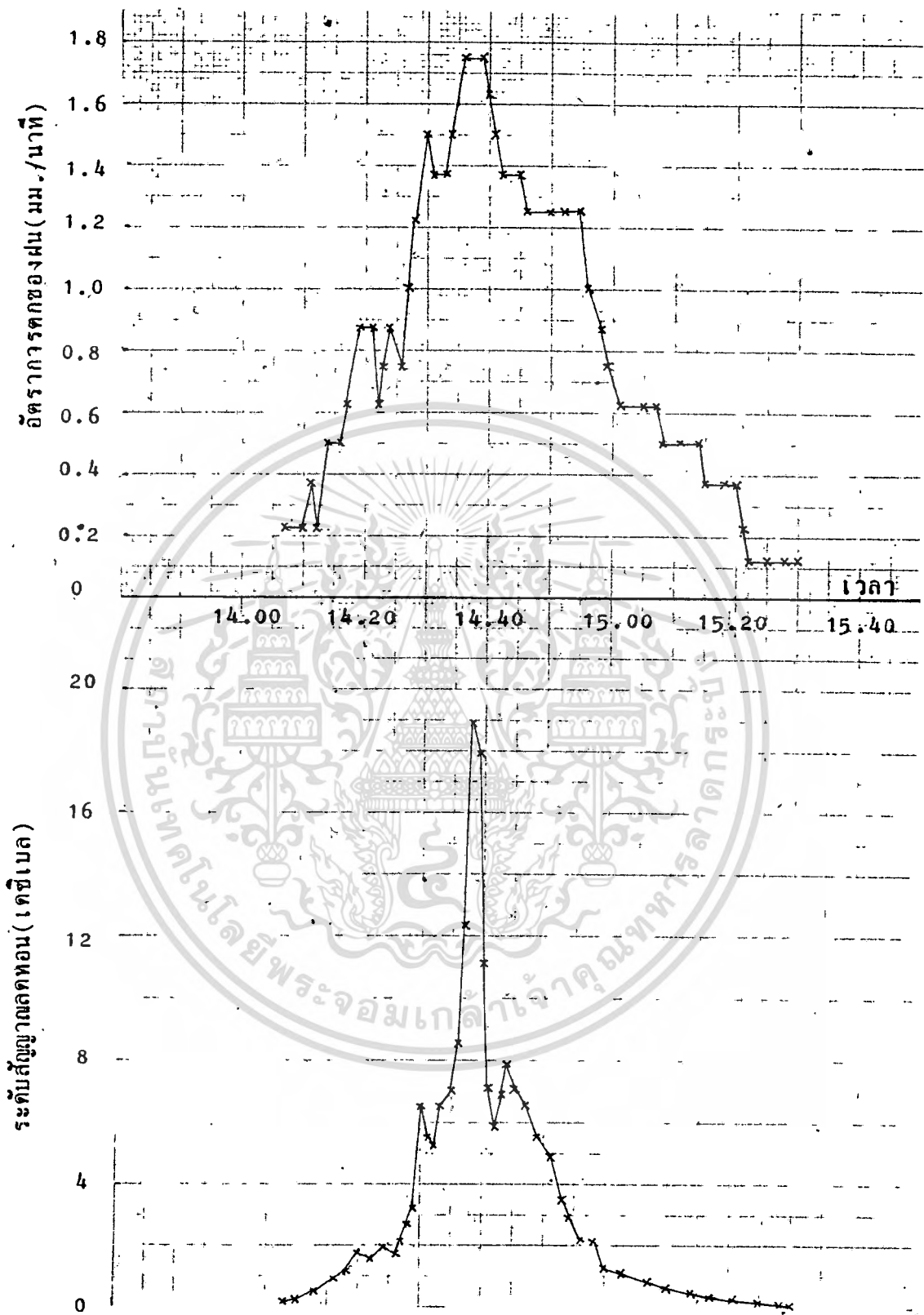
รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณคทอน ในวันที่ 9 ส.ค. 2528 เวลา 17.40 น.- 18.22 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



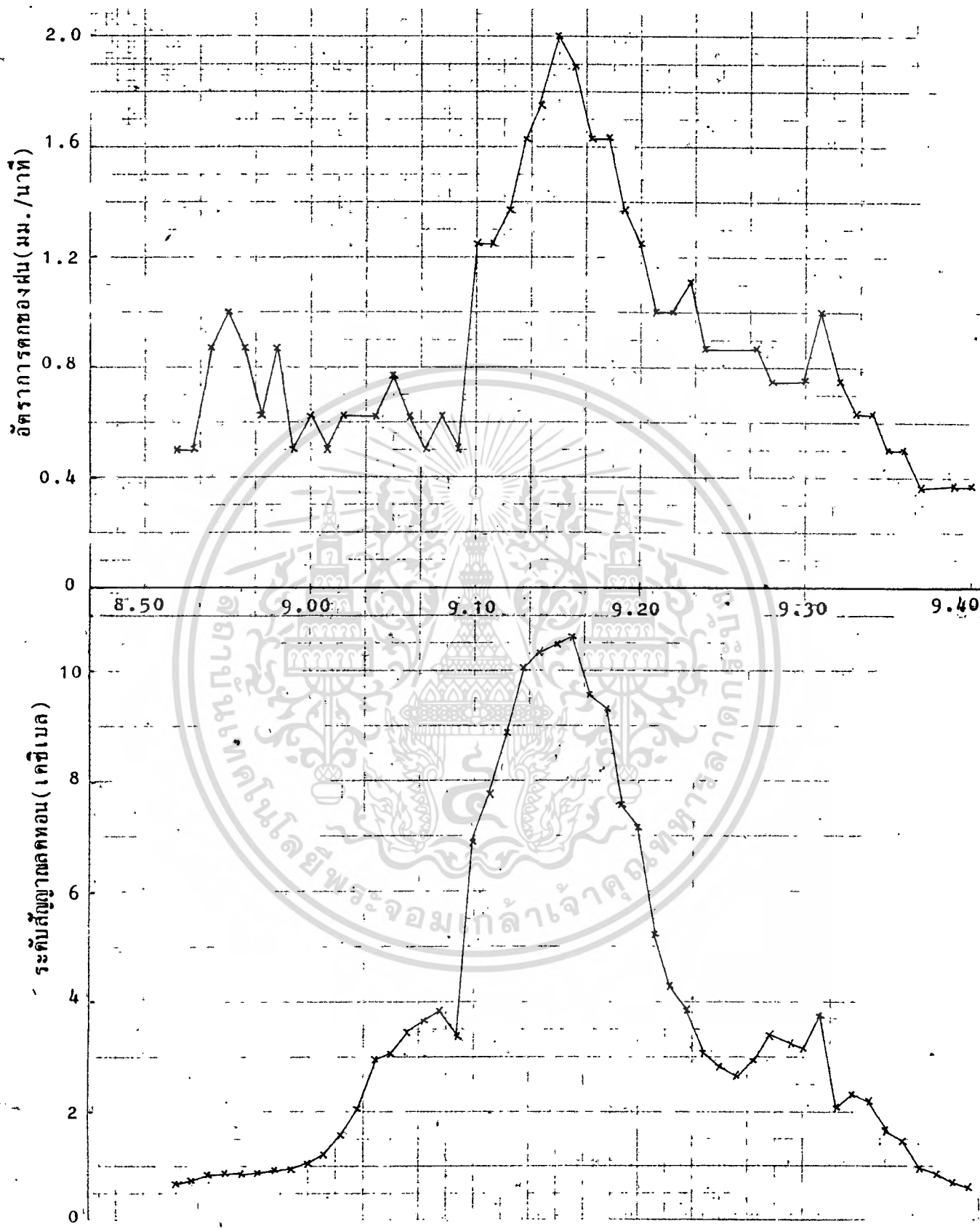
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลคทอน ในวันที่ 27 ส.ค. 2528 เวลา 17.20 น.- 17.42 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณคทอน ที่เวลาเดียวกันในวันที่ 18 ก.ย. 2528 เวลา 14.08 น.- 15:30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

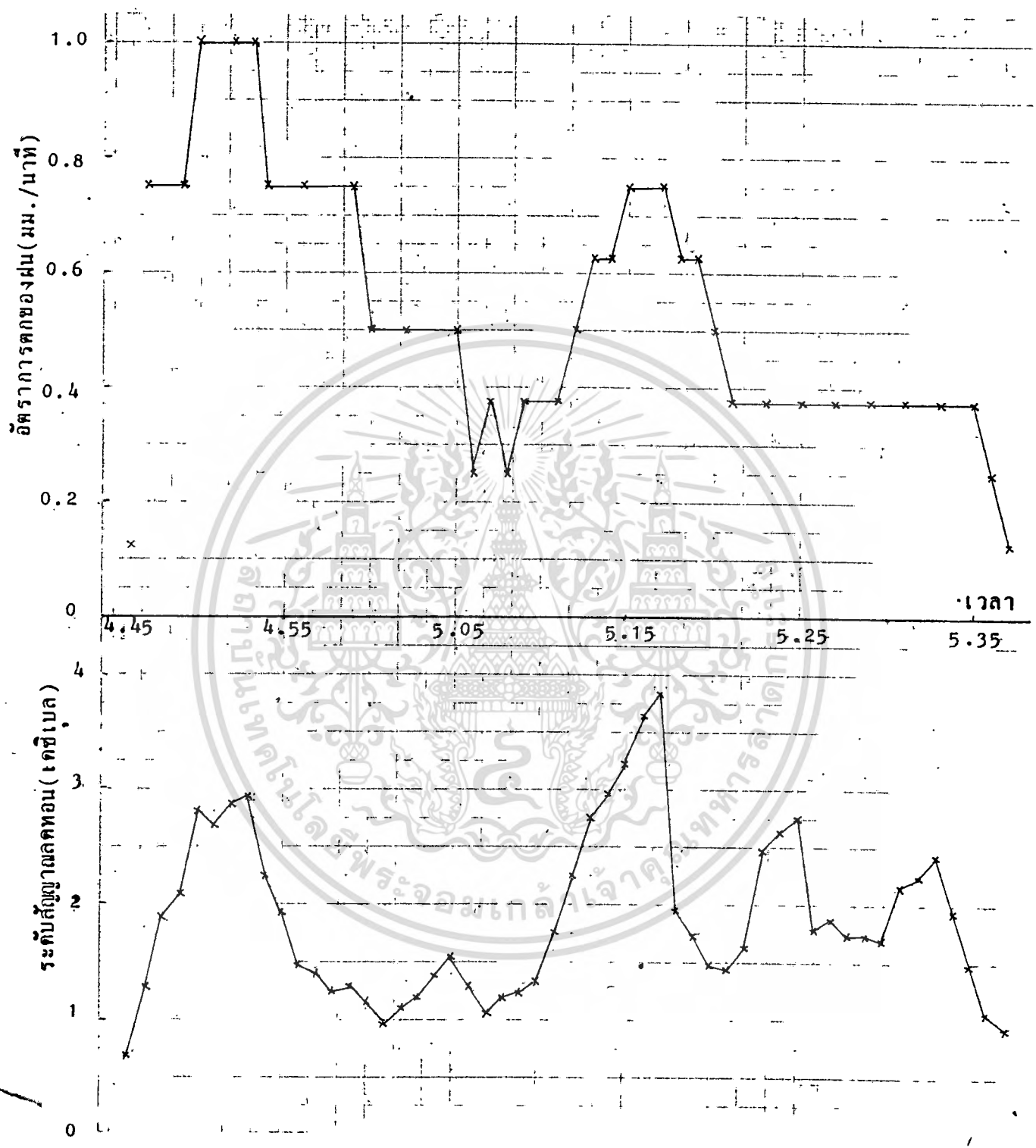


รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลทอน

ที่เวลาเดียวกันในวันที่ 26 ก.ย. 2528 เวลา 8.52 น. - 9.40 น.

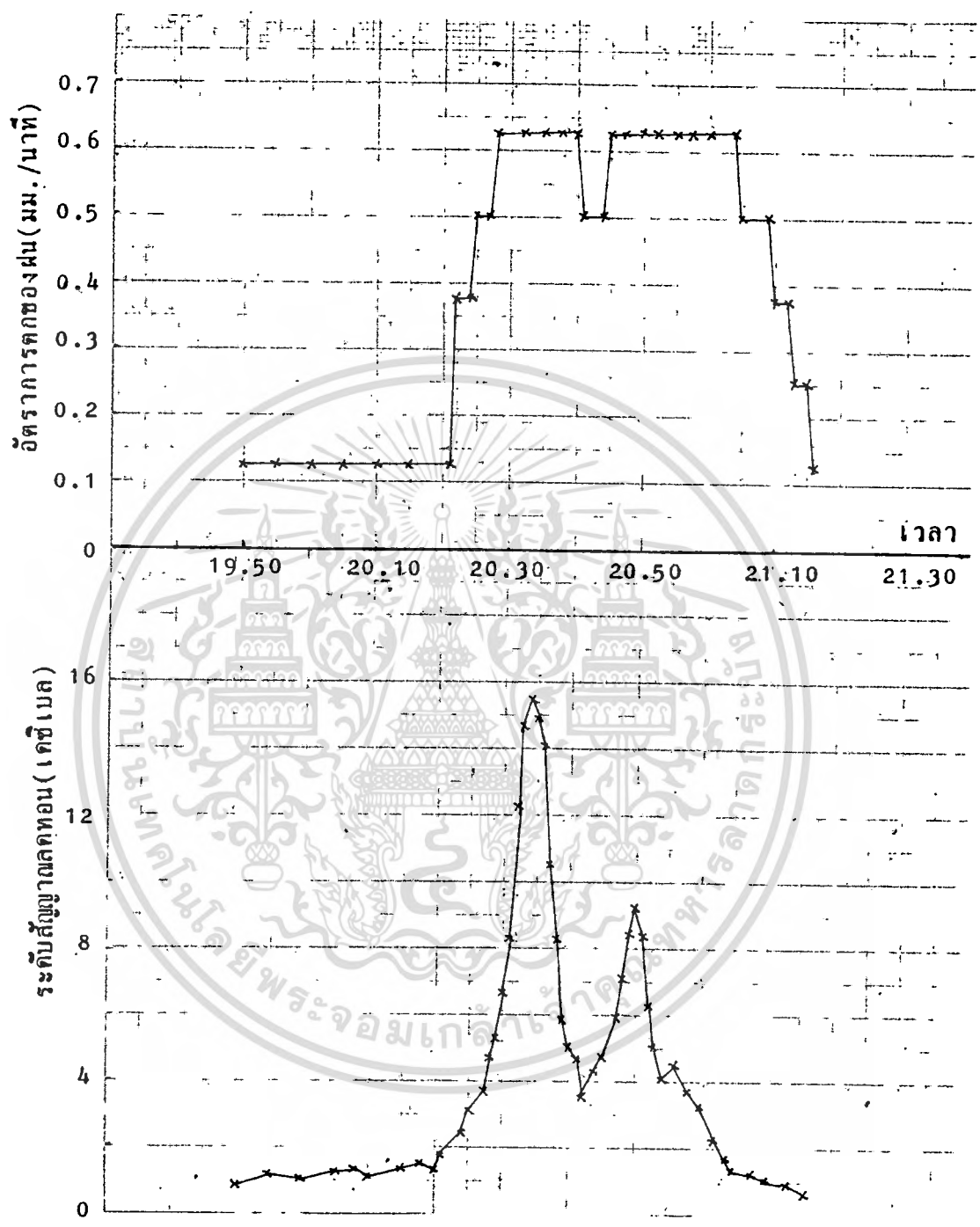
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



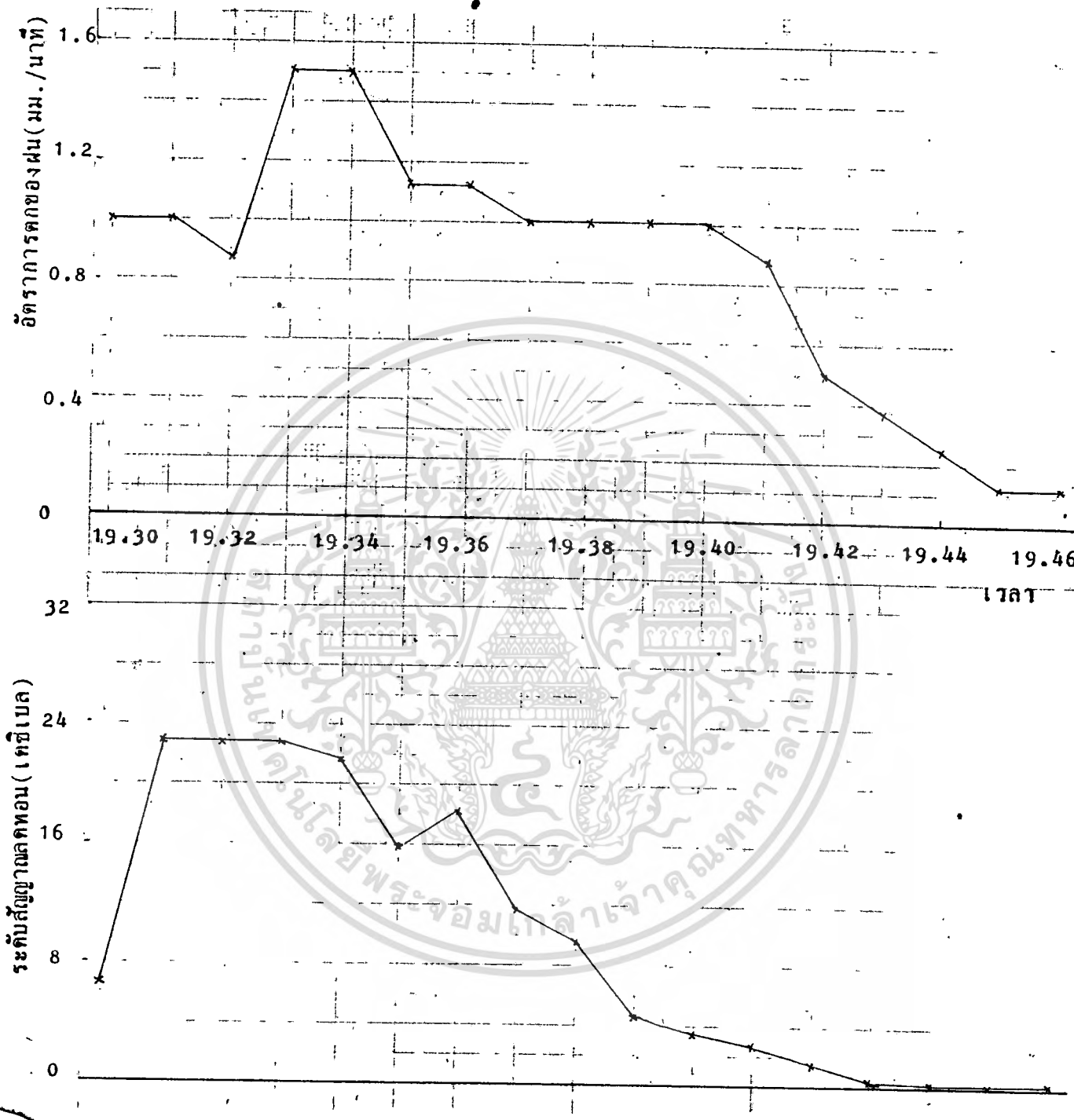
รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลวดทอง
ที่เวลาเดียวกันในวันที่ 2 ต.ค. 2528 เวลา 4.46 น.- 5.37 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



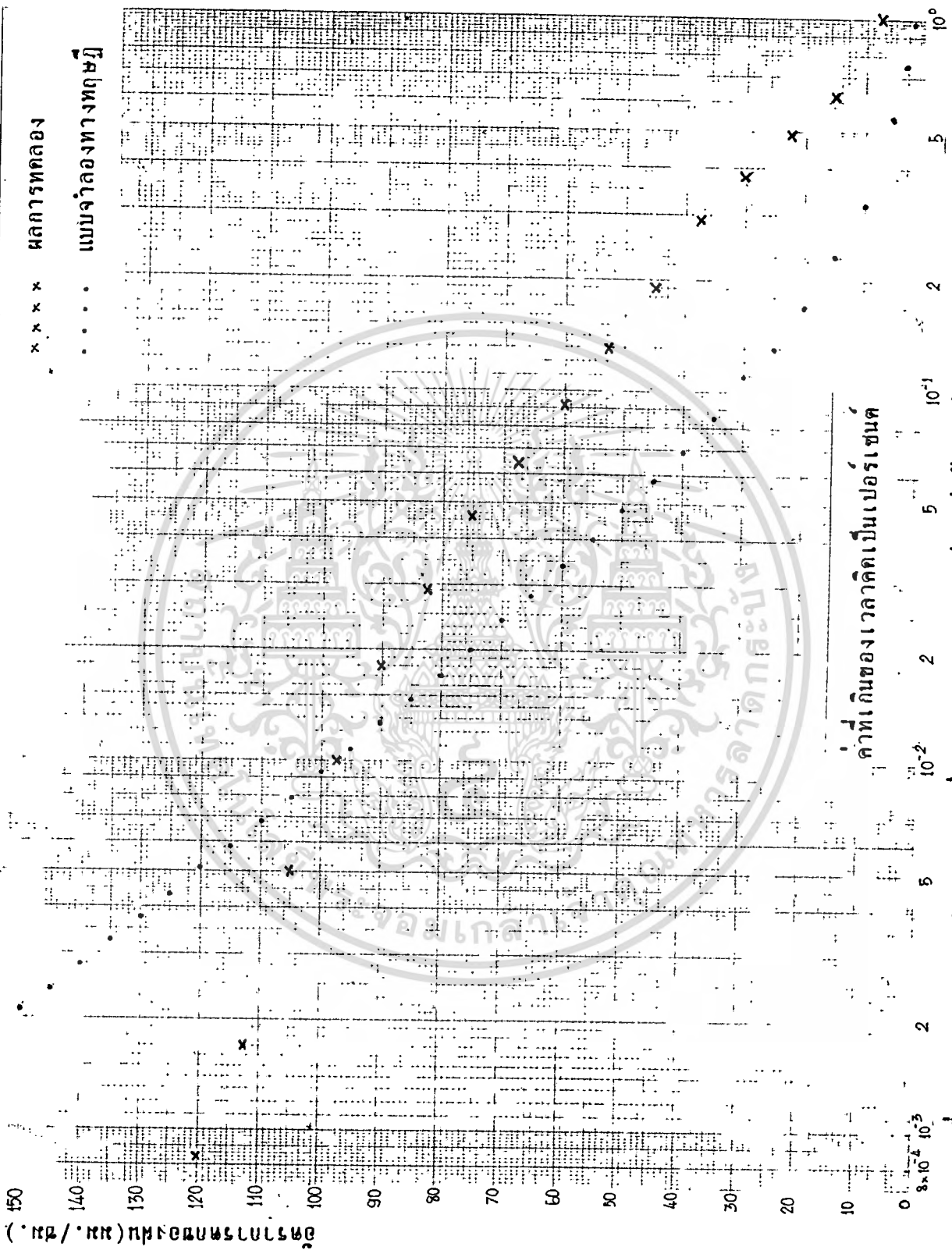
รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการคายของฝนกับระดับสัญญาณลดทอนที่เวลาเดียวกันในวันที่ 10 ต.ค. 2528 เวลา 19.50 น.- 21.16 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลคทอน
 ที่เวลาเดียวกันในวันที่ 12 ต.ค. 2528 เวลา 19.30 น. - 19.46 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของแผ่นที่เกินค่าอ้างอิงค่าใดก็ตามคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในช่วงวันที่ 9 ส.ค. - 18 ต.ค. 2528 กับแบบจำลองทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

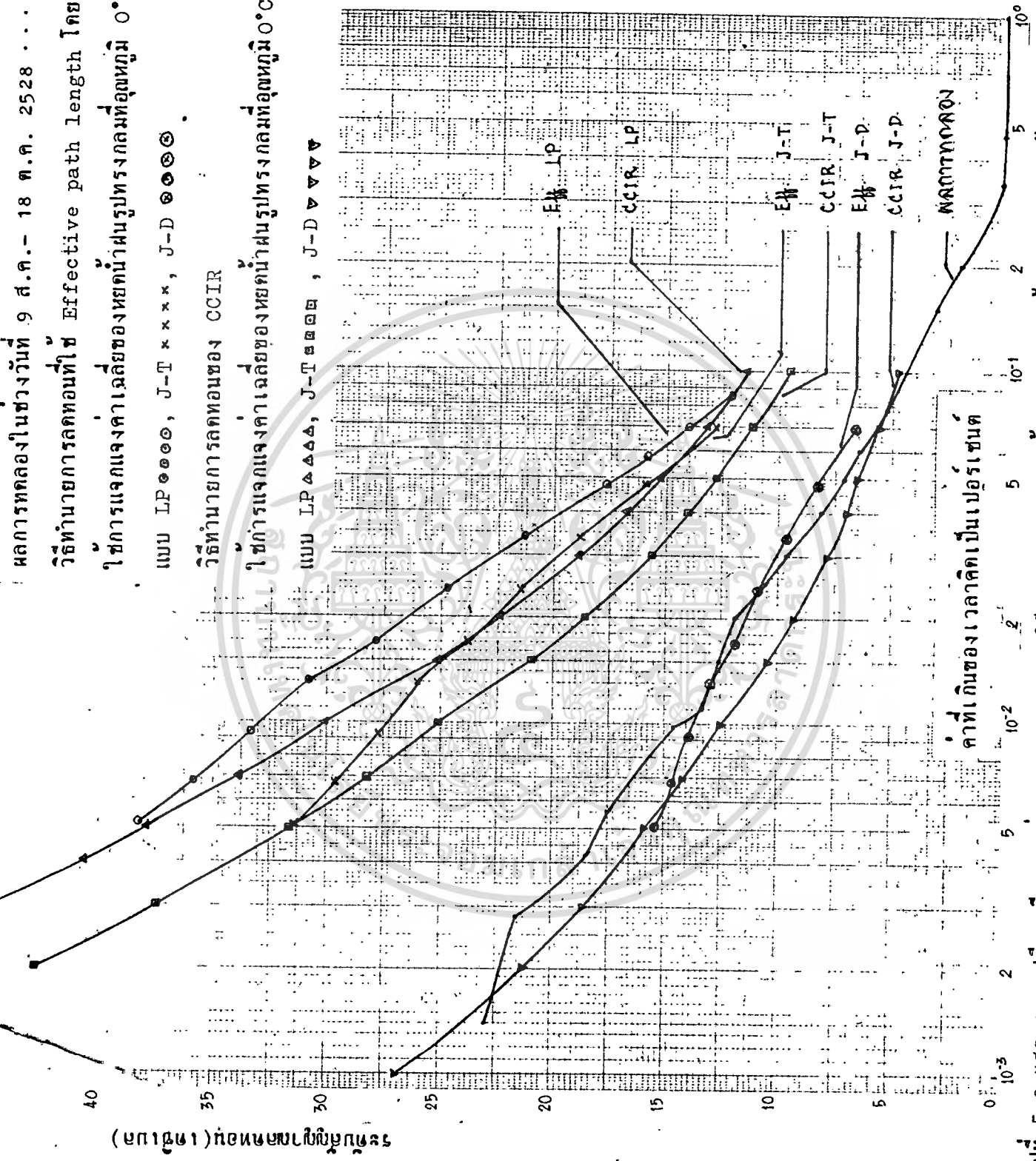
ผลการทดลองในช่วงวันที่ 9 ส.ค. - 18 ต.ค. 2528
 วัตถุประสงค์การทดลองที่ใช้ Effective path length โดย
 ใช้การแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยดน้ำฝนรูปทรงกลมที่อุณหภูมิ 0°C

แบบ LP๑๑๑๑, J-T x x x x, J-D ๑๑๑๑

วัตถุประสงค์การทดลองของ CCIR

ใช้การแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยดน้ำฝนรูปทรงกลมที่อุณหภูมิ 0°C

แบบ LP๕๕๕๕, J-T๑๑๑๑, J-D๗๗๗๗



(มก.มม.) ต่อหน่วยพื้นที่

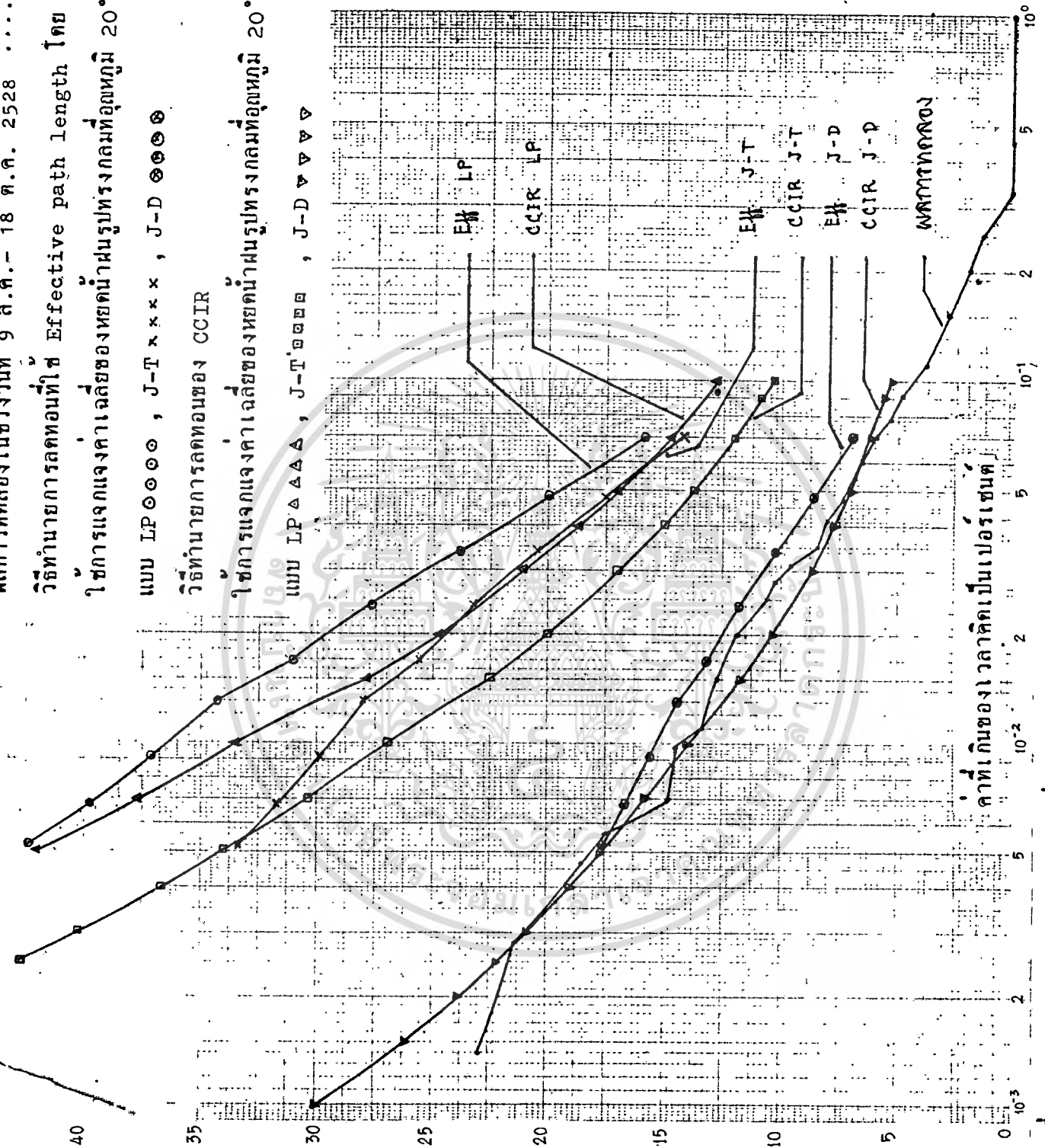
รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับวัตถุประสงค์การทดลองทั้ง 2 วิธีโดยใช้ค่าเฉลี่ยของหยดน้ำฝนรูปทรงกลมที่อุณหภูมิ 0°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำนายการลดทอนที่ใช้ Effective path length โดย
ใช้การแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยกน้ำฝนรูปทรงกลมที่อุณหภูมิ 20°C
แบบ LP๑๑๑๑ ; J-T x x x x ; J-D ๑๑๑๑

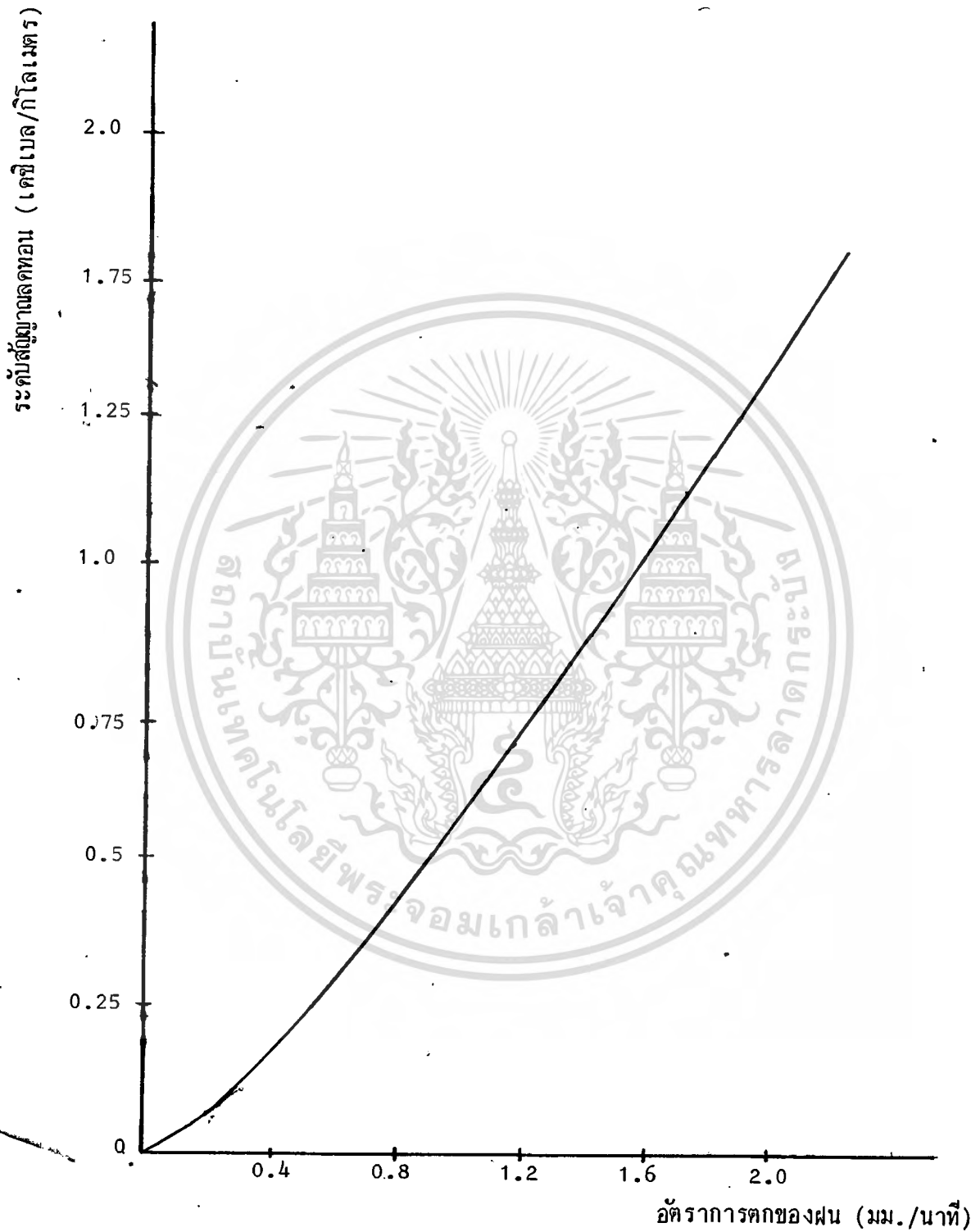
วิธีทำนายการลดทอนของ CCIR
ใช้การแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยกน้ำฝนรูปทรงกลมที่อุณหภูมิ 20°C
แบบ LP△△△△ ; J-T'๑๑๑๑ ; J-D v v v v

การลดทอนโดยวิธีต่างๆ



รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับวิธีการทำนายการลดทอนทั้ง 2 วิธีที่ใช้ของหมิงหยกน้ำ = 20°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1.1 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติแบบยกกำลังที่สามารถนำมาใช้
พยากรณ์ค่าการลดทอนของสัญญาณความถี่ 12.821GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าผลการเปรียบเทียบได้ผลไม่ใกล้เคียงกันมากนัก เนื่องจากค่า $R_{0.01}$ ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง แต่ผลที่ออกมาที่ได้แสดงถึงแนวโน้มที่จะเป็นไปได้อาจจะนำเอาแบบจำลองนี้มาใช้ได้

5.2.2 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนที่เกินค่าอ้างอิงใด ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์กับวิธีการทำนายการลดทอนที่ใช้ Effective path length และวิธีของ CCIR

สำหรับวิธีทั้งสองแบบใช้ค่า k และ α จากตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นการแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยกน้ำรูปทรงกลมที่มีอุณหภูมิ 0°C และ 20°C ซึ่งถ้ามีฝนในเวลากลางวันอุณหภูมิของน้ำฝนจะประมาณ 20°C แต่ตกในเวลากลางคืนอุณหภูมิของฝนอาจจะต่ำกว่านี้ สำหรับรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าวิธีการทำนายทั้งสองแบบที่ใช้การแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยกน้ำฝนแบบ J-D มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองมาก แต่วิธีของ CCIR จะสามารถหาขอบเขตของค่าที่เกินของเวลาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้กว้างมากกว่าวิธีที่ใช้ Effective path length เนื่องจากข้อจำกัดของสมการที่ใช้หา ซึ่งจากรูปที่ 5.10 ก็ให้ผลเปรียบเทียบในลักษณะเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นว่าเราสามารถที่จะนำเอาวิธีการทำนายทั้งสองแบบที่ใช้การแจกแจงค่าเฉลี่ยของหยกน้ำฝนแบบ J-D มาใช้ในการทำนายได้

เอกสารอ้างอิง

1. F. Moupfouma, "Improvement of a Rain Attenuation Prediction Method for Terrestrial Microwave Links," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-32, pp. 1368-1372, Dec. 1984.
2. H. Fukuchi, T. Kozu, S. Tsuchiya, "Worst Month Statistics of Attenuation and XPD on Earth-space path," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-33, pp.390-396, Apr. 1985.
3. F. Moupfouma, "Model of rainfall-rate distribution for radio system design," IEE proceedings, vol.132, pp.39-43, Feb.1985.
4. เวช วิเวก "การคำนวณอัตราฝนตกจากข้อมูลอุทกนิยมนิคมวิทยา เพื่อการศึกษาการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟ" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท 2523, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณรงค์ เหมกรณ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นมาโดยตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ชุมสาย หลักสี่ทุก ๆ ท่าน ที่ได้ช่วยเหลือและดูแลเครื่อง ตลอดช่วงที่ทำการเก็บข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้